النّسخة الأولى

هندسة التَّصنيع 2

مدخل إلى آلات التشغيل المبرمجة CNC

التشغيل الميكانيكي باستخدام الباورميل

بقلم

م. حَسَن بن محمَّد الفَحل

هندسة التصنيع 2

مدخل إلى آلات التشغيل المبرمجة CNC

التشغيل الميكانيكي باستخدام الباورميل

بسم الله الرحمن الرحيم

الواحدات المستخدمة في الكتاب		
المصطلح بالعربية	المصطلح بالإنكليزية	الواحدة
السرعة السطحية	Surface Speed	m/min
سرعة التغذية	Feed Rate	mm/min
سرعة دوران عمود الدوران	Spindle Speed	rpm
عمق القطع	Stepdown	mm
عرض القطع	Stepover	mm
الزمن	Time	min

أسماء بعض أجزاء الأعداد			
العدد العشري	العدد الكسري	التسمية العربية	التسمية العلمية *
0.001	1 / 1000	أُلْف	ميكرون
0.010	1 / 100	مُؤْي	سنتييم **
0.100	1 / 10	عُشْر / مِعشار / عَشِير	ديزييم
0.111	1 / 9	تُسْع / تَسِيع	
0.125	1 / 8	ثُمْن / ثَمِين	
0.143	1 / 7	سُبْع / سَبِيع	
0.167	1 / 6	سُدْس / سَدِيس	
0.200	1 / 5	خُمْس / خَمِيس	
0.250	1 / 4	رُبْع / رَبِيع	
0.333	1 / 3	ثُلْث / ثَلِيث	
0.5	1 / 2	نُصْف / نَصِيف	

* التسمية العلمية مترجمة من الفرنسية ترجمة حرفية، وتستخدم عندنا مع الأبعاد.

** انظر الملحقات، فيها طريقة مختصرة للتحويل من الأجزاء المئوية (السنتييمات) إلى الأجزاء الستينية.

"تظبيط الشغل أهم من الشغل"

في ذكرى

2024-12-08

04:18

هذا العمل منشور بموجب الترخيص CC BY-NC-ND 4.0. للمزيد انظر:

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

المحتويات	الصفحة
المقدمة	28
ما الذي يجعل المحترف محترفًا؟	30
خطة الكتاب	30
لاستثمار أفضل للكتاب ...	31
لمن أراد المساهمة ...	32
تنسيق الكتاب	33
باب الأول **مدخل إلى آلات التشغيل المبرمجة CNC**	**36**
الفصل الأول – أساسيات Fundamentals	**38**
السلامة أولًا Safety First	39
جملة الإحداثيات Coordinating System	40
○ الواحدات Units، والدقة Precision	42
○ صفر الآلة Machine Home (World CS)	43
○ صفر المشغولة Work CS	44
○ الشغل Job	44
○ التصفير Offset	45
لغة البرمجة في الآلات المبرمجة G-Code	46
○ البنية اللغوية لبرامج الآلات المبرمجة G-Code Structure	46
○ محرر البرامج CNC Editor	49
○ حروف اللغة Alphabetic Address Codes	49
○ أشهر الأوامر الهندسية Most Common G-Code	52
○ أشهر الأوامر الملحقة Most Common M-Code	53
○ النقلات المطلقة Absolute Positioning	54

○ النقلات التزايدية (النسبية) Incremental Positioning	54
○ الحركة السريعة Rapid Move	54
○ تعويض قطر الأداة Cutter Diameter Compensation (CDC)	55
○ تعويض ارتفاع الأداة (تصفير ارتفاعها) TLO وTLO Register	56
○ تصفير المشغولة Work Offset	57
○ الدورات Canned Cycles	58
الفصل الثاني – عملية التشغيل حاسوبيًا	**62**
أدوات القطع CNC Tools	63
○ اعتبارات في اختيار أدوات القطع	67
○ اتجاه الدوران Rotation Direction	69
○ الرايش Chip	69
○ اتجاه القطع Cut Direction	70
○ سرعات التغذية والدوران Cutting Speeds and Feeds	71
○ ما تحتاجه أدوات القطع من الخامة لتعطي الإنهاء المطلوب	74
مسارات التشغيل Toolpaths	74
○ الأجسام (المقطعية) ثنائية الأبعاد 2D (Prismatic) Parts	75
○ الأجسام ثلاثية الأبعاد 3D Parts	76
○ الأجسام التي تتطلب المحور الرابع 4X Parts	77
○ تصنيف مسارات التشغيل من حيث النوع والاستخدام	79
○ اصطلاحات في مسارات التشغيل Toolpaths Terminology	79
مسارات التشغيل ثنائية الأبعاد 2D Toolpaths	81
○ تسوية السطوح Facing	81
○ الإطارات ثنائية الأبعاد 2D Contours	82
○ التجاويف Pockets	82
○ المجاري Slots	82
○ كسر الحواف Chamfering	82
○ تدوير الحواف Filleting	83
○ المركزة (السنترة) Centering	83

○ التثقيب Drilling	83
○ القلوظة Tapping	84
مسارات التشغيل ثلاثية الأبعاد 3D Toolpaths	84
○ الدقة Tolerance	84
○ ظاهرة الفجع البياناتي Data Starving	85
○ التعويض ثلاثي الأبعاد 3D Cutter Compensation	86
○ الهد Roughing	86
○ الهد المتبقي REST Roughing	87
○ الإنهاء Finishing	87
○ الإنهاء المتوازي Parallel Finishing	88
○ الإنهاء اللولبي Scallop Finishing	88
○ إنهاء الزوايا Pencils	88
○ أثر التشغيل	88
زمن عملية التشغيل Machining Time	89
○ زمن تبديل الأداة t_{ch}	90
○ زمن النقلات t_l	90
○ زمن الدخول في المسار t_{pl}	91
○ زمن القطع t_C	91
○ عدد الباصات	92
○ طول المسار المحيطي	92
○ تعويض قطر الأداة	93
○ طول المسار المتوازي Raster	93
○ طول المسار الإزاحي Offset	95
○ تحديد الزمن بالثواني والدقائق والساعات و...	95
الباب الثاني **الباورميل، من الألف إلى الياء**	**98**
الفصل الثالث – مدخل إلى برنامج الباورميل Introduction to PowerMILL	**100**
بنية البرنامج – أقسامه وأدواته	102

○ الشريط الرئيسي Main Toolbar \ Ribbon	102
○ المستعرض Explorer	104
○ المتصفح Browser	105
○ سلة المحذوفات Recycle Bin	105
○ نافذة الرسومات Graphics Window	106
○ شريط العرض View Toolbar	107
○ شريط الحالة والمعلومات Status & Information Toolbar	108
○ الأدوات هنا هي صناديق حوار	109
○ المشروع في الواقع هو مجلد في القرص الصلب	110
○ محاولة إصلاح المشاريع المضروبة	111
عملية التشغيل The Machining Process	112
○ ضبط ظروف التشغيل Setup	112
○ إنشاء مسارات التشغيل Creating Toolpaths	114
○ اختبار مسارات التشغيل – المحاكاة Simulation	115
○ تخريج البرامج Post-Processing	116
كل شيء هنا كائنات Entities	116
○ برامج التشغيل NC Programs	117
○ مسارات التشغيل Toolpaths	118
○ أدوات القطع Tools	120
○ حدود التشغيل Boundaries	123
○ أنماط التشغيل Patterns	124
○ الثقوب Hole Feature Sets	124
○ الرسومات Models	125
○ جمل الإحداثيات Workplanes	125
○ المستويات والمجموعات (أو الطبقات Levels and Sets (Layers	126
○ الخامات الافتراضية Stock Models	127
○ المجموعات Groups	128
المستعرض Explorer، بعمق	129

○ طبيعة الكائنات باعتبارها عناصر من شجرة المستعرض	129
○ تفعيل الكائنات	129
○ تسمية الكائنات	130
○ نسخ الكائنات وتغيير ترتيبها Copy and Paste	131
○ لا تراجع هنا {CTRL} + {Z}!	132
○ خصائص الكائنات Properties	132
○ إلغاء قفل الكائنات	132
أعراف في التسمية، الشائعة وغيرها	133
○ تسمية المشروع، ورسوماته، وما يحيط به من ملفات	133
○ تسمية أدوات القطع	134
○ تسمية مسارات التشغيل وبرامج التشغيل	134
○ تسمية المنحنيات (الحدود والأنماط)	135
التعامل مع نوافذ البرنامج	135
○ إدخال التعابير الرياضية	136
○ إدخال الأعداد على الطاير	136
○ واحدة قطر أداة القطع Tool Diameter Unit (TDU)	136
صناديق حوار ستحتاجها	137
○ المازورة Measure	137
○ قياس الخطوط Line	139
○ تحديد الموقع Position	139
○ تحديد الاتجاه Direction	141
○ تحديد الارتفاع Z Height	141
○ إعدادات إظهار الرسومات Model Drawing Options	141
برامج وأدوات قد تحتاجها بجانب الباورميل	143
○ الباورشيب PowerShape (PowerMill Modelling)	143
○ محول الرسومات Data Exchange	144
○ السيميكو CIMCO	144
○ المترجم Post Processor	145

○ تسجيلات الأوامر Macros	145
○ الإضافات Plugins	145
"تظبيط الشغل أهم من الشغل"	146
○ الاعتمادية Dependability	146
○ المقروئية Readability	147
○ قابلية التعديل Editability	148
○ التكرارية Reusability	148
○ التشاركية	150
○ المشاريع للاستخدام لمرة واحدة	150
○ المشاريع غير الصالحة للاستخدام البشري (ولا الهندسي)	150
نافذة الأوامر Commands Window	151
الفأرة ولوحة المفاتيح، يداك وقدماك هنا	151
○ الاختصارات Shortcuts	153
تخصيص الشريط الرئيسي Ribbon Customization	154
الحصول على المساعدة	155
ضبط إعدادات البرنامج	156
○ اللغة والتعليمات Language & Help	156
○ الواحدات Units	156
○ رسائل الخطأ والتنبيه Error & Warning Messages	157
○ حدود التشغيل الخاصة Private Boundaries	157
○ برامج التشغيل NC Programs	157
○ جمل الإحداثيات Workplanes	157
○ شريط الحالة Status Bar	158
○ تخصيص اختصارات لوحة المفاتيح Customize Keyboard Shortcuts	160
○ تخصيص المجلدات العامة في البرنامج	162
○ ضبط المجلد Home	163
الفصل الرابع – مفاهيم أساسية في الباورميل PowerMILL Essentials	**165**
الدقة Tolerance	165

○ علاقة الدقة بخطوة التشغيل	166
○ كيف تؤثر الدقة في مسارات التشغيل؟	166
○ أخطاء تضيع الدقة	167
الرسمة Model	171
○ لا أجسام في الباورميل، كل شيء هنا خطوط وسطوح، وسمات	172
○ الاتجاه الصحيح للسطوح Orient Surfaces	172
○ الأسطح العاطلة Bad Surfaces	172
○ السطوح السياقية	172
○ تغيير شفافية الأسطح Translucency	173
○ رسم الأسطح في الباورميل Creating Planes	173
○ نسخ الأسطح ولصقها Copy and Paste	175
○ تحريك الأسطح وتدويرها Transform	175
الخامة Block	176
○ تعريف الخامة Block Definition	177
○ حدود الخامة Block Limits	178
○ حساب الخامة Calculate the Block، وتمديدها Expansion	179
○ الخامة الحقيقية، وعلاقتها بالمشغولة	180
○ الشفافية Opacity	181
إنشاء جملة الإحداثيات Creating Workplane	181
○ طرق إنشاء جمل الإحداثيات	182
○ في آلة التشغيل جمل الإحداثيات هي G54 وG55 و...	183
○ كيف تضبَط جمل الإحداثيات في آلة التشغيل؟	184
○ إعادة توسيط جمل الإحداثيات مع تغيير الرسومات	186
○ لا يمكن تعديل جمل الإحداثيات المرتبطة ببرامج تشغيل	190
○ ماذا لو تخطى أحد البرامج حدود الآلة؟	190
○ + ما تفعله إن أردت فك المشغولة من الآلة وتثبيتها وإكمال الشغل لاحقًا	190
○ ماذا لو كان السطح الصفري مائلًا؟	191
○ اجعل لكل مسكة في الآلة جملة في الباورميل، حتى لو في نفس مكان غيرها	192

ارتفاعات الأمان Safe Heights	193
○ منطقة الأمان Safe Area	193
○ حساب الارتفاعات Calculate Dimensions	196
○ نقلات الأمان النسبي Skim Moves	198
○ تدوير النقلات السريعة Arc Fit Rapid Moves	198
○ فحص الوصلات Gouge Check	200
نقة البداية ونقطة النهاية Start & End Points	201
○ البداية بدخول تزايدي Incremental Plunge	202
محور أداة القطع Tool Axis	202
اختيار أداة القطع Choosing Tool	202
○ أولوية أدوات القطع بحسب العملية التشغيلية	204
○ رسم أدوات القطع – أدوات تدوير الحواف مثالًا	205
إنشاء حدود التشغيل Creating Boundaries	206
○ Block Boundary	207
○ Rest Boundary	208
○ Selected Surface Boundary	208
○ Boolean Operation Boundary	209
○ User Defined Boundary	209
○ تحديد مسار التشغيل بالخامة	209
○ تقييد مجال الاتجاه Z	210
○ إعادة حساب المسارات يعيد حساب حدودها، ولكن ...	211
○ لا يحفظ المسار ما تختاره من خطوط من الحدود .. فانتبه!	212
○ النسخ، واللصق، وما إلى هنالك ...	212
○ حل مشكلة تقاطع الخطوط ببعضها	212
○ + حل مشكلة عدم قابلية قفل الحدود بسطوح	212
○ وربما تكون المشكلة أنها متضاعفة	213
○ حذف الخطوط غير المحددة Delete Unselected	213
○ سجل تغييرات حدود التشغيل Boundary Editing History	214

إنشاء مسار التشغيل Creating Toolpath	215
○ اختيار الإستراتيجية الأفضل	216
○ سلوك الإستراتيجيات مع الرسمة والخامة والحدود	218
○ الدخول في الخامة Approach	220
○ اتجاه القطع Cut Direction	221
○ اتجاه خطوط المسار	221
○ الخامة المتروكة Thickness	221
○ الخطوة، عمق القطع Stepdown وعرض القطع Stepover	225
○ ارتفاع النتوءات Cusp Height	226
○ إعدادات خطوة برامج الهد في الباص الواحد Offset	227
○ الخطوة اللولبية (أو الحلزونية) Spiral	228
○ التشغيل السريع High Speed	229
○ حذف الأجزاء غير الآمنة Unsafe Segment Removal	229
○ الأعماق المتعددة Multiple Cuts	231
○ المسارات المرجعية Reference Toolpaths	231
○ الأدوات المرجعية Reference Tools	231
○ تفادي التصادمات Gouge Avoidance	232
○ + فحص مسار التشغيل Gouge Check	232
الخامة المتروكة في أسطح بعينها Component Thickness	232
○ الإعدادات الابتدائية Surface Defaults	235
التشغيل المتبقي Rest Machining	235
○ رؤية الكتلة الأسمك من قيمة معينة Detect Material Thicker Than	236
○ تمديد المنطقة التي يراها المسار المتبقي Expand Area By	238
إنشاء الأنماط Creating Patterns	238
محرر المنحنيات Curves Editor	239
○ طبيعة المنحنيات	239
○ جمع الخطوط Collecting Curves	240
○ النقاط Points	240

○ المنحنيات المعقدة Composite Curves	240
○ تقليم الخطوط Limit Segments	241
○ قطع الخطوط Cut Segments	241
○ فصل الخطوط Split Segments	241
○ دمج الخطوط Merge Segments	241
○ وصل الخطوط Join Segments	242
○ التحريك Transform	242
○ الإزاحة Offset	242
○ التحجيم Scale	242
○ إسقاط المنحنيات على الرسومات Drop Curves	244
○ إسقاط المنحنيات على مستوي العمل Flatten Curves	244
○ ترتيب خطوط المنحنيات Reorder Curve Segments	245
الوصلات Connections	247
○ نقلات الأمان Safe Links	247
○ النقلات التزايدية Incremental Links	248
○ النقلات النسبية Skim Links	248
○ نقلات الأقواس Circular Arc Links	249
○ النقلات المباشرة Straight Links	250
○ النقلات الخطوية Stepdown Links	250
○ النقلات المنحنية On Surface Links	251
○ تقييد النقلات بشروط Apply Constraints	251
○ البدايات والنهايات Leads	252
○ البداية الأولى والنهاية الأخيرة Seperate First \ Last Leads	252
○ الإضافات Extensions	253
○ الحركة المائلة Ramp	253
○ الحركة الامتدادية Extended Move	253
○ الحركة المستقيمة Straight Move	254
○ الحركة بقوس Arc Lead	254

○ الحركة نحو مركز التفريز Pocket Center	254
○ تعديل نقلات وبدايات ونهايات بعينها Editing Selected Links and Leads	254
التغذيات والسرعات Feeds & Speeds	255
○ سرعة النقلات السريعة Rapid Feeds	257
○ معاملات سرعات البدايات والنهايات Leads Feed Rates	257
○ تغيير التغذية في حدود التشغيل Update FeedRate Inside Boundary	258
○ تغيير التغذية عند أسطح محددة Update FeedRate On Chosen Surfaces	258
إنشاء الثقوب Hole Feature Sets	259
○ اختيار الثقوب Feature Selection	260
○ تعديل الثقوب Edit Holes	261
○ قفل الثقوب بسطوح Hole Capping	262
○ حفظ الثقوب وتحميلها Export & Import Holes	263
○ إنشاء الثقوب عند إعادة حساب المشروع وتغير اتجاه جملة الإحداثيات	263
عمليات على بعض الكائنات	263
○ إعادة إنشاء الخامة Recreate Block	263
○ تحديد السطوح المرتبط بها الكائن Select Surfaces	264
○ تفعيل جملة إحداثيات الكائن Activate Workplane	264
○ تحريك الكائنات Entity Transform	264
○ حذف الأجزاء المحددة Delete Selected	265
تحريك الكائنات Entity Transform	265
○ النقل Move (والنسخ Copy)	265
○ التدوير Rotate	268
○ التناظر Mirror	268
○ النقل المتعدد Multiple Transform	270
عمليات على المسارات	270
○ تحميل الإعدادات Load Settings	271
○ إعادة الحساب سياقيًا Recalculate the Toolpath over a Specific Region	271
○ ترتيب خطوط المسار Reorder Toolpath Segments	272

○ نقل نقاط البداية Move Stating Points	273
○ قطع المسار Toolpath Limit	273
○ استبدال أداة القطع Replace Tool	276
○ فحص المسارات Toolpath Verification	277
معلومات عن بعض الكائنات	279
○ أبعاد الكائن Properties	279
○ سجل التغييرات History	279
○ الملاحظات Notes & Description	279
زمن عملية التشغيل Statistics	280
○ زمن حساب مسار التشغيل History Cost	281
○ معرفة زمن مجموعة من مسارات التشغيل	281
إنشاء برامج التشغيل Creating NC Programs	281
○ ضبط جملة إحداثيات برنامج التشغيل، G54 أو غيرها...	282
○ كتابة معلومات عن مسار التشغيل في تعليقات برنامج التشغيل	283
○ ضم مسارات التشغيل في برنامج واحد	283
○ إليك ما يحويه برنامج التشغيل من أكواد	284
○ التعديل على برنامج التشغيل يدويًا	289
○ ضم برامج التشغيل في برنامج واحد يدويًا	290
○ تشغيل أكثر من مشغولة في نفس البرنامج (أكثر من جملة إحداثيات)	290
○ الشغل الإنتاجي	291
قطع برامج التشغيل	291
○ قطع البرامج المضمومة بمعرفة المسارات المنتهية	292
○ قطع المسارات بمعرفة رقم السطر (قطع يدوي)	295
○ قطع المسارات بمعرفة أقرب دخول (قطع في الباورميل)	298
○ قطع البرامج المضمومة بمعرفة رقم السطر (قطع وضم يدوي)	300
○ قطع البرامج المضمومة بمعرفة أقرب دخول (قطع وضم في الباورميل)	301
نسخ المشروع بالتناظر Mirror Project	302
بعض ظروف التشغيل التجريبية	302

○ لحساب قيم السرعات بالتناسب مع غيرها	307
الفصل الخامس – أشهر الإستراتيجيات Most Common Strategies	**309**
Face Milling	312
○ تعريف الوجه المراد تسويته Face Definition	313
○ تسوية الوجوه على مراحل Cut Distances	313
○ باص التنعيم	314
○ متى نستخدم هذه الإستراتيجية ومتى نستخدم إستراتيجيات إنهاء الأرضيات؟	315
Area Clearance	315
○ دقة التشغيل Tolerance	316
○ اتجاه القطع Cut Direction	318
○ الخامة المتروكة Thickness	320
○ حذف الأجزاء غير الآمنة Unsafe Segment Removal	320
○ التغذية في نقاط نختارها	323
○ هد المشغولات ذات الخامات المعرفة برسمة (Triangle Block)	323
○ هد المناطق الضيقة	324
○ هد المناطق المفتوحة الأصغر من أنصاف أقطار الأدوات الحوامل	325
Constant Z Finishing	327
○ خطوة التشغيل المثالية التي تجعل هذا البرنامج يحقق العمق المطلوب	328
○ الدقة الضعيفة قد تفسد سلوك البرنامج	330
○ الخامة الإضافية Additional Stock	330
○ الخطوة المتغيرة Calculate Using Cusp	337
○ فصل المشغولات من الخامات	338
○ هد المشغولات بهذه الإستراتيجية	342
○ تشغيل منطقة جدرانها بحواف علوية غير أفقية	343
○ كسر الحواف	345
3D Offset Finishing	345
○ ماذا لو لم يقيَّد المسار بحدود؟	346
○ سلوك المسار مع حدود بسيطة	346

○ تقييد المسار بنمط	348
○ المسار اللولبي Spiral	350
○ المسار الناعم Smoothing	351
○ إضافة خطوط في مركز التشغيل Centerline	352
○ تحديد عدد الباصات Maximum Offsets	352
Optimized Constant Z Finishing	353
Raster Finishing	357
Offset Flat Finishing	358
+ Raster Flat Finishing	358
○ اتجاه المسار Fixed Direction	359
○ تجاهل الثقوب Ignore Holes	359
○ الباص الأخير Final Stepdown	359
Pattern Finishing	359
○ منحني قيادة المسار Drive Curve	360
○ أدنى نقطة Lower Limit	360
○ تفادي التصادمات Gouge Avoidance	361
○ ترتيب خطوط المسار Ordering	361
○ أعلى نقطة Upper Limit	361
○ سلوك المسارات إن كانت خطوط الأنماط خارج الخامة	362
○ المسارات التي تبدأ بمستو وتنتهي بما لا يوازيه	362
○ مسارات نرسم منها الأنماط، ثم نشغل الأنماط بهذه الإستراتيجية	362
○ + رسم النقشات وتشغيلها	362
○ كسر الحواف ثلاثية الأبعاد	365
Wireframe Profile Machining	367
○ اتجاه الخطوط Curve Side	367
○ الخامة المتروكة باعتبار المنحني Curve Thickness	367
Parametric Offset Finishing	367
Parametric Spiral Finishing	369

Profile Finishing	375
Chamfer Milling	376
برامج التشغيل المخفي Undercut Machining	379
○ المبدأ العام في التشغيل المخفي	379
○ التشغيل المخفي باستخدام إستراتيجيات الإسقاط Projection	379
○ التشغيل المخفي باستخدام إستراتيجية Constant Z Finishing	388
○ التشغيل المخفي باستخدام الأنماط Patterns	389
○ تشغيل مجاري T	389
○ تشغيل مجاري V	398
○ ظروف التشغيل المخفي – السرعات والتغذيات والباصات	406
برامج اختبار الشغل Test Programs	407
○ اختبار هل تكفي الخامة المشغولة	407
○ اختبار أمان المثبتات	408
○ اختبار أمان النقلات	408
○ اختبار مساحة عمل الآلة	408
الملحقات	**410**
الملحق أ – أشهر الرسائل التي يرسلها الباورميل	412
الملحق بـ – الأقطار القياسية لثقوب القلاووظات	422
الملحق جـ – رموز تشغيل الحواف	425
الملحق د – التحويل من النظام الستيني إلى النظام المئوي والعكس	426
الملحق هـ – معايير عالمية ذات صلة بموضوع الكتاب	427

مقدمة

باسم الله، وبعد..

فهذا كتاب يتناول علم التصنيع من منحى تطبيقي. يستهدف آلات التشغيل المبرمجة، CNC، الفارزة، ثلاثية المحاور. يفصّل مفاهيم العلم النظرية حينًا، ويوجزها أحيانًا. ثم يستفيض في شرح المفاهيم العملية مما يشيع أن يكون في سوق العمل، بتفصيل عامة ما يحتاجه المهندس –والفني، العامل في هذا المجال– في برنامج الباورميل، برنامج التشغيل الميكانيكي المبرمج CAM. وهو يميل إلى كونه يتناول المهنة أكثر منه إلى كونه يتناول العلم الأكاديمي.

وقد كتبت عامة محتواه تلخيصًا لخبرة اكتسبتها في سوق العمل؛ ما أردت لها أن تضيع من ناحية، ووجدت في جمعها في كتاب فائدة كبيرة ونفعًا كبيرًا من ناحية أخرى، كما وجدت احتكارًا لأسرار المهنة وخباياها عند عامة العاملين فيها من ناحية ثالثة. وقد كانت ترسَل إلي أسئلة كثيرة، بعضها مكرّر وبعضها فريد، أعلم بعضها وأجهل بعضها، فأجيب عما أعلم وأبحث وأسأل عما أجهل، ثم أحتفظ بالأسئلة لعلّي أستفيد منها يومًا. إلى أن تراكم ما احتفظت به فرأيت أن أجمعه في كتاب.

هو موجه للمتعلمين من طلبة كليات الهندسة الميكانيكية، الذين يدرسون علم التشغيل الميكانيكي وما يدور حوله، وموجه للمهندسين والفنيين العاملين في مجال التصنيع باستخدام آلات التشغيل المبرمجة الفارزة ثلاثية المحاور، وبالأخص أهل الباورميل.

فهذا –تلخيص ما وجدته في سوق العمل– أحد أسباب وجود هذا الكتاب. سبب آخر، شخصي ربما: أن يكون دليلًا تعليميًا للمتعلمين والمدرسين، وللمهندسين والمبرمجين والفنيين. كما أردت تقديم إجابات شاملة وتفصيلية لأكثر الأسئلة شيوعًا في مهنتنا، بحيث تراعي السياقات المختلفة التي يمكن أن ترد أسئلتها فيها، وذلك بالإحالة إلى المواضع ذات الصلة بها، والتي تجيب عنها تلك الإجابات، فضلًا عن التشعب في المحتوى في الفقرة الواحدة للتطرق لأكثر من موضوع. كذلك: أردت دعم المكتبة العربية بمادة تطبيقية؛ فالمحتوى العربي فقير بموضوع هذا الكتاب.

ستجدني أرفق المصطلح العربي الذي أعتمده مع المصطلح الإنكليزي في كل مكان تقريبًا، خصوصًا عناوين الفقرات. ليس من باب ما تفعله قنوات اليوتيوب غير الإنكليزية لجذب أكبر عدد من المشاهدين، حتى لو لم يكن المحتوى بالإنكليزية؛ ولكن لأنك قد تعتمد غير المصطلح الذي أعتمده، أو قد لا تعتمد مصطلحًا أصلًا فلا تعرف ما نقصده. أما المصطلح الإنكليزي فمعروف، وكل من ستسأله عنه سيدلك عليه.

وهنا نقطة مهمة: كتبت فقرات الكتاب وفصوله وأبوابه مرتبة موضوعيًا لا بنية تسلسلها بحيث ينبغي على القارئ أن يقرأها بترتيبها وإلا فقد الفائدة منها وإنما بنية هيكلة الكتاب بالدرجة الأولى بحيث تتأسس الأفكار على بعضها تراتبيًا، دون أن يؤثر الترتيب على الفائدة التي يمكن أن يحظى بها القارئ. صحيح أن الكتاب مفيد إن قرأ بترتيبه، ولكنه مفيد أكثر إن اتبع القارئ التوجيهات المنثورة في كثير من الفقرات، والتي توجهه إلى فقرات أخرى، قد تسبق الفقرة التي يقرأها وقد تلحقها، في فصلها أو في غير فصلها. كما أني لا أجد الكتاب كافيًا بحيث يتعلم القارئ منه البرنامج أو المهنة وحده، وإنما لا بد من دورة أو معلم يتابع معهما القارئ دروسًا منظمة، ثم يعتمد على الكتاب ثانيًا، إما مع الدروس أو بعد الانتهاء منها. وإن قرئ بعد قطع شوط في التعلم خصوصًا من العاملين في المهنة فالفائدة أظنها أكبر. وإن قرئ مرارًا فأحسن وأحسن.

وفي النهاية.. هذا العمل جهد فردي، فيه ما هو صحيح وصائب وفيه غير ذلك. ما كان فيه من صواب فمن الله وحده وبتوفيقه وعونه، وما كان فيه من خطأ فمني. فأحمده على ما وفقني وعلى أن استخدمني في ما ينفع الأمة. وعشمي فيك أن توجهني في ما تجده من خطأ، وأن تنصحني في ما تجده من نقص. واعلم أنك مسؤول عن علمك، وعن عملك، وأن الله يحب العبد المؤمن المحترف؛ فاستعن بالله وبيّت النية وابدأ..

م. حسن بن محمد الفحل

ما الذي يجعل المحترف محترفًا؟

لماذا يبهرنا لاعبو الشطرنج المحترفون؟ لأنهم يحفظون كثيرًا من الخطط وكثيرًا من الحالات بحيث يمكنهم الرد على كل موقف يواجهونه، تقريبًا. "تقريبًا" هذه لأنهم أحيانًا لا يحالفهم الحظ فلا يستطيعون الرد الصحيح فيقعون في أزمات نتيجة ردودهم من ناحية، ولأنهم من ناحية أخرى في الواقع لا يواجهون دائمًا مواقف مطابقة لما يحفظوه وإنما مشابهة له، فيبتكرون ردودًا مناسبة غالبًا ما تكون هي الردود الصحيحة التي تحل الأزمة. والحقيقة أن الأمر ينطبق على كل ما يتطلب مهارة وموهبة. مهنتنا هذه تميل إلى المهارة والموهبة أكثر منها للهندسة وحساباتها. وأعني هنا البرمجة (شغل الباورميل) لا التشغيل (شغل الآلة)، وأعني أيضًا المهنة بذاتها (شغل الورش) لا العلم الأكاديمي (علم هندسة التصنيع، أو علم الآلات المبرمجة، أو ما شابه ذلك)، حتى لو أني عنونت الكتاب باسم العلم لا باسم المهنة.

والحفظ هنا ليس حفظ المدارس، وإنما فهم يؤصل لقواعد في العقل، بحيث تتكرر المواقف فيحفظها الواحد لا إراديًا. هذا الكلام يسري على العلوم بالمناسبة، الهندسية وغير الهندسية؛ خبرتك في العلم تشكلها تجاربك فيه، ويزيدها إتقانًا وتثبيتًا مهارتك وموهبتك في العلم.

لهذا، ليس مطلوب منك أن تحفظ، وأنت تقرأ هذا الكتاب ولا غيره. مطلوب منك أن تجد مكانًا تعمل فيه، أثناء الدراسة أو بعد التخرج، بأجر أو بغير أجر، وما وظيفة الكتاب –أو الدورة التعليمية، المقروءة أو المرئية– إلا إيضاح ما يمكن أن يخفى عليك، وتوجيهك لما يجب أن تهتم به وتنميه وأنت تعمل أو تتعلم. وأفضل مكان تبدأ فيه: الورش، لا المصانع. فإن كونت خبرة عملية كبيرة انتقل إلى المصانع والشركات لتعمل بما يناسبك اختصاصك وتحصيلك العلمي.[1]

خطة الكتاب

أعدت هيكلة الكتاب عدة مرات في الحقيقة. وقد كانت الخطط الأولى فيها من الأبواب والفصول ضعف ما هو عليه الكتاب الآن. ليس من حيث المحتوى وإنما من حيث التقسيم. صحيح أن المحتوى الذي كنت أنوي وضعه في الكتاب أكثر مما وضعته فعلًا، لكن ليس لدرجة أن يكون ضعفه. وسأضع في آخر هذه الفقرة موجزًا عن الفصول التي كنت أريد وضعها في الكتاب ولكن لم يسعفني الوقت لذلك، لعلّي أضعها في النسخ القادمة.

يتناول الكتاب محورين، وضعتهما في بابين:

1. آلات التشغيل المبرمجة، وما يدخل فيها من مفاهيم أساسية.

[1] وهنا نقطة مهمة: لا تحرم نفسك من الخبرة فتبدأ مسيرتك العملية بالمصانع والشركات فتعمل عملًا نمطيًا لا تحظى فيه بفرص لتطوير مهارتك، وإنما جل مكسبك من هذه الأماكن: مكانة اجتماعية لا تسمن ولا تغني من جوع، وراتب جيد على المدى القريب، وخبرة عملية في العمل الهندسي والعمل الصناعي، أما خبرة المهنة فضعيفة هنا، فتركيزها أعلى في الورش الصغيرة. في الورش: مطلوب منك عمل بما يناسب خبرتك. في المصانع والشركات: مطلوب منك عمل بما يناسب مسماك الوظيفي، ناسب ذلك خبرتك أم لم يناسبها. بالمقابل: لا تدفن نفسك في الورش بعد أن تمتلك الخبرة (إلا إن كانت ورشتك أو كنت شريكًا فيها)، فإن وجدت تسارع تحصيلك المهني قد انخفض إلى أن يقارب الصفر فابحث عن عمل في مصنع أو شركة.
وهذه نقطة أهم: هذا الكلام موجه لسوق العمل العربي، فقط.

2. الباورميل، من الألف إلى الياء، تقريبًا.

وقسمت المحتوى على فصول، تحوي ما يلي:

1. أساسيات آلات التشغيل المبرمجة.
2. موجز بالمفاهيم الأساسية في التشغيل: أدوات القطع ومسارات التشغيل.
3. تعريف ببرنامج الباورميل.
4. تفصيل أهم مفاهيم الباورميل.
5. تفصيل أشهر إستراتيجيات التشغيل في الباورميل.

ولعلّي في القادم من النسخ –إن شاء الله– أضيف المحتوى التالي:

- تسجيلات الأوامر Macros.
- الإضافات Plugins (PowerMill API).
- المترجم Post Processor.
- تقارير الشغل والمخططات التنفيذية.

ومحتوى هذه الفصول موجود عندي، لكنه غير مكتوب.

وربما أضيف محتوى آخر كالتثبيت وكالمشاريع التطبيقية الخطوة بخطوة وغير ذلك، وأي محتوى يقترحه القرّاء أو يقدمون شيئًا منه.

وقد كانت خطتي الأولى أن يبدأ الكتاب بمحور يتناول التصميم الموجه نحو التصنيع، يسبق المحاور التي تتناول التشغيل، ومنها أضع الفصول المتعلقة بالمشاريع التطبيقية وتقارير الشغل وما إلى ذلك. ولكني رأيت أن أفصله عن الكتاب ليكون كتابًا مستقلًا باسم "هندسة التصنيع 1"، على أن أعمل عليه لاحقًا، إن قُدّر ذلك.

هذا، وقد أردت في البداية وضع قائمة بالمصطلحات العلمية المستخدمة في الكتاب، في آخره. ثم وجدت أن أجمع المصطلحات في كتاب على شكل معجم أو قاموس، يضم مصطلحات هذا الكتاب وغيره.

لاستثمار أفضل للكتاب ...

كتبت معظم فقرات الكتاب في سوق العمل، ومن سوق العمل؛ كنت أجمع كل ملاحظة أراها، إما من شغلي شخصيًا، أو من شغل من أعرف، إن حصل احتكاك بيننا، أو حصل تبادل في الأسئلة أو الخبرات. كما لخصّت عدة مراجع –أغلبها لأوتوديسك، شركة الباورميل– واختصرتها فدعمت بها الفقرات العملية، إما في نفس الفقرات، وإما في فقرات مستقلة.

وقد دعمت عامة الفقرات بما يلزم من صور ومعادلات ومخططات لإيضاحها. ولكن الكتاب ما زال ينقصه الكثير من التوضيح، بمشاريع تطبيقية، وبصور ومخططات تشرح ما لم يُشرح من الفقرات.

وربما يكون هذا في القادم من النسخ من الكتاب. ولهذا فتحت الباب لمن يريد إثراء الكتاب ودعمه. مزيد من التفصيل في الفقرة التالية.

المهم: هذا الكتاب تطبيقي، يصلح لسوق العمل ويصلح للدراسة الأكاديمية. والمواد التعليمية –المقروءة والمرئية– الموجهة لسوق العمل لا بدّ وأن يكون محتواها عملي تطبيقي بالدرجة الأولى، مع تأسيس نظري أو بدونه. تجد هذا النمط من المواد التعليمية في كتب الخطوة بخطوة Step by Step وفي السلاسل التعليمية والدورات Tutorials على اليوتيوب وغيره. قد راعيت جانب التأسيس النظري، وقد حاولت أن يكون المحتوى عمليًا تطبيقيًا قدر الإمكان، ولكنه مع هذا –كونه ليس من نمط كتب الخطوة بخطوة– ما زال فيه محتوى سرديّ إن صح التعبير وقد يبدو حشوًا أحيانًا وإغراقًا لا داعي له، ولكنه في الواقع ليس كذلك. وربما أحد أسباب هذا أن كثيرًا من الملاحظات التي كنت أجمعها كانت لا تصلح إلا في ظروف معينة. وقد حرصت ألا أربط الكتاب بأي ظرف خاص ليصلح لعامة القراء وفي أي ظرف عمل، فأدى هذا إلى وجود فقرات أو أجزاء منها قد لا يفهمها أو يستفيد منها إلا قلة من القراء. لهذا: أرى أن أفضل استثمار في الكتاب يكون إن قرئ بوجود معلم يقدم أمثلة مع كل فكرة، أو قرئ مع تطبيق ما فيه في الباورميل أو غيره من برامج التشغيل المبرمج، أو قرئ –وهذا أضعف الإيمان– وبرنامج التشغيل المبرمج أمام القارئ ينظر فيه في الموضع الذي يتناوله ما يقرأه من الكتاب. أما القراءة المجردة، أو دراسة المدارس، دراسة الحفظ والبصم وما شابه ذلك مما لا يسمن ولا يغني من جوع؛ فلا أظنها تفيد القارئ بل وقد تنفّره من الكتاب أو المادة العلمية أو المهنة.

وبالمناسبة: يتناول الكتاب مهنة موجودة على أرض الواقع، بحيث يغلب على محتواه المادة التقنية. صحيح أني لم أتطرق لأشياء عرفية لا في سوق العمل الذي أنا فيه ولا في أي مكان آخر، وصحيح أني حاولت أن يخرج الكتاب بحيث يكون أقرب إلى المادة العلمية ذات الطابع الأكاديمي منه إلى الدورة التعليمية ذات الطابع التقني؛ ولكنه في النهاية كتب ليس بأسس نظرية تشكل فصوله وأبوابه –كما الكتب الأكاديمية– وإنما بمحتوى يتوافق مع سوق العمل. وربما أقدم وأؤخر وأضيف وألغي في محتوى الكتاب في النسخ القادمة ليكون أفضل علميًا إن شاء الله.

لمن أراد المساهمة ...

إن وجدت الكتاب مفيدًا وأردت المشاركة فيه، إضافةً، أو تعديلًا، أو تصحيحًا، من الناحية العلمية، أو الفنية، أو اللغوية، سواءً أردت المشاركة فعلًا؛ بالكتابة أو بالرسم أو بالبرمجة، أو قولًا؛ بالإشارة إلى موضع الإضافة أو التعديل أو التصحيح؛ مهما كانت مشاركتك كبيرة أو صغيرة، بدءًا من الفصول، ومرورًا بالفقرات والمسائل والرسومات والأكواد، وانتهاءً بالمعادلات والجمل والتعابير العلمية أو النحوية، في هذا العلم وفي غيره مما لي صلة به، إن كان ذلك في كتاب أو تطبيق أو موقع؛ إن أردت ذلك فراسلني –جزيت خيرًا– على إحدى وسائل الاتصال هذه:

- مدونتي [1] على Blogger.

[1] مدونتي على بلوغر
https://eng27-pro.blogspot.com/

- +963 954796627 [1] بالاتصال، أو الواتساب.
- Hasan M. al-Fahl [2] على الفيسبوك.
- Hasan M. al-Fahl [3] على الإنستغرام.
- Hasan M. al-Fahl [4] على اليوتيوب.
- @eng27 [5] على التلغرام.
- @eng27bot [6] على التلغرام.

علمًا أن وسائل الاتصال هذه أو بعضها قد لا تكون متاحة أو صالحة في الوقت الذي وصلك الكتاب فيه؛ تأكد من أن معك آخر نسخة من الكتاب ففيها أحدث وسائل الاتصال (حتى وقت نشر الكتاب).

أما من أراد الاعتماد على الكتاب في عمل خاص به فله ذلك بشروط الترخيص CC BY-NC-ND 4.0 [7].

تنسيق الكتاب

جزأت محتوى الكتاب إلى أبواب، ثم فصول، ثم فقرات، ثم فقرات فرعية. وقد تجد فقرات لا فقرات فرعية فيها. وقد رقّمت الصفحات بحيث يوافق الترقيم النسخة الإلكترونية –الـ pdf– من الكتاب.

وضعت الملاحظات في صندوق من الشكل:

ملاحظة.

[1] رقم الاتصال والواتساب
https://wa.me/963954799627

[2] حساب الفيسبوك
https://www.fb.com/hasan.m.alfahl.eng27

[3] حساب الإنستغرام
https://www.instegram.com/hasan.m.alfahl.eng27

[4] قناتي على اليوتيوب
https://www.youtube.com/@HasanMalFahl

[5] حساب التلغرام
https://t.me/Eng27

[6] بوت التلغرام
https://t.me/Eng27Bot

[7] هذا العمل منشور بموجب الترخيص:
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

والتلميحات والفوائد في صندوق من الشكل:

تلميح أو فائدة.

وتفصيل الرموز في جدول من الشكل:

الرمز	المعنى أو الوظيفة

فإن أردت تفصيل رموز أو معادلات، مثلًا $f(x) = x$:

حيث

x متغير.

$f(x)$ تابع للمتغير.

وبرامج التشغيل في صندوق من الشكل:

```
(G-Code)
```

والأوامر البرمجية:

```
// Powermill macro code
```

الباب الأول

مدخل إلى آلات التشغيل المبرمجة CNC

الفصل الأول – أساسيات Fundamentals

مهنتنا هذه فيها اختصاصات:

1. التصميم، والرسم.
2. البرمجة.
3. التشغيل.
4. التجميع.

كتابنا هذا يتناول البرمجة فقط. قد يتطرق لقضايا تصميمية، وقد يتطرق لقضايا رسومية، وقد يتطرق لقضايا تشغيلية، لكن أغلب ما فيه هو عن البرمجة.

نسمي من يستخدم برامج الرسم CAD الرسام، فإن كان يرسم بأبعاد يختارها من مراجع ومعايير وجداول ومخططات سميناه عندها **المصمم Designer**. وما أكثر الرسامين! نسمي من يستخدم برامج التشغيل CAM **المبرمج Programmer**. ويا سلام لو كنت رسامًا ومبرمجًا، ويا عين لو كنت مصممًا ومبرمجًا. كانت نيتي أول ما بدأت الكتابة أن يكون الكتاب موجهًا للمصممين والمبرمجين، لكني رأيت أن أخص

المبرمجين به، ثم إن قدر الله لاحقًا قد أضع كتابًا للمصممين. نسمي من ينفّذ الشغل على آلة التشغيل **المشغّل Operator**. فإن كنت مبرمجًا ومشغلًا فخير، وإن كنت رسامًا ومبرمجًا ومشغلًا فخير وبركة. ونسمي من يقوم بأمور الآلة من صيانة وضبط وإعداد وإدارة فنية وغيرها من الأمور الفنية **الفني Machinist**.

في هذا الفصل –وما يليه– تعريف وتأسيس لكثير من المفاهيم النظرية التي تحتاجها في مجال التشغيل عمومًا، وآلات التشغيل المبرمج CNC خصوصًا. لك أن تتجاوزها إن أردت، فتنتقل إلى **باب الباورميل**، حيث زبدة الكتاب، ولكني أنصحك بأن تقرأ ما في هذا الباب أولًا، ولو فض عتب.

... لكن قبل أن نبدأ: لماذا الآلات المبرمجة؟ باختصار:

- لضمان الدقة المطلوبة.[1]
- لضمان تكرارية الشغل.
- لضمان الجودة.
- لتقليل وقت التشغيل.

السلامة أولًا Safety First

أسهل طريقة لتؤذي نفسك، أو الآخرين، أو تنتحر، أو تقتل الآخرين، بأفظع طريقة، وأطول ألم ممكن؛ أن تعمل في عمل ميكانيكي، تشغيلًا أو تشكيلًا. هنا: روايش متطايرة. أدوات قطع إن انكسرت طارت كالطلقات النارية. خامات إن لم تثبت بشكل صحيح قذفت في أي اتجاه على مد النظر. أجزاء دوارة إن أمسكت بشيء يلبسه أحد قريب منها سحبته نحوها فإن لم تقتله أصابته بإعاقة دائمة في أحسن الأحوال. مكابس تهشم المعادن فما بالك بالبشر. وتذكر: ما يقطع المعادن أسهل عليه أن يقطع أجساد الناس. وهنا نتحدث فقط من الناحية الميكانيكية، الأمر يتعدى ذلك بمراحل إن نظرنا إليه من ناحية كهربائية، أو من ناحية كيميائية، أو من ناحية حرارية، أو من نواحٍ أخرى كثيرة.

لا تلمس شيئًا لا تعرفه، ولا تشغّل جهازًا لست متدربًا عليه، من قبل مختص؛ أي غلطة قد تشكل الفارق بين الحياة والموت، أو السلامة والإعاقة. وفي مهنتنا هذه: لا تمد رأسك لتعاين المشغولة، قبل أن تتأكد من أن المشغل قد أوقف الآلة!

لهذا كله: **لا عمل أو موعد تسليم أهم من حياتك، أو صحتك، أو حياة أو صحة أحد العاملين تحت إشرافك**.. ارع الله في أمانته فيك وفي الناس...

> انظر **المعيار ISO 45001**؛ هو يحدد ما يتعلق بأنظمة إدارة السلامة والصحة المهنية، لتقليل الحوادث وحماية العمال من المخاطر المهنية. وانظر **المعيار ISO 12100**؛ فيه تفصيل عن تقييم المخاطر وكيفية تقليلها.

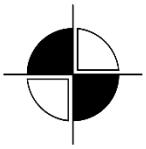
[1] الدقة في التصنيع تعني تحقيق الأبعاد المطلوبة بأقل هامش خطأ بما يضمن جودة المنتج. هامش الخطأ هذا يسمى التسامح Tolerance، ونسميه نحن دقة التشغيل. لضمان ذلك يُعتمَد على معايير مثل **ISO 2768** التي تحدد التفاوتات العامة للأبعاد.

جملة الإحداثيات Coordinating System

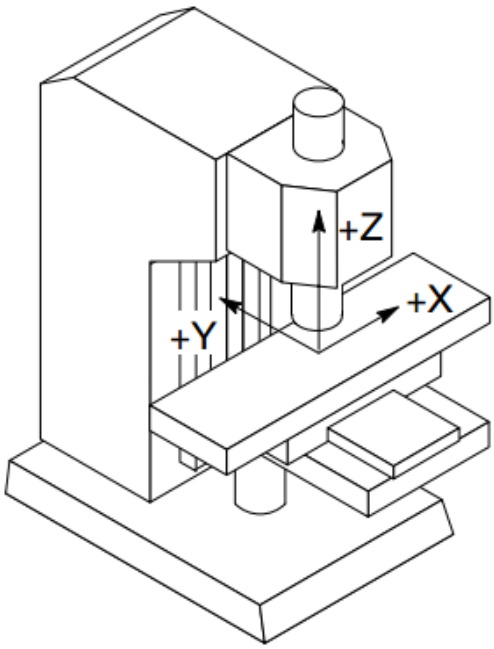
آلات التشغيل المبرمج CNC مبنية على جمل المحاور الديكارتية Cartesian CS، المحاور XYZ، بهذا الترتيب (قاعدة اليد اليمنى)؛ لهذا تجد المستوي XY، والمستوي YZ، والمستوي ZX، حيث تقرأ من اليسار لليمين. وهذا موجود حتى في برامج التصميم CAD وبرامج التشغيل CAM. حتى أن بعض البرامج تلون المحاور بنظام الألوان RGB؛ فتجد المحور x باللون الأحمر، والمحور y باللون الأخضر، والمحور z باللون الأزرق. وستجدني في الكتاب أعتمد هذا الترميز:

المستوي XY　　المستوي YZ　　المستوي ZX

نسمي نقطة تلاقي المحاور الإحداثية، أي النقطة $O(0,0,0)$ الأصل Origin، أو اصطلاحًا الصفر. ونرمز لها بهذا الرمز:



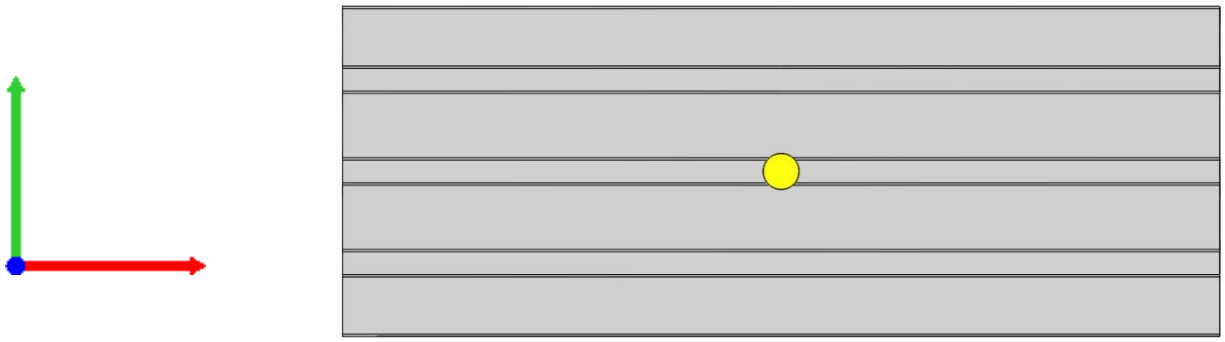
مستوي العمل في الآلات المبرمجة الفارزة ثلاثية المحاور هو المستوي XY. كل التفاصيل لا بد أن تكون مرئية في هذا المستوي، وإلا ما أمكن تشغيلها بالطرق العادية. نسمي ما لا يمكن رؤيته في مستوي العمل التشغيل المخفي Undercut.

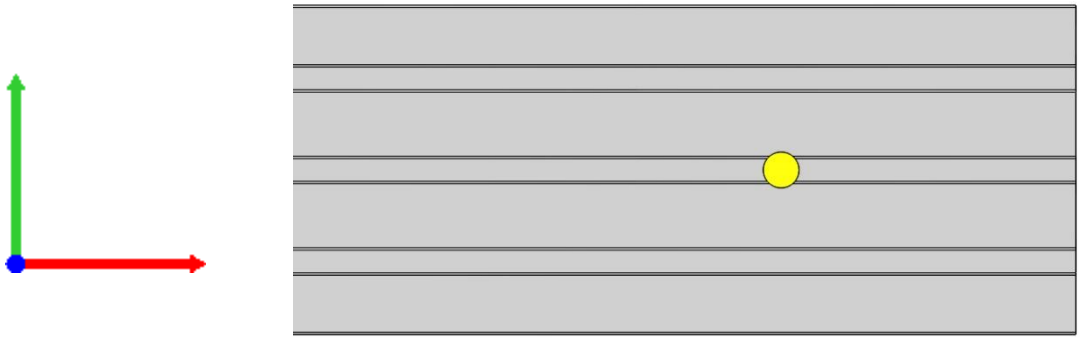


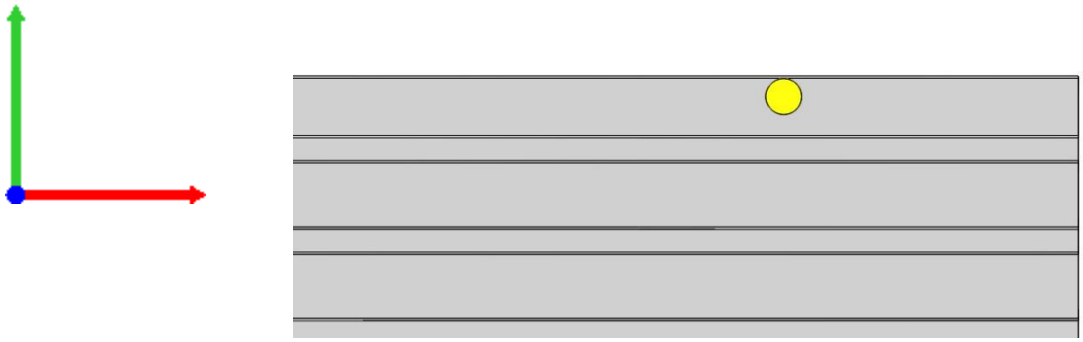
تتحرك الآلات المبرمجة ثلاثية المحاور –موضوع الكتاب– بفعل ثلاثة محركات، أي محرك لكل محور: محركان يحركان فرش الآلة في المستوي XY (لكل محور محرك مستقل عن الآخر)، ومحرك يحرك رأس الآلة في ناظم المستوي. لهذا: رأس الآلة ثابت في مكانه في مستوي العمل، ولا يتحرّك أبدًا. هذا يعني: تحريك رأس الآلة بالاتجاه x+ يعني تحريك الفرش بالاتجاه x-، وتحريك رأس الآلة بالاتجاه y+ يعني تحريك الفرش بالاتجاه y-.[1]

[1] يعرّف **المعيار DIN 66217** اتجاهات جملة المحاور الإحداثية وترتيبها.

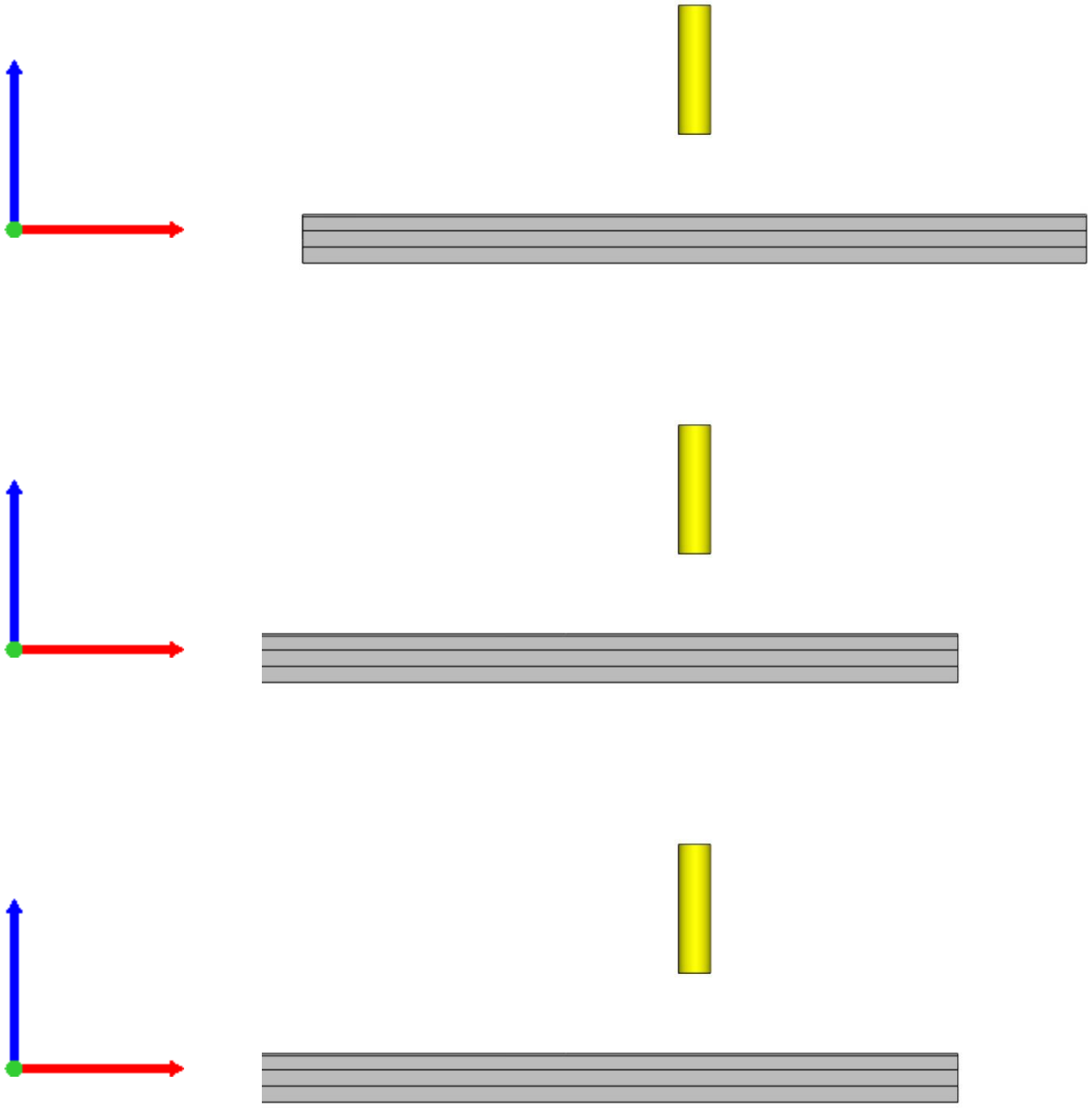
إن كانت أداة القطع في مكان ما، منتصف الفرش مثلًا، وحركتها نحو +x، ثم نحو +y؛ فإنك في الواقع تحرّك الفرش نحو -x، ثم نحو -y، لا الأداة:







وهذا ما ستراه في المستوي ZX لنفس الوضعيات السابقة:



الواحدات Units، والدقة Precision

تقبل الآلات المبرمجة الواحدات بالنظام الدولي (حيث الأطوال مقدرة بالملمتر mm) وبالنظام البريطاني (حيث الأطوال مقدرة بالبوصة inch)، ولا تختلف برامج التشغيل المكتوبة بأي من النظامين عن بعضهما إلا في الأمر الذي يحدد نظام الواحدات؛ إذ تكتب الإحداثيات دون واحدات في برامج التشغيل، وفي بداية البرنامج أمر يحدد نظام الواحدات.

حتى لو رسمت المشغولة بنظام واحدات ما، يمكن برمجتها وتشغيلها بنظام واحدات آخر، إلا في حالة القلوظة.

إليك أعلى دقة يمكن تحقيقها في آلات التشغيل المبرمج CNC بالنسبة لنظام الواحدات:

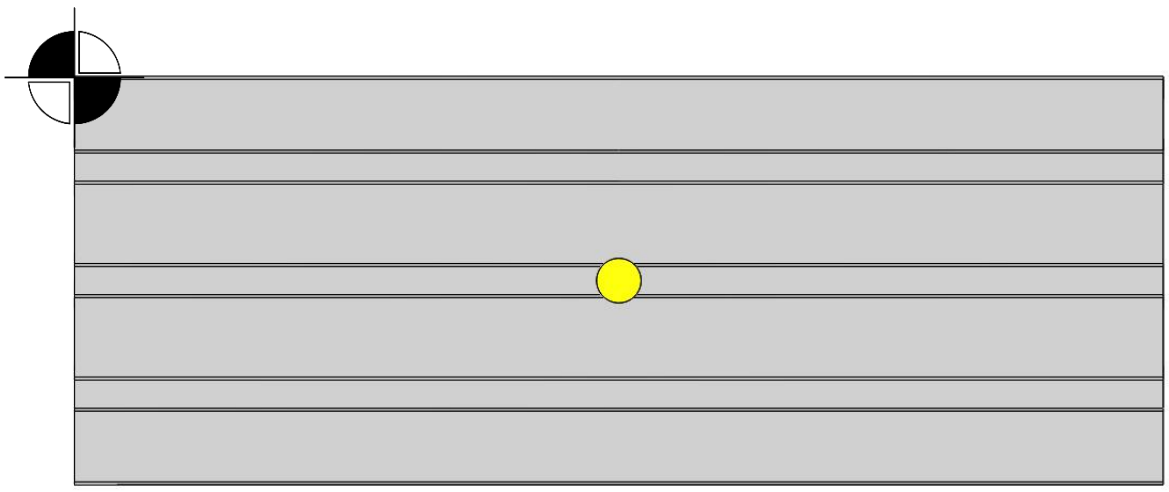
الدقة Precision		
نوع البيانات	النظام الدولي	النظام البريطاني
جمل الإحداثيات	.001 mm	.0001 in
سرعة الدوران	1. rpm	1. rpm
التغذية	1. mm/min	1. in/min
القلوظة	.01 mm/min	.001 in/min

وانظر **المعيار ISO 2768**؛ فهو يحدد ما يجوز تحقيقه من تسامحات Tolerances. ستجد لاحقًا أننا نسمي التسامح دقة التشغيل. دقة الآلة Precision بطبيعة الحال لا بد أن تتجاوز دقة التشغيل (يعني لا بد أن تكون دقة الآلة أعلى من دقة التشغيل).

صفر الآلة Machine Home (World CS)

نسمي النقطة $O(0,0,0)$ في آلة التشغيل صفر الآلة، أو صفر الماكينة. وعندها يكون موقع مركز رأس الماكينة في أعلى نقطة على محور z وفي أبعد نقطة في المستوي XY، أي في النقطة (-x, +y, +z). يمكن أن نقول أن صفر الآلة هو جملة الإحداثيات المطلقة، وكل شيء يقاس بالنسبة إليها في الآلة.

هذا، ويجب ضبط صفر الآلة بعد كل تشغيل أو إعادة تشغيل للآلة، فهي لا تعرف موقعها (لا تعرف الصفر المطلق). عملية الضبط هذه ببساطة تحريك محاور الآلة إلى النقطة (-x, +y, +z). عندها نقول أن الآلة مضبوط صفرها "Homed". بعدها كل شيء يقاس بالنسبة لهذه النقطة.

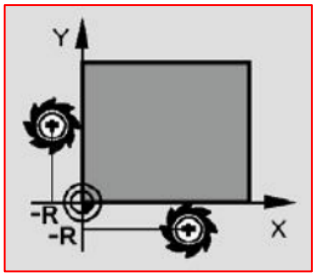


صفر المشغولة Work CS

صفر الآلة كما ترى في أبعد نقطة فيها، وبالتالي التعامل معها صعب، وتخيل الإحداثيات مقارنة بأبعاد المشغولة منها أمر مربك، ومجهد. لهذا فإننا ننشئ جملة إحداثيات لكل مشغولة، نسميها صفر المشغولة، ننسب الشغل إليه، وهو بدوره منسوب لصفر الآلة، جملة الإحداثيات المطلقة.

صفر المشغولة هو نقطة اختيارية يختارها المبرمج، في التصميم، أو الخامة، أو المثبتات. يمكن أن يكون نفسه صفر التصميم (نقطة المبدأ في ملف الرسم)، ويمكن ألا يكون كذلك. المهم أنه نقطة معلومة. نختاره بالاعتبارات التالية:

- أن يكون قابلًا للإيجاد بطرق ميكانيكية؛ عن طريق أدوات استشعار.[1]
- أن يكون مضبوطًا بدقة عالية.
- أن يكون قابلًا للتكرار، بحيث تشغل المشغولة أكثر من مرة منه، سواءً أكانت هي نفسها أو نسخة عنها.
- أن تؤخذ بعين الاعتبار تفاصيل المشغولة إن شغّلت؛ يجب أن لا يتأثر بغياب التفاصيل.



ولا بدّ من أن تكون محاور جمل إحداثيات كل تشغيل موازية لمحاور صفر الآلة.

هذا، وعادة ما يكون أعلى منتصف المشغولة هو صفرها، عرفًا. فإن لم يكن ذلك ممكنًا أو متاحًا كان أفضل مكان هو الزاوية اليسرى السفلية من المشغولة إذا ما نظر إليها من مستوي العمل، أي النقطة (-x, -y).

الشغل Job

نطلق على كل وضعية تشغيل فريدة شغلًا Job. قد تثبَّت المشغولة أكثر من مرة، بحيث تحرَّك عند فكها وتثبيتها مرة أخرى، أو تدار. لكل تثبيت للمشغولة وضعية تشغيل، وعندها عدد الأشغال في المشغولة = عدد وضعيات تشغيلها، أو عدد مرات تثبيتها، أو بالعامية: عدد مسكاتها (يقصد بالمسكات: الوضعيات التي تمسك القطعة بها).

لنقل إن قطعة ما فيها تشغيل من أعلاها ومن أسفلها ومن جانبها مثلًا؛ هذا يعني أن فيها ثلاثة أشغال = فيها ثلاث وضعيات تشغيل = فيها ثلاثة تثبيتات = فيها ثلاث مسكات.

في الحالة العامة نأخذ جمل الإحداثيات بالنسبة للمشغولة، لكن في حالة التشغيل الكمي فإن أخذناها بالنسبة للمثبتات أفضل، كالفك الثابت Fixed Jaw إن ثبتنا المشغولات بملزمة مثلًا، أو ما شابه ذلك.

دقة التشغيل –كما تقدّم– من مرتبة الميكرونات، وبالتالي فأصغر شوائب، كالروايش الصغيرة، وما شابهها، قد تؤدي إلى أخطاء. لهذا يجب الحفاظ على نظافة فرش الآلة والمثبتات عليها في أي شغل، كمي كان أو غير كمي.

[1] يشيع بين المشغلين استخدام أدوات القطع بدل أدوات الاستشعار؛ كونها مرتفعة الثمن، وعرضة لأن تتضرر بأقل ضغط أعلى مما تستحمله. ومع ذلك، الأفضل استخدام المستشعرات؛ كونها تعطي دقة أعلى. وأشهرها: مستشعرات الحواف Edge Finders، ومستشعرات الأجسام Part Probes، والمؤشرات المحورية Coaxial Indecators.

التصفير Offset

يستحيل ربط المثبتات في نفس الموقع في كل مرة على الفرش لنفس المشغولة. لهذا، لا يمكن معرفة موقع صفر المشغولة إلا بعد ربط المثبتات، وتثبيت المشغولة بها. كما أن أطوال أدوات القطع ليست واحدة، ويستحيل ربط نفس الأداة عند فكها من حاملها وإعادت تركيبها فيه بطولها القديم إن كسرت أو تآكلت أو لأي سبب أريد استبدالها من أجله.

> فك الحامل من رأس الآلة دون فك الأداة منه، وإعادة تركيبه فيه، لا يغير من طول الأداة.

لهذا يوجد في آلات التشغيل تعويض لجمل الإحداثيات ولأدوات القطع نسميه **إزاحات أدوات القطع وتثبيت الشغل Machine Tool and Fixture Offsets**، أو اختصارًا: التصفير.

يوجد في الآلات المبرمجة إزاحات عديدة في مستوي العمل XY Offsets (يمكن أن نسميها أصفارًا)، وإزاحات في الارتفاع Z Offsets. ويختلف عددها من آلة لأخرى.

عن طريق **إزاحات مستوي العمل XY Offsets** ننشئ صفر كل مشغولة WCS، في مستوي العمل، دون الحاجة لمعرفة مكانه عند البرمجة. بل إن البرامج تكتب وتنسب إليه وكأنه الصفر المطلق، في حين أنه صفر نسبي، ثم تعتمد الآلة على إزاحته فتعوضها لينسب الشغل إلى صفر الآلة.

وعن طريق **إزاحات الارتفاع Z Offsets** نضبط ارتفاع صفر كل مشغولة WCS، بالنسبة لارتفاع الصفر المطلق. يدخل فيها **إزاحة طول الأداة Tool Length Offset (TLO)**، وهو ارتفاع الأداة، من أدنى نقطة فيها، إلى رأس الآلة.

يمكنك أن تقول باختصار إن هذه الإزاحات هي بعد كل صفر نسبي عن الصفر المطلق.

عندنا ثلاث طرق لضبط إزاحات أطوال الأدوات:

1. بالاعتماد على مستوي الارتفاع الصفري Datum Z، حيث تقاس المسافة من صفر الآلة إلى صفر المشغولة في المحور z، أي أعلى نقطة في المشغولة. وهذه أسهل وأشيع طريقة. مشكلتها أنك تحتاج لعملية مسح سطح Face Milling للمشغولة (تسوية وجوه) حتى تصفّر كل الأدوات على نفس السطح. الأكثر من ذلك: قد يزال السطح الصفري إن لم يعلو المشغولة سطح مستو بعد تشغيلها. عندها لا يمكنك استبدال الأدوات إن كسرت أو تآكلت، فضلًا عن تثبيت المشغولة مرة أخرى بعد فكها.
2. بالاعتماد على سطح معلوم، من خارج المشغولة، كقطعة عيارية مثبتة على الفرش، أو المثبتات، أو الفرش نفسه. وهذه الطريقة أفضل.
3. بالاعتماد على مستشعر أدوات Tool Probe. وهو أداة تثبت على الفرش، كالقطع العيارية، مع فارق أن الآلة تنتقل إليه تلقائيًا وتنزل ببطء حتى تلمسه بأداة القطع. مشكلتها أنها مكلفة جدًّا، ونازيك؛ أي خبطة العمر الك.

نحتاج في الطريقتين الثانية والثالثة المسافة من أعلى القطع العيارية وأعلى المستشعر إلى المستوي الصفري في المشغولة.

يدخل في الطريقة الأولى الاعتماد على أي سطح مستوي من الشغولة مهما كان ارتفاعه وذلك بعد تشغيله وإنهاءه، وتعويض الفرق بين المستوي الصفري وبينه في إزاحة طول الأداة TLO. (مهم)

لغة البرمجة في الآلات المبرمجة G-Code

طور المعهدان IBM وMIT الآلات المبرمجة CNC في خمسينيات القرن الماضي. تعتمد معظمها على لغة وضعتها مؤسسة EIA في الستينيات. الاسم الرسمي لها RS-274D، ولكنها تعرف بـ "G-Code" أو "G&M-Code" لأن معظم ما فيها يبدأ بالحرفين G وM.

قد تختلف بعض الكلمات [1] في بعض الآلات المبرمجة، نظرًا لوجود إمكانيات في بعضها وعدم وجود إمكانيات في بعضها. مثلًا: بعض الآلات المبرمجة مزودة بناقل روايش، فتجدها تقبل كلمات للتحكم به. لذا، مع أن لغة RS-274D معيارية (Standard)، لكنها ليست ثابتة. فإن أردت أن تعلم الكلمات التي تقبلها الآلة لديك فارجع إلى وثائقها التقنية (الـ Documentations) التي تزودها بها الشركات الصانعة.

معظم الآلات تقبل كلمات لا تقل عن مئة كلمة. والكلمات الأكثر شيوعًا حوالي ثلاثين كلمة. ويحسن بك أن تحفظها، لفهم أكبر لبرامج التشغيل، وتحكم أكبر بها.

نسمي كلمات لغة G-Code، بما تحويه من إحداثيات ودورات وأوامر تهيئ الشغل، نسميها برامج الآلات المبرمجة CNC Programs.

في هذه الفقرة تفصيل تقني لما ستجده في برامج التشغيل (ملفات بصيغة Tab أو NC غالبًا).

انظر **المعيار DIN 66025 والمعيار ISO 6983-1** لتفصيل أكبر عن لغة برمجة الآلات المبرمجة. مع الإشارة إلى أن بعض أنظمة التحكم قد توضع على أساس نسخ معدلة من هذه المعايير.

البنية اللغوية لبرامج الآلات المبرمجة G-Code Structure

تكتب البرامج بلغة G-Code باعتبارها تعليمات برمجية Instructions. والتعليمات البرمجية برمجيًا أبسط شكل قد تكتب فيه البرامج. شيء يشبه البرمجة الإجرائية. قائمة من الخطوات التي يتبعها نظام التحكم

[1] الكلمات في الأنظمة البرمجية هي الأوامر أو أجزاءها. في عامة لغات البرمجة الأمر البرمجي هو سطر كامل مكون من كلمة أو أكثر. هنا النظام أبسط، وكل كلمة هي أمر. ويمكن أن يكتب في نفس السطر أكثر من أمر.

لأداء المهمة المطلوبة. وتكتب –وتقرأ كذلك– من اليسار إلى اليمين، ومن الأعلى إلى الأسفل. تكتب كل جملة برمجية في هذه البرامج في سطر مستقل، نسميه بنية Block، وبترتيب معين هكذا:

1. بداية البرنامج
2. تحميل الأداة
3. تشغيل عمود الدوران
4. تشغيل التبريد
5. الانتقال السريع إلى الموقع فوق المشغولة
6. إجراء عملية التشغيل
7. إيقاف التبريد
8. إيقاف عمود الدوران
9. الانتقال إلى موقع الأمان
10. إنهاء البرنامج

التعليمات البرمجية هذه تمثل أبسط شكل يمكن أن يكتب به برنامج تشغيل، بأداة واحدة وعملية تشغيل واحدة. البرامج التي فيها أكثر من أداة تعيد الخطوات من 2 حتى 9. في الفقرات التالية تفصيل لأشهر أوامر G-Code وأشهر أوامر M-Code.

هذا، وتحكم لغة البرمجة في الآلات المبرمجة قواعد، كأي لغة برمجة في الدنيا. مع أن البنية هنا بسيطة وواضحة، لكن فيها تفصيل أحيانًا، ككون بعض الأوامر متعدية Modal Codes؛ لا يجب تكرارها إن لم تتغير على مر السطور (إن كتبت في سطر، فإن جميع الأسطر التي تليها تنفذها، ما لم تكتب مرة أخرى أو يكتب ما يلغيها). أيضًا: بعض الأوامر لها معان مختلفة باختلاف السياق الذي كتبت فيه وباختلاف الطريقة التي كتبت بها. كما لك أن تكتب أكثر من أمر في سطر، ولك أن تفرد كل سطر بأمر.

المثال التالي من **AutoDesk** فيه برنامج بسيط لتشغيل إطار مربع وتثقيب ثقب، مع شيء من التفصيل، بتصرّف بسيط مني:

بداية البرنامج	بدء البرنامج	%
	رقم البرنامج (مع اسمه بتعليق)	O0001 (PROGJECT1)
	وصف أداة القطع للمشغل بتعليق	(T1 0.25 END MILL)
	ضبط إعدادات التشغيل	N1 G17 G20 G40 G49 G80 G90
	اعتماد الصفر G54	N2 G54
تغيير الأداة	تحميل أداة القطع رقم 1 من حامل الأدوات	N3 T1 M6
	ضبط سرعة القطع وتشغيل عمود الدوران	N4 S9200 M3
تهيئة الأداة	تشغيل التبريد	N5 M8
	نقلة سريعة إلى نقطة الدخول الآمنة	N6 G00 X-0.025 Y-0.275
	تعويض ارتفاع الأداة المخزن في TLO #1	N7 G43 Z1. H1
	مع نقلة سريعة إلى مستوي الأمان	

تشغيل الإطار	نقلة سريعة إلى مستوي التغذية	N8 Z0.1
	نقلة خطية إلى عمق القطع	N9 G01 Z-0.1 F18.
	بسرعة تغذية 18 *ipm*	
	تعويض نصف القطر المخزن في TLO #1	N10 G41 Y0.1 D1 F36.
	ونقلة خطية بسرعة 36 *ipm*	
	نقلة خطية	N11 Y2.025
	نقلة خطية	N12 X2.025
	نقلة خطية	N13 Y-0.25
	نقلة خطية	N14 X-0.25
	إلغاء التعويض، ونقلة خطية	N15 G40 X-0.4
	نقلة سريعة إلى مستوي الأمان	N16 G00 Z1.
تغيير الأداة	إيقاف عمود الدوران	N17 M5
	إيقاف التبريد	N18 M9
	وصف أداة القطع للمشغل بتعليق	(T2 0.25 DRILL)
	تحميل أداة القطع رقم 2 من حامل الأدوات	N19 T2 M6
	ضبط سرعة القطع وتشغيل عمود الدوران	N20 S3820 M3
تهيئة الأداة	تشغيل التبريد	N21 M8
	نقلة سريعة إلى نقطة الدخول الآمنة	N22 X1. Y1.
	تعويض ارتفاع الأداة المخزن في TLO #2	N23 G43 Z1. H2
	مع نقلة سريعة إلى مستوي الأمان	
	نقلة سريعة إلى مستوي التغذية	N24 Z0.25
تثقيب ثقب	دورة تثقيب، حتى عمق الثقب	N25 G98 G81 Z-0.325 R0.1 F12.
	بسرعة تغذية 12 *ipm*	
	إلغاء دورة التثقيب	N26 G80
	نقلة سريعة إلى مستوي الأمان	N27 Z1.
نهاية البرنامج	إيقاف عمود الدوران	N28 M5
	إيقاف التبريد	N29 M9
	العودة إلى صفر الآلة (في محور z فقط)	N30 G91 G28 Z0
	العودة إلى صفر الآلة (في المستوي XY)	N31 G91 G28 X0 Y0
	ضبط الإحداثيات المطلقة	N32 G90
	إعادة البرنامج إلى بدايته	N33 M30
	إنهاء البرنامج	%

في القادم من الفقرات تفصيل لكل حرف من حروف البرنامج السابق، وأي برنامج CNC عمومًا.

البرنامج في المثال السابق مكتوب بالواحدات البريطانية، وبالتالي الإحداثيات مكتوبة بواحدة البوصة [$inch$] والتغذيات مكتوبة بواحدة البوصة في الدقيقة [ipm] (نفسها [$in\backslash min$]).

محرر البرامج CNC Editor

برامج الآلات المبرمجة هي ملفات نصية بسيطة مكتوبة بالترميز ASCII؛ يمكن فتحها وعرضها والتعديل عليها بأي محرر نصوص. وأشهر المحررات بين صفوف المبرمجين والمشغلين **CIMCO**. هذا البرنامج لا يقرأها عرضًا فقط بل ويجري محاكاة لعملها، ويعطي معلومات عنها، كنقاط البرامج الحدية (أقصى نقاط تصلها البرامج)، وأوقاتها. وبالمناسبة حساب الزمن في السيمكو أدق من حساب الزمن في الباورميل، وقد يصل الفارق إلى 10% أو أكثر أحيانًا. المزيد من التفصيل تجده في **فقرة زمن عملية التشغيل** في **فصل المفاهيم**.

حروف اللغة Alphabetic Address Codes

كل حرف من حروف اللغة الإنكليزية مستخدم في لغة برمجة الآلات المبرمجة، ونطلق على الحرف Machine Address Code، أو اختصارًا: أمر Code. بعض الحروف قد تستخدم أكثر من مرة، ومعناها يختلف بحسب السياق.

قد تكون الأوامر متعدية Modal، أي أنها تتعدى لغير أسطرها؛ ما يعني أن تأثيرها سيبقى مع مرور الأسطر إلى أن تلغى أو تستبدَل. وقد تكون غير متعدية Non-Modal، أي أنها لا تؤثر إلا على أسطرها.

إليك أشهر الأوامر في الآلات المبرمجة:

الأمر	المعنى
A	دوران حول محور x.
B	دوران حول محور y.
C	دوران حول محور z.
D	عنوان تعويض قطر أداة القطع CDC.
F	معدل التغذية (سرعة التغذية).
G	أمر هندسي (Geometric Code) G-Code.
H	عنوان تصفير طول الأداة TLO.
I	اتجاه مركز القوس في المحور x، ويستخدم في التثقيب.
J	اتجاه مركز القوس في المحور y، ويستخدم في التثقيب.
K	اتجاه مركز القوس في المحور z، ويستخدم في التثقيب.

M	أمر ملحق (Miscellaneous Code) M-Code.
N	رقم البنية (رقم السطر).
O	رقم البرنامج.
P	زمن التأخير.
Q	يستخدم في دورات التثقيب.
R	نصف قطر قوس، ويستخدم في دورات التثقيب.
S	سرعة القطع (سرعة دوران عمود الدوران Spindle)، بواحدة الدورة في الدقيقة.
T	رقم الأداة.
X	إحداثية x.
Y	إحداثية y.
Z	إحداثية z.

وهذا تفصيل هذه الأوامر:

الأوامر A، وB، وC تعرّف حركة دوران المحور الرابع والمحور الخامس في الآلات فوق ثلاثية المحاور.

الأمر D يعوّض قطر الأداة عند تآكلها أو انحرافها، ويلحق برقم صحيح (دون فواصل عشرية)، نفسه رقم الأداة (T1 يقابلها D1). يستخدم دائمًا مع الأوامر G41 وG42، وبنقلة خطية في المستوي XY (لا يستخدم مع الأقواس).

الأمر F يحدد سرعة التغذية.

الأمر G يسمى أمرًا هندسيًّا Geometric Code ويعتبر أمرًا إعداديًّا Preparatory Code، ويلحق برقم صحيح لتحديد معناه. معظم الأوامر الهندسية متعدية؛ تأثيرها يبقى مع مرور الأسطر ما لم تلغى أو تستبدَل. تفصيل بعضها في فقرة تالية.

الأمر H يستدعي مسجل تصفير طول الأداة TLO Register في الآلة، حيث تعتمد عليه بالإضافة إلى قيم إزاحة الارتفاع لمعرفة ارتفاع الأداة بالنسبة للمستوي المرجعي في المشغولة ويلحق برقم صحيح، ولا يلزم أن يكون نفسه رقم الأداة [1]. يستخدم دائمًا مع الأمر G43، والأمر Z.

الأمر I إن استخدم مع الأقواس (الأوامر G2 وG3) فإنه يحدد النقلة في الاتجاه x من بداية القوس وحتى مركزه، وإن استخدم مع بعض دورات التثقيب فإنه يكون وسيطًا اختياريًا.

[1] في الواقع قد نسجل الأداة في أكثر من مسجل، كحالة تشغيل أكثر من مشغولة بارتفاعات مختلفة بنفس البرنامج، كما سنرى لاحقًا.

الأمر J إن استخدم مع الأقواس (الأوامر G2 وG3) فإنه يحدد النقلة في الاتجاه y من بداية القوس وحتى مركزه، وإن استخدم مع بعض دورات التثقيب فإنه يكون وسيطًا اختياريًا.

الأمر K إن استخدم مع الأقواس (الأوامر G2 وG3) فإنه يحدد النقلة في الاتجاه z من بداية القوس وحتى مركزه، وإن استخدم في المستوي G17 فإنه يحدد النقلة التزايدية في الاتجاه z في النقلات الحلزونية، وإن استخدم مع بعض دورات التثقيب فإنه يكون وسيطًا اختياريًا.

الأمر M يسمى أمرًا ملحقًا Miscellaneous Code، ويلحق برقم صحيح لتحديد معناه. وعلى عكس الأوامر الهندسية فإن الأوامر الملحقة لا يجوز وجود أكثر من أمر منها في نفس السطر. تفصيل بعضها في فقرة تالية.

الأمر N يحدد رقم السطر. لا بأس بتكرار نفس الرقم في نفس البرنامج، أو عدم تتالي أرقام الأسطر؛ وظيفة الأمر تسهيل قراءة البرامج للمبرمجين والمشغلين، ولا تأثير لها على الآلة. لا توجد عادةً قبل بداية برامج التشغيل ولا بعد نهايتها (الأوامر %).

الأمر O يحدد رقم برنامج التشغيل، ويلحق برقم صحيح.

الأمر P يحدد زمن التأخير إن وجد.

الأمر Q يحدد مسافة التغذية التزايدية في الخطوة الواحدة، في بعض دورات التثقيب.

الأمر R يحدد نصف قطر الأقواس، ولكن استخدام الأوامر I وJ وK أفضل؛ فهي أكثر تفصيلًا. وقد يستخدم في بعض دورات التثقيب، باعتباره مستوي الأمان.

الأمر S يحدد سرعة الدوران، بواحدة الدورة في الدقيقة. يلحق بعدد صحيح، ويستخدم مع الأوامر M3 أو M4 دائمًا.

الأمر T يحدد الأداة، ويلحق بعدد صحيح.

الأوامر X وY وZ تحدد الإحداثيات، وهي متعددة Modals، كالأمر G؛ تأثيرها يبقى إلى تلغى أو تستبدل.

الإحداثيات بواحدة الميكرون (0.001 مم)، والأصفار بعد الفاصلة لا يجب كتابتها (يمكن كتابتها ويمكن عدم كتابتها)؛ فإن أردت كتابة الإحداثيات بواحدة الملمتر فاكتبه بالصيغة العشرية أو على الأقل ضع فاصلة أمامه حتى دون أصفار (أي اكتب 0.0 أو .0).

وعندنا أيضًا رموز:

الأمر % يحدد بداية برنامج التشغيل ونهايته. ويسمى حرف إعادة الشريط Tape Rewind Character (هذه التسمية من الأيام التي كانت آلات التشغيل تعمل على الأشرطة المثقبة).

الأمر ( ) يجعل ما بينها تعليق، ويكتب للمشغلين، بكلمات حروفها أقصاها 40 حرفًا، وكلها بأحرف كبيرة.

الأمر / يجعل البرنامج يتجاهل ما بعد هذا الأمر، إن فُعّل وضع إمكانية حذف البنى البرمجية في الآلة Block Delete Switch.

الأمر ; يظهر في محرر الأوامر في آلة التشغيل فقط، ولا يظهر عند فتح برامج التشغيل بمحررات النصوص.

أشهر الأوامر الهندسية Most Common G-Code

إليك أهم أوامر G-Code:

الأمر	المعنى
G00	نقلة سريعة. تستخدم لتغيير موضع الأداة في غير حركات القطع.
G01	حركة خطية بسرعة تغذية محددة.
G02	قوس مع عقارب الساعة.
G03	قوس مع عكس عقارب الساعة.
G04	تأخير زمني.
G17	مستوي العمل XY.
G18	مستوي العمل ZX.
G19	مستوي العمل YZ.
G28	العودة إلى موقع صفر الآلة.
G40	إلغاء تعويض قطر الأداة CDC Off.
G41	تعويض قطر الأداة يسارًا CDC Left.
G42	تعويض قطر الأداة يمينًا CDC Right.
G43	تصفير طول الأداة TLO.
G54	صفر المشغولة #1.
G55	صفر المشغولة #2.
G56	صفر المشغولة #3.
G57	صفر المشغولة #4.
G58	صفر المشغولة #5.
G59	صفر المشغولة #6.
G80	إلغاء دورات التثقيب.

G81	دورة تثقيب بسيطة.
G82	دورة تثقيب بسيطة مع تأخير زمني.
G83	دورة تثقيب خطوية.
G84	دورة قلوظة.
G90	وضع الإحداثيات المطلقة.
G91	وضع الإحداثيات التزايدية (النسبية).
G98	عودة دورة التثقيب إلى نقطة البداية (R).
G99	عودة دورة التثقيب إلى نقطة مرجعية (آخر ارتفاع z).

يمكن إهمال الصفر في الأوامر الفردية، أي بكتابة G0، وG1، و... إلخ؛ وذلك في كثير من آلات التشغيل الحديثة.

أشهر الأوامر الملحقة Most Common M-Code

إليك أهم أوامر M-Code:

الأمر	المعنى
M0	إيقاف البرنامج مؤقتًا. للاستئناف، يضغط على زر بدء الدورة في الآلة.
M1	إيقاف البرنامج اختياريًا، ولا يؤثر إلا إن كان خيار الإيقاف الاختياري في الآلة مفعلًا.
M2	نهاية البرنامج.
M3	دوران عمود الدوران مع عقارب الساعة.
M4	دوران عمود الدوران مع عكس عقارب الساعة.
M5	إيقاف عمود الدوران.
M6	تغيير الأداة.
M8	تشغيل التبريد.
M9	إيقاف التبريد.
M30	إنهاء البرنامج. وعند الضغط على بدء الدورة يعاد من أوله.

إنهاء البرنامج **بالأمر M30** يؤدي إلى الخروج من برنامج التشغيل. هذا يعني أن آلة التشغيل لن تصل أبدًا إلى أي أمر يلي هذا الأمر مهما كان.

سترى لاحقًا في **فصل المفاهيم** طريقة ضم البرامج مع بعضها بحيث تكون في ملف واحد، فيشغلها المبرمج مرة واحدة (تعمل على التتالي، بترتيبها في الملف). في هذه الحالة لا بد من عدم وجود **الأمر M30** إلا في نهاية الملف.

النقلات المطلقة Absolute Positioning

إن أردت أن تقرأ الآلة الإحداثيات باعتبار صفر المشغولة أو صفر الآلة فاستخدم **الأمر G90**. وعندها كل إحداثية تكتبها فإنها تقرأ من الصفر. تكتب جميع البرامج في الحالة العامة بشكل مطلق.

النقلات التزايدية (النسبية) Incremental Positioning

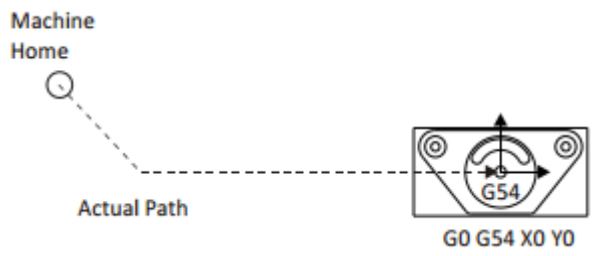
وإن أردت أن تقرأ الآلة الإحداثيات باعتبار موقعها الحالي فاستخدم **الأمر G91**. وعندها كل إحداثية تكتبها فإنها تقرأ من الموقع الحالي. وهو أمر متعد Modal؛ كل الأسطر التي تليه تكتب باعتباره، إلى أن يلغى أو يستبدل. يستخدم عادةً مع البرامج الفرعية Subprograms، ولا تكتب إلا يدويًا (برامج التشغيل المبرمج CAM، مثل الباورميل، لا تكتب برامج فرعية في برامجها).

الحالة الوحيدة الشائعة التي يستخدم فيها هذا الأمر هو مع **أمر العودة إلى صفر الآلة G28**؛ ليحسب الموقع باعتبار الموقع الحالي. ثم بعدها يستخدم وضع النقلات المطلقة مرة أخرى حتى في آخر البرنامج، لدواعي الأمان.

نقلة نسبية من الموقع الحالي –أيًّا كان– إلى	`G91 G28 Z0.`
المستوي الصفري في صفر الآلة	
العودة للنقلات المطلقة	`G90`

الحركة السريعة Rapid Move

يؤدي **الأمر G00** إلى حركة الآلة حركة سريعة. تتحرك الآلة بأقصى سرعتها في الحركة السريعة؛ لهذا فإنها لا تنتقل بخط مستقيم، وإنما يتحرك كل محور بأقصى سرعة إلى أن يصل للإحداثية المطلوبة. وهذا ما سيجعل أحد المحاور يتوقف قبل الآخر، إلا إن كانت المسافة المنقولة في المحورين واحدة. تسمى هذه الحركة "Dogleg". وسببها أن المحاور تتحرك بأقصى سرعة ممكنة، وإلا: كان على المحاور أن تنتقل بسرعات متناسبة مع بعضها لتتوقف معًا. (هل تذكر درس الأشعة؟)



الحركة السريعة سريعة حرفيًا؛ أي غلطة في التصفير إن كان في ارتفاع الأداة أو في صفر المشغولة سيؤدي إلى كارثة، ولن "يلحقها" المشغل؛ لهذا دائمًا ما ينصح بخفض سرعة الحركة السريعة من لوحة التحكم عند بداية تشغيل البرنامج، وحتى أول دخول للأداة في المشغولة.

تعويض قطر الأداة Cutter Diameter Compensation (CDC)

إن أراد المشغل أن يعوض تآكل الأداة أو انحرافها فإنه يدخل قيم التعويض في لوحة التحكم، كما يلي:

# الأداة	التعويض CDC
D1	0.0500
D2	0.0000
D3	0.0000
D4	0.0000
D5	0.0000
D6	0.0000
...	

يتحكم المشغل بقيمة التعويض، بينما يتحكم المبرمج بكيفية التعويض، يسارًا G41 أو يمينًا G42، أو بإلغاء التعويض G40. في حالتنا –وعلى سبيل المثال– عوضنا قطر الأداة بالقيمة 0.05.

تعويض الاهتراء يستخدم فقط في الإطارات Contours، حيث قيمته سالبة دائمًا، إن وجد.

تعويض ارتفاع الأداة (تصفير ارتفاعها) TLO وTLO Register

وكذلك يتحكم المشغل بتعويض ارتفاع الأداة، بإدخال قيم التعويض من لوحة التحكم:

# TLO	التعويض Z
T1	-551.5175
T2	0.0000
T3	0.0000
T4	0.0000
T5	0.0000
T6	0.0000
...	

# TLO Register	التعويض Z
H1	0.0000
H2	-30.0000
H3	-20.0000
H4	0.0000
H6	0.0000
H6	0.0000
...	

في حالتنا –على سبيل المثال– عندنا برامج تعمل بأداة واحدة T1، صفّرنا ارتفاع الأداة فكانت المسافة في الاتجاه z من صفر الآلة لصفر المشغولة 551.5175- مثلًا. ثم سجلنا التعويض الثاني بالقيمة 30-، والتعويض الثالث بالقيمة 20-؛ أزحنا عمقًا الأداة المرتبطة بالتعويض الثاني 30-، والأداة المرتبطة بالتعويض الثالث 20-.

لا يلزم –كما تقدم– أن ترتبط الأداة T1 بالتعويض H1، مع أنها الحالة العامة، لكنها ليست الحالة الوحيدة؛ قد تضم برامج عديدة فيها نفس الأداة (T1 في مثالنا) ولكن أحد البرامج يعمل بالتعويض H1 وغيره يعمل بالتعويض H2 وغيره يعمل بالتعويض H3، ... إلخ.[1]

ولما كانت الأدوات التي يمكن لآلة التشغيل أن تحملها معدودة، ومحدودة بعدد الأدوات التي يمكن لمبدل الأدوات أن يحمله؛ كانت أرقام الأدوات محدودة (الأمر T). أما التعويض فليس محدودًا؛ إذ يمكن أن ترتبط الأداة بأكثر من تعويض أداة (انظر الهامش الأخير نفسه). لهذا: عدد أرقام الأدوات في الآلة نفسه عدد الأدوات التي يستوعبها مبدل الأدوات فيها، بينما عدد تعويضات الارتفاع ليس محدودًا، وعدده يختلف من آلة إلى أخرى بحسب لوحة تحكمها وما فيها من مسجلات TLO Registers.

تصفير المشغولة Work Offset

يتحكم المشغل أيضًا بصفر كل مشغولة:

صفر المشغولة	إزاحة x	إزاحة y	إزاحة z
G54	100.0000	-100.0000	0.0000
G55	150.0000	-100.0000	0.0000
G56	0.0000	0.0000	0.0000
G57	0.0000	0.0000	0.0000
G58	0.0000	0.0000	0.0000
G59	0.0000	0.0000	0.0000

هذه القيم هي إزاحة كل صفر نسبي عن صفر الآلة. في حالتنا –على سبيل المثال– جملتا إحداثيات = مشغولتان؛ لذلك ضبطناهما وصفرنا باقي جمل الإحداثيات لأننا لن نستخدمها. هذه الإزاحات تطبق على كل البرامج المنسوبة إلى جمل إحداثياتها؛ يعني: كل البرامج التي تعمل في جملة الإحداثيات G54 فإنها تأخذ إزاحة x وإزاحة y وإزاحة z منها، وكذلك G55، وكذلك G56، ... إلخ.

وهنا نقطة مهمة: إزاحة z متعلقة بطريقة التصفير، كما تقدم في **فقرة التصفير**:

- قد يكون باعتبار المستوي الصفري (المستوي ذي الارتفاع z=0)، كما في حالتنا هنا،
- وقد يكون باعتبار سطح معلوم، وعندها نكتب فرق الارتفاع من المستوي الصفري إليه،
- وقد يكون باعتبار مستشعر الأدوات، وعندها نكتب فرق الارتفاع أيضًا.

[1] قد تضم –مثلًا– بلاطة بارتفاع 50 مم، وأخرى بارتفاع 20 مم، وأخرى بارتفاع 30 مم، وتشغلها كلها في برنامج واحد يجمع برامج كل البلاطات، وكانت كلها فيها أداة مشتركة أو أكثر، T1 في مثالنا. عندها تصفَّر الأداة المشتركة على أعلى بلاطة بالتعويض التقليدي H1، وقيمته 0، ثم تستخدَم تعويضات لم تستخدم في أدوات أخرى، مثلًا H2 = -30 لتعويض ارتفاع البلاطة الثانية، H3 = -20 لتعويض ارتفاع البلاطة الثالثة، وهكذا. سنتناول هذه الفكرة في **فصل المفاهيم** في **فقرة ضم البرامج**.

إن أردت إزاحة الأدوات إزاحة واحدة في المحور z فعوضها هنا.

الصفر G54 يستخدم عادةً لأول وضعية تشغيل. الأصفار الأخرى تستخدم لتشغيل وضعيات تشغيل أخرى للمشغولة في الإنتاج الكمي، أو لتشغيل مشغولات أخرى في الإنتاج الفردي، وكلها تضبط في برنامج التشغيل يدويًا عادةً، إلا الصفر الأول يضبط تلقائيًا. **فصل المفاهيم** فيه **فقرة ضم البرامج**، فيها تفصيل أكبر.

يمكن ضبط غير G54 في برامج التشغيل المبرمج، ولكنه ليس الشائع. الشائع هو ضبطها يدويًا، هذا إن احتجناها. في الحالة العامة كل أشغالنا بهذا الصفر.

الدورات Canned Cycles

تتصرف الدورات كأنها تسجيلات أوامر Macros، أو إن أردت: كالحلقات Loops في لغات البرمجة؛ حيث يمكن لأمر واحد إحداث أكثر من نقلة فيها، أو يمكن أن نقول أنها أشبه بالتوابع، لكن في الواقع عندنا ما يقابل التوابع وهو البرامج الجزئية. تستخدم لإنشاء الثقوب؛ كونها متكررة النقلات، بتفاصيل حركية ثابتة، كالخطوة، ومستوي الأمان، وزمن التأخير، وغير ذلك.

تأخذ الدورات التفاصيل التالية أو بعضها:

- إحداثيات مركز الثقب في مستوي العمل
- عمق الثقب
- خطوة العودة
- خطوة الثقب
- زمن التأخير
- سرعة التغذية

الأمر G81 ينشئ دورة تثقيب بسيط Simple Drilling Cycle:

```
G00 Z10. G43 H1
G98 G81 X0. Y0. Z-2. R1 F20
```

يسمى التثقب البسيط أيضًا تثقيب بخطوة واحدة Single Peck Drilling.

الأمر G82 ينشئ دورة تثقيب بسيط مع تأخير زمني:

```
G00 Z10. G43 H1
G98 G82 X0. Y0. Z-2. P1 R1 F20
```

التأخير الزمني P (بالثواني) يوقف التغذية في آخر الثقب لإنهاء أفضل.

الأمر G83 ينشئ دورة تثقيب عميق Deep Drilling، ونسميه أيضًا تثقيب بخطوة Peck Drilling (أو تثقيب خطوي)، ويليه نفس البرنامج يدويًا دون دورات:

```
G98 G83 X0. Y0. Z-4. R1 Q0.5 P0 F20
G80
```

```
Z10.0
Z1.0
G01 Z-0.5 F20.
G00 Z1.0
Z0.5
G01 Z-1.5
G00 Z1.0
Z-0.5
G01 Z-2.0
G00 Z1.0
Z-1.0
G01 Z-2.5
G00 Z1.0
Z-1.5
G01 Z-3.0
G00 Z1.0
Z-2.0
G01 Z-3.5
G00 Z1.0
Z-2.5
G01 Z-4.0
G00 Z1.0
```

وكما ترى في البرنامج اليدوي فإن الأداة تثقب الثقب بخطوة Q، تزايدية Incremental، ثم تخرج منه كليًا إلى مستوي العودة R، وهكذا حتى الوصول إلى عمق الثقب. الخروج من الثقب في كل خطوة يكسر الرايش ويخرجه خارجه، ويسمح للتبريد بالوصول إلى داخله؛ مما يقل احتمالية كسر الأداة داخله، ويؤدي إلى إنهاء أفضل.

يوجد من هذه الدورة نسخة أخرى تستخدم الوسطاء I ول K لتقليل الخطوة مع زيادة عمق الثقب.

الأمر G84 ينشئ دورة قلوظة (فتح شرار) Tap Cycle. والقلوظة تكون بسرعة دوران وسرعة تغذية محددتين، في الدخول والخروج من الثقب، مع عكس الدوران عند الخروج. أمر القلوظة نفسه أمر التثقيب البسيط G81.

```
G00 Z10. G43 H1
G98 G84 X0. Y0. Z-2. R1 F20
```

تثقب ثقوب القلاووظات بأقطار قياسية، فصّلناها في الملحقات، وأشرنا معها لأهم المعايير العالمية التي تتناول الموضوع.

هذا، وإن أردت العودة إلى مستوي الأمان عند الانتقال بين الثقوب فاستخدم **الأمر G98**؛ لوجود قوامط أو أي ارتفاعات في طريق الأداة. فإن لم يكن في طريق الأداة ما يعيقها، أي كان الانتقال بمستوي الدخول (الذي يحدده الوسيط R) متاحًا؛ إن أردت ذلك فاستخدم **الأمر G99**.

نقطة أخيرة مهمة: أوامر التثقيب متعدية؛ كل إحداثية أو أكثر تكتبها بعدها ينشأ فيها ثقب. لهذا عليك إلغاء التثقيب دائمًا (الأمر G80)؛ هذا السبب الذي تجد فيه الأمر G80 في بداية كل برنامج تشغيل.

الفصل الثاني – العملية التشغيلية حاسوبيًا

تمثل الأقلامَ والسكاكين وسائر أدوات القطع في التشغيل المبرمج أدواتٌ رسومية لها شكل ومقطع ما يمثلها. أما العملية التشغيلية فنمثلها بمسار مركز أداة القطع. في هذا الفصل تعريف موجز بأدوات القطع ومسارات التشغيل. إن أردت تعريفًا مفصّلًا للأدوات فانظر **المعيار ISO 1641 والمعيار ISO 11529**، وإن أردت ذلك لعمليات التفريز فانظر **المعيار ISO 8688**.

ستجدني أعيد مفاهيم هذا الفصل في الفصول التالية بإيجاز أحيانًا وبتفصيل أحيانًا أخرى. لا بأس إن لم تهضم ما ستقرأه هنا، فكله سيعاد بتفصيل عملي، ولكن يفضّل أن تقرأه على كل حال. ويحسن بك أن تعود إلى هنا بين الحين والآخر لربط الكلام النظري بالكلام العملي، وتثبيته.

والكلام هنا عام؛ غير موجه نحو برنامج تشغيل مبرمج بعينه، ويناسب كل من يعمل في مجال التشغيل بالآلات الفارزة ثلاثية المحاور.

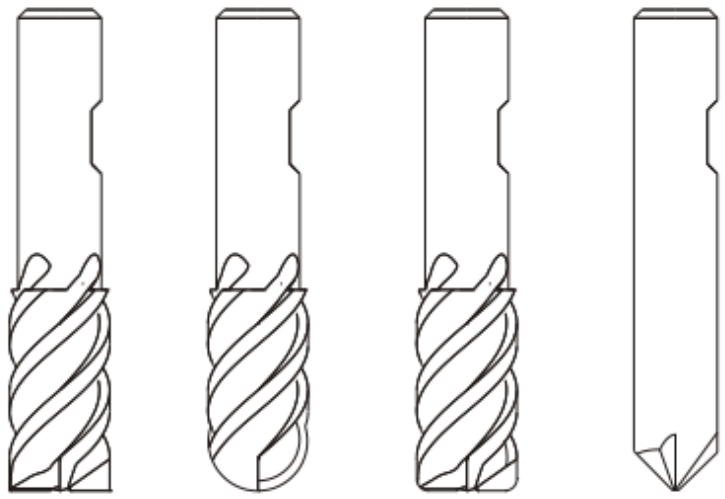
أدوات القطع CNC Tools

كثيرة هي أدوات القطع المستخدمة في آلات التشغيل المبرمجة؛ وذلك لكثرة أنواع عمليات التشغيل، واختلاف طبيعة التفاصيل المشغلة. وكوننا ندرس الآلات المبرمجة الفارزة، ثلاثية المحاور، فإن الأدوات التي سنتناولها هي أدوات تفريز وأدوات بعض ما يمكن تشغيله على آلاتنا بغير التفريز. ولن نستطيع جمعها كلها في هذا الكتاب بطبيعة الحال، وإنما سنسرد أهمها.

إليك أشهر أدوات القطع التي قد تقابلها يومًا:

- أدوات التفريز التقليدية End Mills، وهي بحسب حدودها القاطعة قد تكون:
  - مستوية Flat
  - كروية Ball
  - بأنصاف أقطار Bull
  - مشطوفة Chamfer
- أدوات التفريز الجبهية Face Mills، وتعرف بالأدوات الحوامل Holder Cutters ذوات اللقم
- أدوات تشغيل الزوايا ذوات الأنصاف أقطار Corner Radius Tools
- أدوات التشغيل المخفي Undercut Tools
- أدوات التثقيب Drills

قد تسمع التسمية: سكاكين، والتسمية: أقلام، والتسمية: ريَش، والتسمية: بنط، وقد تسمع بعض هذه التسميات مع أنواع بعينها من أدوات القطع، وذلك بحسب سوق العمل الذي أنت فيه.

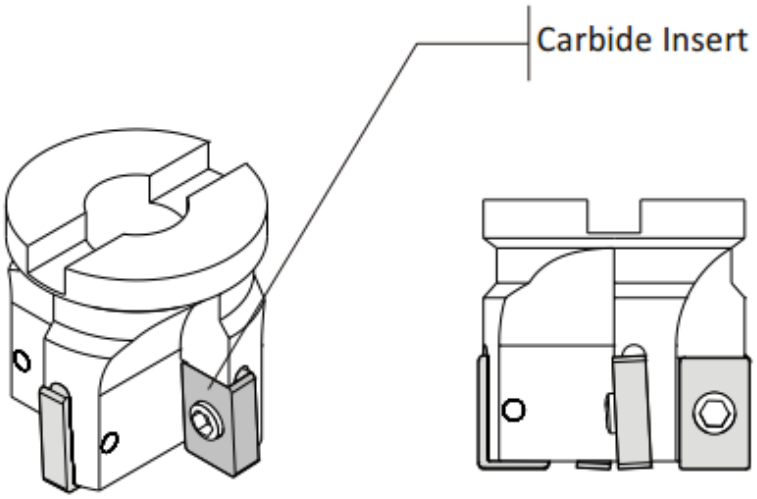


نختار أدوات القطع في الحالة العامة بحسب ما نريد تشغيله. أكثر الأدوات استخدامًا أدوات التفريز Milling Tools، كون نطاق بحثنا التفريز Milling. الأدوات المستوية Flat Nose مناسبة للتفاصيل ثنائية الأبعاد (في الواقع نسميها ثنائية الأبعاد ونصف 2.5D، تفصيل هذا قادم)، إن كانت مقاطع

Contours أو تجاويف Pockets. الأدوات الكروية Ball Nose مناسبة للتفاصيل ثلاثية الأبعاد. الأدوات ذوات الحواف بأنصاف أقطار Bull Nose مناسبة للتفاصيل التي فيها درجة ميلان، وإن كان في أسفل الجدران دوران، وهي أثبت من الأدوات المستوية. تستخدم الأدوات المشطوفة Chamfer Mills إن كان في التصميم شطف (كسر للزوايا الأفقية).

نسمي الجزء الملولب في أداة القطع الحد القاطع Cutting Length، ونسميه أيضًا السلاح، وباقي الأداة جسمها Shank. وقد تسمعهم يسمون الجسم: الممسك؛ كون الأداة تمسك منه.

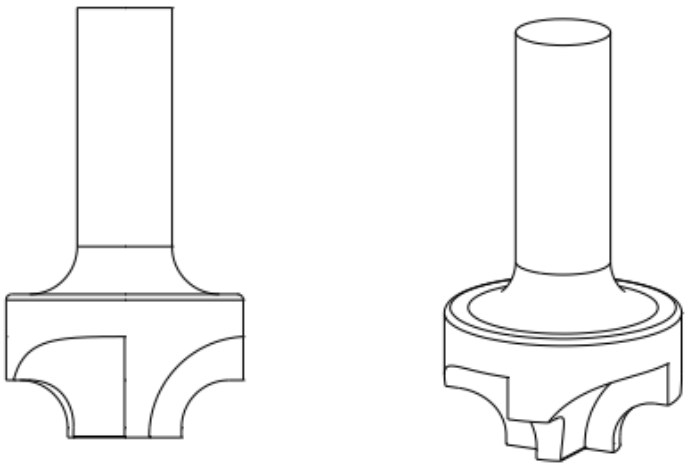
تناسب الأدوات الحوامل Holder Cutters المرحلة الأولى من عملية التشغيل، والتي نسميها عملية الهد. الحد القاطع فيها لقم Inserts تربط فيها ببراغي. قد تسمع في سوق العمل التسمية: الألماسات، أو تسمع التسمية: الفصوص. أما الأداة الحامل فقد تسمعها باسم: الطاحونة، أو باسم: الشِل.



ولا يجوز أن تحدث عملية التشغيل بغير الحد القاطع، لا في أدوات التفريز التقليدية، ولا في الأدوات الحوامل، ولا في غيرها. (مهم)

تستخدم أدوات تشغيل الزوايا المدورة Corner Radius (وتسمى أيضًا Corner Round) إن كان في المشغولة زوايا أفقية بأنصاف أقطار معلومة. لا بدّ هنا من أن تكون الأداة بدوران نفسه دوران الزوايا.

وإن كان في المشغولة تشغيل مخفي استخدمنا أدوات التشغيل المخفي Undercut Tools.



وإن كان في المشغولة ثقوب استخدمنا أدوات التثقيب Drills. وتسمى أيضًا: بنط (ج. بنطة)، وهي أنواع:

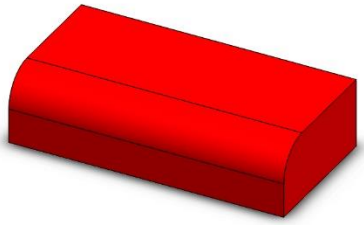
- أدوات التثقيب الملتوية Twisted Drills
- أدوات المراكز (وتسمى أيضًا السناتر) Center Drills
- أدوات القلوظة (وتسمى أدوات فتح الشرار) Taps
- أدوات توسيع الثقوب Reamers، والتي تسمى أيضًا: أليزوارات (ج. أليزوار)

تكافئ عملية توسيع الثقوب في التثقيب عملية الإنهاء في التفريز. وهي مثلها تحتاج أبعادًا معينة للثقوب، وسرعات وتغذيات معينة، وإلا ما أدت إلى القطر المطلوب منها. في الفقرات القادمة جداول من **AutoDesk** تستخدم إن لم يكن عندك جداول من شركات الأدوات التي تستخدمها، ولا كان عندك سابق تجارب تعتمد عليها.

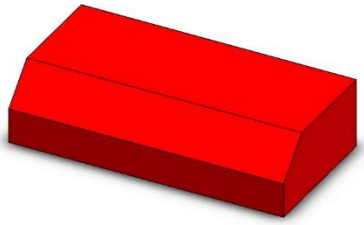
تمسك عامة أدوات القطع بجلب Collets (ج. جلبة)، والتي تركّب في حوامل الأدوات Tool Holders، وبدورها حوامل الأدوات تركب وتمسك في رأس الآلة.

بعض أدوات القطع هي حوامل بطبيعتها، وتأتي بأقطار كبيرة عادةً. قد تأتي بأقطار متوسطة (بقطر 10 مم مثلًا) ولكنها ليست شائعة. وبما أنها حوامل فإن اسمها أدوات قطع حاملة Cutter Holder.

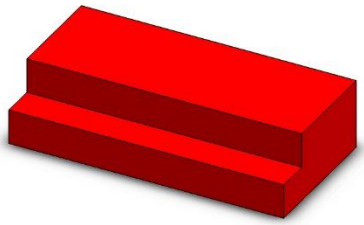
إليك بعض عمليات التفريز البسيطة، والتي يمكن أن تجرى بإحدى أدوات القطع المذكورة في هذه الفقرة:



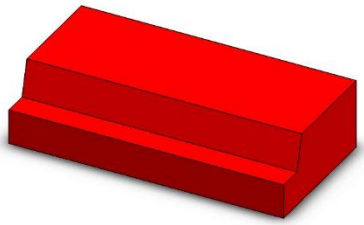
دوران للحواف الأفقية



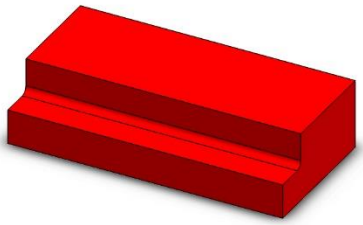
كسر للحواف الأفقية



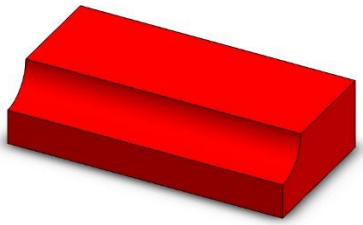
تفريز



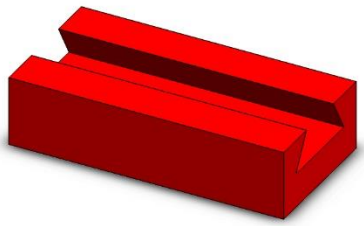
تفريز مائل الجدران



تفريز في أرضيته دوران للحواف



تفريز بمقطع منحني

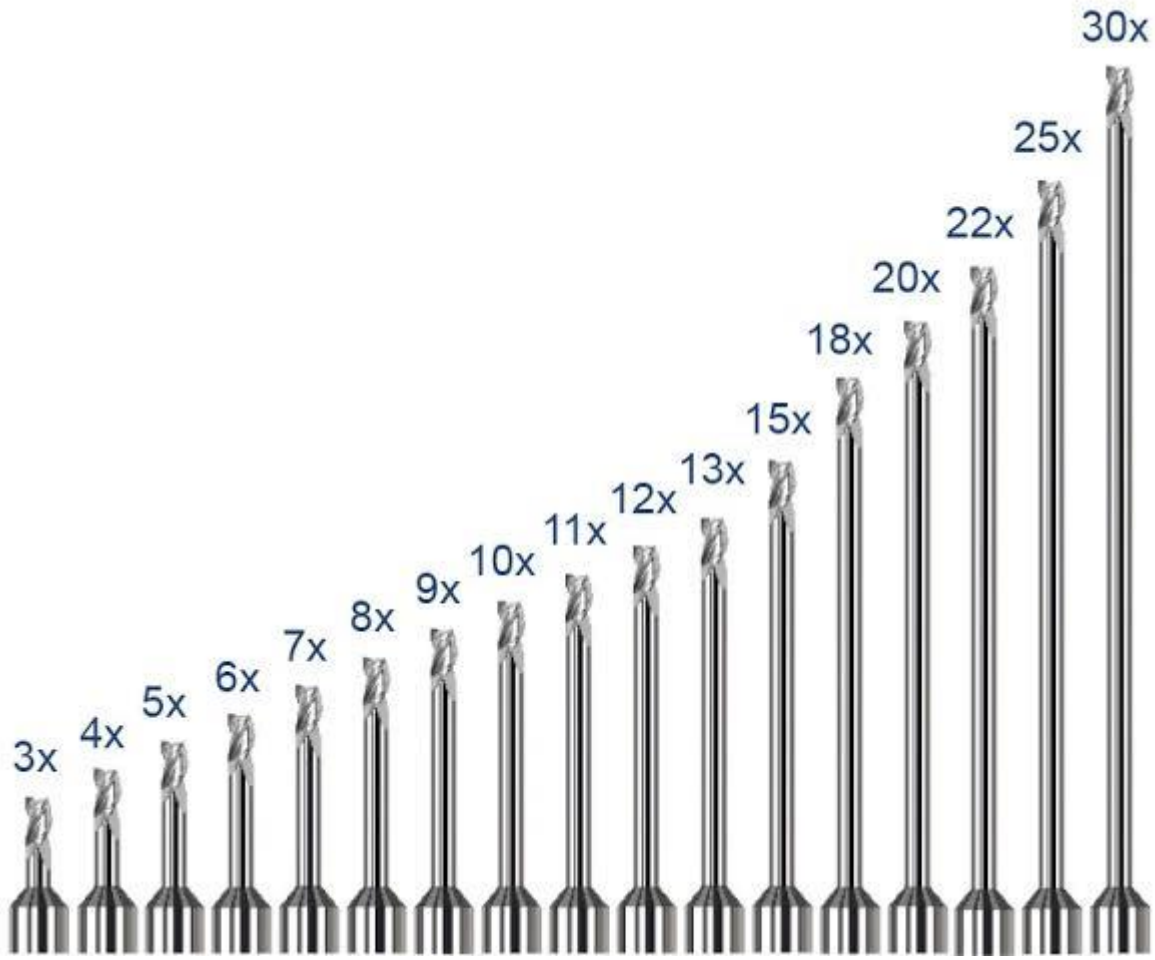


تشغيل مخفي

اعتبارات في اختيار أدوات القطع

أهم اعتبارين في اختيار أداة القطع: نوعها (ما سبق هذه الفقرة)، وقطرها.

لطول الأدوات اعتبار؛ فبعضها قصير، وبعضها قياسي، وبعضها طويل، وبعضها طويل جدًا، وبعضها أكثر من ذلك. الأدوات الطويلة مفيدة لتشغيل التفاصيل العميقة، لكنها بالمقابل ضعيفة؛ فالعزم المؤثر حول نقطة مسكها بحاملها كبير نسبيًا بالنسبة للأداة، مقارنة بالعزم المؤثر على نفس الأدوات إن كانت أقصر.



لا نتحدث هنا عن اختلاف أطوال الأدوات المختلفة، وإنما عن نفس الأداة، بنفس القطر، بنفس التفاصيل كلها، باختلاف طولها، كما في الصورة المجاورة.

وقد يختلف طول السلاح، وقد يختلف طول جسم الأداة، وقد يختلف طولا السلاح والجسم. في الصورة السابقة طول سلاح الأداة ثابت، وجسمها متغير الطول، وهو بأكثر من مقطع.

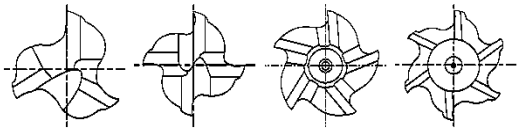
وكما ترى فإن بعض الأدوات قطر جسمها أكبر من قطر حدها القاطع، خصوصًا ما صغر منها، وهذا ما سيعيق كثيرًا من شغلك. (مهم)

وقد تجد الأدوات صغيرة القطر بنفس قطر جسمها، ولكنها أضعف من تلك المختلفة عن قطر جسمها.

وتأتي الأدوات أيضًا بعدد ريش معين Number of Flutes. نقصد بالريشة: الحد القاطع Cutting Edge، السن الملولب من أسنان أداة القطع. معظم أدوات القطع تأتي بأربع ريش أو بريشتين، وقد تأتي بغير ذلك، لكن هذه هي الأشهر. فضلًا عن عدد الريش، تختلف الأدوات عن بعضها بزوايا الريش. وهنا إليك كيف تختار عدد الريش:

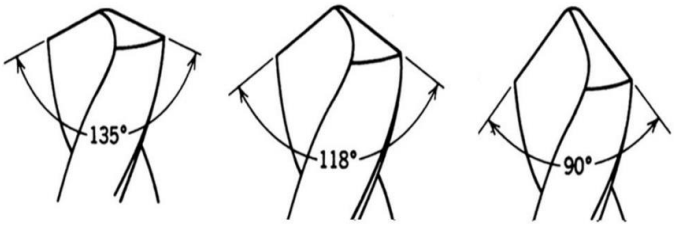
- ريش أقل = مساحة أكبر للرايش (كمية أكبر من المشغولة مزالة)؛ وهذا يكون في المواد قليلة القساوة، كالألمنيوم، والمعادن غير الحديدية.
- ريش أكثر = قوة تحمل وثباتية أكبر لأداة القطع؛ وهذا يكون للمواد القاسية، كالمعادن الحديدية. كما أنها تعطي أسطحًا أنعم.

معيار آخر متعلق بالريش وهو أن تكون مركزية القطع Center-Cutting كالصورة الأخيرة، أو أن تكون لا مركزية القطع Non-Center-Cutting:



وكذلك يختلف اتجاه تغذية الأداة، فمنها ما هو جانبي Literal، ومنها ما هو مائل Ramp، ومنها ما هو محوري Axial (ويسمى Plunge). عامة الأدوات تتحمل التغذية الجانبية، ولا تتحمل التغذية بالاتجاهات الأخرى؛ لهذا نجعل سرعة الدخول Plunge Feed أقل ما يمكن في عامة الأدوات. تتحمل الأدوات الحوامل التغذية الجانبية والتغذية المائلة. لا تتحمل أدوات التثقيب وما بحكمها إلا التغذية المحورية.

كما أن الأداة إن كانت مشطوفة (كأدوات التثقيب، وأدوات الشطف Chamfer) فإنها قد تكون مشطوفة بزاوية 60° أو 90° أو 120°، أو غير ذلك كما في الصورة التالية.



وعند الحديث عن المواد المشغلة فإن لأدوات القطع تصنيف قياسي:

التصنيف	المواد
P	فولاذ، وخلائط الفولاذ
M	الفولاذ المقاوم للصدأ (الستانلس ستيل)
K	حديد الصب
N	الألمنيوم، والمعادن غير الحديدية
S	خلائط التيتانيوم
H	الفولاذ المقسى

لا تستخدم أبدًا نفس الأداة في المعادن وفي البلاستيك، وإنما خصّص لكل منها أداة. أدوات HSS أفضل للبلاستيك، وأدوات الكربيد أفضل للمعادن.

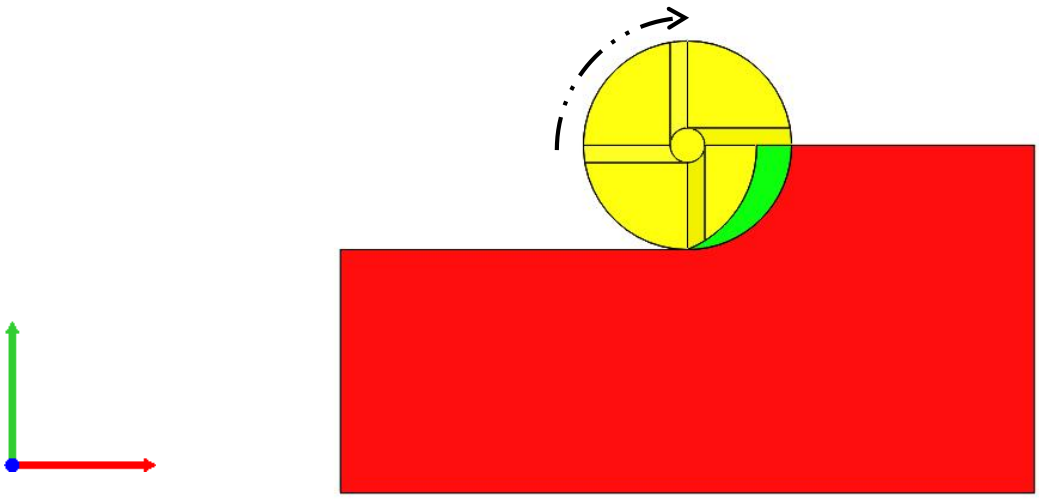
اتجاه الدوران Rotation Direction

كل أنواع أدوات القطع (إلا أدوات القلوظة اليسارية Left-Handed Taps) تدور باتجاه عقارب الساعة، إذا ما نُظر إليها من مستوي العمل، المستوي XY. أي بلغة الجي كود: M3.

الرايش Chip

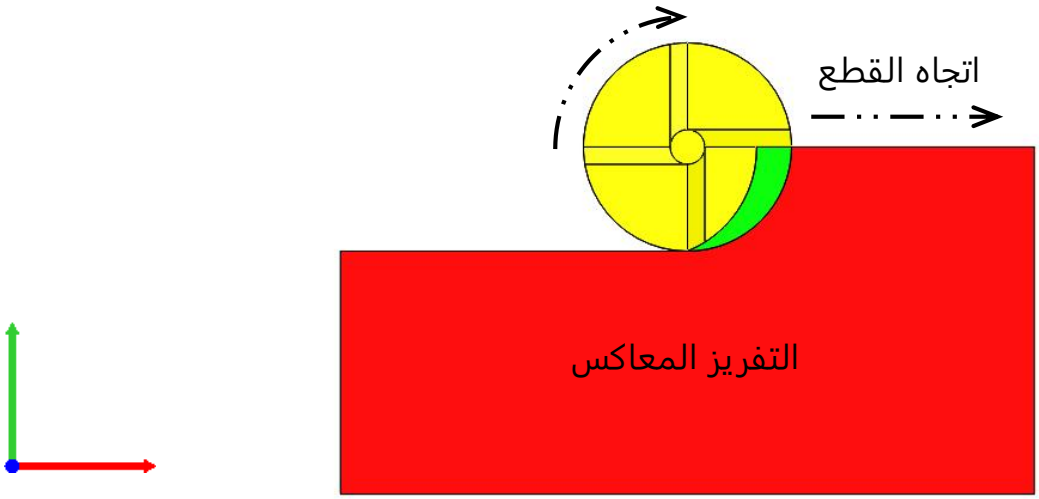
عندما تتحرك الأداة في المشغولة فإنها تؤدي إلى نزع أجزاء منها بعملية قص Shearing. سماكة المادة المنزوعة بكل ريشة من الأداة في الدقيقة الواحدة تسمى التغذية لكل ريشة Feed per tooth، أو حمل الرايش Chip Load.

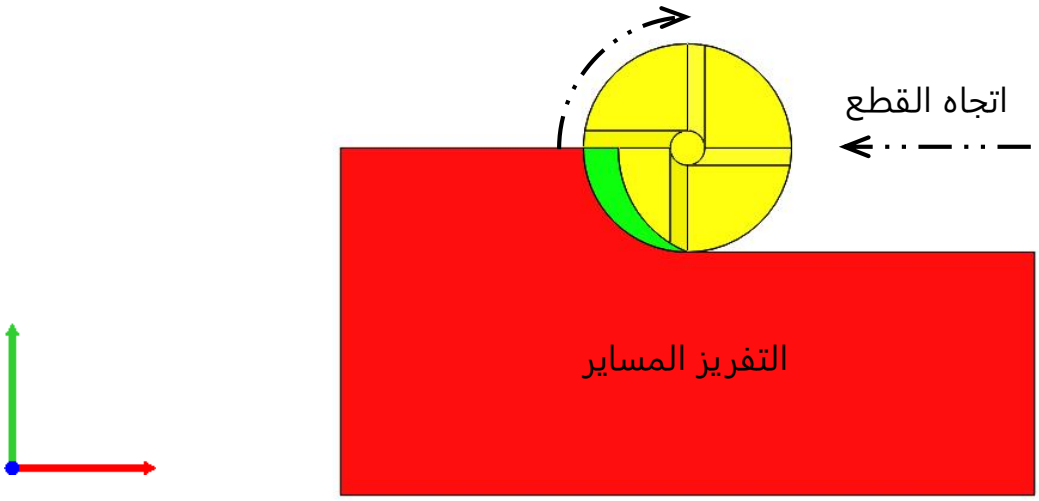
في الشكل التالي حمل الرايش هو أكبر عرض في الخامة المنزوعة (المنطقة الخضراء):



اتجاه القطع Cut Direction

إن تحركت أداة القطع في المشغولة بحيث تنزع منها الرايش بسماكة أعظمية فيتناقص حتى سماكة صفرية، قلنا أن التفريز معاكس Climb Milling. وإن تحركت بالعكس، بحيث تبدأ العملية بسماكة صفرية فتتزايد حتى سماكة أعظمية؛ قلنا أن التفريز مساير Conventional Milling.





لاحظ حمل الرايش كيف يكون أكبر ما يمكن عند ملامسة الأداة للمشغولة وأصغر ما يمكن عند خروجها منها في التفريز المعاكس، والعكس في التفريز المساير.

ينصح باستخدام التفريز المعاكس ما أمكن. (مهم)

سرعات التغذية والدوران Cutting Speeds and Feeds

تتحرك أداة القطع في عملية التشغيل بسرعة دوران Cutting Speed [rpm]، وبسرعة تغذية Feed Rate [mm/min]. في تحديد هاتين السرعتين صعوبة في آلات التشغيل المبرمجة مقارنة مع آلات التشغيل اليدوية؛ حيث يشعر المشغّل فيها بضغط القطع فيضبط السرعتين على ضوء ما يراه من قوة قطع.

قد تعطي بعض شركات أدوات القطع جداول تحدد سرعات التغذية والدوران، وعندها نضبط عملياتنا التشغيلية عليها. وقد لا تتوفر بين أيدينا جداول تحددها، إن كنا نتعامل مع أدوات رخيصة، عندها نعتمد على تجاربنا السابقة، وخبراتنا وخبرات من معنا في مكان العمل لتحديدها. ولكن في كل الأحوال نعتبر ما ضبطناه من قيم قيمًا أولية، ونتابع ظروف التشغيل وننظر هل هي مناسبة فنحافظ عليها أو ليست كذلك فنعدلها. ومما نعتمد عليه في ضبط السرعات في مكان العمل:

- المشغولة (نوع خامتها وقساوتها)
- أداة القطع (خامتها، وقساوتها، وقطرها)
- الرايش (شكله، وحجمه، ولونه، ... إلخ)
- عمق القطع
- نعومة السطوح المشغلة

- صوت عملية التشغيل

بعض برامج التشغيل CAM أيضًا تعطي قيمًا لهذه السرعات ولظروف التشغيل عمومًا. بعض المراجع كذلك. وقد أوردت جداول للاستئناس اعتمد عليها إن لم يكن عندك ما تعتمد عليه. ستجد جداول في هذه الفقرة، وفي آخر **فصل مفاهيم الباورميل**. واعلم أنها قيم وسطية، وهي قيم ابتدائية أصلًا؛ أي أنك في التشغيل في الواقع سترى أهي مناسبة أم لا، فترفعها أو تخفضها على ضوء ما تجده من ظروف في التشغيل.

أمر آخر: في الآلة مفتاح يسمى معدّل السرعة Feed Override، يمكن للمشغل أن يعدل من خلاله السرعة، بنسبة من القيم البرمجية. أي أن المشغل يتعامل أصلًا مع سرعات البرامج على أنها سرعات ابتدائية، يجربها في البداية على 100%، فإن وجد أنها غير مناسبة عدّلها زيادة أو نقصانًا حتى يراها مناسبة. ولكن التعديل هنا محدود، فلا يستطيع أن يبتعد كثيرًا عن القيم البرمجية.

هذا، وإن كانت الأدوات طويلة فإننا نخفض سرعاتها، وخطواتها؛ فهي أضعف.

نعرّف سرعة القطع بأنها معدل ما تقطعه أداة القطع من المشغولة في البوصة الواحدة من محيطها في الدقيقة الواحدة، ونسميها السرعة السطحية Surface Speed. أي:

$$SFM = n \cdot C$$

فإن أردت معرفة سرعة الدوران منها:

$$n = \frac{SFM}{C} = \frac{SFM \cdot \left(304.8 \left[\frac{mm}{ft}\right]\right)}{\pi \cdot D_c} = \frac{97\ SFM}{D_c}$$

أما التغذية فهي مقدار ما ينزع من رايش لكل ريشة في الدقيقة. أي:

$$v_F = n \cdot CL \cdot z$$

سرعة تغذية أدوات التثقيب لا تتعلق بعدد ريشها. وبالتالي:

$$v_F = n \cdot CL$$

وكذلك سرعة تغذية أدوات القلوظة مختلفة، ومتعلقة بعدد الأسنان في البوصة الواحدة:

$$v_F = \frac{n}{TPI}$$

حيث:

SFM	السرعة السطحية لكل قدم في الدقيقة Surface Feet per Minute $[ft/min]$
v_F	سرعة التغذية $[mm/min]$
n	سرعة الدوران $[rpm]$
D_c	قطر أداة القطع $[mm]$
CL	حمل الرايش، أو التغذية لكل ريشة $[mm/rev]$

z	عدد ريش أداة القطع
TPI	عدد الأسنان في البوصة Thread per Inch

قد تجد في بعض المراجع السرعة السطحية بواحدة المتر في الدقيقة، وهذا ما سأعتمده في الكتاب، خصوصًا أن الباورميل عندنا يعتمد هذه الواحدة.

قد تتجاوز سرعة الدوران المحسوبة إمكانيات آلة التشغيل، عندها تحسب سرعة التغذية على أعلى سرعة دوران ممكنة في الآلة. (مهم)
مثلًا: إن كانت أقصى سرعة دوران في آلة التشغيل 8000 دورة في الدقيقة، وحسبت سرعة الدوران فوجدتها 9000، اعتمد السرعة الأولى، واحسب على أساسها سرعة التغذية. (يعني تصبح المسألة معكوسة: بدل أن تحسب سرعة الدوران من سرعة التغذية، فإنك تحسب سرعة التغذية من سرعة الدوران).

فيما يلي جداول من **AutoDesk** يمكن الاعتماد عليها إن لم يكن معك جداول من شركات الأدوات التي تستخدمها، ولكن يجب متابعة عمليات التشغيل أثناءها:

سرعة القطع SFM $[ft/min]$		
مادة المشغولة	أداة HSS	أداة كربيدية
ألمنيوم	600	800
نحاس	175	175
ستانلس ستيل 303	80	300
فولاذ 4140	70	350

سرعة القطع في التثقيب SFM $[ft/min]$			
مادة المشغولة	تثقيب	توسيع ثقوب	قلوظة
ألمنيوم	300	150	100
نحاس	120	90	100
ستانلس ستيل 303	50	35	35
فولاذ 4041	90	60	35

حمل الرايش CL $[mm/rev]$					
العملية		مجال قطر الأداة $[mm]$			
		<3.175	3.175-6.35	6.35-12.7	12.7-25.4	>25.4
خراطة	ألمنيوم	0.0508	0.0508	0.1270	0.1524	0.1778
	نحاس	0.0254	0.0508	0.0508	0.1016	0.1270
	ستانلس ستيل 303	0.0127	0.0254	0.0508	0.0762	0.1016
	فولاذ 4140	0.0127	0.0127	0.0254	0.0508	0.0762
تثقيب		0.0508	0.1016	0.1270	0.2540	0.3810
توسيع ثقوب		0.1270	0.1778	0.2286	0.3048	0.3810

الواحدات في مرجع **AutoDesk** بالبوصة كلها، حولتها إلى الملمتر لأنها الواحدة المعتمدة عندنا. هذا أيضًا سر غرابة هذه الأعداد؛ فكانت قيمًا صريحة بالبوصة، ولكن بعد تحويلها أصبحت بالشكل الذي ترى.

ما تحتاجه أدوات القطع من الخامة لتعطي الإنهاء المطلوب

نسمي الخامة المتروكة لإعطاء الإنهاء المطلوب بتسامح الإنهاء Stock Finish Allowance. ويعرف في الباورميل بالخامة المتروكة Thickness، أو السماكة المتروكة.

تسامح الإنهاء $[mm]$					
العملية		مجال قطر الأداة $[mm]$			
		<3.175	3.175-6.35	6.35-12.7	12.7-25.4	>25.4
تفريز XY		0.0254	0.1270	0.3810	0.5080	0.5080
تفريز Z		0.0254	0.0508	0.0508	0.0508	0.0508
توسيع ثقوب		0.1270	0.2540	0.3048	0.5080	0.7620

مسارات التشغيل Toolpaths

وهنا مربط الفرس، وزبدة الكتاب؛ فمحور شغلنا مسارات التشغيل. ومسارات التشغيل هي خطوط وهمية تسلكها أداة القطع لتشغيل الخامات والمشغولات، للوصول إلى المنتج النهائي. ستجد في هذا

الفصل مفاهيم عامة تأسيسية، لكن التفصيل الحقيقي ستجده في فصول برنامج الباورميل. ما ستقرأه هنا –كونه عامًّا– يمكن إسقاطه على الباورميل وعلى غير الباورميل من برامج التشغيل بمساعدة الحاسوب CAM، ولكن ما ستقرأه لاحقًا موجه لمستخدمي الباورميل بالأساس. ويمكن لغيرهم أن يستفيدوا منه، ولكن بقدر أقل.

لتعريف مسار تشغيل حاسوبيًّا –إن صح التعبير– تحتاج تعريف الخامة التي سيرسَم فيها المسار وأداة قطع ستتحرك على المسار. ثمة تفاصيل أخرى عليك تعريفها لكنها ثانوية وتختلف من مسار لآخر، أما الخامة والأداة فهي تفاصيل أساسية مشتركة بين أي مسار تشغيل في الدنيا، ونسميها: شروط المسارات. والخامة –كما سترى– معناها: المكان الذي يمكن لأداة القطع أن تتحرك فيه.

ستجدني في هذا الكتاب أستخدم مصطلح الخامة للدلالة على المصطلحين Block وStock، وقد تسمى في سوق العمل: البلاطة. تقنيًّا المصطلح الأول يعني بالدرجة الأولى المكان الذي تستطيع الأداة الحركة فيه (ما ذكرناه منذ سطور)، أما الثاني فيعني الخامة بمعناها الفيزيائي: الكتلة التي سنشغلها لنحصل على المنتج. وقد تكون كتلة مشغلة بعملية سابقة (مسار تشغيل سابق). ستجدني أيضًا أستخدم مصطلح المشغولة للدلالة على المصطلح Workpiece، وهو المنتج قيد التشغيل، أو الذي جرى عليه تشغيل.

وقد تسمع في سوق العمل التسمية: الكود Code، للدلالة على مسار التشغيل؛ إذ ما هو تقنيًا إلا كود (الـ G-Code ما غيره).

يشيع تصنيف مسارات التشغيل على أنها ثنائية المحور 2D، أو ثلاثية 3D، أو رباعية 4D، أو خماسية 5D؛ وذلك تبعًا لعدد المحاور المستخدمة في الآلة وطريقة حركتها. ولكن مصطلح "ثنائي الأبعاد 2D" غير دقيق؛ لأن كل الآلات المبرمجة في أيامنا تتحكم بثلاثة محاور على الأقل، حتى مع عمليات التشغيل ثنائية الأبعاد. المصطلح الأدق هو "ثنائية الأبعاد ونصف 2.5D".

الأجسام (المقطعية) ثنائية الأبعاد 2D (Prismatic) Parts

لا نقصد المعنى الحرفي لمصطلح ثنائي الأبعاد بطبيعة الحال؛ فالأجسام فراغية طبعًا. مرة أخرى: مصطلح 2.5D أدق، حتى مع الأجسام، وإنما نقصد أن هذه الأجسام تحدث فيها عملية التشغيل في مستوي العمل، المستوي XY في حالتنا، ولا يدخل المحور z (ناظم مستوي العمل) في المعادلة إلا لضبط موقع أداة القطع في عملية التشغيل؛ لضبط العمق. وتنتقل الأداة في ناظم مستوي العمل عند تشغيل هذه الأجسام بإحدى أربع:

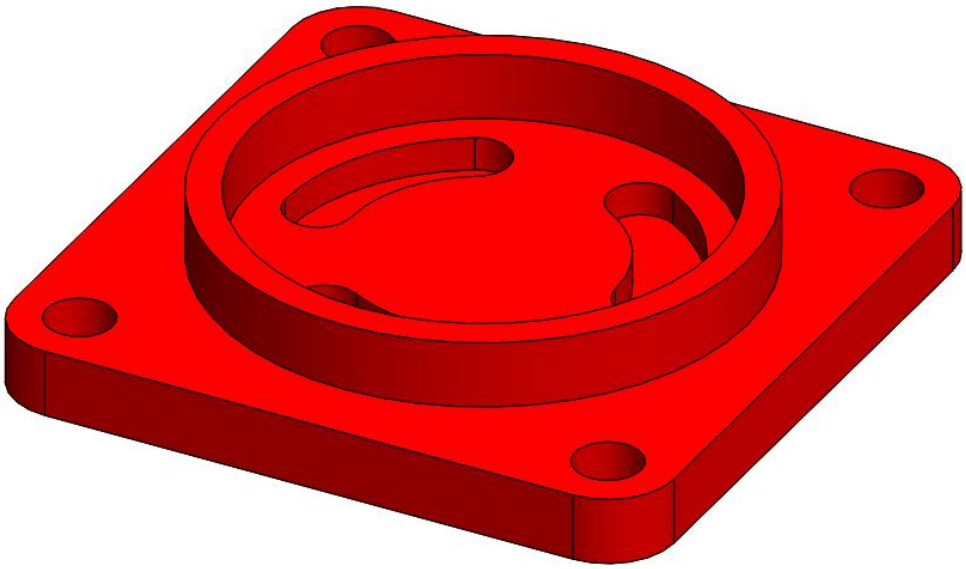
- نقلة مباشرة Straight
- نقلة سريعة Rapid
- نقلة مائلة Ramp
- نقلة حلزونية Helical (ونسميها Spiral أيضًا).

والأجسام المقطعية Prismatic لا تعني بالضرورة الأجسام التي تشغلها الآلات ثلاثية المحاور، بل قد يكون الجسم مقطعيًا ولا بد من تشغيله في آلية رباعية المحاور أو آلة خماسية المحاور. لذا: فهذا

المصطلح يعني –في هندسة التشغيل– الأجسام التي جميع أسطح تشغيلها عمودية على محور عمود الدوران. وبما أننا في كتابنا هذا نتناول الآلات ثلاثية المحاور فإننا إن قلنا عن جسم أنه مقطعي أو 2D أو 2.5D فإننا نقصد أن أسطح تشغيله تعامد المستوي XY، ويمر منها ما يوازي محور دورانها، وفيها تتحرك الأداة في الاتجاه z لضبط موقع أداة القطع (لغرض التغذية الشاقولية أو النقلة).

الشكل التالي لجسم كل تفاصيله مقطعية:

1. السطح العلوي
2. السطح الخارجي حيث بداية الثقوب
3. السطح الداخلي حيث بداية المجاري
4. أرضية المجاري الثلاثة



وبالمناسبة: هذا لا يعني أن الجدران في هذه الأجسام شاقولية بالضرورة، قد يكون فيها ميلان، أو دوران، ويمكن تشغيلها بأداة قطع مناسبة (كأدوات الشطف، وأدوات تشكيل الدوران)؛ المهم في كل القصة: أن تحصل التغذية في الاتجاه XY فقط، أما الاتجاه z فهو للدخول أو النقلات لا أكثر.

الأجسام ثلاثية الأبعاد 3D Parts

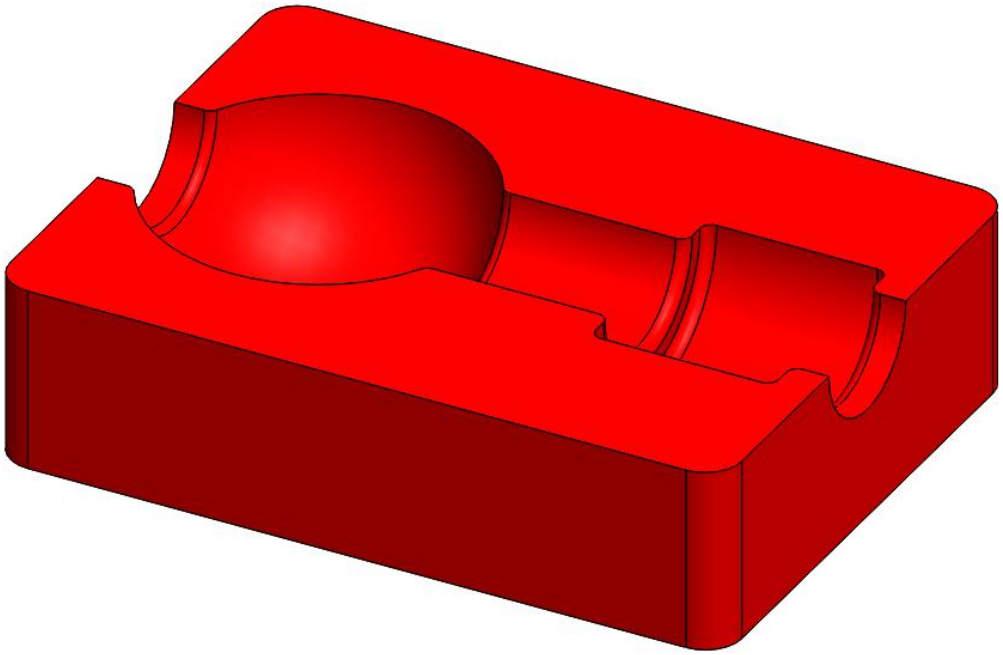
إن لم يكن الجسم مقطعيًا كان ثلاثي الأبعاد. مرة أخرى: الأجسام فراغية بطبيعة الحال، وثلاثية الأبعاد من ناحية فراغية، لكننا نقصد عملية التشغيل، نقصد حركة القطع. قد يكون المفهوم أوضح إن أشرنا إلى عملية التشغيل لا الأجسام المشغلة، أي أن نقول: التشغيل المقطعي، والتشغيل ثنائي الأبعاد، والتشغيل الفراغي، والتشغيل ثلاثي الأبعاد؛ لكن هذا هو المفهوم المستخدم في المراجع (الكلام عن الأجسام، والمقصود تشغيلها).

الشكل التالي لجسم فيه تفاصيل فراغية:

1. السطح الأسطواني، والسطح الكروي (حركة القطع في هذه الأسطح في مستوي عمودي على محورها).

وفيه تفاصيل مقطعية:

2. السطح العلوي.
3. الإطار الخارجي.



الأجسام التي تتطلب المحور الرابع 4-Axis Parts

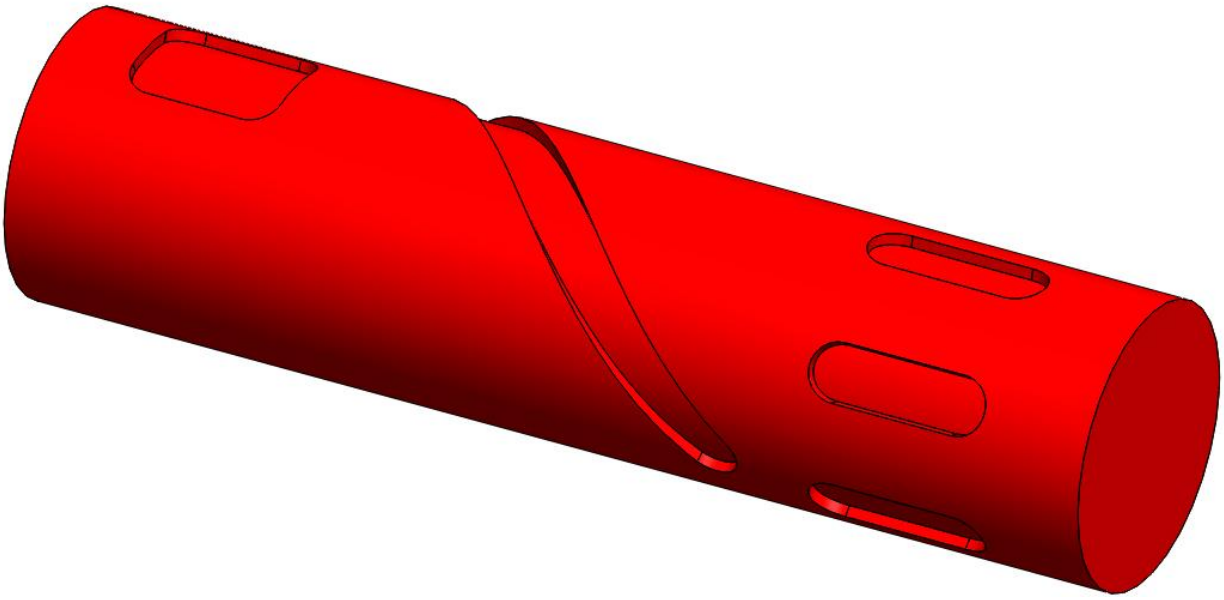
المحور الرابع في الآلات المبرمجة هو محور مساعد دوار يركب على الآلة ويوازي محور x أو y فيها، وقد يكون إما استبداليًا Substitution أو تزامنيًا Simultaneous.

إن كان استبداليًا فإن حركة القطع تكون في اتجاه محوره، أي إن ركب موازيًا للمحور x في الآلة (وهذه الحالة الشائعة) فإن الحركة تكون بالاتجاه x عند التفريز. أي أنه بلغة G-Code الحركة تكون بفعل الأوامر X-A في هذه الحالة، أي:

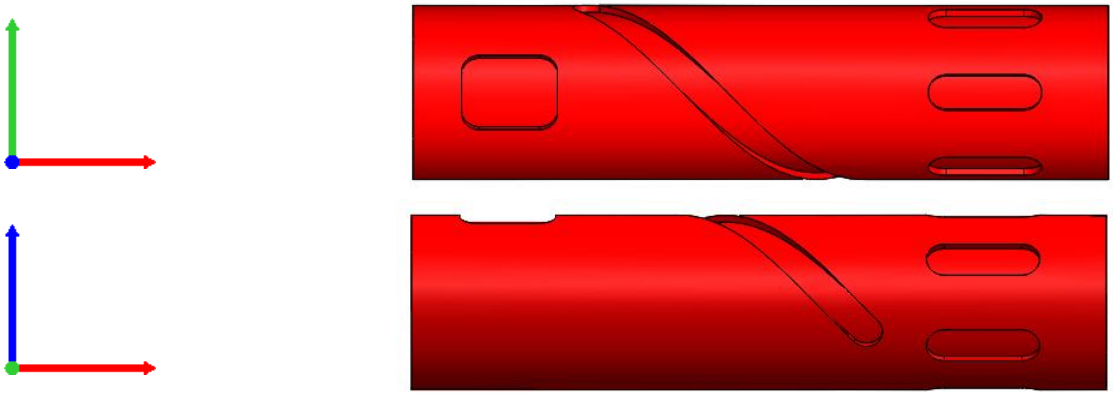
- حركة انتقالية باتجاه المحور المساعد.
- حركة دورانية حور المحور المساعد.

بالإضافة إلى الحركة بالاتجاه z عند تغيير العمق.

الشكل التالي فيه هذه الحركة:



انظر كيف تبدو عليه الأمور إن نظر إليها باستواء:



التسمية "الاستبدالي Substitution" جاءت من طريقة حركة القطع قبل استخدام برامج التصميم، حيث كان الشكل يرسم مستويًا (في مستوي العمل، XY في حالتنا)، ثم تحول (تستبدل) قيم y إلى قيم زوايا، تبعًا لنصف قطر الأسطوانة. بمعنى أن الشكل المستوي أسقط (Wrapped) على سطح أسطواني، تمامًا كما تعمل ميزة الإسقاط Wrap في **برنامج SolidWorks**.

وإن كان المحور تزامنيًا فإن حركة القطع تكون بفعل المحاور الأربعة XYZA، وهذا النوع من الحركة معقد للغاية وهو في الواقع فرع من التشغيل خماسي المحاور المتزامن Simultaneous 5-Axis Machining، حيث تتطلب الأجسام التي تشغَّل بخمس محاور حركة كل محاور الآلة في نفس الوقت XYZAB.

تصنيف مسارات التشغيل من حيث النوع والاستخدام

مع أن هذا التصنيف عام، وقد تجد بعضه في برامج تشغيل CAM وقد لا تجد بعضه في غيرها؛ إلا أنه مفيد في هيكلة الأفكار وترتيبها:

- **تسوية السطوح Face Milling**، ويدخل فيها برامج مسح الأرضية Flat Milling إن كانت تمسح أسطح الخامات (تسوية سطوح مقيدة بمناطق معينة).
- **الإطارات Contours**:
  - محيط الأشكال المغلقة، والمفتوحة، الداخلية والخارجية Loops
  - الحواف Edges
  - الخطوط Fonts
  - التشغيل المخفي Undercut
  - كسر الحواف Chamfering
  - تدوير الحواف Filleting
- **التجاويف Pockets**، ويدخل فيها المجاري Slots (وهي التجاويف عرضها نفسه قطر الأداة).
- **التثقيب Drilling**، ويدخل فيها القلوظة Tapping، والسنترة (المركزة Centering)، وتوسيع الثقوب Reaming.

للمزيد من التفصيل انظر **المعيار ISO 8688**.

اصطلاحات في مسارات التشغيل Toolpaths Terminology

بمنطق المراجع العلمية العربية يمكن تسمية الفقرة أيضًا بـ "عناصر مسارات التشغيل Toolpaths Elements"، والتي بدورها تنقل التسمية من المراجع العلمية الأجنبية التي قبلها (هذا لا يعني أني وضعت التسمية، فأنا أيضًا نقلت عنوان الفقرة عن مرجع **AutoDesk** في التشغيل الميكانيكي باستخدام الآلات المبرمجة، ووجدتها درامية أكثر مما في المراجع القديمة، العربية أو الأجنبية). والعناصر هذه –أو الاصطلاحات– موجودة في كل مسار تشغيل ولا بد، وهي:

- **خط سير المسار Toolpath Centerline** هو مجموعة من النقاط في برامج الآلات المبرمجة. ستجدها في الباورميل موزعة على أجزاء Segments. كل جزء نسميه خطوة Step أو باصًا Pass. وستجد الأجزاء إما نقلات قطع Cutting Moves أو نقلات سريعة (نقلات في الهواء) Rapid Moves أو نقلات دخول في المسار Plunge Moves، أو بدايات المسارات Leads In ونهاياتها Leads Out.
- **ارتفاع الأمان Rapid Height أو Safe Height** هو ارتفاع مستوي الأمان، حيث تنتقل الأدوات نقلات سريعة Rapid Moves. نجعله 10 مم عادةً. هذا المستوي غير متعلق بأسطح المشغولة، وتنتقل الأدوات فيه بنفس الارتفاع في المحور z، وإنما متعلق بأعلى نقطة منها فقط.
- **ارتفاع النقلات Skim Height** هو ارتفاع مستوي أمان متعلق بأسطح المشغولة، أي أن الأدوات فيه لا تنتقل دائمًا في نفس الارتفاع فيا المحور z، بل أعلى من الأسطح التي تحتها بهذا الارتفاع. أجعله 5 مم عادةً.

- **ارتفاع الدخول في الخامة Plunge Height** هو ارتفاع مستوي الدخول في الخامة، فوقه تتحرك الأداة حركة سريعة، تحته تتحرك بسرعة الدخول Plunge Feed Rate. أجعله 0.25 مم في برامج الهد (وأحيانًا 0.5 مم في الأدوات ذوات الأقطار الكبيرة)، وزيادة عن عمق القطع بـ 0.25 مم في برامج الإنهاء؛ كونها لا تأخذه بعين الاعتبار تلقائيًا، على عكس برامج الهد.
- **أعلى نقطة في المشغولة Top of Stock** هو ارتفاع المستوي الصفري، المستوي الذي تقاس منه الأعماق، أي أن الارتفاع z فيه يساوي 0. وهذه النقطة تكون في سطح منهى.
- **عمق القطع Stepdown** هو عمق الخامة المزالة في كل خطوة Step أو باص Pass.
- **عرض القطع Stepover** هو عرض الخامة المزالة في كل خطوة Step أو باص Pass.
- **العمق Depth** هو آخر عمق قطع (أو أدنى نقطة في المحور z) في عملية التشغيل.
- **الخامة المتروكة في العرض XY Stock Allowance** هي الخامة المتبقية في الجدران لتشغيلها في عمليات تشغيل أخرى.
- **الخامة المتروكة في العمق Z Stock Allowance** هي الخامة المتبقية في الأرضيات لتشغيلها في عمليات تشغيل أخرى.

ويدخل في العناصر أيضًا:

- **سرعة القطع Cutting Speed** هي سرعة إزالة الخامة في الدقيقة، في محيط الأداة. ومنها نحسب **سرعة دوران عمود الدوران**.
- **حمل الرايش Chips Load** هي مقدار ما يزال من الخامة في الدقيقة الواحدة، بريشة واحدة. ومنها نحسب **معدل التغذية Feed Rate**، وهي سرعة حركة الأداة في الخامة.
- **سرعة الدخول في المسار Plunge Rate**، وهي سرعة حركة الأداة أثناء دخولها في المسار (ويمكن أن نقول: في الخامة؛ وعندها نسميها سرعة الدخول في الخامة).
- **سرعة النقلات Skim Rate**، وهي سرعة حركة الأداة وهي خارج الخامة (في الهواء).

وقد تقدم تفصيل هذه السرعات.

أسمي ما سبق من اصطلاحات: ظروف التشغيل. ثمة اصطلاحات أخرى أسميها شروط المسارات:

- الخامة.
- أداة القطع.

وللتشغيل شروط أيضًا:

- الخامة الحقيقية.
- أداة القطع المستخدمة في الواقع.

وسنرى لاحقًا أن طرق التشغيل نسميها في برامج التشغيل إستراتيجيات، وأن لبعض الإستراتيجيات شروط لا يمكن أن ترسم مساراتها لولاها.

وكما ترى فإن الشروط هي ما لا يكون المسار / التشغيل إلا به، أما الظروف فهي متغيرات قد توجد وقد لا توجد بحسب التشغيل وبحسب ما يراد منه.

من الظروف ما هو غير مباشر في البرمجة:

- خامة أداة القطع.
- خامة المشغولة.

لا نضبطها في البرمجة، وإنما نضبط ظروفًا أخرى كأعماق القطع والسرعات والتغذيات بناءً عليها؛ فنفس المسار إن اختلفت خامة أداته أو اختلفت خامة المشغولة التي يشغلها اختلفت ظروفه، مع أنه هو هو، لم يتغير شكله ولا طريقة حركته، ولا الأداة التي تتحرك عليه.

مسارات التشغيل ثنائية الأبعاد 2D Toolpaths

فيما يلي من فقرات أشهر برامج التشغيل ثنائية الأبعاد من حيث التأسيس النظري. ستجدها لاحقًا بتفصيل أكبر في الفصول التي نتناول فيها الباورميل، وكذلك الفقرات الفرعية في فقرة المسارات ثلاثية الأبعاد.

وكما أشرنا أكثر من مرة: صحيح أننا نقول إنها مسارات ثنائية الأبعاد 2D، ولكننا نقصد كونها ثنائية الأبعاد ونصف 2.5D.

تسوية السطوح Facing

غالبًا ما تكون أول عملية نجريها في أي مشغولة هي تسوية سطوحها؛ فعامة الخامات التي نشغلها تكون إما متوازية مستطيلات وإما أسطوانية، ولا بدّ من ضمان استواء أسطحها، وبالتحديد: سطح الاستناد والسطح الصفري (أعلى نقطة). قد نسوي السطوح في مرحلة سابقة مستقلة عن الشغل الحالي، كتجليخها، ولكننا مع ذلك نتأكد من استواء سطوح الخامة عند ربطها في فرش الآلة، فإن لم تكن مستوية سويناها في نفس الشغل.

وفي كثير من الأحيان تكون عملية التسوية على مرحلتين: مرحلة هد ومرحلة إنهاء، بحسب مادة المشغولة. وقد تكون مرحلة الهد على مراحل، وذلك بحسب استواء السطوح، وعمق القطع.

وانتبه في حالة سوء جودة سطوح الخامة إن كانت الخشونة فيها كبيرة؛ فقد تكسّر الأداة. لهذا اجعل أعلى نقطة تجدها في الخامة سطحًا صفريًا مؤقتًا، وشغلها على مراحل إلى أن تزيل الخشونة كلها، ثم شغلها في المرحلة الأخيرة لإنهاءها. وعادةً ما نرفع سرعة الدوران عند الإنهاء، مع عمق قطع صغير.

الحوامل ذوات اللقم Cutter Holder with Inserts أفضل الأدوات لتسوية السطوح؛ لعرض القطع الممكن، وجودة تسوية السطوح التي تؤمنها اللقم. لهذا يشيع تسميتها بأدوات تسوية السطوح Face Mills. ويكون الدخول في الخامة Plunging من خارجها في الحالة العامة؛ حيث لا تناسب التغذية المحورية الأدوات الحوامل (هذا يتطلب أن تحسب حساب عدم وجود عوائق على محيط المشغولة بمسافة تزيد عن قطر الأداة).

> حتى مع غير الأدوات الحوامل، وحتى مع غير عمليات تسوية السطوح، ادخل في الخامة من خارجها ما أمكنك.

الإطارات ثنائية الأبعاد 2D Contours

إن كان في المشغولة جدران فإننا نشغلها ببرامج الإطارات Contours. ولا بد أن تكون الجدران عمودية على مستوي العمل. وقد نستخدم معها تعويض قطر الأداة CDC عند الحاجة.

يفضل أن نترك فيها مقدارًا ثابتًا من الخامة لعمليات الإنهاء، وأن نضيف خطوة إنهاء أخيرة في عمق التشغيل لإزالة أثر عمق القطع، خصوصًا مع الجدران الطويلة.

التجاويف Pockets

إن كان في المشغولة تجاويف فإن فيها جدرانًا داخلية وأرضيات. تشغيل التجاويف يكون بعمليات هد Roughing، وفي هذه العمليات نستخدم أكبر أدوات قطع ممكنة؛ لتوفير الوقت.

ثم نترك مقدارًا ثابتًا من الخامة لعمليات الإنهاء، في الجدران والأرضيات.

يفضل الدخول في الخامة بخطوة مائلة Ramp، أو حلزونية Spiral، فإن لم يكن ذلك ممكنًا يفضل تشغيل ثقوب والدخول فيها، تمامًا كالدخول في الخامة من خارجها.

قد نستخدم معها تعويض قطر الأداة CDC في مراحل الإنهاء.

المجاري Slots

إن كانت التجاويف ثابتة العرض كانت مجاري. ويمكن تشغيلها كما تشغل التجاويف، ويمكن تشغيلها كما تشغل الإطارات. ولكن مع الأعماق الكبيرة ينصح بتشغيلها باعتبارها تجاويف، أي باستخدام أدوات قطع بقطر أصغر من عرض المجاري.

كسر الحواف Chamfering

وهي حالة خاصة من الإطارات، باستخدام أدوات كسر الحواف (أدوات مشطوفة بزاوية)، حيث يكون خط سير الأداة بعيدًا عن الحواف بمسافة أقل من نصف قطر الأداة، أي بمسافة:

$$0 < d < R_C$$

لا نجعل المسافة معدومة، أي لا نجعل خط سير الأداة على الحواف. ولا نجعلها تساوي نصف قطر الأداة؛ فلن تقطع الأداة الخامة. وإنما نجعلها بينهما. وكلما كانت أبعد كانت أفضل؛ لأن سرعة القطع تزداد بازدياد نصف قطر الدوران.

طريقة أخرى لكسر الحواف وذلك بتشغيلها بأدوات كروية Ball-Nosed أو أدوات بحدود بأنصاف أقطار Bull-Nosed، وباستخدام برامج إطارات ثلاثية الأبعاد 3D Contours، إن لم تكن هذه الأدوات متاحة.

تدوير الحواف Filleting

تدوير الحواف حالة خاصة من الإطارات كذلك، باستخدام أدوات تدوير الحواف Corner-Round Tools، حيث يكون خط سير الأداة بعيدًا عن الحواف بمسافة تساوي نصف قطر قاعدة الأداة.

وإن لم تكن هذه الأدوات متاحة يمكن تدوير الحواف ببرامج إطارات ثلاثية الأبعاد كما في كسر الحواف، ولكن نستخدم هنا أدوات كروية Ball-Nosed.

المركزة (السنترة) Centering

نهيئ الثقوب قبل ثقبها بسنترتها، سواءً أردنا التثقيب في الآلة نفسها أو أردنا التثقيب يدويًا، بمثقاب يدوي أو ما شابه ذلك. تأتي أهمية السنترة من دورها في صحة التثقيب ودقة تموضعه؛ إن أجري التثقيب دون وجود سناتر فإنه قد يميل عن محور الثقوب.

قد نسنتر بأدوات التثقيب إن لم يكن ذلك ممكن بأدوات السنترة، كأن يكون المكان أضيق من قطر أدوات السناتر. واعلم أن أدوات السنترة أثبت من أدوات التثقيب؛ فأجسامها بقطر أكبر، وغير ملولبة إلا في أولها. الصورة المجاورة فيها أدوات سنترة.

إن كانت الثقوب على سطح غير مستوٍ، أو لا يوازي مستوي العمل؛ شغّلها بأدوات تفريز إلى أن تنشئ سطحًا مستويًا يوازي مستوي العمل، ثم سنترها واثقبها. وقد لا تحتاج للسنترة إن أصبح العمق المشغل من الثقب كافيًا للإحاطة بأداة التثقيب وتوجيهها، ولكن سنترتها أفضل.

والسناتر تقنيًّا ما هي إلا ثقوب بعمق 2 مم (قيمة السنترة الشائعة).

التثقيب Drilling

كل تجويف أسطواني نعتبره ثقبًا. نشغل الثقوب بعملية تثقيب، بأدوات تثقيب (قد تجدها في سوق العمل باسم: ريَش، أو بُنط). وهذه الأدوات تتحمل التغذية المحورية، ولا تتحمل التغذية القطرية ولا المائلة، على عكس سائر أدوات القطع. قد نشغل الثقوب ببرامج الإطارات التي ذكرناها منذ فقرات، خصوصًا ذوات الأقطار الكبيرة.

إن كان عمق الثقب أقل من قطر أداة التثقيب أمكن تثقيبه بخطوة واحدة Single Peck، وإلا ثقب بخطوات متعددة Multiple Pecks. نسمي عودة الأداة انسحابًا Retracting، ويمكن أن يكون جزئيًا (لمسافة محددة)، ويمكن أن يكون كاملًا؛ إلى مستوي الأمان (خارج الثقب). إن كان الانسحاب إلى مستوي الأمان في كل خطوة سمينا التثقيب تثقيبًا عميقًا Deep Drilling، وهو بلغة G-Code: G83. صحيح أن التثقيب العميق يأخذ وقتًا أطول؛ كون الأداة تنسحب في كل خطوة انسحابًا كاملًا (تخرج خارج الثقب في كل خطوة)، إلا أنه أأمن؛ فاحتمال كسر الأداة فيه أقل.

يستحسن إن كان الثقب نافذًا التثقيب زيادة عن عمق الثقب، حتى ثلث قطر الأداة، حتى ينفذ الجزء المشطوف من الأداة، إن كان الأمر ممكنًا.

وقد يرسم الرسامون الثقوب ويريدون بها قلاووظات. في هذه الحالة يجب أن يرفقوا الرسومات بمخططات تصميمية يوضحون فيها أن الثقوب مفتوح بها شرار. الفقرة التالية فيها المزيد. وفي الملحقات تفصيل أيضًا.

القلوظة Tapping

تقلوظ الثقوب بخطوة واحدة وبسرعة تغذية وبسرعة دوران متعلقتين بخطوة القلاووظ، ثم عند الانسحاب تتحرك الأداة بالسرعتين نفسهما ولكن بعكس الاتجاه. يمكنك أن تقول أن القلوظة هي تثقيب بخطوة واحدة Single Peck Drilling، ولكن بسرعة تغذية وبسرعة دوران محددتين. تسمى القلوظة أيضًا: فتح شرار، والقلاووظ: الشرار.

وانتبه: قد يرسم الرسام المشغولة بثقوب يريد بها قلاووظات فيرسمها ثقوبًا عادية، ثم في المخططات التنفيذية يضع عليها أبعاد الشرارات. وهذا شائع في الرسم، والمشكلة ليست هنا. المشكلة إن رسمها بقطرها الاسمي، أي إن كان الشرار M10 فرسم الثقب بقطر 10 مم. رسم الشرار مكلف من حيث الوقت ومن حيث حجم الملف ومن حيث أداء برنامج الرسم، ولا يسمن ولا يغني من جوع، اللهم إلا شكلًا لمن يحب البهرجة؛ لهذا يرسمونها ثقوبًا عادية ثم يوضّحون أنها شرارات في المخططات التنفيذية. لكنهم يرسمونها بأقطارها الداخلية لا أقطارها الاسمية. (مهم)

في الملحقات الأقطار القياسية لثقوب القلاووظات، وإشارة إلى المعايير العالمية التي توصفها.

مسارات التشغيل ثلاثية الأبعاد 3D Toolpaths

عندما ترسم خطوط المسار مرحليًا (By Level يعني) نقول إنه مسار ثنائي الأبعاد (وبكلام أدق: ثنائي الأبعاد ونصف؛ فالاتجاه الثالث يدخل في القصة عند الانتقال بين المراحل). فإن رسمت خطوطه فراغيًا قلنا إنه ثلاثي الأبعاد. فيما يلي أهم ما يجب أن تعرفه نظريًا عند التعامل مع المسارات ثلاثية الأبعاد.

الدقة Tolerance

الترجمات الحرفية لهذا المصطلح هي التسامح والتفاوت والتجاوز، وكلها مصطلحات ميكانيكية، مقبولة في هذا السياق. هذا المصطلح يشير إلى ما يمكن ارتكابه من خطأ، وهذا المعنى من المصطلحات المذكورة. ولكني أجد مصطلح الدقة أكثر مناسبة في سياقنا هذا. دقة عالية = أخطاء أقل = تسامحات وتفاوتات وتجاوزات أقل، والعكس صحيح.

هذا يعني أننا عندما نقول: دقة عالية، فإننا نقصد قيمة صغيرة للتسامح، كـ 0.01. وعندما نقول: دقة منخفضة، فإننا نقصد قيمة كبيرة للتسامح، كـ 0.1. وهنا نقطة فنية: لا يجوز أن تكون أقل من عمق القطع، ولا حتى قريبة منه. (مهم)

لا تحتاج دائمًا دقة عالية في مسارات التشغيل، بل قد تضرك أحيانًا إن كانت عالية. الدقة العالية تعني جودة أعلى، وتعني تكلفة أعلى. التكلفة هنا من حيث وقت الحساب ومن حيث حجم الملف. الدقة المنخفضة صحيح أنها تؤدي إلى جودة منخفضة، ولكنها أيضًا تعني وقت حساب أقل، وحجم ملفات تشغيل أقل؛ فنقاط مسار التشغيل أقل، وأسطر ملفات التشغيل أقل.

إن كانت الدقة عالية، وبالتالي نقاط مسار التشغيل أكثر، وأسطر ملفات التشغيل أكثر؛ كان هناك احتمال لحدوث مشاكل في آلة التشغيل. لكل آلة قدرة معينة على معالجة عدد من الأسطر في الثانية الواحدة، نسميها **زمن تنفيذ البنى البرمجية Block Execution Time**. قد تكون الآلات الحديثة قادرة على معالجة آلاف الأسطر في كل ثانية، وبالتالي احتمال حدوث مشاكل أقل، مقارنة بالآلات القديمة التي كانت تعالج مئات الأسطر أو أقل في كل ثانية، ولكن مع ذلك ما زال الاحتمال واردًا.

من ناحية أخرى تعني الدقة التزام الأداة بمسار التشغيل. أو بمعنى أدق: التزام مسار التشغيل بمسار التشغيل النظري. ومسار التشغيل النظري هذا هو مسار مثالي يمثل الخط الذي يرسمه مركز الأداة وهي تتحرك ملامسة الأسطح المشغلة على طول حركتها، باعتبار الخامة المتروكة. نسمي الدقة بهذا الاعتبار **دقة القطع Cut Tolerance**، وهي قيمة ±، وبالتالي قيمة دقة القطع الكلية مضاعفة.

> انظر **المعيار ISO 2768** فيه تفصيل التسامحات Tolerances الممكن تجاوزها.

ظاهرة الفجع البياناتي Data Starving

إن تخطى عدد الأسطر في الثانية قدرة الآلة على المعالجة حدث ما يسمى بـ **الفجع البياناتي Data Starving**، (أو لك أن تقول: التخمة البياناتية)؛ حيث تُغمَر لوحة تحكم الآلة –حرفيًا– بالبيانات، ما يؤدي إلى توقف الآلة بعد كل نقلة بانتظار الانتهاء من التنفيذ ثم استقبال الأمر التالي. هذا التوقف والبدء المفاجئ يحدث مئات المرات في الثانية. وهذه كارثة فيزيائية، فالآلة كتلتها كبيرة، والتسارعات المتولدة ستؤدي إلى اهتزازات شديدة.[1] وعندما تحدث هذه المشكلة فإنك ستجد سرعة التغذية في الآلة جزء بسيط من سرعة التغذية المضبوطة في البرنامج.

الأكثر من ذلك: ستؤدي المشكلة إلى اهتراء في الآلة، وجودة سيئة للأسطح المشغلة، وعدد مرات تشغيل كبير للبرنامج. إن واجهتك هذه المشكلة فأحد الحلول في الآلة أن تتحكم بسرعة التغذية من معدِّل السرعة Feed Override، إلى أن تُزال. ولكن الحلول الأكثر والأشمل تكون في البرمجة، وذلك باختيار الدقة بحكمة، أو لنقل: بدقة. مبدئيًا: الإستراتيجيات التي تتحرك الأدوات فيها بخطوط موازية لمستويات العمل (G17، وG18، وG19) أفضل من غيرها؛ هذا ما يجعل الإستراتيجيات الأفقية Raster وما بحكمها (كـ Parametric إن رسمت مساراتها بطريقة تشبه تلك الأفقية) أفضل الإستراتيجيات، ليس من الناحية التي نناقشها فقط، وإنما أيضًا من ناحية نعومة السطوح.

[1] تخيل القوة التي تدفعك للأمام عندما تكون في سيارة فتتوقف فجأة، والقوة التي تدفعك للخلف عندما تتسارع السيارة فجأة. الآن تخيل هاتين القوتين تحدثان مئات المرات في الثانية الواحدة.

يمكن أن تحل المشكلة أيضًا بتخريج الأقواس على شكل أوامر تشغيل الأقواس G02 وG03، لا على شكل نقاط؛ فمنحنياتها تشغل باعتبارها مجموعة من الخطوط، أو بكلام أدق: تشغل باعتبارها نقاطًا، هذه النقاط تشكل خطوطًا، هذه الخطوط بمجموعها تشكل المنحنيات.

ويمكن ذلك بضبط **الخاصية Point Distribution Output Type = Fit Arcs**.

وسبب كون تخريج الأقواس باعتبارها أقواسًا لا منحنيات يحل المشكلة هو أن زمن معالجتها وتنفيذها أكبر من زمن معالجة وتنفيذ تشغيل النقاط. أكبر منه بمراحل. وهو زمن تستوعبه قدرة الآلة على معالجة الأوامر. يعني: يعرّف القوس هندسيًا بنقاط معدودة، نقطة تمثل مركزه، ونقطة تمثل بدايته، ونقطة تمثل نهايته. أما إن مثّلت القوس باعتباره خطًا منحنيًا عندها أمامك مجموعة نقاط عددها متعلق بدقة المسار. هذا غير أن الخط هو في النهاية مجموعة خطوط مستقيمة، أما القوس فهو قوس 100%.

وهنا لا نقصد أن زمن عملية التشغيل أكبر، قد يختلف اختلافًا بسيطًا، ولكنه لن يزيد عن ثوان معدودة أو بضع دقائق. لرؤية الفرق اجعل الدقة 0.1 في برنامج، وانظر زمنه، ثم اجعلها 0.01 أو أعلى، وانظر الزمن في هذه الحالة. عدد النقاط في المسار الأدق أعلى، لكن زمن التشغيل نفسه تقريبًا.

التعويض ثلاثي الأبعاد 3D Cutter Compensation

في العمليات ثنائية الأبعاد تكون الأسطح المشغلة موازية لمستوي العمل، = عمودية على محور الأداة. والجدران تكون فيها عمودية على مستوي العمل، لا ميلان فيها. مسارات التشغيل عندها تكون متكررة الأجزاء في كل خطوة حتى أعمق نقطة (إن نظرت إليها من المستوي XY رأيتها خطًا واحدًا). أما في العمليات ثلاثية الأبعاد فلا تكون المسارات كذلك، ولا علاقة لأجزاء المسار ببعضها في كل خطوة، وإنما تتعلق بأسطح المشغولة، وقطر العدة، وشكلها. لهذا فلا تعويض في البرامج ثلاثية الإبعاد؛ وإنما نستبدل الأداة عند اهتراءها.

الهد Roughing

في الحالة العامة نشغل المشغولات من خامات مصمتة، متوازية مستطيلات. وكلما كانت المشغولة أبعد عن الشكل متوازي المستطيلات، أو كان فيها تفاصيل كثيرة، كانت هناك كمية أكبر من المادة يجب إزالتها. نسمي إزالة الخامة بأكبر كمية وأسرع وقت ممكنين **عملية الهد** (وقد تسمع التسمية: عملية التخشين). في عمليات الهد لا تهمنا الدقة، وإنما يهمنا الوقت؛ لهذا تجدنا نهد الخامات بأكبر أدوات قطع **ممكنة**، ثم ننهيا بأدوات **مناسبة**. الإمكان هنا مرهون بالأدوات المتاحة، والمناسبة متعلقة بتفاصيل المشغولة. وكون الدقة لا تهمنا هنا كثيرة فإنها تكون منخفضة، خصوصًا مع الأدوات الكبيرة، المهم أن تكون أعلى من عمق القطع (قيمتها أقل منه؛ فالدقة الأعلى قيمتها أقل).

ستجد الباورميل يقسّم الإستراتيجيات إلى إستراتيجيات هد وإستراتيجيات إنهاء، وإستراتيجيات أخرى. هذا التقسيم في الحالة العامة صحيح وواقعي، ولكنه تقسيم اصطلاحي أكثر منه تقسيم حقيقي؛ بمعنى: في الحالة العامة نهد الخامات بإستراتيجيات هد، وننهي المشغولات بإستراتيجيات إنهاء، لكن قد نهد وننهي بإستراتيجيات هد فقط؛ قد نفعل ذلك في المشغولة كلها منذ أن كانت خامة إلى أن

صارت مشغولة، وقد نفعل ذلك في تفاصيل معينة منها. وكذلك قد نهد وننهي بإستراتيجيات إنهاء فقط، أيضًا للمشغولة كلها منذ أن كانت خامة، أو في تفاصيل معينة منها.

من ناحية تقنية، عملية الهد تتعلق بالخامة، أو كما أحب أن أصفها: ترى الخامة، وتتصرف على أساسها. أما عملية الإنهاء فلا تشكل الخامة بالنسبة إليها إلا مجالًا يمكنها الحركة فيه.

الهد المتبقي REST Roughing

وقد لا نهد الخامات بمرحلة واحدة، أي نهدها على مراحل، بحيث نهد الخامة بأداة قطع إلى أصغر تفصيل يمكنها هده، ثم نهدها بأداة قطع أخرى، وهكذا إلى أن نهد أصغر تفصيل قد يعيق عمليات الإنهاء. لا يختلف الهد المتبقي عن الهد العادي عمليًّا، إلا في أنه يكمل عن غيره، ولكنهما تقنيًّا عملية واحدة.

نسمي مجموعة عمليات الهد المتتالية **سلسلة عمليات الهد**. في الحالة العامة نضع أكثر من سلسلة ونرى أيها أقل تكلفة من حيث الوقت فنعتمدها.

الإنهاء Finishing

بعد هد الخامات تبدأ ملامح المشغولات بالظهور، أي أن فيها كمية قليلة من المادة يجب إزالتها لتأخذ شكلها. نسمي إزالة كميات قليلة من الخامة بحيث نحقق دقة التشغيل المطلوبة، بغض النظر عن الوقت المستهلك، نسميها **عملية إنهاء** (قد تسمع التسمية: عملية تنعيم). في عمليات الإنهاء تهمنا الدقة، أكثر من أي شيء آخر؛ لهذا قد تجدنا ننهي سطوحًا كثيرة بأداة قطع واحدة، وقد ننهي المشغولة كلها بأداة قطع واحدة (بنفس البرنامج أو ببرامج متعددة).

وقد نشغل قبل الإنهاء برامج نصف إنهاء. هي تقنيًا برامج إنهاء، لكنها لا تزيل كل الخامة التي تركتها برامج الهد، وإنما الهدف منها تمهيد الطريق أمام برامج الإنهاء، بجعل الخامة المتروكة مظبوطة أكثر (قد تترك برامج الهد خامة أكبر مما يمكن لأدوات الإنهاء أن تستحمله، خصوصًا ما صغر منها).

تعمل عامة إستراتيجيات الإنهاء بأحد مبدأين:

- الإنهاء المتوازي
- والإنهاء اللولبي

معيارنا في اختيار أحد المبدأين دون الآخر، وكذلك إستراتيجيات معينة دون غيرها من نفس المبدأ؛ هو **انسيابية خطوط مسار التشغيل**، أو بمعنى آخر: ما يحقق نعومة السطوح المطلوبة.

عملية الإنهاء –من ناحية تقنية– لا ترى الخامة، وإنما ترى السطوح المشغلة. صحيح أنها تتعلق بها، ولا تتحرك خارجها، لكنها لا تنشأ إلا باعتبار السطوح، أو لنقل: ما يمكنها رؤيته من السطوح، باعتبار الخامة، ومناطق التشغيل.

الإنهاء المتوازي Parallel Finishing

يناسب الإنهاء المتوازي السطوح المستوية بالدرجة الأولى. فإذا كان فيها انحناء فإنه مناسب في الاتجاه القطري لانحناء السطوح، أي أنه سيء في الاتجاه المحوري. فإن كانت السطوح منحنية في أكثر من اتجاه فإنه غير مناسب لها.

ومع هذا، اجعل إستراتيجيات الإنهاء المتوازي خيارك الأول، فإن كانت غير مناسبة انظر في غيرها.

الإنهاء اللولبي Scallop Finishing

ميزة الإنهاء اللولبي أن خطوطه تنشأ بحسب منطقة التشغيل، وليس على أساس السطوح المشغلة، وبالتالي فإن كل نقطة من السطوح ستنهى، وبخطوة تشغيل ثابتة. المشكلة فيه انسيابية خطوط مساراته؛ ستجد أنها في كثير من الحالات ليست في أحسن الأحوال.

إنهاء الزوايا Pencils

فإن كان في المشغولة حواف داخلية لم تنهيها عمليات الإنهاء، إما لأن الدوران فيها أصغر من أنصاف أقطار أدوات تلك العمليات، أو بسبب طبيعة العمليات ومبدأها وطريقة حركتها؛ أنهيناها بعمليات نسميها عمليات إنهاء الزوايا.

أثر التشغيل

لا تتم العملية التشغيلية في الحالة العامة ببرنامج واحد وبأداة واحدة، وبمسار واحد وبإستراتيجية واحدة، كما تقدم على امتداد هذا الفصل. بالمقابل فإن تعدد برامج التشغيل وأدوات القطع يؤدي إلى حصول أخطاء تظهر على شكل أثر تشغيل في المشغولة، نسميه علامات أدوات القطع Tool Marks. هذا فضلًا عن أن البرنامج الواحد بأداة واحدة قد يكون فيه أخطاء، ما يؤدي إلى ظهور أثر للتشغيل وعلامات لأداة القطع، كما في الصورة المجاورة. تفصيل الأخطاء تجده في **فقرة الدقة** في **فصل المفاهيم**.

في الحالة العامة سبب أثر التشغيل تعدد البرامج والأدوات؛ لهذا يستحسن أن تكون عملية الإنهاء ببرنامج واحد وبأداة واحدة ما أمكن، على الأقل في كل منطقة بمنطقتها أو كل سطح بسطحه. وقد يكون في البرنامج الواحد بسبب طبيعة مسار التشغيل؛ وهنا يأتي تفضيل الإستراتيجيات على بعضها، إن كانت أكثر من إستراتيجية متاحة لإنهاء منطقة معينة.

لهذا: الإنهاء المتوازي أفضل من الإنهاء اللولبي. (مهم)

> تبديل الأداة في البرنامج الواحد –بسبب كسرها أو تآكلها، أو أي سبب تشغيلي آخر– يؤدي إلى ظهور أثر للتشغيل. ويكافؤه تعدد أدوات البرامج المختلفة.

نظريًا، لا يظهر أثر التشغيل في البرامج المختلفة التي تستخدم نفس الأداة إن كانت خطوطها انسيابية. ويفضّل وجود تداخل في خطوط البرامج المختلفة سواء أكانت بأداة واحدة أو كانت بأكثر من أداة لتوحيد السطوح ما أمكن وإلغاء أي أثر للتشغيل يمكن أن يظهر.

انظر **فقرة ارتفاع النتوءات** في **فصل المفاهيم** فهي ذات صلة.

يزداد أثر التشغيل مع ازدياد قساوة المادة المشغلة؛ لهذا قد ننهي مشغولات بخامات غير مرتفعة القساوة كالألمنيوم بإستراتيجيات لا ننهيها بها إن كانت بخامات قساوتها أعلى كالحديد. ولهذا أيضًا قد ننهي المشغولة بنفس إستراتيجية الهد، ككثير من قطع الغيار وكبعض القوالب، وأي مشغولات لا ميلان ولا دوران في جدرانها.

زمن عملية التشغيل Machining Time

كثيرًا ما كنت أحتاج إلى تقدير الزمن الذي سوف تكلفه عملية التشغيل، دون أن أدرس القطعة على برنامج التشغيل (الباورميل)؛ من أجل تقدير تكلفتها، خصوصًا إن كان الشغل إنتاجيًا. وكثيرًا ما كان يمكن تبسيط مسارات التشغيل إلى أشكال هندسية بسيطة.

لن تحتاج في الواقع إلى حساب الزمن بالتفصيل الذي سنتناوله في هذه الفقرات، وهي غير موجهة أصلًا للمبرمجين ولا المشغلين، وإنما وضعتها للمطورين، في ختام هذا الفصل النظري.

تسلك برامج التشغيل المبرمج CAM Software الطريقة التي سنتناولها في هذه الفقرات؛ لذا، قد تجد فيها فائدة لفهم سلوك هذه البرامج. يسلك **برنامج السيمكو CIMCO** –برنامج تحرير ملفات التشغيل– هذه الطريقة بتفصيل أكبر؛ لهذا هو أدق في كثير من الأحيان من برامج التشغيل المبرمج؛ إذ يحسب الوقت عند كل نقطة بنقطتها، بينما تحسب برامج التشغيل المبرمج طول القطع، وأطوالًا أخرى، وتحسب منها الزمن. ونحن هنا سنحسب أزمنة عمليات تشغيل بسيطة، وسنقرّب كثيرًا من مسارات التشغيل لتبسيط المسألة والحصول على وقت تقريبي مقبول، أي بطريقة برامج التشغيل، ولكن بتفاصيل مختلفة.

يدخل في زمن عملية التشغيل زمن القطع وأزمنة مساعدة كلها متعلقة بعملية القطع. وقد تجد بعض المراجع تتوسع في الحساب فتأخذ أزمنة متعلقة بمكان العمل والآلات والأدوات المستخدمة والعمال، والإنتاج نفسه. ولكني سأتناول الموضوع من ناحية عملية التشغيل بحد ذاتها، وعليه:

$$t_{tot} = t_C + t_{misc}$$

نسمي زمن القطع t_C الزمن الفعلي في عملية التشغيل، وهو أساسي في المسألة لا بد من حسابه (هو الغاية منها أصلًا). أما الأزمنة المساعدة فقد نحسبها أو بعضها وقد لا نحسبها. يدخل في الأزمنة المساعدة:

- زمن تبديل الأداة t_{ch} (بفعل مبدل الأدوات Tool Changer).

- زمن النقلات t_l.
- زمن الدخول في المسار t_{pl}.

حيث

t_{tot}	زمن التشغيل الكلي.
t_C	زمن القطع.
t_{misc}	زمن العمليات الثانوية.
t_{ch}	زمن تبديل الأداة.
t_l	زمن النقلات، ومما يدخل فيه: زمن الاقتراب وزمن الانسحاب.
t_{pl}	زمن الدخول في المسار.

تقدر واحدة الزمن في التشغيل عادةً بالدقيقة.

تفصيل الأزمنة قادم في الفقرات التالية.

زمن تبديل الأداة t_{ch}

نكتب في برامج التشغيل **الأمر T** والذي يجعل الآلة تبدل الأداة إن لم تكن أداة البرنامج. ويدخل فيه:

1. زمن انسحاب الأداة السابقة إلى صفر الآلة.
2. زمن اختيار مبدل الأدوات الأداة المطلوبة.
3. زمن انتقال الأداة إلى صفر البرنامج.

زمن الانسحاب إلى صفر الآلة وزمن الانتقال إلى صفر البرنامج يمكن حسابهما بمعرفة مجال عمل الآلة، أما زمن اختيار الأداة فلا سبيل لحسابه إلا بتقديره بمتوسط أزمنة الاختيار أو ما شابه ذلك.

زمن النقلات t_l

نسمي الحركات بغير غرض القطع نقلات. الغرض منها في الحالة العامة الانتقال من خط لآخر في مسار التشغيل. قد تكون مباشرة (قريبة) وقد تكون غير مباشرة (بعيدة). أبسط النقلات المباشرة النقلات المستقيمة Straight. وهي ببساطة المسافة من نهاية خط إلى بداية خط يليه في مسار تشغيل. أما النقلات غير المباشرة فهي في الحالة العامة ثلاث نقلات مستقيمة: 1- انسحاب الأداة من نقطة نهاية الخط الأول إلى مستوي الأمان بخط عمودي على مستوي العمل، 2- انتقال الأداة إلى مسقط نقطة بداية الخط الثاني على مستوي الأمان، 3- انتقال الأداة إلى نقطة بداية الخط الثاني.

$$t_l = \frac{L_{l1}}{v_F} + \frac{L_{l2}}{v_{safe}}$$

حيث

- L_{l1} طول النقلات القريبة [mm].
- L_{l2} طول النقلات البعيدة [mm].
- v_F سرعة التغذية [mm].
- v_{safe} سرعة الحركة السريعة في الآلة [mm].

زمن الدخول في المسار t_{pl}

لا تتحمل عامة الأدوات التغذية المحورية؛ لهذا لا بد عند الدخول في المسار محوريًا التغذية بسرعة بطيئة نسبيًا. نحسب زمن الدخول في المسار إن كان محوريًا من العلاقة التالية:

$$t_{pl} = \frac{n_{seg}\, h_{pl}}{v_{pl}}$$

حيث

- n_{seg} عدد خطوط المسار التي فيها دخول.
- h_{pl} ارتفاع الدخول في المسار [mm].
- v_{pl} سرعة الدخول في المسار [mm].

فإن لم يكن الدخول محوريًا، كأن يكون مائلًا Ramp، كان ارتفاع الدخول هو طول خط الدخول.

زمن القطع t_c

نحسب زمن القطع بمعرفة طول القطع وسرعة التغذية:

$$t_c = L/v_F$$

هذه المعادلة عامة، وطول القطع متعلق بعملية القطع ومسار التشغيل. فيما يلي من فقرات تفصيل لعمليات تشغيل بسيطة.

حيث

- L طول القطع [mm].
- v_F سرعة التغذية [mm/min].

عدد الباصات

لا يكون القطع بخطوة واحدة في الحالة العامة. أي أنه يكون على مراحل (خطوات)، عددها يعطى بالعلاقة التالية:

$$n = \frac{H}{s_d}$$

لهذا فإن زمن القطع متعلق بعدد باصاته (خطواته).

حيث

- n عدد الباصات.
- H العمق المطلوب تشغيله [mm].
- s_d عمق القطع [mm].

طول المسار محيطي

قد تكون المسارات المحيطية مفتوحة وقد تكون مغلقة، وفي الحالتين طول المسار هو مجموع أطوال أجزاءه Segments (الخطوط المكونة له). فإن كان مغلقًا يمكنك أن تقول إن طوله يساوي محيطه. وبالتالي فإن طول مسار خطوة واحدة من القطع تعطى بالعلاقة:

$$L = \sum_i L_i$$

فإن كان مغلقًا كان نفسه محيط المسار P:

$$L = P$$

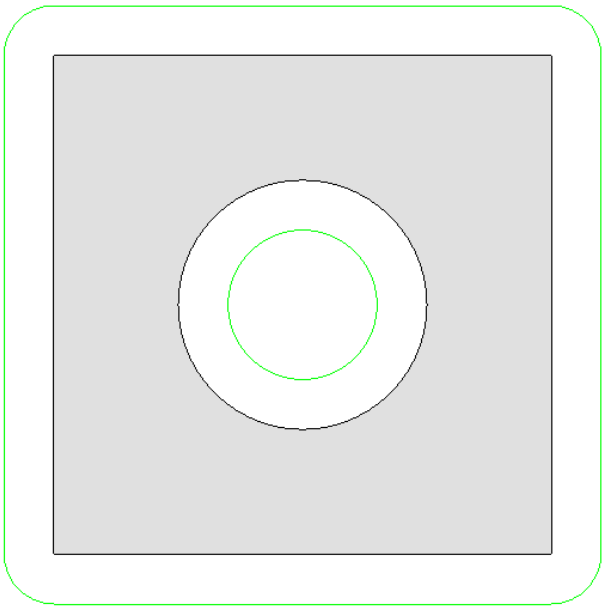
وإن كان القطع حلزونيًّا (لولبيًا) Spiral فإنه يكون عندها:

$$L_{spiral} = \sqrt{L^2 + s_d^2}$$

هذا لأجل لفة واحدة. فإن أردت تعويض عمق القطع كله اضرب بعدد الباصات.

تعويض قطر الأداة

قد يرسم المسار بمعرفة نقاطه وخطوطه، وقد يرسم بمعرفة السطوح التي تمثل المشغولة. وهنا نعوّض قطر الأداة إما بالإضافة في حالة المسار الخارجي أو بالنقصان في حالة المسار الداخلي. لنقل إن السطح المربع في الصورة التالية طول ضلعه a فيه ثقب دائري قطره D:



مثلًا هنا المسار مكون من خطين:

طول المسار كاملًا	$L = L_1 + L_2$
طول الخط الخارجي	$L_1 = 4a + \pi D_C \approx 4(a + D_C)$
طول الخط الداخلس	$L_2 = \pi(D - D_C)$

قد يصعب عليك في الحسابات اليدوية –الحسابات على الطاير– إزاحة المربع أو المستطيل وتدوير الزوايا كما تفعل البرامج الهندسية؛ لهذا وضعت المساواة التقريبية. في هذه الحالة إزاحة المربع مربع بزوايا غير مدورة. وبطبيعة الحال إزاحة المربع الداخلي مربع بزوايا غير مدورة، ومع هذا ستجد برامج التشغيل تعطيك خيارًا لتدوير الزوايا الداخلية لتشغيل سريع (الخاصية اسمها High Speed).

طول المسار المتوازي Raster

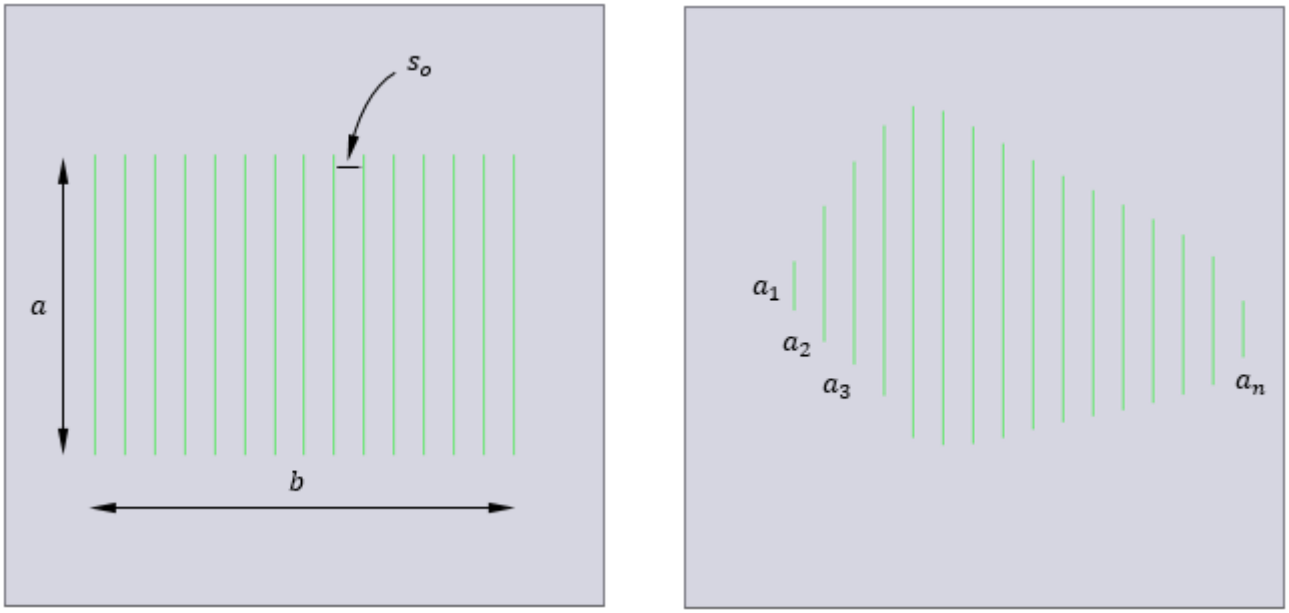
تتحرك في هذا المسار الأداة بخطوط متوازية باتجاه معين، بخطوة عرضية، ثم قد ترسم الأداة مسارًا هو محيط الشكل (نفسه المسار المقطعي).

$$L = \sum_i a_i$$

في المعادلة السابقة طول المسار متغير (الخطوط المتوازية)، فإن كان محيط منطقة القطع مستطيلة –أو مربعة– وفيها أضلاع موازية لاتجاه القطع يمكنك تبسيط المعادلة هكذا:

$$L = a\frac{b}{s_o}$$

وذلك لأن طول المسار في كل خطوة ثابت ويساوي طول منطقة القطع في اتجاه القطع.



فإن كان المسار باتجاهين، واعتبرنا الوصلة بين خطوطه منه:

$$L = a\frac{b}{s_o} + b$$

وأخيرًا: إن تضمن المسار حركة أخيرة فيه في محيط منطقة القطع أصبحت المعادلات هكذا:

$$L = \sum_i a_i + C$$

في حالة المنطقة المستطيلة التي فيها أضلاع موازية لاتجاه القطع:

$$L = a\frac{b}{s_o} + b + 2(a+b) = a\frac{b}{s_o} + 2a + 3b$$

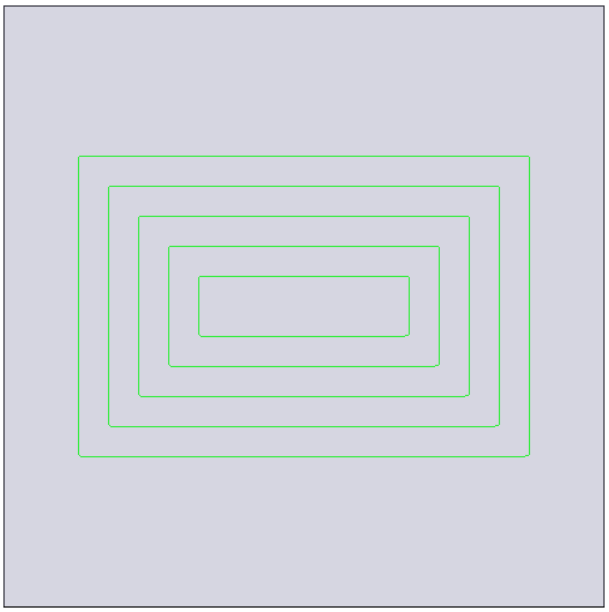
حيث

- a طول منطقة القطع [mm].
- a_i طول المسار في اتجاه القطع في كل خطوة [mm].
- b عرض منطقة القطع [mm].

s_o عرض القطع [mm].

طول المسار الإزاحي Offset

يتكون المسار الإزاحي من مجموعة من المقاطع المزاحة عن مقطع القطع، بخطوة إزاحة هي الخطوة العرضية. لتبسيط المسألة لنفترض أن منطقة القطع مربعة، عندها يكون طول المسار:



$$L = 4 \sum_{x=0}^{a/2s_o} (a - 2x \cdot s_o)$$

فإن كانت المنطقة مستطيلة:

$$L = 2 \sum_{x=0}^{a/2s_o} (a - 2x \cdot s_o) + 2 \sum_{x=0}^{b/2s_o} (b - 2x \cdot s_o)$$

وإن كانت دائرية:

$$L = 2\pi \sum_{x=0}^{r/s_o} (r - x \cdot s_o)$$

في المعادلات الأخيرة أهملنا الوصلة بين الخطوط (لم نعتبرها من القطع).

تحديد الزمن بالثواني والدقائق والساعات و...

المسألة هنا رياضية بحتة، وتتعلق بنظام العد. يعطي الباورميل الزمن برمجيًا بالدقيقة، ويعطي الوقت بالثانية، مقاسًا من العام 1970 إلى هذه اللحظة (إن استدعيت التابع time() في الباورميل الآن سيعيد لك قيمة بالمليارات! لا أدري كيف خطرت على بالهم هذه الفكرة الشريرة).

أما الوقت فنتعامل معه بالفرق بين قيمتين، وقيمته بالثواني بطبيعة الحال. أي ننظر إلى الوقت الأول، وإلى الوقت الثاني، فنطرح الأول (الأقدم) من الثاني (الأحدث) فنحصل على فرق الوقتين بالثواني.

وأما الزمن فنتعامل معه كما هو، ولكن بعد تحويله إلى مفرداته، ويمكن هذا بأكثر من طريقة. أسهل طريقة هي تحويل الزمن لأكبر واحدة، وتجزئة العدد إلى عدد صحيح أصغر أو يساوي العدد المعطى، ثم تحويل المتبقي إلى الواحدة الأصغر، وهكذا إلى أصغر واحدة.

مثلًا إن كان الزمن $T = 3555.556\ min$ عندها:

$$3555.556\ min = 59.259267\ hours = 2.469136\ days$$

إذًا الزمن يساوي يومين وأقل من نصف يوم:

$$0.469136\ days = 11.259264\ hours$$

يومان وإحدى عشرة ساعة وأزيد من ربع ساعة:

$$0.259264\ hours = 15.55584\ min$$

يومان وإحدى عشرة ساعة وخمس عشرة دقيقة وأزيد من نصف دقيقة:

$$0.55584\ min = 33.3504\ s$$

كما ترى فإن هذه الطريقة سهلة ويمكن أتمتتها أو برمجتها بالنسبة للمطورين.

طريقة أخرى:

1. للأزمنة الأكبر من الزمن المعطى: يُقسَّم على عدد الدقائق فيها. في هذه الحالة باقي القسمة هو المتبقي من الزمن المعطى.
2. للأزمنة الأصغر من الزمن المعطى: يُضرَب بعدد الدقائق فيها.

لتوضيح المسألة لنقل إن الزمن T معطى بالدقائق، عندها:

$$days = T \div 1440$$

$$hours = (T\ mod\ 1440) \div 60$$

$$minutes = (T\ mod\ 1440)\ mod\ 60$$

$$seconds = (minutes\ \times 60)\ mod\ 60$$

وهنا نقرب الأعداد إلى أقرب عدد صحيح أصغر أو يساوي العدد المعطى.

مثلًا: من أجل الزمن المعطى $T = 3555.556\ min$:

$$days = 3555.556 \div 1440 = 2.469 \rightsquigarrow days = 2$$

$$hours = (3555.556\ mod\ 1440) \div 60 = 675.556/60 = 11.259 \rightsquigarrow hours = 11$$

$$minutes = (3555.556\ mod\ 1440)\ mod\ 60 = 15.556 \rightsquigarrow minutes = 15$$

$$seconds = (15.556\ \times 60)\ mod\ 60 = 33.36$$

وهكذا للفترات الأكبر من الأيام، والأصغر من الثواني، ومن أجل أزمنة معطاة بغير الدقائق أيضًا.

وضعت في الملحقات طريقة للتحويل بين النظام الستيني والنظام المئوي، لمن أراد تحويلًا سريعًا بين النظامين.

الباب الثاني

الباورميل، من الألف إلى الياء

الفصل الثالث – مدخل إلى برنامج الباورميل

تعجبني البرامج التي لا تتغير مع مرور نسخها؛ لست ملزمًا أن تتعلم مفاهيم جذرية جديدة مع كل نسخة تطرحها الشركة المنتجة، والتي غالبًا ما تكون سنوية. يكفيك تعلّم نسخة واحدة لتكون قادرًا على العمل على أي نسخة تريد قديمة كانت أو حديثة. كما لن يذهب ما تعلمته هباءً إن أردت الانتقال إلى نسخة أقدم أو أحدث، وحدها الأيقونات والأدوات ما سيختلف عليك، أما المفاهيم الجذرية فهي هي في كل النسخ. برنامج الباورميل من هذه البرامج.

برنامج الباورميل طورته شركتان: **شركة Delcam** **وشركة AutoDesk**. المفاهيم الجوهرية نفسها في نسخ الشركتين، ومعظمها من تطوير الشركة الأولى.

أشهر نسخ الشركة الأولى: **PowerMILL 9**، وأشهر نسخ الشركة الثانية: **PowerMill 2021**.

مع أني أستخدم نسخة حديثة، ومع أن أغلب ما ستراه من أدوات هي من نسخة حديثة، إلا أنك لن تجدني أحدد نسخة من البرنامج في هذا الكتاب؛ يمكنك تطبيق ما ستقرؤه هنا على أي نسخة لديك، إن كانت تدعم الميزة التي تقرؤها. قد تختلف الأدوات أحيانًا، لكن بالتأكيد يمكنك أن تتابع المحتوى وتجربه

عندك. وهنا نقطة مهمة: جرّب كل ما تقرأه هنا عمليًا، سواء في الفقرات التي فيها رسومات أو في الفقرات التي لا رسومات تشرحها.

طيب أي النسخ أفضل؟ تقنيًا: النسخ الأحدث أوامرها أكثر، وأدواتها أفضل. أو على الأقل أوامرها محسنة ومحلول مشاكلها. ومع هذا: كل النسخ خير وبركة. وهذا في الباورميل وفي غيره على فكرة. ولكن في الواقع، في مهنتنا تحديدًا، الأمر يقف على المبرمج (مستخدم البرنامج) لا البرنامج. أعرف أناسًا ما زالوا يعملون حتى اليوم على نسخة باورميل 9 وهم أفضل مني ومنك في البرنامج وفي المهنة عمومًا (وخبرتهم في المهنة هي ما يشكل الفارق بيننا وبينهم في الواقع). خذ المفاجأة: أعرف من لا يزال يستخدم الباورميل 6 وشغلهم لا يعلى عليه، بل هو أفضل بمراحل من شغل من يستخدمون أحدث النسخ ويدّعون أنهم أرباب المجال.

أعلم أن القصد: إن تساوت خبرة المبرمجين فإن من يستخدم النسخ الأحدث إمكانياتهم أكبر، وهذا صحيح –نظريًا– في عامة البرامج الهندسية، بل في عامة برامج ويندوز. أما في مهنتنا فلا يصعب على صاحب الخبرة شيء، أكانت نسخته تدعم ما يريد تشغيله أم لا تدعمها. في النهاية، الباورميل أداة، آلة التشغيل نفسها أداة، العبرة بالمبرمج وخبرته لا بأدواته.

أميل شخصيًّا للكتب المشروحة بالمشاريع، كتب الخطوة بخطوة Step By Step (كتب الدورات Tutorials أو Courses). لكني لا أجدني متقنًا للكتابة بهذا الأسلوب، خصوصًا أنها لا تحيط بكل شيء في موضوعها وإنما تركّز على نقاط معينة عمليًّا. بالمقابل أحب الكتب التي تشرح أوليات الأمور، بتسلسل منطقي، بحيث كلما تساءلت عن ماهية المفهوم الفلاني في موضع معين في الكتاب وجدت فقرة في مكان قبله تشرحه. وأجدني أجيد هذا الأسلوب. لا يعني هذا أن ما أكتبه نظري فقط؛ لست أكتب لويكيبيديا، ولا للجامعات العربية؛ بل ستجد كل المفاهيم مشروحة بتطبيق عملي، بل حتى الفقرات النظرية وضعتها لدعم الفقرات العملية.

لا أعني بالأدوات –خصوصًا في هذا الفصل– أدوات القطع Tools، وإنما ما يمكنك استخدامه في البرنامج، من نوافذ وأوامر وإمكانيات وما شابه ذلك.

عندما أذكر مصطلح "البرنامج" في هذا الفصل فإني أعني **برنامج PowerMILL**، أما باقي الفصول فإني أعني به مسار التشغيل Toolpath. فإن أردت الإشارة إليه ذكرته صراحةً.

أخيرًا: هذا الفصل نظري بحت، يعرّفك بمفاهيم البرنامج، وأدواته ونوافذه. لك أن تتجاوزه إن أردت، والعودة إليه كلما تعثّرت بمفهوم جديد في الكتاب أو أثناء استخدامك للبرنامج. وإن قرأته فخير. ويحسن بك أن تعود إليه بين الحين والآخر؛ ستجد أشياء جديدة هنا كلما تقدم مستواك.

ولكن أحب أن ألفت انتباهك إلى نقطة مهمة: أفضل استثمار لفصول هذا الباب أن تقرأ الكتاب والباورميل أمامك، بحيث تطبق ما تقرأه مباشرةً، أو على الأقل تفتح الأدوات والنوافذ والبيئات، وسائر أدوات البرنامج؛ لتعرف أين محل ما تقرأه من الإعراب. خصوصًا أن الكتاب –كما رأيت وسترى– مليء بالسرد الكلامي ويفتقر في أحيان كثيرة لصور أو مخططات تعين القارئ على فهم ما يقرأ، فتجد فقرات

على مد البصر دون توضيح تطبيقي. وقد نتجاوز هذه الثغرة –إن شاء الله– في القادم من النسخ (وهذه دعوة للقراء لمن أراد إثراء محتوى الكتاب). (مهم)

بنية البرنامج – أقسامه وأدواته

قديمة كانت نسختك من البرنامج أو حديثة فإنها ولا بد مكونة من:

- الشريط الرئيسي Main Toolbar \ Ribbon
- المستعرض Explorer
- نافذة الرسومات Graphics Window
- شريط العرض View Toolbar
- شريط الحالة والمعلومات Status & Information Toolbar

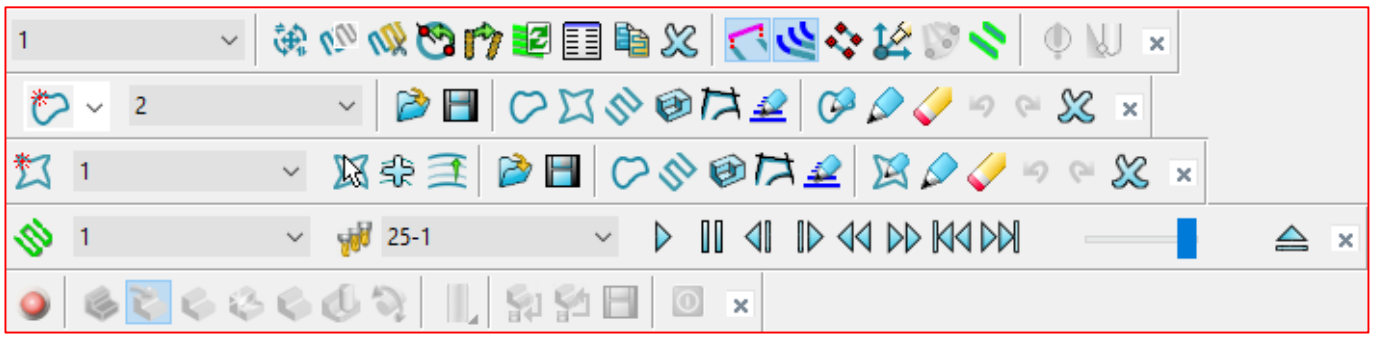
في النسخ الحديثة كل شيء موجود في الشريط الرئيسي Main Ribbon. في النسخ القديمة أدوات كل كائن موجودة في شريط منفصل. المزيد في ما يلي من فقرات.

الشريط الرئيسي Main Toolbar \ Ribbon

هنا مركز العمليات إن صح التعبير؛ فهذا الشريط قلب البرنامج.

لنبدأ مع مستخدمي النسخ القديمة. أدوات البرنامج الرئيسية مجموعة في هذا الشريط:

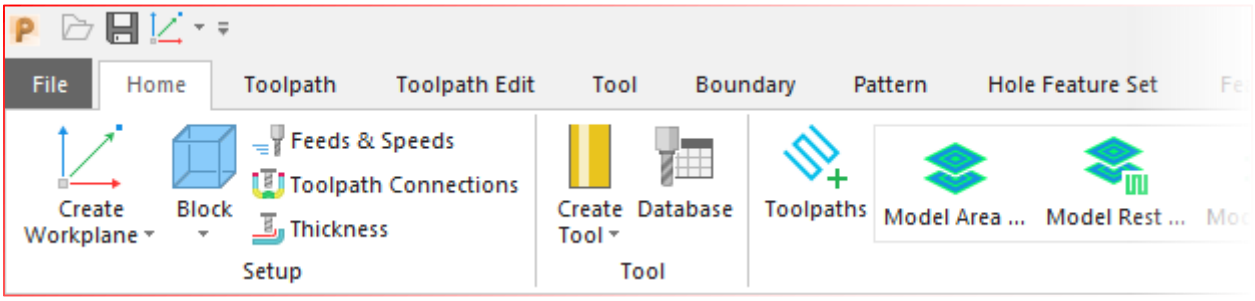
والأدوات الثانوية، أو المتعلقة ببعض الكائنات، مجموعة في أشرطة منفصلة:



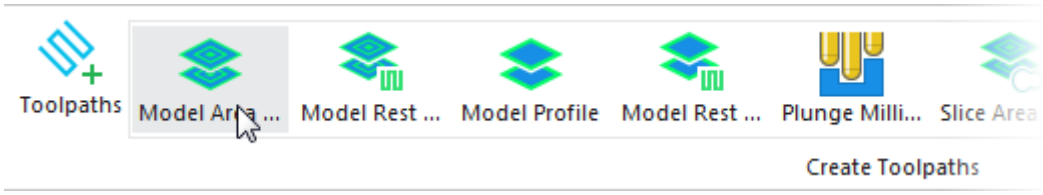
كما توجد أشرطة سياقية:

وأما بالنسبة لمستخدمي النسخ الحديثة، فليس دقيقًا تسمية الشريط بالشريط الرئيسي؛ لأن البرنامج لا يحوي شريطًا رئيسيًا وأخر ثانوية، بل هو شريط واحد فيه كل أدوات البرنامج. ولكننا سنميه كذلك اصطلاحًا، ولربطه بما يقابله في النسخ القديمة. في هذا الشريط صفحات Tabs، هي نفسها الأشرطة القديمة المنفصلة عن بعضها، لكنها هنا في مكان واحد.

ويعلو الشريط الرئيسي شريط الوصول السريع QAT. وهو –كالشريط الرئيسي– قابل للتخصيص، لتضع فيه أهم الأوامر التي تريد الوصول إليها بسرعة.



ولعل ما يزيد إنتاجيتك تخصيص مسارات التشغيل المفضلة:



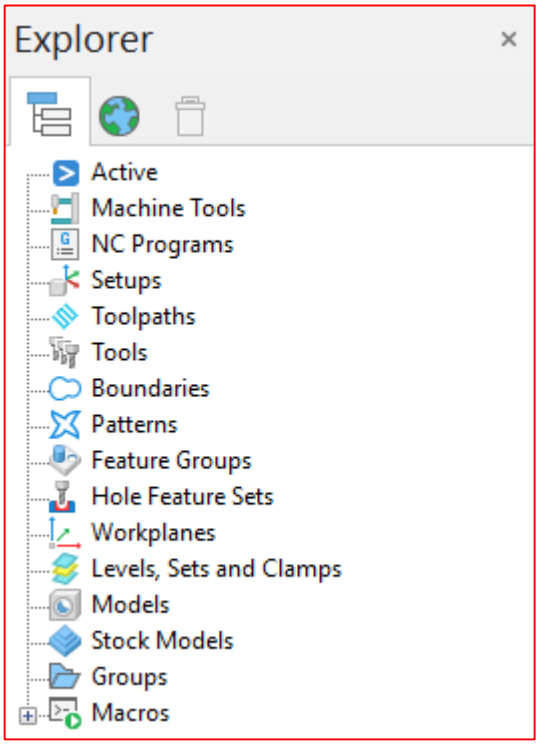
أهم ما في المبرمجين [1] هو السرعة، ليس من منظور برامج التشغيل التي يضعونها فحسب (ولو كانت هي المعيار الأول)، وإنما أيضًا من منظور سرعتهم في وضع البرامج. نفترض هنا طبعًا أن البرامج بالجودة المطلوبة لتصنيع المشغولات. لذا، تخصيص شريط الوصول السريع والشريط الرئيسي، واختصارات لوحة المفاتيح؛ من شأنه جعلك أسرع بمراحل.

انظر **فقرة الفأرة ولوحة المفاتيح**؛ فيها المزيد عن الشريط.

[1] نطلق على مستخدم برامج التشغيل باستخدام الحاسوب تسمية المبرمج Programmer؛ فناتج عملهم برامج Programs. قد تقدّم تفصيل المسمى التقني للعاملين في هذه المهنة في أول الكتاب.

المستعرض Explorer

هنا يمكنك أن ترى أدوات البرنامج كلها، والتي نسميها كائنات، وهي مقسمة إلى:



- برامج التشغيل NC Programs
- مسارات التشغيل Toolpaths
- أدوات القطع Tools
- حدود التشغيل Boundaries
- الأنماط Patterns
- السمات Feature Sets
- جمل المحاور الإحداثية Workplanes
- الطبقات Levels & Sets
- النماذج Models
- الخامات الافتراضية Stock Models
- المجموعات Groups
- تسجيلات الأوامر Macros

وفي النسخ الحديثة أدوات (كائنات) جديدة:

- الكائنات النشطة Active (وهو اختصار)
- آلات التشغيل Machine Tools
- الأوضاع Setups
- الثقوب Hole Feature Sets

وكما ترى فإن ترجمتي للمصطلحات سياقية؛ أي أني أنظر إلى معنى المصطلح بالإنكليزية فأصيغ ترجمة بالعربية تناسب لغتنا قدر الإمكان، وستعاين ذلك مع مرور الفقرات.

بالنسبة للبرنامج هذه الأقسام هي في الواقع مجلدات Folders. لن تقدّم هذه المعلومة لك كبير فائدة الآن، لكن عندما تنشئ تسجيلات للأوامر Macros ستعني لك الكثير. الأكثر من ذلك: يمكنك إضافة مجلدات إليها لتنظيم الكائنات فيها. ما يهمك في الواقع باعتبارك مستخدمًا أن كل شيء في المشروع كائن، وأن الكائنات مجمعة بحسب نوعها في مجلدات، وأنه ثمة كائن واحد –على الأكثر– نشط إن صح التعبير، نسميه الكائن الفعّال Active Entity، هو ما تنفّذ عليه الأوامر. "على الأكثر" هذه لأنه قد لا يكون ثمة أي كائن فعال من نوع ما.

على سيرة المشاريع: الباورميل من البرامج التي تخزن العمل باعتباره مشروعًا Project، مع أنها تقنيًّا ملفات. بمعنى: العمل الذي يخزّن على شكل مشاريع عادةً ما يكون موزعًا على ملفات مستقلة عن بعضها ومستقلة عن المشروع، بحيث يمكن فتحها، وتحريرها، والتعديل عليها، وحذفها إن أردت، خارج المشروع. وظيفة المشروع ربط الملفات مع بعضها وإجراء بعض العمليات اللازمة لإعطاء المشروع

معناه. برنامجنا يخزن العمل على شكل ملفات، ويسميها بمجموعها مشروعًا، ولكنه يشفرها، تشفيرًا رديئًا من سوق الجمعة، وفوقها طارقنا منية أنه ميز مجلد المشروع عن غيره بإعطاءه أيقونة.

ما علينا .. الفقرات التالية فيها مزيد من التفصيل.

المتصفح Browser

يستخدم لتصفح ملفات HTML، وأهم استخدام له تصفح محتوى التعليمات المرفق بالبرنامج، بالإضافة إلى تصفح التوثيقات البرمجية للمطورين.

قد يتعبك تصفح تعليمات البرنامج من هنا. استخدم متصفح الإنترنت لتصفحها، بعد تحديد مكانها في الكمبيوتر عندك. عادةً ما تكون في هذا المسار:
"C:\ProgramData\Autodesk\PowerMill\2021\Help\l.enu\index.html"
مثلًا هذا مسار تعليمات النسخة 2021. [1]

سلة المحذوفات Recycle Bin

عند حذف الكائنات فإنها في الواقع لا تحذف فعلًا وإنما تنقل إلى سلة المحذوفات، مما يتيح إمكانية استعادتها بعد حذفها. تبقى الكائنات المحذوفة في سلة المحذوفات إلى أن تحذف نهائيًا أو يغلق المشروع. لأغلب الكائنات إمكانية حذف أجزاء منها، **بالأمر Delete Selected**. في هذه الحالة لا تنقل الأجزاء المحذوفة إلى سلة المحذوفات، بل تحذف نهائيًا، ولا سبيل لاستعادتها أبدًا. (مفهوم الـ UX يبكي في الزاوية).

لا يمكن حذف الكائنات المقفولة (سيأتي تفصيلها، وهي ما يعتمد عليها غيرها من الكائنات).

عند استعادة كائن مرتبط بكائن محذوف أو أكثر، فإنه تستعاد معه كل الكائنات المرتبط به. فإذا تعارضت أسماءها مع أسماء كائنات موجودة في المستعرض أعيد تسميتها تلقائيًا بأقرب اسم جديد.
مثلًا: إن حذفت مسار تشغيل، ثم حذفت أداة قطع المسار وحدوده، ثم استعدت المسار؛ عندها تستعاد الأداة والحدود لاعتماده عليهما.

يمكن حذف الكائنات نهائيًا دون نقلها إلى سلة المحذوفات بالمفاتيح: {SHIFT} + {DEL}.

إن حذفت كل كائنات قسم من المستعرض فإن العناصر غير المقفولة فقط ستحذف. يحدث هذا عند النقر بالزر الأيمن للفأرة ثم الأمر Delete All. (انظر الفائدة الثانية، القادمة)

[1] لا بدّ أن تكون التعليمات المحلية مثبتة قبل أن تستطيع الوصول إليها. **فقرة الإعدادات** في آخر الفصل فيها المزيد.

ينصح بحذف كائنات سلة المحذوفات من فترة إلى أخرى، لتقليل ما يحتاجه البرنامج من ذاكرة.

لحذف كل الكائنات غير المقفولة (ما لا يوجد ما يعتمد عليها) في قسم من أقسام المستعرض احذف كل كائنات القسم. لن تحذف كلها طبعًا، وإنما سيحذف ما لا يعتمد عليها غيرها منها.

مثلًا: لحذف كل حدود التشغيل التي لا يوجد كائنات –كمسارات تشغيل– تعتمد عليها انقر باليمين على المجلد Boundaries في المستعرض ثم Delete All، لحذف كل جمل المحاور الإحداثية التي لا يوجد كائنات تعتمد عليها انقر باليمين على المجلد Workplanes ثم Delete All، وهكذا.

نافذة الرسومات Graphics Window

هنا مكان العمل الفعلي في البرنامج. لك أن تقول أنها الطاولة التي نضع عليها الأدوات، ونعمل عليها. اجعلها نظيفة قدر الإمكان، ومرتبة؛ لتنشئ عملًا ميكانيكيًّا متقنًا. ولعل هذا الكتاب يساعدك في هذا.

عند تشغيل الباورميل فلا كائنات في المشروع في البداية، ولا شيء ظاهر إلا جملة الإحداثيات العالمية Global Workplane، مع عرض مسقط المستوي XY، ووجود الجملة العالمية في منتصف الشاشة. ستجد محتويات المشروع تمامًا كالصورة المرفقة مع **فقرة المستعرض** قبل صفحتين.

للبرنامج سلوك مميز مع الرسومات:

- إخفاء الرسومات المحددة Blank Selected Components ({CTRL} + {J})
- إخفاء ما عدا الرسومات المحددة Blank Except Selected Components ({CTRL} + {K})
- عكس الإخفاء Blank Toggle ({CTRL} + {L})
- إظهار كل الرسومات Unblank All Components

ولكن هنا نقطة مهمة: إخفاء الرسومات لا يعني حذفها، ولا عدم تفعيلها. لا معنى للتفعيل أصلًا مع الرسومات. هي موجودة في المشروع إذن لها تأثير. (مهم)

وكما رأيت فإن في المشروع ما يسمى بالطبقات أو المستويات Levels، في الحالة العامة هي ما يستخدم في إظهار وإخفاء الرسومات. ولكن إن لم يكن ممكنًا وضع الرسومات في طبقة لإخفاءها، لوجودها في طبقة أخرى، أو لم يكن ذلك متاحًا، لأنه سيخل بمنطق هيكلية المشروع وتنظيمه، أو لأنها لا يراد إخفاء كل رسومات الطبقة؛ عندها نخفيها ونظهرها بالسلوك المذكور.

هذا، وإن أردت حفظ ما في نافذة الرسومات على شكل صورة فانقر بالزر الأيمن عليها وأرسل **الأمر Save Screenshot**.

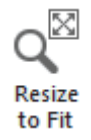
للبرنامج سلوك مميز أيضًا مع الخطوط:

- تظهر خطوط القطع في المسارات بالأخضر، والنقلات والبدايات والنهايات بالبرتقالي، والدخول بالريشي.
- تظهر نقلات الأمان المطلق بالأحـــمـــر. وهذه الخطوط الوحيدة المتقطعة.
- تظهر نقلات الأمان النسبي بالبنفسجي.
- تظهر خطوط حدود التشغيل .
- تظهر خطوط الأنماط بالبرتقالي.

ولك أن تغيّر الألوان من الإعدادات، ويمكن تعديل بعضها سياقيًا.

شريط العرض View Toolbar

إليك ما يحويه هذا الشريط باختصار:

الزر	الوظيفة
	وضع العرض: إن كان تفريز أو خراطة.
	عرض أحد مساقط الرسومات.
	عرض أحد المناظير الإيزومترية للرسومات.
	إعادة ضبط العرض السابق.
	تحديث العرض. يعمل بمبدأ زر التحديث في ويندوز؛ وظيفته ليست التسريع، وإنما إعادة التحميل. يشيع استخدامه في المحاكاة إن تغير العرض.
	تحجيم العرض بحيث يتسع لكل الرسومات. لهذا الأمر الاختصار {F6}.
	تحجيم العرض.

	خيار لإظهار وإخفاء الخامة. لهذا الأمر الاختصار {F3}.
	خيار لإظهار وإخفاء الرسومات. لهذا الأمر الاختصار {F4}.
	خيار لإظهار وإخفاء الخطوط.

ويلحق بشريط العرض مكعب العرض Cube View. وهو مكعب تفاعلي يغير العرض إلى المساقط والمناظير القياسية:

وكما ترى، فإنه لا يغير العرض فقط، بل ويمثله. يغير المكعب العرض بالضغط على وجه من وجوهه، أو حافة من حوافه، أو زاوية من زواياه. الاقتراب منه يظهر زر العرض الرئيسي Home View.

وانظر أيضًا: **فقرة الفأرة ولوحة المفاتيح**؛ فيها ما يتعلق بالعرض.

شريط الحالة والمعلومات Status & Information Toolbar

يحوي الشريط أداتين:

- شريط المعلومات Information Toolbar
- مؤشر التقدم Progress Indicator

إن كان البرنامج مشغولًا بأمر ما فإنه يظهر مؤشر التقدم، وإلا: شريط المعلومات.

من شريط المعلومات:

- يمكنك أن تنشئ جمل الإحداثيات وأن تتنقل بينها.
- وأن تحدد مستوي العمل مع المنحنيات (الحدود والأنماط)، وذلك بالخيارات:
  - المستوي YZ
  - المستوي ZX
  - المستوي XY

- قفل النقاط Point-Lock
  - إن كانت النقاط مقفولة رسمت المنحنيات على المستوي المحدد، وإلا رسمت على مستو يوازي المستوي المحدد، إن لم يكن الرسم عليه متاحًا.
  - ومنه يمكنك إظهار وإخفاء الشبكة Grid. وتظهر عند رسم المنحنيات.
  - والوصول لأداة تحديد الموقع Point، إن كان السياق يدعمها.
  - والتبديل بين الإحداثيات المطلقة والنسبية.
  - وإدخال الإحداثيات تفصلها فراغات.
  - والوصول إلى طابور الأوامر Calculation Queue.
  - ومعرفة:
    - واحدات البرنامج mm
    - دقة مسار التشغيل الفعال 0.1
    - الخامة المتروكة 0.0
    - قطر أداة القطع الفعالة 5.0
    - نصف قطر دوران حدودها القاطعة 0.0
  - ولك إن أردت إضافة أربعة حقول تعرّفها أنت (انظر **فقرة الإعدادات** فيها تفصيل ذلك).

> إن قفلت النقاط فإنها ترسم على مستوي العمل المحدد، وعندها إحداثية النقطة على ناظم المستوي هي 0 لأنها تقع عليه. أي إن كنت ترسم على المستوي XY فإن الإحداثية z للنقطة التي ترسمها معدومة حتى لو لم تبدو كذلك. ومع ذلك، ما زلت قادرًا على ضبط هذا الارتفاع إما من أداة الموقع وإما من حقل الإحداثيات (الحقل الأخضر في شريط المعلومات).

مع مؤشر التقدم زر لإلغاء الأمر. أنت وحظك: يا بينهي الأمر يا بينهي المشروع 💀.

الأدوات هنا هي صناديق حوار

لسوء حظنا اتفقوا على تمثيل الكائنات في البرنامج بصناديق حوار Dialog Boxes، يتفاعل معها المستخدم، فيدخل المدخلات التي يشاء، ليحسبها البرنامج ويعالجها عندما يريد المستخدم ذلك. وهي برمجيًا ليست إلا نوافذ ضمن نافذة البرنامج. قد تكون تجربة المستخدم الآن مقبولة، لكن إن عاصرت النسخ القديمة من البرنامج فلن تعجبك أبدًا (لا زلت أذكر عندما كانت تختفي إحدى النوافذ، وتعال لاقيها!). هذا فضلًا عن أنها بطيئة، في كل مرة تفتح نافذة إعدادات مسار تشغيل كلفك ذلك زمنًا؛ لأن البرنامج يحمّل كل الإعدادات إلى الذاكرة (مفهوم الـ UX يئنّ في الزاوية). وإن أردت رأيي: من علمهم البرمجة ظلمهم، وظلمنا.

المهم.. تنتهي صناديق الحوار هذه بالأزرار التالية أو بعضها:

- **تطبيق Apply** أو **حساب Calculate** لقبول المدخلات وحسابها، مع ترك النافذة مفتوحة.
- **قبول Accept** أو **مواقق OK** لقبول المدخلات وإغلاق النافذة.
- **إلغاء الأمر Cancel** لإلغاء المدخلات وإغلاق النافذة.
- **إغلاق Close** لإغلاق النافذة.

فقرة التعامل مع نوافذ البرنامج فيها مزيد من التفصيل.

المشروع في الواقع ما هو إلا مجلد في القرص الصلب

مرة أخرى: لسوء حظنا اتفقوا على تمثيل المشاريع بمجلدات Folders. حرفيًّا هي مجلدات في القرص الصلب 🙂. إن كنت لا ترى في ذلك مشكلة فأحب أن أخبرك أن كائنات مشاريع هذا البرنامج كونها تخزن في ملفات في مجلد المشروع هي مشاع يمكن لما هب ودب أن يعدل عليها، أو يحذفها حتى، أو ينتهك ما يشاء منه! كما ستجد في بعضها إن فتحتها بمحرر نصوص جملًا بحروف كبيرة من باب التحذير أن DON'T EDIT! ☃️.. وحتى لو لم تكن عرضة للتطفل فإنها قد تتضرر لسبب أو لآخر.

حتى الشركات الكبيرة التي تمثل مشاريعها بمجلدات لا تسلم مشاريعها من المشاكل نتيجة فقدان بعض ملفاتها أو تلفها أو عدم توافقها مع المشروع لسبب أو لآخر. وأشهر برنامج يمثل مشاريعه هكذا **الفيجوال ستوديو** 🆚. واسأل المبرمجين الذين أعادوا إنشاء مشاريعهم من الصفر لأن الفيجول ستوديو لم يقبل تكوين المشروع لضياع بعض ملفاته، أو عدم توافقها، أو أسباب أخرى كثيرة.

المهم.. مع أنه لا يفضّل أن تعبث بالبنية التحتية للمشروع، لكن لا بأس بذلك في سبيل فهم كيف تجري الأمور. اختصرت الفقرة في آخرها إن لم ترد قراءة التفصيل كله.

إذا دخلت إلى أحد مشاريع الباورميل ستجدها مليئة بملفات مسماة بحروف عشوائية –فيما يبدو– على مد النظر. أسماء الملفات في الواقع مشفرة. كل ملف من هذه الملفات يمثل كائنًا من كائنات المشروع، بالإضافة إلى ملفات تنظيمية. وأهم الملفات **الملف lockfile**. إن وجد في المشروع كان عندها مقفلًا؛ ما يعني أنه مفتوح من قبل الباورميل (يمكنك أن تقول أن القفل يعني الحجز). هذا الملف ينشأ تلقائيًا عند فتح المشروع؛ لضمان عدم فتح المشروع من قبل مستخدمين اثنين. ويحذف تلقائيًا أيضًا عند إغلاق المشروع. ستواجه كثيرًا إحدى مشكلتين: 1- أن ينهار البرنامج لكثرة الأوامر وعدم قدرته على معالجتها، أو يغلق قسرًا (كأن تغلقه من أداة إدارة المهام في الويندوز) 2- أو يتوقف الحاسوب عن العمل (لانقطاع الكهرباء مثلًا). عندها لن يحذف ملف القفل بإغلاق المشروع. وإن فتحته وهذا الملف موجود سيفتح للقراءة فقط وعليك حفظه في مكان آخر. لحل الأزمة احذف ملف القفل قبل فتح المشروع. ولكن احذر أن تحذف ملف القفل لمشروع أنت تعمل عليه؛ عندها لن يقبل البرنامج إلا وأن تحفظ المشروع في مكان جديد، حتى لو استعدت ملف القفل، حتى لو تواسط لك صاحب **شركة AutoDesk** شخصيًّا...

إن كانت نيتك فتح مشروع للقراءة فقط فافتحه **بالبرنامج PowerMILL Viewer**؛ فهو لا يولد ملف القفل، ولا يوجد فيه إمكانية حفظ المشروع، حتى لو عدلت عليه.

إذا لم يكن المشروعًا محفوظًا كان في عنوان نافذة المشروع الكلمة None. فإن كان محفوظًا كان في اسمه نجمة "*" إن كان بحاجة إلى حفظ، وشرطة "-" إن لم يكن بحاجة إلى ذلك.

الأكثر من ذلك: الملف الرئيسي في المشروع، ذي الصيغة pmlprj.، والذي يكون باسم المشروع، مكتوب فيه كائنات المشروع والملفات التي تمثلها. وفي كل مشروع ملف اسمه project_list، فيه أسماء الكائنات بترتيبها، هو مفيد للمطورين.

بالمختصر:

- إن أغلق المشروع قسرًا؛ احذف الملف lockfile قبل الدخول إليه.
- إن فتحت المشروع فأظهر رسالة أنه للقراءة فقط؛ أغلقه، واحذف الملف lockfile، ثم افتحه.

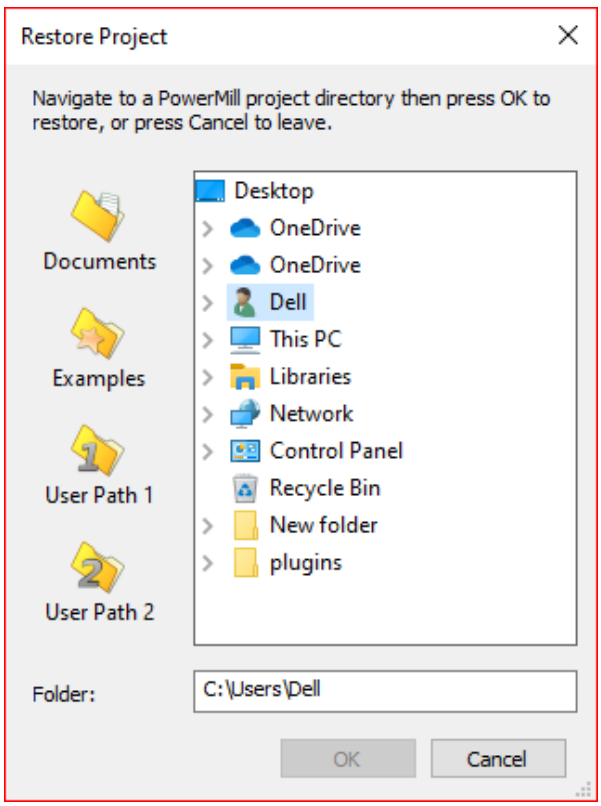
محاولة إصلاح المشاريع المضروبة

قد يتضرر المشروع لسبب أو لآخر، عندها لا يمكنك فتحه. أحيانًا تخص المشكلة أجزاء منه، فتفقد كائنات بعينها، وأحيانًا تعم المشكلة المشروع كله، إما لأن كائنات جوهرية فيه فقدت أو لأن الضرر أصابه كله.

في الباورميل أمر لمحاولة إصلاح المشاريع المضروبة. لا أداة تمثله، وإنما نكتبه في موجه أوامر المشروع:

```
project restore projselector
```

عندها تظهره هذه النافذة:



عملية التشغيل The Machining Process

نستخدم برنامج الباورميل لدراسة عملية التشغيل الميكانيكي حاسوبيًا، فهو من برامج التشغيل باستخدام الحاسب CAM. هذه البرامج تساعد في وضع مراحل عملية التشغيل، واختبارها، في بيئة عمل افتراضية، للحصول على أفضل نتيجة.

تعاملك مع برنامج الباورميل بمنظور الحياة الواقعية يختصر عليك أغلب الطريق. انظر للمشروع على أنه شغل ميكانيكي، ولبرامج التشغيل على أنها مراحل عملية التشغيل، ولمسارات التشغيل على أنها خطوات مراحل عملية التشغيل، وهكذا.

قبل أن نضع برامج التشغيل (مراحل عملية التشغيل) نضبط ظروف العمل (المنتج المطلوب، والخامة، وأدوات القطع، وارتفاعاتها) [1]، وننشئ مسارات التشغيل (خطوات تنفيذ مراحل عملية التشغيل)، ونختبرها بمحاكاتها لنعرف سلوكها وما ستنتجه من عمل، وأخيرًا ننشئ برامج التشغيل ونكتبها في ملفات. الفقرات الفرعية التالية فيها هذا الكلام بشيء من التفصيل.

ضبط ظروف التشغيل Setup

في البداية نستورد المنتج المطلوب تشغيله. وهو نموذج Model مرسوم ببرامج تصميم CAD، ونسميه أيضًا: الرسمة. في الباورميل إمكانية رسم محدودة، سيأتي تفصيلها لاحقًا.

أفضل برنامج للرسم متكامل مع الباورميل **برنامج الباورشيب PowerShape** (في نسخ **شركة AutoDesk** اسمه **PowerMill Modelling**).

ثم نضبط جملة الإحداثيات Workplane. قد يكون في مشروعك أكثر من جملة؛ ما يعني أن المشغولة فيها شغل في أكثر من تثبيت واحد. وجود أكثر من جملة إحداثيات في المشروع يعني أن المشغولة ثبتت بطريقة تثبيت معينة، وأجريت عليها عمليات تشغيل، ثم فُكَّت، لتركَّب من جهة مختلفة، فثبتت مرة أخرى، وهكذا. بالمناسبة نسمي جملة الإحداثيات صفر الشغل (أو صفر القطعة، أو المشغولة)، أي النقطة O(0, 0, 0)، وهي غالبًا ما تكون في منتصف القطعة / الخامة وفي أعلاها، عرفًا.

وبالمناسبة أيضًا: في الآلة فرش بمجاري T، T-Slot Fixture Plate، تربط عليه القطعة، أو آلية تثبيتها.

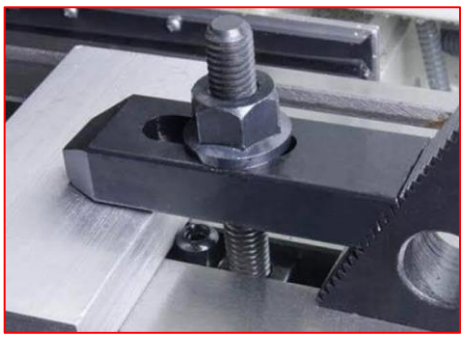
[1] يدخل في ظروف العمل تحديد طريقة التثبيت. يختلف الشغل باختلاف طرق التثبيت بالمناسبة.

تثبت المشغولات في الواقع بإحدى الطرق التالية:

- مغناطيس
- قوامط (أو مماسك) Clamps
- ملزمة Vise (وتسمى منجلة)
- ظرف (للأشكال الدورانية)
- آلية شفط Vacuum
- براغي
- لاصق ("ألتيكو"، "أمير"، ... إلخ)
- شريط لاصق مزدوج التأثير
- ربطها بقطع وتثبيت القطع

ومهما كانت طريقة التثبيت فإن القطع أو آليات تثبيتها تربط على الفرش.

وقد تكون القوامط من أكثر طرق التثبيت شيوعًا. أفضل تثبيت بها يكون عندما تكون القوامط أفقية. وهنا تأتي فائدة الكتل الخطوية Step Blocks (الصور التالية)؛ يُغيِّر ارتفاع القامط تبعًا لارتفاع القطعة المثبتة. أما عند استخدم الكتل الثابتة فعليك وضع كتلة أو أكثر لمكافأة ارتفاع القطعة المثبتة.



اسأل نفسك دائمًا قبل أن تبدأ البرمجة كيف ستثبت المشغولة. جواب هذا السؤال يلعب دورًا في المسارات التي سترسمها.

ثم نضبط الخامة Block. والخامة نظريًّا هي المشغولة؛ كتلة من معدن أو غيره تشغَّل ميكانيكيًّا لتكوين المنتج المطلوب. هنا –في البرنامج يعني– هي مختلفة قليلًا، هي المنطقة التي يمكن لمسار التشغيل أن يتحرك فيها؛ ما زال لها المعنى النظري، لكن معناها التقني أشمل.

ثم نضبط أدوات القطع، وظروف تشغيلها، كارتفاعات الأمان وارتفاعات التغذية، والسرعات والتغذيات، وما إلى ذلك.

يمكن تأجيل ضبط الخامة وأدوات القطع والظروف التشغيلية إلى مرحلة إنشاء مسارات التشغيل. في الواقع يمكن لكل مسار تشغيل أن يحوي إعدادات خاصة به، من خامة وأدوات قطع وحدود تشغيل وأنماط وظروف تشغيل. لكن يستحسن ضبط ظروف التشغيل على الأقل في البداية.

ارتفاعات الأمان وارتفاعات التغذية، والسرعات والتغذيات متعلقة بمسارات التشغيل لا أدوات القطع. مزيد من التوضيح لاحقًا.

تريد تحديد ظروف أعمق؟ استورد آلة التشغيل إلى المشروع.

آلات التشغيل Machine Tools هي الكائنات الوحيدة التي لا يمكن إنشاءها في البرنامج.

إنشاء مسارات التشغيل Creating Toolpaths

تقسم مسارات التشغيل بحسب سلوكها إلى نوعين رئيسيين:

- **برامج الهد Roughing Toolpaths**، وهي تشغيل أكبر قدر من المشغولة بأقل وقت ممكن.
- **برامج الإنهاء Finishing Toolpaths**، وهي تحقيق المنتج المطلوب بأعلى دقة مطلوبة.

وإلى أنواع ثانوية، أشهرها:

- **برامج تسوية السطوح Face Milling**
- **برامج إنهاء الزوايا Corner Finishing**
- **برامج التثقيب Drilling**

يدخل في برامج الهد **برامج الهد المتبقي Rest Roughing**، وفي برامج الإنهاء **برامج نصف الإنهاء Semi Finish**.

وقد تسمى عمليات الهد: عمليات التخشين، وعمليات الإنهاء: عمليات التنعيم.

ولكن هذا التقسيم اصطلاحي لا أكثر؛ فقد تستخدم برامج الهد لتشغيل قطع حتى إنهاءها، وذلك إن لم تهمك الدقة كثيرًا، وقد تستخدم برامج الإنهاء لهد المشغولات، وذلك إذا رأيت أنها ستقوم بالشغل المطلوب [1]، خصوصًا أن نقلاتها أقل، وخطوطها أقل، وهي أكثر قابلية للتحكم بها. بل وقد تضع مشاريع فيها أحد النوعين فقط. ومع ذلك فهو تقسيم صحيح في معظم الأحيان.

[1] أشهر برامج الإنهاء المستخدمة باعتبارها برامج هد **البرنامج Constant Z Finishing**، **والبرنامج Pattern Finishing**. يجب الحذر في هذه الحالة، والتأكد من سلوك البرامج، ودراستها جيدًا؛ فأنت المسؤول الأول والأخير عنها. أما برامج الهد فهي على ذمة الباورميل؛ إذ يضمن أن تكمل البرامج ما تركه ما قبلها، دون زيادة ولا نقصان، "باعتبار الدقة المطلوبة".

النقلات باختصار خطوط ثانوية زيادة على خطوط مسارات التشغيل تسلكها أداة القطع لتنتقل من خط من مسار التشغيل إلى آخر. سنتناول النقلات في **فصل المفاهيم الأساسية**.

في برامج الهد الوقت هو العامل الأساسي، ودقة التشغيل ثانوية؛ لذلك فإننا نستخدم أكبر أداة قطع ممكنة. فإذا تبقى شيء استخدمنا أكبر أداة مناسبة أصغر منها. وهكذا إلى أن نزيل أكبر قدر من الخامة. كما أننا في هذه البرامج نترك كمية من الخامة لبرامج الإنهاء؛ كون دقتها منخفضة، وأسلوب رسم الخطوط فيها لا يحقق تفاصيل المنتج، والاحتمالية العالية لوجود أخطاء في أداة القطع (سنتناول الأخطاء في **فصل المفاهيم**). في برامج الإنهاء الدقة هي العامل الأساسي، حتى لو كلّفت وقتًا.

نسمي أنواع مسارات التشغيل **إستراتيجيات Strategies**، وسيأتي تفصيلها.

معظم الإستراتيجيات مبني بأحد أسلوبين:

- **التشغيل المتوازي Raster**
- **التشغيل الإزاحي Offset**

إستراتيجيات الهد تعمل من الأعلى للأسفل دائمًا. إستراتيجيات الإنهاء قد تعمل هكذا وقد تعمل هكذا، وقد تكون خليطًا بين هذا وهذا. ومنها ما يعمل من الخارج إلى الداخل، ومنها ما يعمل بالعكس، بغض النظر عن أعلى نقطة وأدنى نقطة في الأسطح المشغلة.

أفضل برامج التشغيل ما يعمل من الأعلى إلى الأسفل.

أخيرًا.. عندما تنتهي من وضع مسارات التشغيل تأكد منها وراجعها مرارًا، ويحسن بك أن تراجعها كلها دفعة واحدة في آخر مرحلة من المشروع، قبل أن تكتب البرامج.

عوّد نفسك على إجراء فحص شامل عند الانتهاء من المشروع وقبل تخريج برامج التشغيل. ويستحسن أن تجري فحصًا لملفات التشغيل لتتأكد من أنها صحيحة ولا تحوي غلطات.

اختبار مسارات التشغيل – المحاكاة Simulation

تفيدك المحاكاة في كثير من الأحيان في معرفة صلاحية مسارات التشغيل في العملية التشغيلية. وهي ثلاثة أنواع:

- **المحاكاة Simulation**
- **المحاكاة باعتبار الخامة ViewMill Simulation**
- **المحاكاة باعتبار الآلة Machine Simulation**

ويلحق بها استخدام **الخامة الإضافية Stock Model** لرؤية الخامة غير المشغّلة، بتأثير مسارات تشغيل معينة، أو أدوات قطع مفترضة، وسيأتي تفصيلها.

تخريج البرامج Post-Processing

وفي النهاية، نكتب البرامج في ملفات من نوع tap.. نسمي كتابة البرامج في ملفات: **تخريج البرامج**. وفي الواقع في هذه اللحظة أصبح للبرامج معنى حقيقي، حيث تكون على شكل أسطر برمجية / أكواد. قبلها كانت البرامج كلامًا عامًّا غير موجه لأي آلة. بمعنى آخر: يكون للبرامج معنى إن وجّهت إلى آلة = إن تُرجمت = إن خُرّجت. واقرأ أيضًا **فقرة المترجم Post Processor**، ستجدها بعد منتصف هذا الفصل.

وبس...

كل شيء هنا كائنات Entities

يمكنك أيضًا أن تقرأ الفقرة وكأن عنوانها: محتوى متصفح الباورميل PowerMILL Explorer Entities. أو إن أردت: محتوى مشاريع الباورميل PowerMILL Project Content. لن تجد في هذه الفقرة كيفية استخدام هذه الكائنات، وإنما تعريفًا عنها. الفصول التالية تشرحها بالتفصيل.

قد لا تعنيك هذه التفصيلة كثيرًا (أقصد التسمية)، فلن تقدّم لك أكثر من أن البرنامج يعتبر الأشياء كائنات. لكن إن أردت أتمتة البرمجة بوضع تسجيلات أوامر Macros أو تطوير البرنامج بإنشاء إضافة Plugin فهي مفصلية عندها. لكن ما يعنيك فعلًا هو ماهية هذه الكائنات، ومعناها التقني، وأين تجدها في الواقع، وهو ما ستجده في هذه الفقرة، وما يهمك فعلًا (لن تجد معلومات تفصيلية هنا، اقرأ الفقرة لتتعرف إلى المفاهيم إن كنت جديدًا في البرنامج، ولترتب أفكارك إن كنت قديمًا فيه).

وعلى فكرة: كل شيء هنا كما سترى موجود لأجل المسارات. يمكن أن نقول إنها موجودة لأجل برامج التشغيل ولكن تقنيًا نتعامل مع الأشياء من خلال المسارات. لذا فالأصح أن نقول إنها موجودة لأجل المسارات. بعض الكائنات هي خصائص من خصائص المسارات. وبعضها لا صلة لها بالمسارات ولكنها موجودة لأجل أن ترسم المسارات بطريقة معينة، وكأنها خصائص غير مباشرة من خصائصها.

يسميها الباورميل وسطاء Parameters. هي أشبه بالمتغيرات Variables في لغات البرمجة، ولكنها أقرب للخصائص Properties منها. لهذه الوسطاء حضور دائم في الذاكرة، حتى لو لم يكن لها محل من الإعراب. لكل الإستراتيجيات الوسطاء نفسها. قد لا تكون معرّفة أحيانًا، فتكون لا شيء null، ولكنها في عامة الإستراتيجيات معرّفة، ولها قيم في الحالة العامة. فإن لم تكن الإستراتيجية تدعم الوسيط كان له قيمة ولكنها مخفية، فلا يظهرها الباورميل ولا يستخدمها. بمعنى: الإستراتيجيات التي لا تأخذ عرض قطع Stepover هي في الواقع لها قيمة لعرض القطع ولكنها لا تستخدمها ولا تظهرها، وكذلك تلك التي لا تأخذ عمق قطع Stepdown، لها قيمة لعمق القطع، ولكنها لا تستخدمها ولا تظهرها.

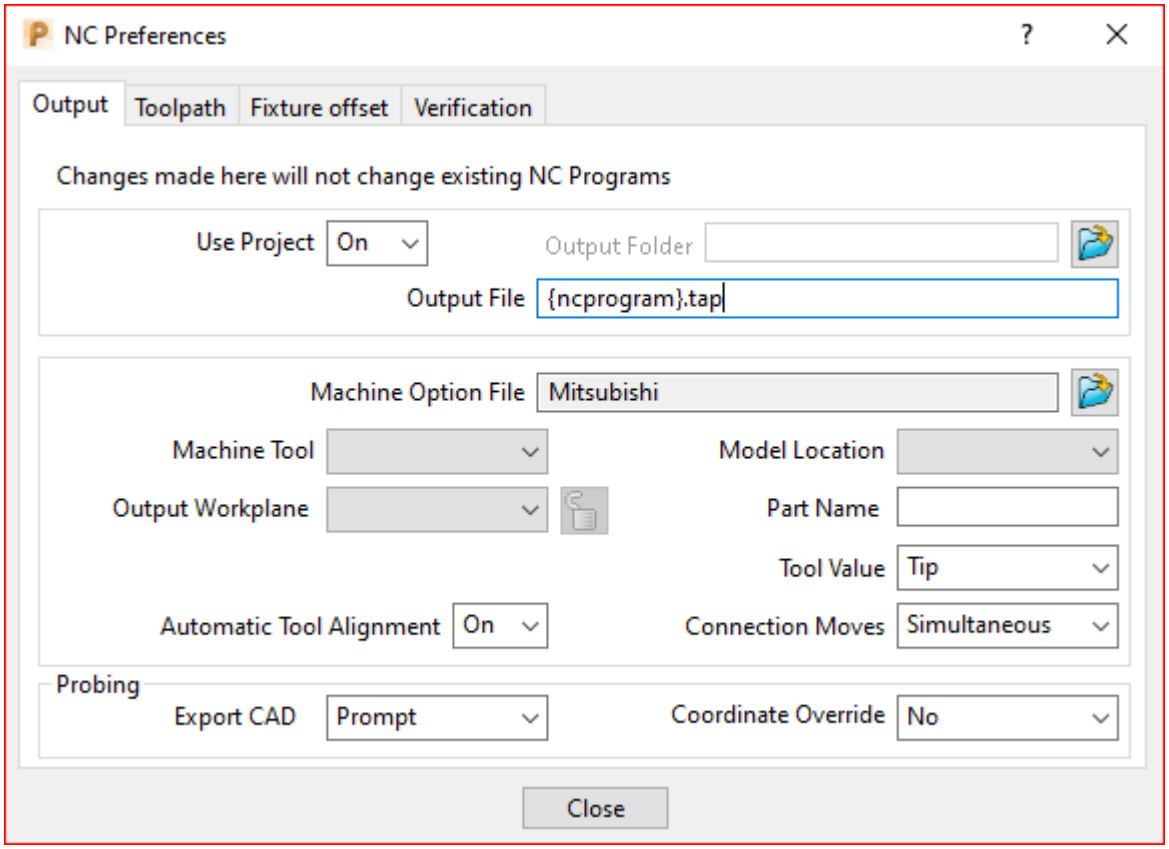
الأمر أشبه بتخزين بيانات شركة كبيرة في جدول واحد. تخيل أن تخزن الموظفين والعمال والزبائن والآلات والأجهزة والمشتريات والمبيعات وغيرها من البيانات التي قد تكون متقاطعة وقد لا تكون متقاطعة أن تخزنها في جدول واحد! هذا بالضبط ما يمثل الباورميل كائنات المشروع به.

نتعامل مع الكائنات بأوامر تتعلق بها. وبطبيعة الحال ثمة أوامر إجمالية (لمجموع الكائنات)، وأوامر إفرادية (لكل كائن بمفرده).

برامج التشغيل NC Programs

مع أن برامج التشغيل في رأس القائمة في المستعرض لكنها آخر ما ينشأ في المشروع؛ فهو خرجه. وهذا عرف في البرامج الهندسية: أن يوضع خرج الشغل في رأس قائمة / شجرة الشغل.

عليك ضبط إعدادات الماكينة التي ستنشئ برامج التشغيل من أجلها في أول مرة تستخدم برنامج الباورميل، ليحتفظ بها البرنامج لتكون الإعدادات الابتدائية لكل برامج التشغيل التي ستنشئها بعد هذه اللحظة. لك ألا تضبطها، إلى أن تنشئ برامج التشغيل. ولكن إن ضبطها قبلها أفضل؛ فستكون مضبوطة لكل البرامج الجديدة.



أهم ما يجب ضبطه في الإعدادات الابتدائية NC Preferences:

- مكان التخريج:
  - إما في مجلد المشروع نفسه، بجعل Use Project = On
  - وإما بتخصيص مجلد آخر، بجعل Use Project = Off
- اسم ملف برنامج التشغيل الابتدائي.
- ملف تعريف آلة التشغيل Machine Option File.

الغاية من إضافة ".tap" –أو أي صيغة أخرى تريد– إلى نهاية اسم الملف تخريج الملف دائمًا بهذه الصيغة حتى لو احتوى اسمه على نقاط.

ستجد ملفات تعريف آلات التشغيل في المسار:
"C:\Users\Public Documents\Autodesk"
هذا بالنسبة للنسخ الحديثة. أما نسخ شركة Delcam فموجودة في المجلد:
"C:\dcam\config"

صيغة ملفات التعريف الحديثة: ".pmoptz"، والقديمة: ".opt".

فقرة ضبط الإعدادات في آخر هذا الفصل فيها مزيد من التفصيل عن تخريج برامج التشغيل.

يمكن أن يحوي برنامج التشغيل مسار تشغيل واحد، ويمكن أن يحوي أي عدد من مسارات التشغيل، **المهم أن تكون كلها في نفس الجملة الإحداثية Workplane**. (مهم)

هذا، ولكل برنامج تشغيل رمز يعبر عن حالته:

الرمز	المعنى
	ثمة تصادمات في برنامج التشغيل.
	بعض مسارات التشغيل غير مفحوصة.
	أداة القطع مفحوصة.
	أداة القطع وحاملها مفحوصان.
	أداة القطع وحاملها وآلة التشغيل مفحوصة.

كما أن برنامج التشغيل يأخذ إحدى ثلاث حالات:

الرمز	المعنى
	البرنامج لم يكتب بعد.
	البرنامج مكتوب.
	البرنامج مكتوب ولكن معدّل (يجب كتابته مرة أخرى ليأخذ التعديلات).

نقطة أخيرة: اضبط إعدادات البرنامج بحيث لا تضاف مسارات التشغيل تلقائيًا إلى برامج التشغيل المفعّلة، وبحيث تأخذ برامج التشغيل جمل إحداثيات مساراتها، وبحيث تكتب البرامج في مجلد المشروع. **فقرة الإعدادات** في آخر هذا الفصل فيها المزيد.

مسارات التشغيل Toolpaths

أهم ما في برنامج الباورميل مسارات التشغيل، فهي خرجه والنتيجة من مشاريعه، وهي في الواقع الشغل الميكانيكي المراد تنفيذه. أي يمكنك أن تقول: عملية التشغيل الميكانيكي هي –بمنطق برنامج الباورميل– مسارات التشغيل، وباقي الكائنات ما هي إلا أدوات مساعدة. أو بكلام أدق: مسارات التشغيل هي مراحل عملية التشغيل، وبرامج التشغيل هي العمليات. يمكنك أن تسميها أيضًا: مسار أداة القطع، من باب ترجمة المصطلح حرفيًّا، ولا بأس بهذه التسمية. وستجدني أطلق عليها بين الحين والآخر برامج، والسياق سيحدد لك فيما إذا كنت أتحدث عن مسارات التشغيل Toolpaths أو برامج التشغيل NC Programs عندما أذكر هذه اللفظة.

لمسارات التشغيل أنواع محدودة، نسميها إستراتيجيات التشغيل. هذه الإستراتيجيات مقسمة إلى فئات:

- إستراتيجيات الهد 3D Area Clearance
- إستراتيجيات الإنهاء Finishing
- التثقيب Drilling
- وغيرها، ولكن لن نتناولها في كتابنا

إستراتيجيات الهد ليست كثيرة، وأشهرها:

- الهد الإزاحي Offset Area Clearance
- الهد المتوازي Raster Area Clearance

في النسخ الحديثة إستراتيجية الهد وحيدة، وهي Model Area Clearance، تختار فيها أسلوب التشغيل، إزاحي أو متوازي، وفيها تفصيل أكبر.

أما إستراتيجيات الإنهاء فكثيرة، وهذه أشهرها:

- 3D Offset
- Constant Z
- Optimized Constant Z
- Corner
- Corner Multi-Pencil
- Corner Pencil
- Pattern
- Embedded Pattern
- Flowline
- Profile
- Parametric Offset
- Parametric Spiral
- Offset Flat

- Raster Flat
- Raster
- Spiral
- Radial
- Steed and Shallow
- Surface
- Wireframe

تعمل الإستراتيجيات بأحد مبدئين أو كلاهما:

- الإزاحة Offset Machining، وأشهرها **الإستراتيجية 3D Offset Finishing**
- التوازي Raster Machining، وأشهرها **الإستراتيجية Raster Finishing**

ومن حيث الأسطح التي تشغلها:

- العميقة Steep، وأشهرها **الإستراتيجية Constant Z Finishing**
- السهلة Shallow، وأشهرها **الإستراتيجية 3D Offset Finishing**

وقد تسمع مصطلح التخشين للدلالة على الهد Roughing، ومصطلح التنعيم للدلالة على الإنهاء Finishing. المصطلح الثاني مقبول، أما الأول فغير دقيق تقنيًّا.

أدوات القطع Tools

معظم الكائنات في الباورميل أشياء افتراضية؛ لا وجود فيزيائي لها على أرض الواقع. لها تمثيل لشيء حقيقي بشكل أو بآخر نعم، ولكنها ليست أشياء فيزيائية، إلا بعض الكائنات. أدوات القطع من هذه الكائنات التي لها تمثيل فيزيائي في الواقع. يمكن أن نسميها أيضًا: أدوات التشغيل؛ كونها موجهة لآلات التشغيل. وقد تسمع التسميات: ريش (ج. ريشة) وسكاكين (ج. سكينة)، ولكني سأعتمد التسمية: أدوات القطع.

في برنامجنا طيف واسع من أدوات القطع، وقلما نكتفي بواحدة في مشروع:

- End Mill
- Ball Nosed
- Tip Radiuses
- Tapered Spherical
- Tapered Tipped
- Drill
- Tipped Disc
- Dovetail
- Routing

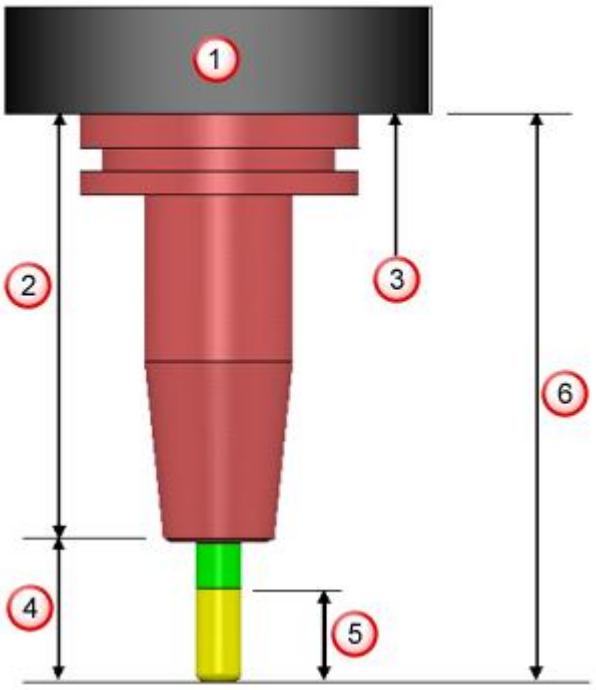
إن كان في تعريفك لأداة القطع مشكلة ظهر عليها علامة تعجب حمراء: ❗.

يوجد في الباورميل قاعدة بيانات لتضع أدوات القطع التي لديك فيها. يوفّر عليك هذا عناء إنشاءها في كل مرة وتعريفها بالكامل. كما يضعك في بيئة عمل واقعية تمثّل بيئة العمل التي تعمل فيها في الواقع.

في الواقع أداة القطع بالنسبة للبرنامج مكونة من جزأين:

1. الحد القاطع، أو السلاح Cutting Length (يسمى أيضًا Tip Length)
2. جسم الأداة Shank

يكفي تعريف الحد القاطع على الأقل، لتستطيع إنشاء مسارات التشغيل. ولكن تعريفك للأداة كلها أفضل. ويمكنك إن أردت أن تعرّف أيضًا حامل الأداة Tool Holder، لمزيد من التفصيل في المشروع.



إن كان قطر جسم الأداة مختلفًا عن قطر حدها القاطع عندها تعرّف في الباورميل بثلاثة أجزاء: الحد القاطع، وجسم مخروطي، وجسم أسطواني. هذا في الحالة العامة.

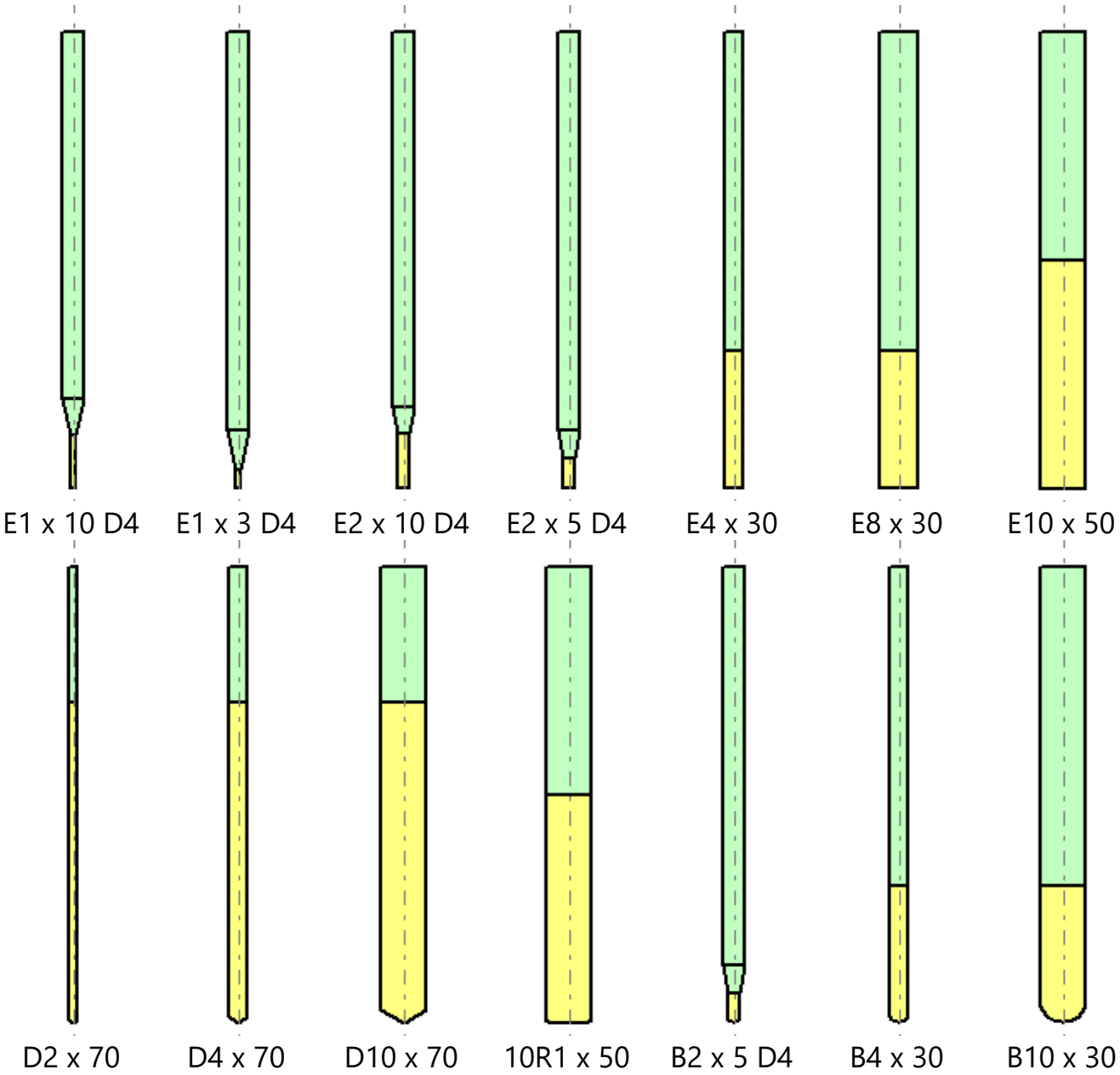
الصورة المجاورة فيها أداة قطع بالتفصيل الممل:

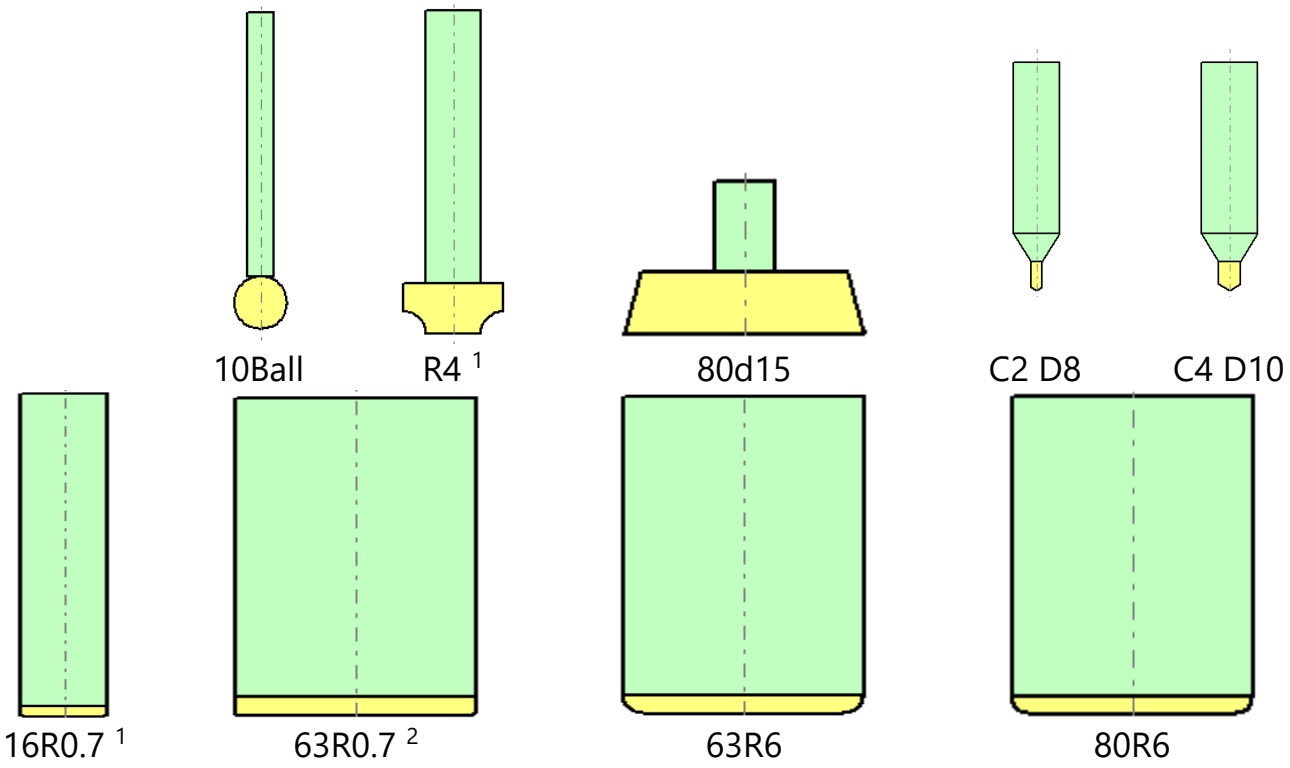
1. عمود الدوران Spindle
2. طول الحامل Holder Length
3. سطح عمود الدوران Gauge Face
4. أداة القطع خارج الحامل Overhang
5. طول الحد القاطع Cutting Length
6. ارتفاع سطح عمود الدوران Gauge Length

وحده سلاح الأداة ما يؤثر على ما يعتمد عليها. فإن كان ثمة ما يعتمد على الأداة من مسارات أو ما سواها قُفلت الأداة وما أمكن تعديل سلاحها، إلى أن يعطّل كل ما يعتمد عليها. أما جسمها أو حاملها فلا تأثير له. لهذا يمكن تغيير جسم الأداة بعد حساب مسارات بها، ولا معنى لإرسال **الأمر Toolpath > Calculate** بعد تغيير الجسم لإعادة حساب المسار ليحسب على أساس جسم الأداة الجديد، وإنما يجب إبطاله يدويًا ثم إرسال الأمر.

لعمر أطول لأدوات القطع اجعلها –عند التشغيل في الآلة– بأقل مسافة خارج الحامل بحيث لا يصطدم الحامل ولا عمود الدوران بالخامة أو المشغولة أو المثبتات، أو أي قطع في منطقة العمل. هذا لا يطيل عمر الأداة فقط بل ويقلل الأخطاء أيضًا (تفصيل الأخطاء في **فصل المفاهيم**). في الواقع قلة الأخطاء من عوامل طول عمر الأدوات.

إليك كيف تبدو الأدوات في الباورميل بتعريفها كاملة (دون تعريف حاملها):





انظر كيف يرى الباورميل أدوات القطع:

- عمر أداة القطع لا نهائي؛ أدوات القطع خارقة، لا تتآكل، تتحمل أي عمق قطع، تعمل بأي سرعة دوران، تتحرك بأي سرعة تغذية.
- أشكال أدوات القطع مثالية؛ أدوات التفريز End Mills مثلًا أسطوانية بالكامل في البرنامج، بينما قد لا تكون كذلك في الواقع؛ لتآكل الأداة، أو لأي اعتبار آخر. [3]
- وحدها النقلات السريعة خطرة بالنسبة للبرنامج مهما بطأتها، فإن تحركت الأداة بها في المحاكاة ومرت في الخامة أوقِفت المحاكاة وحذرك البرنامج. تذكّر: الخامة في البرنامج منطقة افتراضية، قد تكون فعلًا خامة في الواقع وقد لا تكون. بالمقابل: حركها بغرض التغذية بسرعة الضوء، وستجري في الخامة كالسكينة في الحلاوة، بالنسبة للباورميل.
- يمكنك إجراء فحص لمعرفة ما إذا كانت الأداة ستصطدم بالنموذج، أو جسمُها، أو حاملُها، إن عرّفتهما.

حدود التشغيل Boundaries

إن أردت تقييد مسارات التشغيل بحيث تعمل في مناطق معينة أو لا تعمل فيها، أو تعديل أجزاء من مسارات التشغيل، أو رسم سطوح بسيطة؛ فعليك بحدود التشغيل Boundaries. وحدود التشغيل

[1] هذه الأداة غير موجودة أصلًا في الباورميل، وينبغي رسمها. تفصيل ذلك في **فصل المفاهيم**.
[2] هذا الحامل لقمه مربعة. ارتفاع اللقمة ليس كنصف قطر حدها القاطع كالحوامل الأخرى.
[3] في الواقع الشكل الهندسي لأدوات القطع في برامج التشغيل المبرمج هو أثر الأدوات وهي تدور بسرعة الدوران.

منحنيات مغلقة دائمًا. إن كان فيها أكثر من منحن كان من الممكن أن تتداخل مع بعضها، لكن لا يجوز أن تتقاطع.

ثمة أنواع كثيرة من حدود التشغيل في البرنامج:

- Block Boundary
- Rest Boundary
- Selected Surface Boundary
- Shallow Boundary
- Silhouette Boundary
- Collision Safe Boundary
- Stock Model Rest Boundary
- Contact Point Boundary
- Contact Conversion Boundary
- Boolean Operation Boundary
- User Defined Boundary

واعلم أن لحدود التشغيل اتجاه رؤية إن صح التعبير، مهما كان نوعها، فهي دائمًا مسقطة على مستوي العمل، المستوي XY، من وجهة نظر مسارات التشغيل.

يمكن لحدود التشغيل في النسخ الحديثة أن تكون خاصة، وعندها لن تكون متاحة إلا لمسارات التشغيل التي تتبع إليها.

أنماط التشغيل Patterns

إن أردت تعريف سلوك خاص للتشغيل بحيث يرسم مسار التشغيل على أساسه فعليك بالأنماط Patterns. وهي كالحدود، منحنيات، بفارق أنها يمكن أن تكون مفتوحة ويمكن أن تكون مغلقة.

وكون الحدود والأنماط بطبيعة واحدة فإنه يمكن النسخ واللصق بينهما.

وهي شرط لبعض الإستراتيجيات؛ فلا ترسم لولاها. وهي اختيارية في بعضها؛ يمكن أن تستخدم في المسار فتؤثر عليه ويمكن ألا تستخدم فيه.

الثقوب Hole Feature Sets

لا تفهم إستراتيجيات التثقيب الرسومات، فلا ترى السطوح الأسطوانية ثقوبًا، وإنما تحتاج كائنات خاصة في البرنامج نسميها مجموعات السمات Feature Sets. أشهر مجموعات السمات الثقوب.

في الحالة العامة نعرّف الثقوب بالرسمة، وذلك بأي سطح أسطواني، أو جزء من أسطوانة.

الرسومات Models

نتعامل في الباورميل مع نوعين من الرسومات:

- السطوح Surfaces
- الخطوط Wireframes

لا محل للخطوط من الإعراب في العملية التشغيلية؛ مسارات التشغيل لا تراها، وإنما الغاية منها إنشاء المنحنيات Curves (حدود التشغيل وأنماط التشغيل).[1]

ومع ذلك، هي بطبيعتها رسومات، مخزنة غالبًا في صيغة dgk أو dxf.

هذا، ونعتبر السطوح أيضًا خطوط، ولكننا لا نعتبر الخطوط سطوح (أي يمكن معاملة السطوح معاملة الخطوط، لكن العكس غير صحيح).

والسطوح بطبيعتها قد تكون:

- شاقولية تمامًا، أي عمودية على مستوي العمل، ونسميها جدرانًا.
- أو أفقية تمامًا، أي توازي مستوي العمل، ونسميها أرضيات.
- أو منحنية، وتدخل فيها السطوح المائلة، وعندها تعامل معاملة بين بين، فلا تناسبها إستراتيجيات الجدران 100%، ولا تناسبها إستراتيجيات الأرضيات، وإنما نشغلها بحسبها.

توجد الرسومات في طبقات ولا بد، وهي قد توجد في مجموعات (تفصيلها في الفقرة ما بعد التالية).

لا يمكن تعديل الرسومات هنا. يمكن رسم أسطح مستوية، ولكن لا يمكن تقريبًا رسم أسطح منحنية. "تقريبًا" هذه لأن في البرنامج إمكانية رسم للسطوح المائلة أو المنحنية ولكن محدودة جدًا. إن أردت ذلك عليك بالباورشيب أو أي برنامج رسم. **فقرة الباورشيب** فيها المزيد.

جمل الإحداثيات Workplanes

مع أن الباورميل يفرق بين مفهوم جمل الإحداثيات Coordinating Systems (مفهوم رياضي هندسي رسومي Geometry) ومفهوم مستويات العمل Workplanes إلا أني أرى أن الترجمة الأنسب هي جمل الإحداثيات في كل الأحوال. بالنسبة للباورميل تعني جمل الإحداثيات المحاور الإحداثية، وتعني مستويات العمل المحاور الإحداثية من منظور عملية التشغيل. ولكن كله عند العرب صابون؛ وكله عندي جمل إحداثيات، فلا أرى كبير فائدة من التفريق بين المفهومين.

جمل الإحداثيات هذه هي مبادئ العمل، النقطة O(0, 0, 0)، والمحاور المتجهة منها، المتعامدة، والتي تشكلها قاعدة اليد اليمنى. في الباورميل جملة افتراضية اسمها الجملة العالمية World Workplane،

[1] يشيع أن يواجه المبرمجون مشكلة عند حساب الخامة بالنسبة للرسومات في المشروع، فيجدونها أكبر من حجم الرسومات، وذلك بسبب الخطوط؛ فهم لا يرونها لأنهم في الحالة العامة يخفونها، وقد لا يعرفون بوجودها لأنها لا تدخل في تكوين المشغولة كالسطوح. إن حصل ذلك أظهر الخطوط وتأكد من عدم وجودها أو إن كانت موجودة أنها مقصودة ولا تؤثر في حساب الخامة، إلا إن كانت مقصودة لذلك (وهذا غريب إن كان كذلك).

أو Global Workplane، نفسها الجملة الافتراضية في عامة البرامج الهندسية، ما لم تصدّر الرسومات بجملة أخرى.

المستويات والمجموعات (أو الطبقات Levels and Sets (Layers

بعض برامج الرسم تدعم مفهوم الطبقات Layers، كالباورشيب، وكبرامج التصميم ثنائي الأبعاد، كالفوتوشوب وكوريل درو وغيرها. ميزة الطبقات أنها تجمع مجموعة من الكائنات في كائن واحد، بحيث تعاملها كلها معاملة واحدة؛ فتخفيها، أو تنقلها، أو حتى تحذفها، دفعة واحدة. في الباورميل يسمونها Levels، لكنها في الواقع ليست إلا Layers.

مفهوم الطبقات هنا أعمق، فلها طبيعتين:

- قد تكون مستويات Levels،
- وقد تكون مجموعات Sets.

المفهوم الشائع –والذي تجده في برامج أخرى– هو المستويات Levels. ستجدني أطلق التسمية "الطبقات" على المستويات والمجموعات عمومًا أحيانًا، وعلى المستويات بالتحديد أحيانًا. أما إن أردت أن أخص المجموعات بالذكر فسأذكرها باسمها كما هو.

فرق بين الطبيعتين:

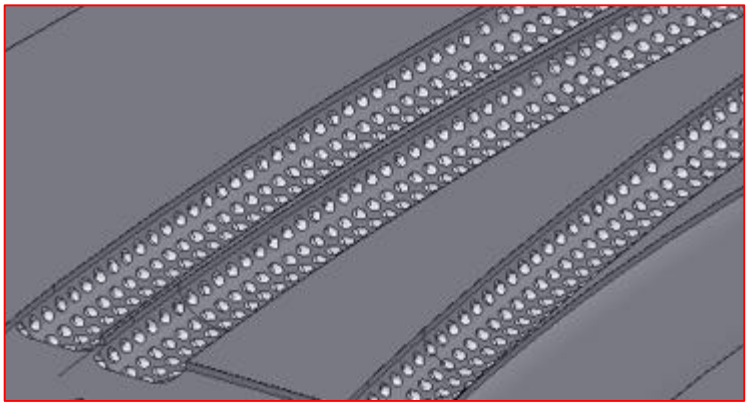
- لا يمكن لكائن أن يوجد في أكثر من مستوي، ويمكنه أن يوجد في أكثر من مجموعة.
- لا يمكن لكائن ألا يوجد في مستوي، ويمكنه ألا يوجد في ولا مجموعة.
- لا يمكن أن يكون للمستويات والمجموعات نفس الأسماء؛ كونها كائنات من نوع واحد.

لهذا:

- ضع كائنات الرسم في مستويات مختلفة من باب التفريق العام. لا يمكن تكرارها في هذه الحالة؛ كأن تضع كل سطوح المنتج مثلًا في طبقة، وكل سطوح الدلايل والبراغي والثقوب في طبقة، وما إلى ذلك.
- وضعها في مجموعات مختلفة من باب التفريق. يمكن تكرارها في هذه الحالة؛ كأن تضع أسطحًا تريد تشغيلها بطريقة معينة في مجموعة، وأسطحًا أخرى –قد تكون وضعتها أو بعضها في مجموعة ما– في مجموعة أخرى، وهكذا.

أشهر سيناريو تجد الطبقات فيه مفيدة عندما تستورد رسومات متعددة في ملف واحد، كملف فيه قالب، بكل بلاطاته وقطعه. لا يمكنك هنا فصل الأجسام عن بعضها. لا معنى للأجسام أصلًا. كل شيء سطوح. لذلك ستحتاج الطبقات. وستجد رسامي الباورشيب يرسمون بهذه الطريقة. قد يرسلون إليك الرسومات منفصلة عن بعضها، ولكنهم قد يرسلونها كما ذكرنا، في ملف واحد، مفصولة عن بعضها بالطبقات. وهذا لا يكون إلا بصيغة الرسومات القياسية في البرنامجين الباورميل والباورشيب: dgk..

تفيد المجموعات كما تقدم في تجميع مجموعة من الرسومات في طبقة واحدة، بحيث تختارها لاحقًا متى أردتها. فائدة أخرى لها وذلك لتغيير سرعة مسار التشغيل عند أسطح معينة. من أجل ذلك تحتاج وضع الأسطح في مجموعة، وتحديد السرعة المطلوبة، لينشئ الباورميل مسارًا جديدًا يتحرك بسرعة متغيرة عند أسطح المجموعة. مزيد من التفصيل في **فقرة التغذيات والسرعات** في **فصل المفاهيم**.



يمكنك إنشاء طبقات إن أردت، للاستفادة من المزايا المذكورة في السطور الأخيرة. وستجد الباورميل شخصيًا ينشئ بعضها، كما يلي:

- إن استوردت رسمة تدعم الطبقات فإنها تأتي بها. وستجد كائنًا يمثل الرسمة في **المجلد Models**، وكائنات أخر تمثل طبقاتها في **المجلد Levels & Sets**.
- فإن لم تكن تدعمها فإنها تضاف إلى **الطبقة "0"**.
- أحيانًا تأتي بأسطح غير صالحة. عندها ينقلها البرنامج إلى **الطبقة "Bad Surfaces"**، وعليك حذفها لتستطيع العمل. (مهم)

وإذا أنشأت أسطحًا في الباورميل أضيفت إلى **الطبقة "Planes"**.

هذا، ولا يمكن حذف الطبقة ما لم تخل من رسومات، بحذفها أو نقلها إلى طبقة أخرى. وكأننا نقول إن الطبقات تقفل بوجود كائنات فيها (ولكن الأمر ليس كذلك). أما المجموعات فتحذف عادي.

لحذف كل الطبقات الخالية أرسل **الأمر Delete Empty Levels and Sets**. يحذف هذا الأمر ما لا يحوي شيئًا فقط. ولحذف كل الطبقات الخالية وكل المجموعات (الخالية وغيرها) أرسل **الأمر Delete All Except Non-Empty Levels**. يكافئ هذا الأمر **الأمر Delete All** في غير الطبقات من الكائنات، حيث تحذف الكائنات غير المقفولة، ولكنهم هنا ميزوا الأمر لوجود طبقات ومجموعات.

أختم بهذه النقطة التي ذكرناها وأعيدها لأهميتها، فإن لم تخرج إلا بها فيكفيك ذلك: لا يوجد سطح أو خط إلا في طبقة واحدة، أي لا يمكن لأكثر من طبقة أن تتشارك الرسومات. فإن نقلت سطحًا أو خطًّا إلى طبقة أزيل من الطبقة التي كان فيها.

الخامات الافتراضية Stock Models

تمثل الخامة الافتراضية خامة غير مشغلة في أي نقطة من عملية التشغيل. لك أن تقول إنها طريقة بديلة لتعتمد عليها مسارات التشغيل المتبقي وتكمل منها الهد، أي: بدل أن تجعل المسار يكمل عن مسار قبله اجعله يكمل عن خامة افتراضية. هذا يعني أنه سيرى خامة تكافئ الخامة التي سيتركها مسار

تشغيل سابق. إليك الفوائد من أن تجعل مسارات التشغيل تكمل عن خامة افتراضية لا عن مسارات أخرى:

- لا بد لمسار التشغيل أن يكمل عن مسار آخر **بنفس جملة الإحداثيات**، بينما لا يوجد هذا القيد في الخامات الافتراضية. (مهم)
- مسار التشغيل المتبقي المعتمد على الخامات الافتراضية يأخذ بعين الاعتبار كل العمليات السابقة المحسوبة فيها. (مهم)
- الخامة المتروكة أوضح في الخامات الافتراضية؛ يمكنك رؤيتها في أي وقت (بعد حسابها)، بينما تحتاج أن تجري محاكاة في كل مرة تريد أن ترى ما يتركه مسار ما، هذا غير أنه لا يمكنك تحريك الشاشة عند عرض المحاكاة الدقيقة.

بالمقابل: لها ميزة سلبية: تأخذ حجمًا كبيرًا في الكمبيوتر.

... قد تستغرب من الترجمة التي أعتمدها، ولكنها ترجمة سياقية تشير إلى المعنى من هذه الكائنات. فإن أعدت ترجمة ترجمتي إلى الإنكليزية ستجدها: Virtual Blocks، أو شيئًا من هذا القبيل (باعتبار أننا نترجم Block على أنها خامة). ولا علاقة من حيث المعنى لهذه الترجمة بما تعنيه هذه الكائنات.

يمكنك أن تقول إن هذه الكائنات هي أقرب لكائنات الرسومات Models منها للخامات Blocks، بل هي أقرب للخامة في المحاكاة منها للخامة التي تحسب مسارات التشغيل بها.

> الخامة Block ليست كائنًا في الباورميل؛ بل هي خاصية من خصائص الكائنات القابلة للحساب (مسارات التشغيل، وبعض حدود التشغيل، والخامات الافتراضية).

المجموعات Groups

تذكر مجموعات الطبقات Sets؟ ليست كائنات قائمة بذاتها، وإنما مجموعة من الرسومات تعامل معاملة واحدة. هي أشبه باختصارات. المجموعات Groups كذلك؛ ليست كائنات بطبيعتها (لا يوجد كائن نوعه Group)، وإنما هي مجموعة من الكائنات المختلفة تعامل معاملة واحدة. هذه الكائنات قد تكون أي شيء: مسارات تشغيل، أو أدوات قطع، أو حدود تشغيل، أو ... إلخ.

الغاية منها ببساطة: تريد معاملة مجموعة من مسارات التشغيل مثلًا معاملة واحدة (لتوفير تحديدها كل مرة)؟ ضمها في مجموعة، وحركها إن أردت، أو أنشئ منها برامج تشغيل، أو ضمها إلى برنامج تشغيل. وكذلك الأمر مع باقي الكائنات، بما يتناسب مع ما تقبله من أوامر.

ولكن احذر: الوصول إلى كائنات من المجموعات كالوصول إليها من مجلداتها، وبالتالي فأمر حذفها متاح؛ فانتبه أن تحذفها وأنت تريد إزالتها من مجموعتها وحسب. الـ UX عطاكم عمره ☠...

> في الإعدادات خيار لإخفاء حدود التشغيل الخاصة من المستعرض. هذا الخيار لا يسري على المجموعات، وإنما على حدود التشغيل فقط. للمزيد **انظر فقرة الإعدادات** في آخر الفصل.

من الاستخدامات المفيدة –والتي قد تبدو غريبة– للمجموعات تجميع الكائنات فيها للوصول إليها في مكان واحد، ولإعطاءها صفة معنوية بوجودها في مجموعة واحدة (بحيث إن وجدت في مجموعة باسم معين تستخدمه أنت دائمًا؛ تَعرف تلقائيًا أنها تعامل معاملة معينة، أو موجودة لغايات معينة، أو لا بد من وجود أشياء معينة قبل حسابها، وهكذا).

المستعرض Explorer، بعمق

تسلك كل الكائنات مهما كان نوعها نفس السلوك من منظور المستعرض. صحيح أنها مختلفة في بنيتها، وأنها مختلفة في عملها؛ لكنها كلها تعامَل معاملة واحدة من حيث هي باعتبارها عناصر من المستعرض.

برمجيًّا، المستعرض شجرة عرض TreeView. وعناصره عقد Nodes (يمكنك تسميتها عناصر Items). أعلم أن هذا لا يعنيك. ما يعنيك في الواقع أن هذا النوع من الأدوات يستخدم لعرض البيانات شجريًا؛ بحيث يكون فيها عناصر رئيسية (أقسام البرنامج: مسارات التشغيل، وحدود التشغيل، والأنماط، ... إلخ)، وعناصر فرعية (محتوى كل قسم من أقسام البرنامج). الأمر أشبه بأن تكتب قوائم من الأشياء، عناوين كل قائمة هي العناصر الرئيسية، وما في القائمة من أشياء هي العناصر الثانوية. طبعًا لا أعني أني سأضيع وقتك في قراءة كيفية التعامل مع أدوات نظام ويندوز هذه، ما أعنيه –وما تحتاجه مني– هو ما يهمنا لنتعامل مع كائنات مشاريعنا، وهذا ما ستجده في القادم من الفقرات.

طبيعة الكائنات باعتبارها عناصر من شجرة المستعرض

بعض ما يمكنك فعله مع عناصر المستعرض –كونه من الأدوات الشجرية برمجيًا– بديهي كتوسعة عناصره Expand ⊞ وطيها Collapse ⊟، وبعضها ليس كذلك، وهذا تفصيلها:

- الكائنات الفعالة تكتب بخط غامق، وأمامها سهم > يشير إليها.
- الكائنات المخفية أمامها الرمز 💡.
- الكائنات المظهرة عند تفعيلها أمامها الرمز 💡.
- الكائنات المظهرة دائمًا أمامها الرمز 💡.

عند تفعيل الكائنات تُظهر تلقائيًا إن كانت مخفية قبل تفعيلها، وعندها يكون أمامها الرمز 💡. التفعيل موضوع الفقرة التالية.

تفعيل الكائنات

السمة الأساسية لبرنامج الباورميل من ناحية برمجية –Software وما إلى ذلك– هي توجيه الشغل نحو كائن بعينه. وهذا فريد في عالم البرامج. هنا: الأوامر تطبق على الكائنات الفعالة. ولا يكون أكثر من

كائن واحد فعال في كل نوع من أنواع الكائنات (تناولناها في **فقرة المستعرض الأولى**). ويجوز ألا يكون هناك أي كائن فعال. المهم إن كان في النوع كائن فعال هو ليس أكثر من واحد.

لكن ما لهذا وضعت الفقرة. حتى غير مستخدمي الباورميل يعلمون هذا. ما أريد أن ألفت انتباهك إليه هو أن خصائص الكائنات إن كانت كائنات أخرى (كجمل الإحداثيات، وأدوات القطع، والحدود، والأنماط، والمسارات المتبقية، وما إلى ذلك) فإنها في الواقع تشير إلى الكائنات الفعالة، وتغيير هذه الخصائص يؤدي إلى تغيير الكائنات الفعالة. هذا يعني: تغيير الكائن الفعّال يعني تغيير الخاصية التي تشير إليه.

الأهم من ذلك (ولهذا وضعت الفقرة بالمناسبة): لا حاجة لفتح إعدادات المسار لتغيير خصائصه؛ فإن كانت تشير إلى كائنات أخرى يكفي تغيير الكائن الفعال وستتغير الخصائص. أما إن كانت تشير إلى قيم عددية فإنك بحاجة إلى كتابة تسجيلات أوامر لتغييرها، أو على الأقل كتابة الأوامر في نافذة الأوامر Command Window. ستجدها بعد فقرات.

قد يكون هذا السلوك عقبة في بداياتك في البرنامج. ولكنها ستصبح مصدر سرعتك في الشغل عندما تتقنه وتحترفه.

تسمية الكائنات

يسمي البرنامج الكائنات تلقائيًا عند إنشائها بأعداد أولها العدد 1، بحيث يزداد العدد تلقائيًا مع ازدياد العناصر. والأعداد هنا ليست لعد العناصر، فإن كان عندك كائن باسم 1، و2، و5 مثلًا، إن أنشأت كائنًا جديدًا سيحمل الاسم 3. بمعنى أن البرنامج في كل مرة تنشئ فيها كائنًا جديدًا يحاول تسميتها بأدنى عدد متاح، فإن كان ثمة كائن بهذا الاسم زاد العدد، وهكذا إلى أن يجد عددًا لا كائن مسمى به.

إن نسخت كائنًا فإن البرنامج يسلك نفس السلوك بفارق أنه يسبق اسم الكائن الجديد باسم الكائن المستنسخ. فإن نسخت الكائن المسمى بـ 1 كان اسم نسخته 1_1، وإن نسخته مرة أخرى كان اسم نسخته 2_1، وهكذا. وبطبيعة الحال إن نسخت النسخة كانت النسخة الجديدة 1_1_1، وإن نسخت نسخة النسخة كانت النسخة الأجدد 1_1_1_1، وهكذا.

يفضّل طبعًا أن تسمي الكائنات بأسماء ذات معنى، خصوصًا مسارات التشغيل وبرامج التشغيل. ويستحسن أن تسمي أدوات القطع لتعرفها. وإن سميت حدود التشغيل وأنماط التشغيل فهذا لطف منك، ولا بد أن شغلك عندها نظيف.

هذا، وغالبًا ما تتبع التسمية أعراف مكان العمل. فكثير من المبرمجين من يضع معلومات عن مسار التشغيل وبرنامج التشغيل في اسمه، كأداة القطع المستخدمة، وحالتها، وأقصى عمق ينزل إليه البرنامج، وغير ذلك من المعلومات.

فقرة أعراف التسمية فيها تفصيل قد ينفعك.

إن كان في أسماء برامج التشغيل الحرف نقطة "."، كأن يكون في أسماءها اسم أداة، 10R0.5 مثلًا؛ فإن ملف التشغيل الذي سيكتَب سيكون بصيغة غير صيغة برامج التشغيل القياسية

(الصيغة tap.، أو الصيغة التي ضبطتها في الإعدادات)، وفي معظم الأحيان ستراه ملفًّا غريبًا لا يتعرّف عليه نظام التشغيل. (مفهوم الـ UX ينتحب في الزاوية)
أغلب الناس يحلون هذه المشكلة بعدم كتابة نقاط في أسماء برامج التشغيل (ولا مسارات التشغيل)، فيكتبون 10R0_5 في حالتنا.
شخصيًّا أحل المشكلة بإحدى طريقتين:

- تخصيص الإعدادات الابتدائية في برامج التشغيل (انظر **فقرة برامج التشغيل**).
- كتابة "tap." في نهاية أسماء البرامج، تلك التي تحوي نقطة في أسماءها على الأقل.

لا تستخدم الطريقتين معًا، وإلا كتبت الصيغة مكررة.
ولكن حتى لو لم تحل المشكلة فإن محتوى الملف هو هو في كل الحالات، حتى لو جعلته ملفًا نصيًا txt. إن كانت آلة التشغيل عندك تقرأ ملفات بغير الصيغة القياسية فستقرأ الملف بأي صيغة كان، حتى لو كان ملفًا بلا صيغة.[1]

بعض أنظمة التحكم بآلات التشغيل (الحواسيب المرفقة بها) لا تقرأ الملفات التي في أسماءها فراغات " "، أو التي يزيد حروف أسماءها على طول معين. (تقريبًا ظن القائمون على أنظمة التحكم هذه أن البرامج ستسمى "1" و"2" و"3"، وما إلى ذلك 🐸).

نسخ الكائنات وتغيير ترتيبها

لا تأثير لموضع الكائنات في المستعرض على نتيجة الشغل؛ الأمر تنظيمي لا أكثر. بالنسبة لمسارات التشغيل وبرامج التشغيل يفيد الترتيب في فهم أسبقية كل من المسارات والبرامج، ولكن كغيرها من الكائنات لا أثر لترتيبها على الشغل المطلوب. بل حتى يمكن أن تعتمد الكائنات على ما بعدها في الترتيب، كما على ما قبلها.

يغيَّر ترتيب الكائنات بسحبها وإلقاءها في الموضع المطلوب، وتنسخ بسحبها وإلقائها مع الضغط على المفتاح {CTRL} (وعندها يظهر الرمز ⊞ بجانب المؤشر). عند نسخ الكائنات إن ألقيت في مكان فارغ في المستعرض أنشأت كائنات جديدة (هي نسخة عن الكائنات الأولى)، وإن ألقيت في كائن آخر فإنها تضم إليه.

يمكن ضم الكائنات المختلفة عن بعضها في بعضها، بشرط أن تقبلها، وهذا يكافئ إضافتها إليها (الأمر Add To).
مثلًا: إضافة مسارات التشغيل إلى برامج التشغيل، وحدود التشغيل إلى الأنماط والعكس.

[1] ومع هذا، لا ينصح بجعل ملفات التشغيل بغير الصيغة التي تقرأها الآلة. ويفضّل أن تجعلها من الصيغ التي يعرفها نظام الويندوز بأن تجعله يفتحها دائمًا ببرنامج ما، كمحرر النصوص العادي (المفكرة)، أو **السيمكو** ⚙، أو حتى **VS Code** إن أردت! المهم لا تتركها بلا صيغة أو بصيغة خاطئة.

لنقل إن برنامجًا ما سميناه بالاسم E1.5-1. كلنا يعلم أنه أول برنامج من برامج التشغيل، وأنه يستخدم **الأداة E1.5**. بالنسبة لنظام ويندوز هذا الملف بصيغة ".5". فإن تجدعن أحدهم وأخبر نظام الويندوز أن هذا النوع من الملفات يفتح بالبرنامج الفلاني، المفكرة مثلًا؛ سيظهر اسم الملف E1-1، حيث يخفي نظام الويندوز صيغة الملفات في الحالة العامة إن كانت معروفة بالنسبة إليه. (مهم)

سلوك النسخ في بعض الكائنات لا يعني النسخ بالمعنى المتعارف عليه، الأمر {CTRL} + {C}، وإنما يعني الإضافة Insert To أو Add To، كمسارات التشغيل. وفي بعض الكائنات هو بالمعنى المتعارف عليه، كالمنحنيات (حدود التشغيل والأنماط)، والرسومات، ولكن لا اختصار في لوحة المفاتيح لهذا الأمر.

وبالمناسبة: النسخ متاح حتى بين الجلسات المختلفة، أي بين أكثر من مشروع. وهذا لأن نَسخ الكائنات يضعها برمجيًا في كائنات من نوع الحافظة Clipboard، عند النظر في إمكانية اللصق يُنظر في بيانات هذه الكائنات، إن كانت متوافقة مع ما تريد لصقه عليها كان أمر اللصق متاحًا. [1]

يمكن نسخ نتائج بحث قاعدة بيانات أدوات القطع ومحتوى برامج التشغيل إلى الذاكرة، بحيث تلصق في برامج أخرى –كالمفكرة، **وكالإكسل** – لإنشاء تقارير عنها. هذه الحركة مفيدة لمن أراد تطوير برنامج يأخذ بياناته الأولية من النتائج هذه، ليتعامل معها لاحقًا لإنشاء تقارير أو إجراء حسابات معينة.

لا تراجع هنا {CTRL} + {Z}!

إن قلت كلمة فكن قدها! هذه نظريتي لوجهة نظرهم عن عدم وجود تراجع في البرنامج، باختلاف نسخه. ولكن ثمة ما قد يفسر الأمر من منظور آخر. تقول الأسطورة إنهم قصدوا عدم إضافة أوامر التراجع والتكرار في الباورميل، خصوصًا في مسارات التشغيل؛ فآلات التشغيل ليست لعبة (وفعلًا، الأمر في كثير من الأحيان حياة أو موت.. لكنهم بالغوا في عدم إضافة الميزة إن كانت الأسطورة صحيحة). هذا لا يعني أنهم لا يعرفون كيفية برمجة هذه الميزة، بل على العكس، ميزة التراجع والتكرار مع المنحنيات مبهرة! يحتفظ الكائن بسلسلة التعديلات عليه حتى لو بعد إغلاق المشروع وفتحه في جلسات لاحقة. برامج الأوفيس نفسها ما عملتها..

خصائص الكائنات Properties

معظم الكائنات فيها خصائص تتعلق بإحداثياتها وما تحويه من مكونات. مع هذه الكائنات يمكن عرض الخصائص **بالأمر Properties**، وذلك في نافذة شبيهة بموجه الأوامر.

إلغاء قفل الكائنات

عندما يعتمد كائن أو أكثر على أحد الكائنات فإنه يُقفل Locked، أو بمعنى أوضح: يُحجز، وعندها لا سبيل لتعديله، إلا بتعطيل كل الكائنات التي تعتمد عليه. كل الكائنات القابلة للقفل (القابلة لأن يُعتمد عليها) فيها **الأمر Unlock**، وظيفته تعطيل كل الكائنات التي تقفلها.

[1] يعني عندما تنقر بالزر الأيمن على كائن فيه إمكانية النسخ واللصق، ينظر الباورميل في كائنات النوع Clipboard، فإن كانت متوافقة مع الكائن أتاح أمر اللصق. والعكس صحيح، وعندها يكون الأمر بلون رمادي.. وبالمناسبة عامة برامج ويندوز تسلك هذا السلوك، حتى ويندوز نفسه.

أعراف في التسمية، الشائعة وغيرها

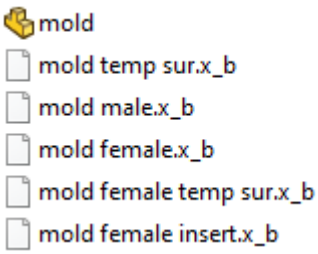
يتحول الشغل في الباورميل في أحيان كثيرة إلى معضلة لا تستطيع العمل إن لم تحلها، فلا تعرف كثيرًا من الكائنات ولا سبب وضعها ولا كيفية ذلك، ولا ما سيحدث إن حذفتها. تحل هذه المعضلات بتسمية الأشياء تسمية واضحة. وأوضح التسميات ما كان عرفًا.

... ولا يفهم الباورميل اللغة العربية، لا في نسخه القديمة ولا في نسخه الحديثة، ولا في داخله ولا في خارجه. فلا تكتب بغير الإنكليزية، لا في التسمية ولا في غيرها، بل لا تضع المشروع في مسار في مجلدات مسماة بالعربية، ولا أي من ملفاته.

تسمية المشروع، ورسوماته، وما يحيط به من ملفات

ذكرنا أنه لا يجوز التسمية بالعربية، لا في الباورميل ولا خارجه؛ لهذا لا تسمي المشروع –ولا ما يتعلق به من ملفات– بغير الحروف الإنكليزية، ولا تضعه في مسار فيه حروف بغير الإنكليزية.

لنقل إننا نريد أن نسمي قطع مشغولة هي قالب اسمه Mold، وفيه بلاطتان: بلاطة الذكر وبلاطة الأنثى، وفي بلاطة الأنثى لقمة، وخلال الشغل احتجنا إلى سطح مؤقت أتينا به من برنامج الرسم واستخدمناه في بلاطة الأنثى، وآخر استخدمناه في البلاطتين؛ عندها يكون عندك ما يلي من ملفات بجانب المشروع:



وهكذا يكون حجم المشروع أقل ما يمكن [1]، وبالتالي فتحه أسرع وحفظه كذلك. وبالمناسبة هذا الأسلوب يمنحك إمكانية وضع ما تشاء من مشاريع وملفات في نفس مجلد المشروع، فملفات كل مشروع تبدأ باسمه.

[1] في الحالة المذكورة في المثال يسلك كثير من الرسامين والمبرمجين سلوكًا مختلفًا، حيث يحفظون رسومات كل شغل بما فيها من قطع، فبلاطة أنثى القالب لها رسمة ولها مشروع خاص بها، وبلاطة الأنثى مع اللقم لها رسمة أخرى (فيها رسمة البلاطة ورسمة اللقم في نفس الملف) ولها مشروع خاص بها، وهكذا. الأصح كما ذكرنا: لبلاطة الأنثى ملف، وللقم ملف (وقد تحفظ كل لقمة بملف لوحدها)، وثمة مشروع واحد تأتي بالرسومات وتحذفها بحسب المرحلة التي وصلت إليها في البرمجة.

تسمية أدوات القطع

إليك أكثر الأدوات شيوعًا مسماة بأسماء تدل عليها:

E10

B10

10R1

D4

C4

2d45

80d15

T20x2

R5

وربما كتبت أطوال أسلحة الأدوات إن أردت تمييزها كأن أكتب E2x12 ؛ ما يعني أداة تفريز عادية بقطر 2 مم وطول سلاح 12 مم، تمامًا كما سميت أداة التشغيل المخفي.

ومن التسميتات الشائعة في الأدوات التي تحوي نقاط في أسماءها: 2R0.5 و2R05 و2R0_5 .

تسمية مسارات التشغيل وبرامج التشغيل

كل الكائنات تسميتها اختيارية إلا المسارات والبرامج فهي عرفية؛ كونها كلها متعلقة بالمبرمج وحده بينما المسارات والبرامج متعلقة بالمبرمج وبالمشغل. وقد نعتبر تسمية الرسومات عرفية.

قد يكون العرف أن تسمى بالأرقام، بحيث يأخذ المشغل ظروف التشغيل مشافهة أو مكتوبة في ورقة أو من تعليقات البرامج. ولكني لا أفضله.

وقد يكون العرف أن تسمى بتفاصيل معينة، وهذا ما أنصح به.

إليك تفاصيل أجدها مهمة:

- تبدأ الأسماء بأعداد تشير إلى تسلسلها.
- يليها أسماء الأدوات، تمامًا كما في الفقرة السابقة.
- يليها حالة البرنامج، مثلًا:
  - rf برنامج هد؛ الدقة غير مهمة فيه، ولا يلزم تركيب أدوات بحالة جيدة.
  - sf برنامج نصف إنهاء؛ يعامل معاملة بين بين.
  - fn برنامج إنهاء؛ مهم.
  - flat برنامج أرضيات؛ مهم.

- قد نكتب بعض ظروف التشغيل، خصوصًا إن وضعنا أكثر من برنامج لتشغيل نفس التفاصيل باختلاف ظروف معينة:
  - كأن نكتب أقصى عمق z.
  - أو أن نكتب الخامة المتروكة th.
  - أو أن نكتب الخطوة sd وso، وقد نكتب: dxy وdz.
- وجود أكثر من برنامج بنفس الترقيم يعني أنها برامج اختيارية؛ فيجوز للمشغل اختيار ما يشاء منها، فكلها تؤدي نفس الغرض.
- قد أنشئ أكثر من مسار لتشغيل منطقة معينة، عندها لا أرقمها بحيث تكون مستقلة عن بعضها، وإنما أرقمها كلها بنفس الترقيم، وأنهيها بأرقام: -2، و-3، ... إلخ، للدالة على أنها مرتبطة ببعضها. عند التخريج أضمها كلها في برنامج واحد.
- إن كان في المشروع أكثر من جملة إحداثيات (يكافئ هذا أن تمسك القطعة في أكثر من مسكة) نسبق ترقيم البرامج بحروف تميزها. وهذه تفيد المبرمج أكثر من المشغل.
- بعض البرامج لها وظائف خاصة، فلا نرقمها، وإنما نبدأها بوظيفتها، ونعتمد معايير التسمية السابقة. مثلًا:
  - facemill برنامج تسوية وجوه.
  - test برنامج اختبار الشغل.
- وعند ضم البرامج:
  - إما نكتب نفس الكلمة دائمًا: مثلًا all، وall2، وall3، ... إلخ.
  - وإما نكتب ما يصف المشروع، وهذا أفضل.

تسمية المنحنيات (الحدود والأنماط)

يترك معظم المبرمجين المنحنيات بالأسماء التي يختارها الباورميل. ولا بأس بهذا، فلا يعمل عليها في الحالة العامة أكثر من مبرمج واحد. ولكني أفضّل أن تسمى بأسماء تعبّر عن الغاية منها؛ فيعرفها المبرمج دون أن يفعّلها، من اسمها فقط. وهذا عرف شخصي، يعني بحكم عادة كل مبرمج.

أحيانًا تكون التسمية متعلقة بوظيفة المنحني، كأن تسميها facemill، أي أنه منحني متعلق ببرنامج مسح البلاطة. وأحيانًا تكون متعلقة بأداة القطع المستخدمة، فتكون باسمها. ومن المفيد أن تسمى بمقدار الإزاحة إن كانت مزاحة. كما أني أنصح بتسمية حدود العمليات المنطقية بأسماء تدل على مصدرها. **فقرة حدود التشغيل** في **فصل المفاهيم** فيها المزيد.

التعامل مع نوافذ البرنامج

لأغلب المفاهيم في البرنامج نوافذ –هي صناديق حوار Dialog Boxes في الواقع– تمثلها. معظم الأدوات البرمجية المستخدمة شائعة وبديهية لعامة مستخدمي ويندوز، والحواسيب عمومًا، كالأزرار وصناديق النصوص والقوائم وما إلى ذلك. بعض الأدوات فيها صياغة برمجية، الحق يقال، كصناديق التجميع القابلة للاختيار Checked Group Boxes، والقوائم ذات العناصر الصورية Image List Boxes.

إدخال التعابير الرياضية

معظم صناديق النصوص في البرنامج عددية بطبيعتها، أي تقبل الأعداد فقط، أو التعابير الرياضية. وهي مجردة، لا تقبل الواحدات. أما ما هو نصي منها فغالبًا ما يكون معطلًا (للقراءة فقط)، حيث يظهر البرنامج نصوصًا فيها، للتعبير عن حالة الكائنات، أو عرض معلومات معينة.

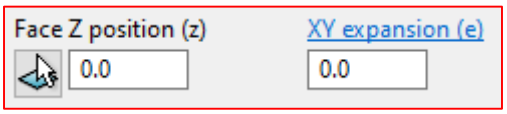
وعلى سيرة التعابير الرياضية: الأمر لا يقف عند إدخال الجمل الجبرية، ولكن يمكنك كتابة تعابير برمجية. قد لا يكون للأمر منفعة كبيرة بالنسبة للمستخدمين، ولكنه مهم جدًّا للمطورين.

إدخال الأعداد على الطاير

لبعض صناديق الإدخال عناوين هي برمجيًا روابط Links، يمكنك من خلالها فتح أداة القياس (المازورة Measure)، وأخذ قياس معين، ليكون هو قيمة الإدخال. القياس الذي ستقيسه متعلق بإعدادات القياس التي ستضبطها عندما تنتقل لبيئة القياس.

كما ترفق بعض صناديق الإدخال بأمر لضبط قيمة Z فقط.

انظر:



النقر على الزر يؤدي إلى تفعيل بيئة تحديد الارتفاعات، والنقر على **الرابط XY expansion (e)** يؤدي إلى تفعيل بيئة القياس. **فقرة المازورة** فيها المزيد.

واحدة قطر أداة القطع Tool Diameter Unit (TDU)

تتعلق بعض الحقول في البرنامج بقطر أداة القطع، بحيث يحسب البرنامج قيمها بما يتوافق مع قطر أداة القطع. يعني باختصار في أي مكان وجدت فيه حقلًا بعنوان Tool Diameter Unit أو TDU فاعلم أنه نسبة من قطر الأداة، فالقيمة 1 تعني 100% من قطر أداة القطع، والقيمة 0.95 تعني 95% من قطر الأداة، وهكذا.

أكثر الحقول المتعلقة بقطر الأداة شيوعًا ما يحدد المناطق التي سيتجاهلها مسار التشغيل حتى لا تدخلها أداة القطع Unsafe Segments Removal.

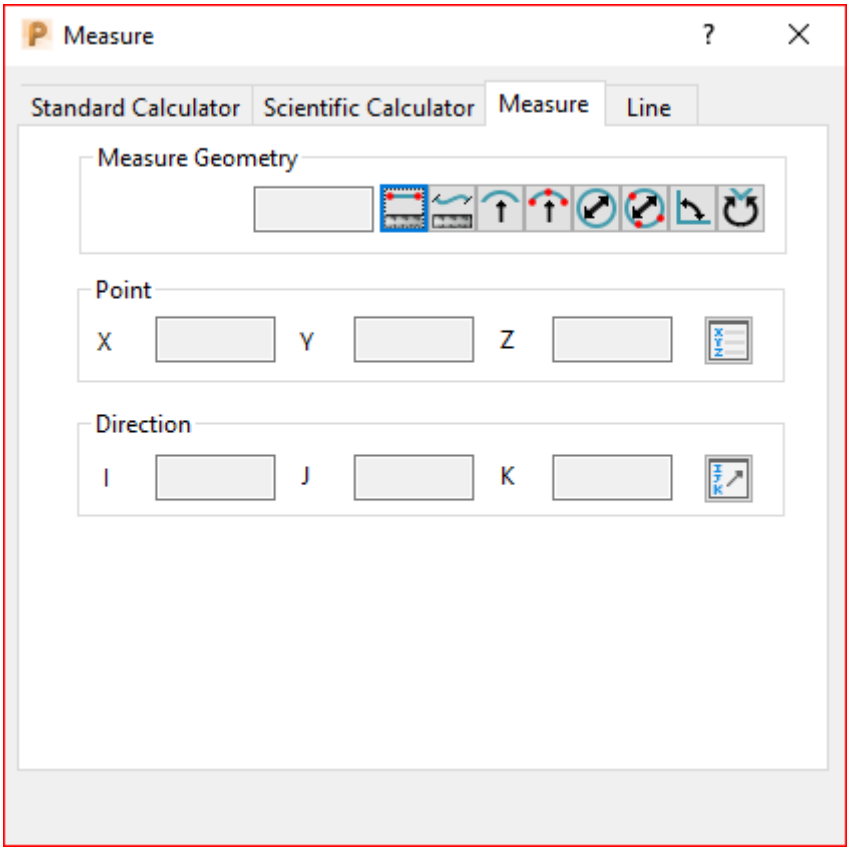
صناديق حوار ستحتاجها

ثمة أدوات مساعدة في البرنامج سنعتمد عليها بين الحين والآخر. في هذه الفقرة تفصيل أشهرها.

المازورة Measure

مع أنهم عفسوا على البقلة في نواح كثيرة في تجربة المستخدم، لكنهم أبدعوا في نواح أخرى، وأشهرها أداة القياس. تقيس الأداة القياسات بإحدى ثلاث:

1. القياس الهندسي (الأبعاد، والأقطار، والزوايا) حيث تظهر بيئة القياس.
2. النقاط.
3. الاتجاهات.



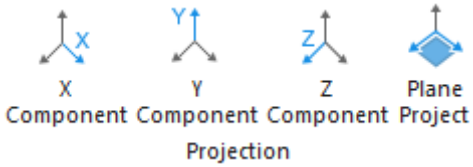
إن كنت تقيس الأبعاد فإنك تنتقل إلى بيئة القياس، ليحدد البرنامج أداة القياس التي اخترتها من هنا من الأداة (يمكنك تغييرها هناك، في بيئة القياس)، وعندما تحدد مدخلات القياس يعيدك البرنامج إلى هذه الأداة، ويظهر النتيجة في صندوق النص الأول.

وإن كنت تحدد النقاط، فإنك تنتقل إلى **أداة تحديد الموقع Direction** . وإن كنت تحدد الاتجاهات فإنك تنتقل إلى **أداة تحديد الاتجاه Direction** . وفي الحالتين يعيدك البرنامج إلى هذه الأداة، ليظهر النتيجة في صناديق النصوص المقابلة للقياس، عندما تنهي تحديد المدخلات.

وعلى سيرة بيئة القياس، نقطتان مهمتان:

- إن كنت تحدد مسافة بين نقطتين، يمكن إسقاط القياس على أحد المحاور الأساسية.
- إن كنت تحدد مسافة بين نقطتين، أو زاوية بين ثلاث نقاط، يمكن إسقاط القياس على مستوي العمل.

وذلك بتفعيل خيار مما يلي:

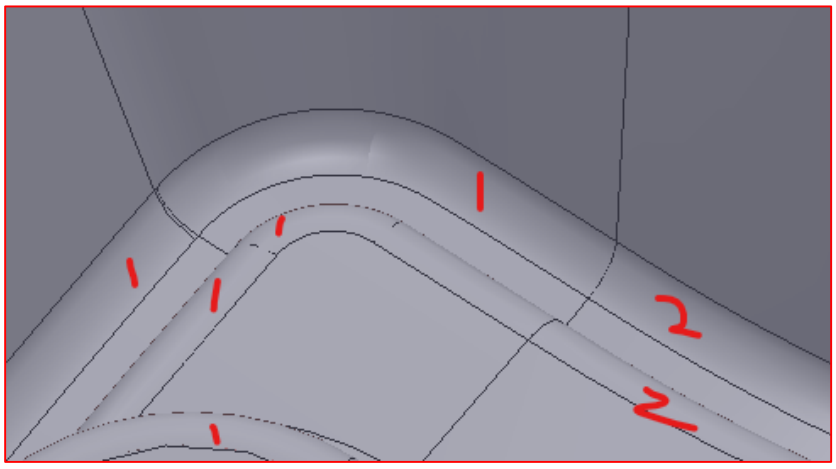


إن أردت ضبط ارتفاع الخامة، أو أبعادها الأخرى، أو تحديد عمق التشغيل في بعض المسارات، كمسار الأنماط **Pattern Finishing**؛ فعّل إسقاطًا من هذه الإسقاطات، وحدد مسافة بين نقطتين في الرسمة.

في شريط الحالة خيار لإظهار وإخفاء الشبكة في مستو محدد –في الشريط نفسه– هو **خيار الشبكة Grid**، إن أظهرتها أمكنك أخذ قياسات في نقاط الشبكة.

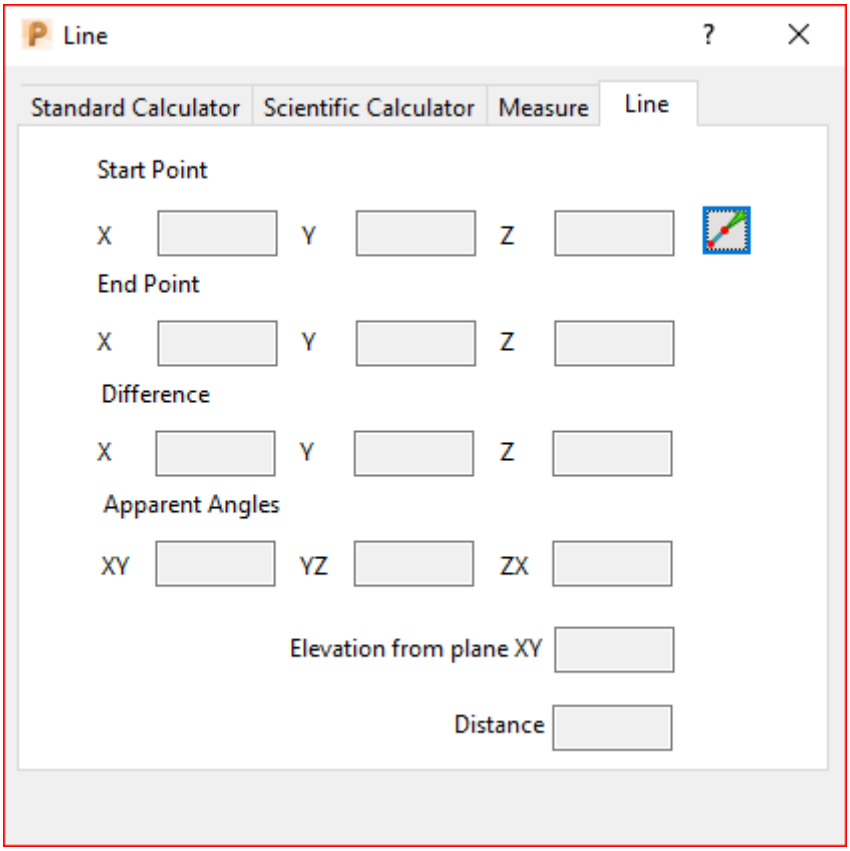
نقطة أخيرة أريد الإشارة إليها أن الرسومات يمكن قياسها إن كانت منتظمة، غير مشوّهة. تتشوه الرسومات عادة نتيجة التحجيم غير المتساوي في كل الاتجاهات أو الرسم الحر أو مط وشط الرسومات، بما يشبه الرسم بالأوامر Loft وFreeform وDeform وما شابه ذلك في برامج الرسم. في الصورة المجاورة:

1. دورانات يمكن قياسها.
2. دورانات لا يمكن قياسها.



قياس الخطوط Line

وإن أردت معلومات أكثر تفصيلًا عن الخطوط فقسها **بأداة قياس الخطوط Line Measure**:

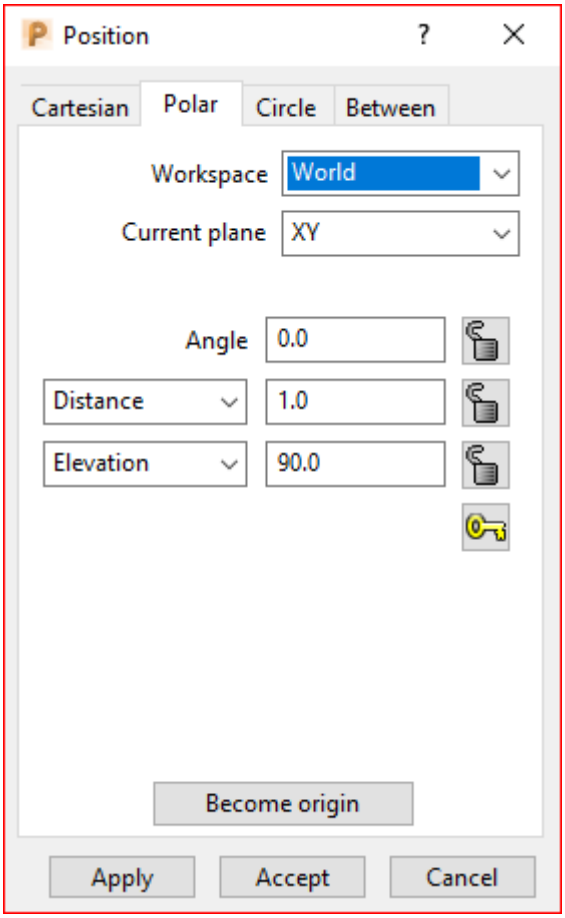


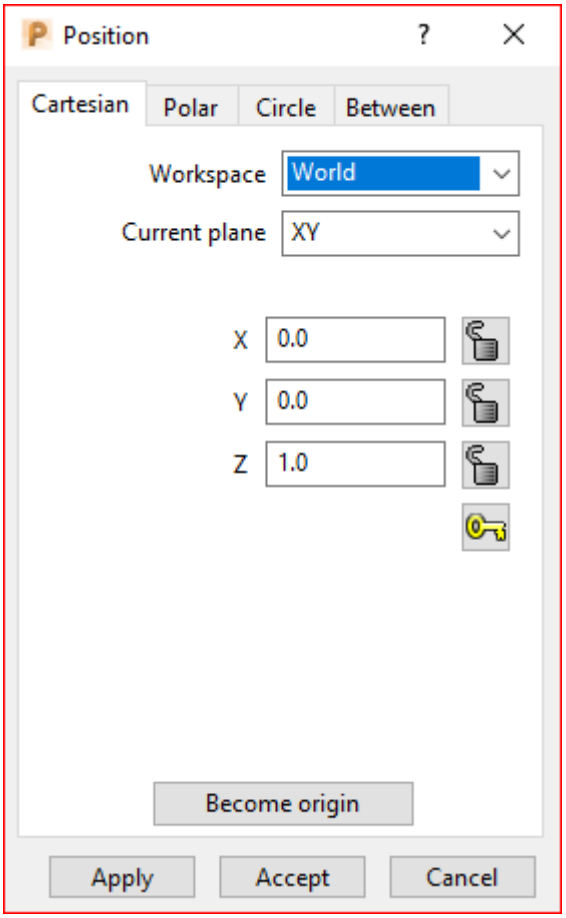
تظهر نتيجة القياس بعد تحديد نقطتين **بأداة قياس الفرق بين نقطتين Measure Difference**.

تحديد الموقع Position

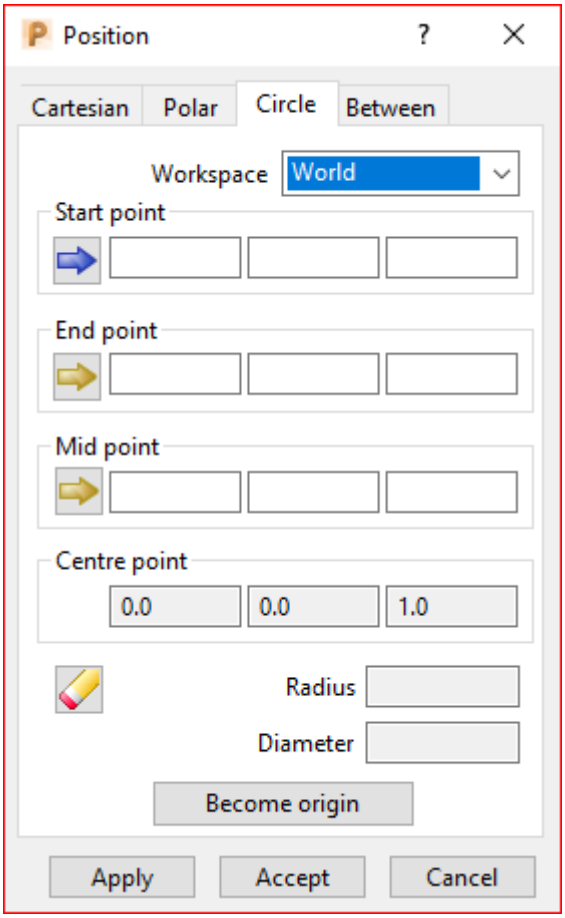
مفيدة هذه الأداة لتحديد موقع أي نقطة من منطقة الرسم. ويمكن أن يكون القياس مطلقًا (أي بالنسبة لجملة المحاور الإحداثية العالمية) أو نسبيًا، أو منسوبًا إلى جملة إحداثيات.

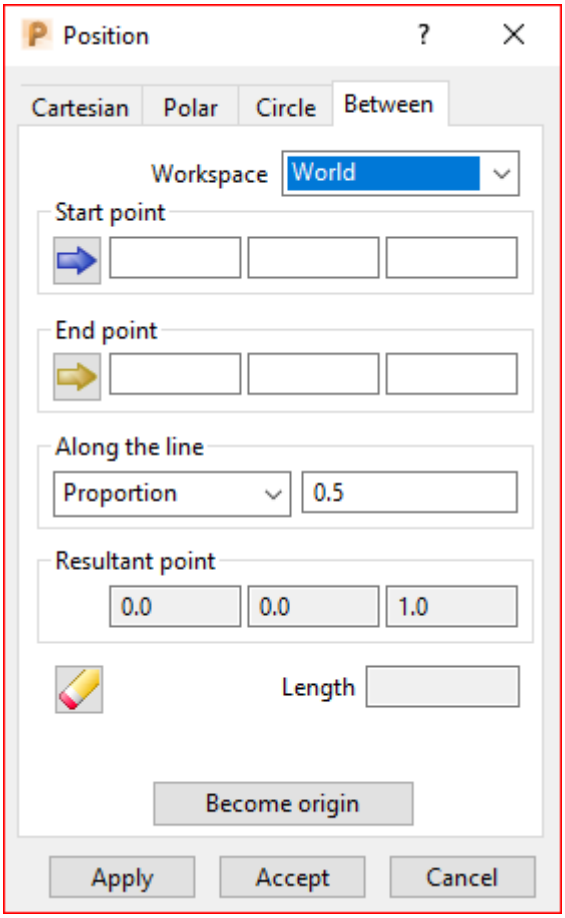
يمكن استخدام الأداة لتحديد نقطة ديكارتيًا أو قطبيًا:





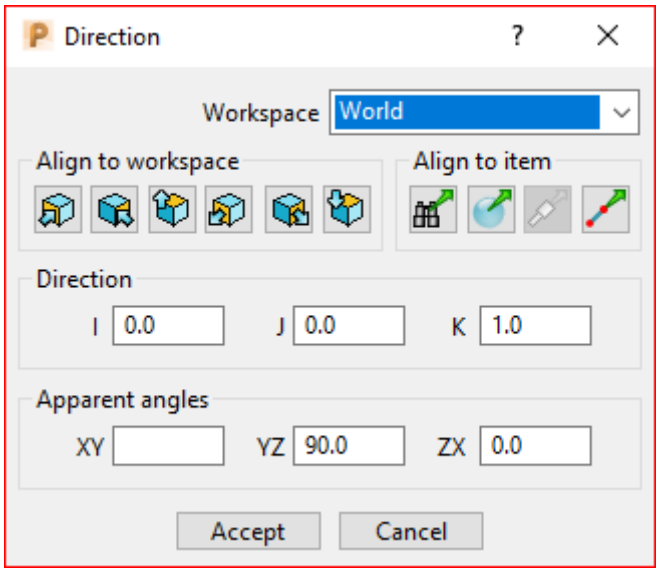
أو لتحديد مركز دائرة، وقطرها، ونصف قطرها، أو لتحديد منتصف خط:





إن أردت نقل جملة الإحداثيات إلى نقطة هي منتصف الخامة، اعتمد على هذه الأداة وحدد منتصف المسافة بين زاويتين متقابلتين فيها 😉. **لا تحرك الرسمة!**

تحديد الاتجاه Direction



يمكن تحديد الاتجاه إما بما يوازي اتجاهًا من اتجاهات جملة الإحداثيات وإما بما يوازي:

- اتجاه الرؤية.
- ناظم سطح في نقطة محددة.
- محور أداة القطع.
- خط.

إن لم تكن الرسمة موجهة مع أي جملة إحداثيات في المشروع، لا عالمية ولا غيرها، أنشئ جملة إحداثيات جديدة، أو عدل جملة قديمة، ووجهها بهذه الأداة 😉. **لا تمد إيدك على الرسمة!**

تحديد الارتفاع Z Height

مع أنه ليس من صناديق الحوار ولكنه ذو صلة بالصناديق المذكورة في الفقرات السابقة. هو أداة مثلها لكنه أمر مباشر.

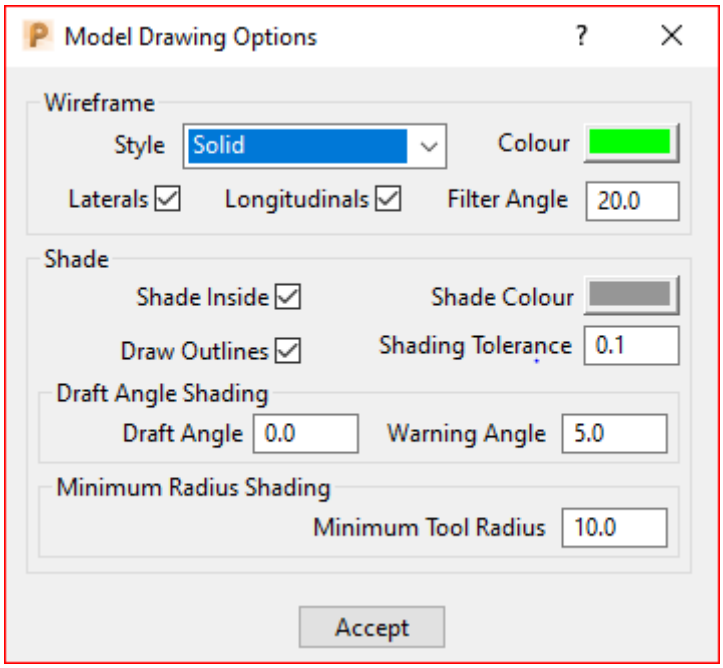
المهم: بعض الحقول تلحق بهذا الأمر، والذي ينقلك إلى بيئة تحديد الارتفاع، لتختار نقطة في نافذة الارتفاعات. قيمة إحداثية z للنقطة التي ستختارها هي قيمة الحقل الملحق بالأمر.

إعدادات إظهار الرسومات Model Drawing Options

أهم استخدامين لهذه النافذة: ضبط القيمة الحدية لزاوية السطوح والقيمة الحدية لنصف قطرها. القيم الحدية هذه تفصل بين أن ترسم السطوح بلون أخضر ما يعني أنها تحققها وبين أن ترسم بلون أحمر ما يعني أنها لا تحققها.

مثلًا: إن أردت أن تعرف أصغر أداة ينبغي استخدامها لتحقيق السطوح فاضبط نصف القطر على قيم تقريبية تتوقع أنها مرسومة عليها. فإن كانت في الرسمة سطوح حمراء كان هذا يعني أن الأدوات ذوات نصف القطر الذي حددته لا يمكنها تحقيق تلك السطوح. عندها نصغّر نصف القطر إلى أن تصبح كل سطوح الرسمة المراد تشغيلها خضراء.

وهنا نقطة مهمة: عليك أن تميز بين نصف قطر الأداة وبين نصف قطر حدها القاطع عند البحث عن نصف قطر السطوح الحدي.



برامج وأدوات قد تحتاجها بجانب الباورميل

في الباورميل ما يكفي احتياجاتك التشغيلية وزيادة، لكنك قد تحتاج أدوات خارج إطار التشغيل، أو أدوات غير متعلقة بالتشغيل بطريقة مباشر، أو أدوات متعلقة بالتشغيل ولكنها ليست شائعة في برامج التشغيل؛ فهذا كله لن تجده في الباورميل.

الباورشيب PowerShape (PowerMill Modelling)

لنتفق أولًا على أنه "PowerShape"، بـ P و S كبيرين، لا "PowerMill Modelling" كما يدعون في النسخ الحديثة، لأكثر من سبب:

1. أنه "PowerShape"، والكل يعلم هذا. كان كذلك، وما زال كذلك، وسيبقى كذلك.
2. أن النسخ القديمة كانت بهذا الاسم.
3. أن ملفات البرنامج في النسخ الحديثة موجودة في مجلد بهذا الاسم في مسار التثبيت.

ما علينا .. إن أردت تعديل الرسومات، سطوحًا كانت أو خطوطًا (مع أني أقصد Wireframes هنا، لكنه يدخل فيها المنحنيات بالمناسبة، أي الحدود والأنماط)؛ فإنك بحاجة إلى برنامج رسم، وأفضل برنامج لذلك هو الباورشيب؛ كونه متكامل مع الباورميل.

قد تستطيع رسم بعض السطوح، المستوية بطبيعة الحال، في الباورميل، ولكنها إمكانية محدودة. والإمكانية محدودة أكثر عند الحديث عن السطوح المنحنية. إن أردت إمكانية أكبر فانتقل إلى الباورشيب –أو أي برنامج رسم تستخدمه– وعدل ما تريد وارجع إلى البرنامج.

في الرسومات **الأمر Surface Modelling** ينقل ما تحدده منها إلى الباورشيب. قد لا تدعم نسختك هذا الأمر، عندها –ببساطة– انسخ ما تريد تعديله، رسمًا كان أو خطًا (مرة أخرى: يدخل فيها المنحنيات)،

والصقه في الباورشيب، وعدله، ثم انسخه مرة أخرى والصقه هنا، إما في نفس الكائن القديم وإما في كائن جديد. الفرق أن التعديل المتكامل هذا يجعل البرنامج يحدث الرسومات، على عكس التعديل بفعل برامج أخرى غير متكاملة مع الباورميل.

حالة شائعة نحتاج فيها الباورشيب: كثيرًا ما نحتاج قفل مناطق معينة بأسطح وذلك برسم حدود تشغيل فيها وقفلها بهذه الحدود. إن كانت الحدود منحنية فإن المناطق التي تحدها ستقفل بأسطح مستوية بطبيعة الحال. في الباورميل إمكانية لذلك، لكنها محدود؛ لذا يشيع استخدام الباورشيب لهذا.

إن لم تخرج من هذه الفقرة إلا بهذه المعلومة فهي تكفيك: انسخ الخطوط أو الرسومات من الباورميل إلى الباورشيب والعكس، وكأنك تنقل الكائنات بين نوافذ التطبيق الواحد.

نصيحة أخوية: تعلم الباورشيب، حتى لو من أجل تعديل منحنيات ورسومات الباورميل فحسب.

محول الرسومات Data Exchange

وقد يكون مصدر الرسم غير متوافق مع البرنامج، فيحفظ الرسومات بصيغة لا يدعمها الباورميل، أو يكون في سطوح الرسمة مشاكل فلا تأتي في مكانها الصحيح أو بشكلها الصحيح؛ عندها عليك تحويل الرسومات إلى صيغة مدعومة، وما يكون فيها المشاكل التي في الرسومات الأصلية، وذلك بمحول الرسومات هذا.

والعكس أيضًا: قد تحتاج حفظ رسومات من مشروع في الباورميل في ملفات لفتحها في برنامج لاحق. قد لا يدعم البرنامج الصيغة التي تريد؛ عندها احفظ الرسومات بأي صيغة متاحة ثم حولها بمحول الرسومات.

أفضل الصيغ dgk، وأخف الصيغ x_b، وإن أردت x_t. احفظ رسوماتك بهذه الصيغ ما أمكنك.

مثلًا لا يدعم **برنامج SolidWorks** الصيغة dgk، عندها حول رسومات هذه الصيغة إلى صيغة أخرى يدعمها. بالمقابل: النسخ الحديثة من الباورميل تدعم صيغه.

السيميكو CIMCO

لا يوفر الباورميل إمكانية تحرير ملفات برامج التشغيل، هو موجه للمبرمجين لا المشغلين. يمكن تحرير الملفات بأي محرر نصوص عادي. والأفضل –وهذا للمبرمجين والمشغلين– تحريرها ببرنامج مختص مثل هذا. فيه إمكانية لتحرير الجي كود، قراءة، وبحثًا [1]، ومحاكاةً. والأهم بالنسبة إلي: تلخيص برنامج التشغيل بطباعة النقاط الحدية لكل مسارات البرنامج وأواقاتها [2].

[1] يمكن في **السيمكو** البحث عن أقرب موضع لتغيير الأداة، أي المواقع التي فيها الأمر T. وكذلك مواضع تغيير السرعة والتغذية وما إلى ذلك.

[2] أعطي المشغل دائمًا ورقة بالشغل، هي مخطط تنفيذي، أو بكلام أدق هي خطة التشغيل، فيها معلومات عن البرامج التي سيشغلها، تتضمن أقصى عمق ووقت وحالة كل برنامج، وإن كان ثمة تفاصيل أخرى عليه أن يراجعها، مثل أطوال أسلحة الأدوات، أو غير ذلك. وفيها الرسومات التي تعينه على فهم توضع المشغولة واتجاهها. هذا قبل أن أطور أداة في الباورميل (من الإضافات Plugins) تفعل هذا.

المترجم Post Processor

أردت بصراحة ترجمة اسم البرنامج إلى "المخرّج"، فهذا ما يفعله حرفيًا، لكني أردت ترجمة أعمق، فاعتمدت ترجمة مبرمجي لغات البرمجة للـ Compiler؛ فما يفعله المترجم عندهم (الـ Compiler) بالنسبة للغات البرمجة يكافئ ما يفعله المترجم عندنا (الـ Post Processor) بالنسبة لبرامج التشغيل المبرمج. وربما كانت المنصات (مثل NET.) أقرب له مفهومًا من الـ Compiler.

المهم: يشيع أن نعدّل يدويًا على ملفات التشغيل، لتتوافق مع ظروف التشغيل. أي تعديلات مؤقتة، متعلقة بالشغل. فإن كان التعديل لغرض توافقية البرامج مع آلة التشغيل، أي تعديلات دائمة؛ عدّلنا عندها على المترجم نفسه، لتكتب البرامج دائمًا بالشكل الذي نريد.

انسخ ملف الترجمة Option File وعدل على النسخة؛ فلا تعدل على الأصل أبدًا (قد تحتاجها ذات يوم، وقد تخطئ وأنت تعدل وتفقد الأصل).

تسجيلات الأوامر Macros

كثيرة هي البرامج التي تدعم تسجيل الأوامر. في الباورميل إمكانية لطيفة لذلك. وقد يذهلك –برمجيًا– أن تعرف أن أوامر الباورميل نفسه مبنية على نفس التسجيلات التي نسجلها نحن، المستخدمين للبرنامج. يعني إن وصلت للأكواد التي كتبوا بها أوامر البرنامج ستجدها نفسها أوامر التسجيلات التي يمكنك تسجيلها وكتابتها بنفسك.

انظر في الإنترنت، في المواقع التقنية وفي المنتديات هنا وهناك، وفي البيئة المحيطة بك، من مجموعات في وسائل التواصل أو في سوق العمل من حولك، أو أصحابك ومعارفك؛ انظر إن كان ثمة من يمكن أن يعطيك تسجيلات تستفيد فيها في شغلك، ففيها نفع كبير أنت بحاجته. وقد كتبت ما يقارب ثلاثمئة تسجيل قبل نشر هذا الكتاب، واستفدت منها في عملي، وأنوي تلخيصها في النسخ القادمة في الكتاب إن شاء الله.

الإضافات Plugins

قليلة هي البرامج التي تدعم الإضافات. في الباورميل إمكانية مميزة لذلك. والإضافات –على عكس التسجيلات– تمنحك إضافة مفاهيم جديدة في البرنامج.

إذا كنت من المبرمجين (المستخدمين العاديين) فهذه الفقرة ليست إلا تعريفًا بوجود الإضافات في الباورميل، ودعوة لتبحث في الأرجاء لترى إن كان ثمة إضافة يمكن أن تجعل شغلك أسهل. إن كنت من المطورين فهذه الفقرة همسة في أذنك لتشد حيلك وترينا أدوات جديدة في الساحة تفيدنا كلنا في شغلنا.

وقد طورت إضافة شملت كل التسجيلات التي ذكرت عددها في الفقرة السابقة، وزيادة، ولكني أوقفت تطويرها ولم أنشرها حتى إشعار آخر. إن كان عندك أفكار تريد تطوير إضافة أو كتابة تسجيل أوامر من

أجلها، وتريد مني استشارة أو استفسارًا لتحل مشكلة واجهتك فيها، أو تريد أن تقترحها علي أو تشاركها معي؛ إن أردت ذلك فتواصل معي –مشكورًا– على وسائل الاتصال المذكورة في مقدمة الكتاب.

"تظبيط الشغل أهم من الشغل"

لا نقصد بالشغل هنا الشغل الميكانيكي، بما يعنيه من نموذج يمثل المشغولة (هو الرسمة)، ومثبتات، وأدوات قطع، وغير ذلك مما يدخل في تكوين المنتج أو يساهم في تصنيعه؛ وإنما نقصد بيئة العمل الافتراضية التي يؤمنها البرنامج. يعني: لا نتحدث عن الطبخة، ولا مكوناتها؛ وإنما نتحدث عن بيئة الطبخ، من إنارة مناسبة، وتهوية كافية، وماء نظيف، وعن أدوات الطبخ، من سكاكين، وملاعق، وشوك، وأطباق، وما شابه ذلك، ونتحدث عن نظافة هذه الأدوات، وتنظيمها، ومناسبتها للطبخة.

في هذه الفقرة مفاهيم نظرية ستظبط لك شغلك. وهي مفاهيم حصرية بالمناسبة، لن تجدها في غير هذا الكتاب. ولا أقصد أني من وضعها وابتكرها بطبيعة الحال، ولكني أعني أن الكتب التي تتناول الباورميل خصوصًا والتشغيل المبرمج عمومًا لا تتناولها. إن كنت من مبرمجي لغات البرمجة فإن ما ستقرؤه في الفقرات التالية لن يكون غريبًا عليك، بل قد تعيب علي بعض إسقاطاتي هنا، وقد تتفق معي على بعضها بطبيعة الحال، وإن لم تكن منهم فيكفي أن تعلم أني أخذت هذه المفاهيم من أهل لغات البرمجة وأسقطتها هنا على مشاريعنا.

مرة أخرى: لا نقصد الشغل المادي الملموس، وإنما نقصد الشغل الحاسوبي المحسوس؛ فلن يأتيك المعلم / الحجي / الأسطى / مدير الإنتاج ويقول لك: اعتمادية كائنات مشروعك قليلة، أو مقروئيتها سيئة، أو أنها غير قابلة للتعديل، أو غير ذلك مما ستقرؤه في الفقرات التالية؛ وإنما ستشعر بما ستقرؤه في شغلك في كل مرة تريد الإضافة عليه أو الإزالة منه، أو تعديله أو صيانته أو مراجعته. كما أنه في الغالب لن يعمل على مشاريعك إلاك، بل إنك قد تكون في أماكن عمل معينة تشترط عليهم ألا تعطيهم المشاريع وإنما برامج التشغيل فقط.

الاعتمادية والتبعية Dependability & Depency

نقول إن للكائن اعتمادية على غيره إن ارتبط بكائن آخر، وإنه له اعتمادية من غيره إن ارتبط كائن آخر به. الاعتمادية الأكثر تعني مقروئية أفضل وتكرارية أعلى وتعني قابلية تعديل أقل.

في الباورميل اعتمادية مباشرة حيث تُقفل الكائنات المعتمَد عليها –وتسمى الكائنات المرجعية Reference Entities– فلا يمكن تعديلها إلا بتعطيل ما يعتمد عليها، ولا يمكن حذفها إلا بحذف ما يعتمد عليها. وفيه اعتمادية غير مباشرة حيث لا قيود على الكائنات، ولا ارتباط بينها، ولكنها كانت معتمدة على بعضها عند إنشاءها؛ كأن تنشئ حدود تشغيل من ملف، أو بنسخها من مشروع آخر أو من الباورشيب، أو من سطوح، أو من أنماط أو من حدود أخرى.

لنقل إنك أزحت حدود تشغيل مسافة معينة. إن أردت إعادة رسم الحدود بتغيير المشغولة أو بتغيير بعض أسطحها عليك عندها أن تعرف الكائن الذي اعتمدت عليه لرسم الحدود، لتنسخ أسطحه إليها، ثم تزيحها بنفس المسافة. يمكن ذلك من **سجل تغييرات الحدود** (انظر **فصل المفاهيم**)، ولكن إن كانت

التغييرات كثيرة غالبًا ستتوه. الحل الأسلم أن تسمي الكائن باسم يعبر عن الإزاحة، فتكتب مثلًا: b +1، يعني الحدود التي اسمها b مزاحة بمقدار +1 مم. والأفضل هنا أن تترك الحدود الأصلية التي أزحتها لتعرف شكلها بالنسبة لما تعتمد عليه من كائنات (سطوح أو غيرها)، حتى لو لم تستخدمها.

بالمختصر: نقول إن للكائن تبعية لغيره إن ارتبط به، أي ما يقفل غيره فيجعله كائنًا مرجعيًا.

المقروئية Readability

برنامجنا ليس من البرامج ذات الاستخدام الآني، الشغل فيه "حطة وقومة"، و"على الحارك"، و"في السخان"؛ وإنما من البرامج ذات الاستخدام طويل الأمد، مثل أي برنامج مشاريع. وطول الأمد هذا نقصده من ناحيتين: من ناحية العمل عليه، لدراسة العملية التشغيلية (موضوع الكتاب)، ومن ناحية متابعة العمل وتنفيذه.

أما من ناحية العمل عليه فقد يستهلك المشروع الواحد ساعات من العمل. وقد يستهلك أيامًا. وقد تعمل عليه على فترات قصيرة أو طويلة، قد تمتد لأسابيع أو أكثر. وأما من ناحية المتابعة والتنفيذ فإنك قد تحتاج بين الحين والآخر الرجوع إلى المشروع لمعرفة معلومات عن طريقة التشغيل على آلة التشغيل، وإن كان ثمة حاجة لإجراء عمليات على آلات أخرى أو عمليات يدوية قبل أو بعد التشغيل على الآلة. وقد تحتاج إضافة أو تعديل بعض المسارات، تبعًا للظروف التشغيلية أو الاحتياجات التشغيلية.

لهذا كله: **حسّن خطك**؛ فإنك ستقرأ ما كتبت، عاجلًا أم آجلًا. وبما أننا نعمل في بيئة افتراضية فإن الخط هنا مقصود به الكائنات المستخدمة في المشروع.

المهم: من حُسن الخط:

- أن تسمي المسارات وترقمها وترتبها بحسب أسبقية التشغيل.
- أن تسمي أدوات القطع، وترتبها إن كانت كثيرة. [1]
- أن تسمي المنحنيات ما أمكن.
- أن تسمي الطبقات ما أمكن.
- أن تجعل العملية التشغيلية مرحلية؛ بحيث تنهي عمليات الهد كلها، ثم عمليات الإنهاء كلها، ثم ما تريد من عمليات أخرى. وأن تجعلها متسلسلة؛ بحيث إن كانت متعلقة ببعضها جعلتها متتالية لا تفصلها عمليات لا علاقة لها بها.
- أن تجعل الخامة في المشروع بحجم الخامة الحقيقية ما أمكن.
- أن لا تعتمد على كائنات مؤقتة ما أمكن، كالرسومات التي تنشئها في الباورميل أو التي تستوردها، فتستخدمها في عملية تشغيلية، وتحذفها بعد انتهاء حساب الكائنات أو عند حساب كائنات أخرى تتعارض معها. حدود التشغيل قد تغنيك عنها. يدخل في هذا أن لا تعدل على الكائنات، لا نقلًا ولا تدويرًا ولا حذفًا. هذه النقطة تؤدي إلى ما سميناه الاعتمادية غير المباشرة.

[1] رتب الأدوات بحسب نوعها، ثم قطرها، تمامًا كما تفعل في لعبة التركس، ولعبة الطرنيب، لا كما تفعل في لعبة الكون كان.

- أن لا ترسم حدود تشغيل عشوائية؛ وإنما ارسمها على أساس الرسومات، أو المسارات، أو الأنماط، أو الحدود الأخرى. جرب حدود العمليات المنطقية Boolean Operation Boundary، ستعجبك، أو في الواقع: ستذهلك!
- أن تكتب ملاحظات إما في المشروع وكائناته وإما في تقارير متعلقة بالمشروع، بحيث ترجع إليها كلما فتحت المشروع. بالمناسبة: عوّد نفسك على أن تراجع المشروع كله عندما تفتحه لغرض إعادة البرمجة. ومما ينبغي مراجعته: ملاحظات كل الكائنات التي قد تكتب فيها ملاحظات، والخامات المتبقية في أسطح محددة لكل ما قد تترك فيه خامة متبقية في أسطح معينة. **فقرة التكرارية** فيها المزيد.
- أن تضع كل الرسومات التي تعتمد عليها في المشروع حتى المؤقتة منها أن تضعها بجانب المشروع وبنفس اسمه مع زيادة في أسماءها للدلالة عليها. **فقرة أعراف التسمية** فيها تفصيل أكبر، فاقرأها مرة أخرى.
- أن تبقي في المشروع ما ستنفذه فقط، فتحذف كل ما لن تستخدمه. لا نقصد هنا ما ترى إمكانية استخدامه لاحقًا، وإنما ما وجدت أنك لا تحتاجه ولن تحتاجه لاحقًا.

نقصد بالتسمية التسمية الواضحة، التي تدل على الكائن دون غيره. مسار اسمه "1-E10" لا يختلف عليه لا مبرمجان ولا مشغلان على أنه أول برنامج في الشغل، ويستخدم الأداة "E10". كذلك الأداة نفسها لا يمكن أن تكون إلا من النوع EndMill بقطر 10 مم. حدود تشغيل اسمها "dlayel" واضح أنها تحد الدلايل. وهكذا. ارجع إلى **فقرة أعراف التسمية**، فيها تفصيل أكبر.

قابلية التعديل Editability

مرة أخرى: لا نضع المشاريع لنشغلها لمرة واحدة ثم نرميها. قد نعود للمشروع مرارًا. فإن أردنا تعديل كائن من كائنات المشروع لا بد أن يكون قابلًا للتعديل.

يكون الكائن قابلًا للتعديل:

1. إن كان ما أنشأته على أساسه موجودًا أو معروفًا. كأن يكون سطحًا، دائمًا أو مؤقتًا، أو كائنًا آخر.
2. إن لم يكن مقفولًا.

لا مشكلة إن كان الكائن مقفولًا، فيمكن فك قفله بتعطيل ما يعتمد عليه. المشكلة إن لم يكن ما أنشئ على أساسه موجودًا أو معروفًا. عندها لا سبيل لتعديله.

تزداد قابلية التعديل بنقصان الاعتمادية.

التكرارية Reusability

باختصار: أعني بالتكرارية (أو قابلية إعادة الاستخدام) إمكانية استخدام الكائنات نفسها في أكثر من مشروع. ويدخل فيها استخدام نفس الكائنات في أكثر من مشغولة. مثلًا: إن كان في القالب بلاطتان تشتركان بكائنات معينة، فإن أنشأتها في إحدى البلاطات ونسختها إلى غيرها فهذا أفضل من أن تنشئها في كل مرة، خصوصًا إن كنت تصل إليها بتحديدات كثيرة أو تعديلات يدوية.

حدود التشغيل أكثر ما يساهم في التكرارية. بشكل عام يمكنك أن تقول: كلما زادت الاعتمادية بين الحدود كان المشروع أكثر قابلية للتكرارية.

وستجد الفائدة من تطبيق هذا المفهوم عند العودة إلى المشروع بعد وقت طويل، لأخذ معلومات منه، لتعديله، أو الاستفادة من المعلومات في مشروع آخر، أو لتشغيل مشغولات أخرى في نفس المشروع (بحذف الرسومات القديمة واستيراد غيرها، وضبط ما يلزم من جمل الإحداثيات وما إلى ذلك). لهذا فإن التكرارية تعتمد على المقروئية؛ فإنك تحتاج أن تعرف ما ضبطته في الشغل القديم، لتضبطه مرة أخرى في الشغل الجديد، وأن تعرف لم ضبطته، وكيف ضبطته. قد لا تكون هذه مشكلة كبيرة عند فتح المشروع وقراءته مرة أخرى، العامل الأساسي هنا هو المقروئية، ولكنها ستكون أزمة إن فتحت المشروع وغيرت الرسمة، لتشغل مشغولة أخرى بنفس البرامج، أو لنقل بنفس المشروع مع تغيير بعض البرامج، وهنا العامل الأساسي هو تكرارية الكائنات.

عند تغيير الرسومات تضيع كثير من الإعدادات؛ كونها مرتبطة بكائنات قد حذفت. وبالمناسبة: إعادة استيراد الرسومات يكافئ حذفها واستيراد غيرها؛ لهذا فإن كل تحديد مرتبط بالسطوح يُفقَد في هذه الحالة.

بعض الإعدادات عالية التكرارية: كالخامة، وظروف التشغيل (السرعات والتغذيات وأعماق القطع)، وأحيانًا لا تكون كذلك، ولكنها في الحالة العامة هي كذلك. هذه الإعدادات في الحالة العامة ثابتة مع تغير المشغولات؛ إذ هي متعلقة بأداة القطع والخامة وطبيعة عملية التشغيل، وهذه كلها ثابتة في المسار حتى مع تغير المشغولات؛ ولو تغيرت لتغير المعنى من المسار، وهذا ما لا نريده.

بعض الإعدادات منخفضة التكرارية: كحدود التشغيل، والأنماط، وما تحدده من أسطح في الخامات المتروكة أو عند إنشاء مسارات من إستراتيجيات تحتفظ بالأسطح المحددة. هذه الإعدادات في الحالة العامة متغيرة مع تغير المشغولات.

لهذا كله: اترك ملاحظات في أي مكان تطاله يداك، لك أو لمن سيعمل على المشروع من بعدك، واجعلها منظمة، وعرفية، بحيث تعود إليها دائمًا في بداية ونهاية كل مشروع، وعند التعديل وعند التكرار. من طرق كتابة الملاحظات:

- ملاحظات المشروع.
- ملاحظات مسار التشغيل.
- وصف مسار التشغيل.
- ملاحظات الكائنات.
- أن تنشئ مجلدات، وتضع الكائنات فيها، أو تضعها قبل الكائنات فتفهم أن ما بعدها له معنى معين.
- أن تضعها في **مجموعات Groups**، وهذه هي الطريقة التقليدية في الباورميل لإعطاء الكائنات معنى معين ولمعاملتها معاملة واحدة، حتى لو اختلف نوعها، طالما تدعم تلك المعاملة.
- أن تكتب تقارير متعلقة بالمشروع، تعود إليها في كل مرة تعمل فيها على المشروع.

هذا، والتسمية السليمة قد تغنيك عن الملاحظات، خصوصًا إن كان لك –أو لمكان عملك، أو لسوق عملك– أعراف تسمية متبعة.

التشاركية

من ناحية: اكتفاء الكائن بما يتبعه بحيث لا يتشارك مع غيره في الكائنات يعني استقلالية أكبر في العمل وقابلية تعديل أكبر. ومن ناحية: اشتراك الكائن مع غيره بالتبعية يعني مقروئية أعلى واعتمادية أكثر وشغل أنظف (الزبدة من الفقرة).

بمعنى: لنقل إن عندنا أكثر من مسار يعتمد على أداة تفريز عادية بقطر 10 مم. إن أنشأت الأداة في كل مرة ما كان بين المسارات تشاركية. صحيح أن الاعتمادية أصبحت أقل، وبالتالي قابلية تعديل أكبر، وسهولة في الشغل أكثر؛ لعدم وجود تعقيدات تحكم المسألة (لا يمكن تعديل كذا إلا بتعطيل كذا وكذا)، صحيح أنها كذلك لكن بالمقابل عليك أن تعدل كل أدوات المسارات واحدة واحدة إن كان التعديل يطالها كلها. بالمقابل إن جعلت المسارات متشاركة في الأداة عندها يكفي تعديلها –فتتعطل المسارات كلها– ثم تحسب المسارات مرة أخرى بأداة واحدة. الأمر نفسه على أي كائن يعتمد عليه غيره.

المشاريع للاستخدام لمرة واحدة

عدم تطبيق ما سبق –أو بعضه– لا يجعل الشغل غير نظيف فقط، وإنما قد يجعله للاستخدام لمرة واحدة. في هذه المشاريع لا يمكن تكرار الشغل بتغيير متطلباته، بتغيير أجزاء من المشغولة أو بتغيير المشغولة كلها، وإنما لا بد من إعادة المشروع من الصفر. يعني لك أن تقول أنه شغل "هات إيدك والحقني".

والكلام هنا عن المشاريع وما فيها، من مسارات وحدود تشغيل وما شابه ذلك. وأكثر ما تشيع به هذه الظاهرة حدود التشغيل. خصوصًا تلك التي هي في الأصل مبنية على كائنات أخرى معلومة (كسطوح دائمة في الرسمة) فتُعدَّل يدويًا دون ترك أي ملاحظة أو إشارة إلى طريقة التعديل، ليأتي المبرمج لاحقًا ويضرب الأخماس بالأسداس لمحاولة إيجاد الطريقة. كذلك الحدود الحسابية، كالحدود المتبقية Rest Boundaries، إن عُدلت يدويًا.

المشاريع غير الصالحة للاستخدام البشري (ولا الهندسي)

وقد يصل بالمشروع الحال إلى أن لا يعرف رأسه من أرجله، فلا تأخذ منه لا حقًّا ولا باطلًا. هذه المشاريع لا تكون صالحة للاستخدام ولا لمرة واحدة. يعني شغل "فض عتب".

نافذة الأوامر Commands Window

كل أمر ترسله في البرنامج بالنقر على أزراره وقوائمه يكافئه أمر برمجي يرسله الباورميل إلى مكتباته. المميز في الباورميل أن نفس الأوامر التي يرسلها شخصيًا نرسلها نحن المطورون عند تسجيل الأوامر وتحريرها وعند تطوير إضافة Plugin للبرنامج.

الاستخدام الشائع لهذه النافذة معرفة الأوامر التي يرسلها الباورميل، لنكتبها في تسجيلاتنا ومكتباتنا. ويمكن أن نرسل الأوامر منه، ولكن هذا ليس شائعًا بين المبرمجين (ولا المطورين).

الفأرة ولوحة المفاتيح، يداك وقدماك هنا

تتشابه عامة برامج التصميم ثلاثي الأبعاد في سلوك الفأرة فيها، ولكنها تتميز عن بعضها في سلوك لوحة المفاتيح.

وهنا نقصد السلوك المتعلق بمنطق الرسم، وهذا ما سنتناوله في هذه الفقرة. أما عند التعامل مع أدوات التحكم العادية، كشجرة العرض وصناديق الحوار وما شابهها فهو هو في سائر البرامج؛ بديهي ومعروف لعامة مستخدمي ويندوز.

المهم: بالنسبة للفأرة:

- الزر الأيمن لإظهار قائمة سياقية، وللتحريك،
- والزر الأيسر للتحديد وإلغاءه،
- والعجلة (الزر الأوسط) للتدوير والتحجيم، وللتحريك.

وبالنسبة للوحة المفاتيح:

- المفتاح {SHIFT}:
  - مع زر الفأرة الأيمن، أو الأوسط، للتحريك.
  - مع زر الفأرة الأيسر للتحديد، دون فقدان ما حددته.
- المفتاح {CTRL}:
  - مع زر الفأرة الأيمن، أو الأوسط، للتحجيم.
  - مع تدوير العجلة للتحجيم بخطوة ثابتة.
  - مع الزر الأيسر لإلغاء التحديد.
  - مع الأرقام في لوحة المفاتيح، إن كانت مقفولة (Num Lock مفعل)، لتغيير العرض إلى مساقط ومناظير قياسية.
- المفتاح {ALT}:
  - مع زر الفأرة الأيسر والمفتاح {SHIFT} للتدوير حول المحور x.
  - مع زر الفأرة الأيمن والمفتاح {SHIFT} للتدوير حول المحور z.
  - مع زر الفأرة الأيسر للتحجيم Zoom In/Out.
  - مع زر الفأرة الأيمن للتحجيم إلى مساحة تحددها Zoom To Box.

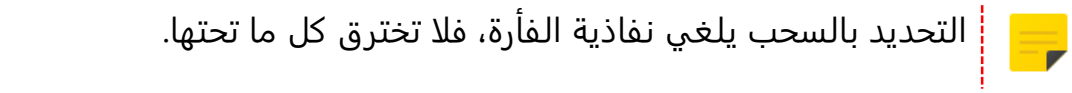
- عند الضغط عليه يفعّل مسرّع الشريط (تفصيله بعد سطور).

وهذا سلوك مميز في الباورميل عن غيره من البرامج.

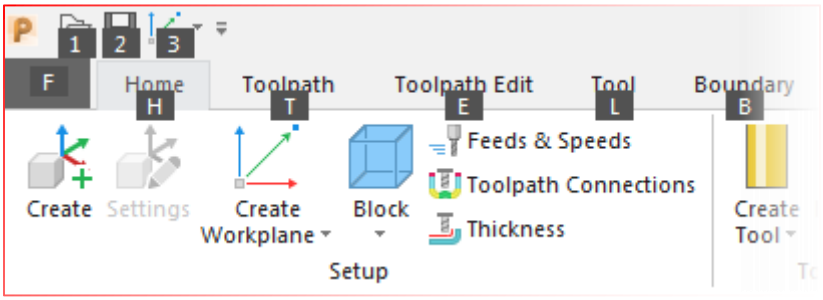
الأكثر من ذلك: تخترق الفأرة كل ما تحتها. وهذا أيضًا سلوك مميز للباورميل. إن نقرت بالزر الأيمن في مكان فيه أكثر من كائن ظهرت قائمة بكل الكائنات المنقور عليها، لتختار كائنًا منها، لتظهر القائمة المتعلقة به. إن حددت منطقة بالزر الأيسر حددت كل الكائنات التي تحته، فإن أرسلت أمرًا نفّذ على كل الكائنات المحددة التي تقبل الأمر (مثلًا: إن حددت مجموعة كائنات: أسطح، ومنحنيات، وثقوب، وغيرها، وأرسلت أمر الحذف بلوحة المفاتيح {Del}؛ حذفت الثقوب فورًا، وحذف ما يمكن حذفه من المنحنيات، ولا تتأثر الأسطح بأمر الحذف بطبيعة الحال). أما النقر بالزر الأيسر فهو كما هو في أي برنامج في الدنيا؛ يحدد أقرب كائن من الفأرة. (مهم)

مما يتميز به الباورميل أيضًا:

- إن أردت أن يكون التحديد عاديًا فعل الخيار: **التحديد الصندوقي Box Select**،
- وإن أردت أن يكون ما نسميه بالتحديد الفردي، فعل الخيار: **التحديد بالسحب Drag Select**. يوفر عليك هذا الوضع من التحديد الضغط على زر {SHIFT}. وما زلت تحتاج أن تضغط على زر {CTRL} لإلغاء التحديد.
- إن فقدت التحديد، وأردت استعادته أرسل الأمر: **التحديد السابق Previous Selection**.


التحديد بالسحب يلغي نفاذية الفأرة، فلا تخترق كل ما تحتها.

أما بالنسبة للشريط Ribbon، فإن فيه سلوك لطيف، من بنيته Built-In، اسمه المسرّع Accelerator، ويعمل عند الضغط على المفتاح {ALT}:



الطريف فيه أنه ذو معنى في أغلب الأحيان، فهو سهل التذكر؛ فـ {T} يشير إلى **T**oolpath و{L} إلى Too**L** و{B} إلى **B**oundary وهكذا.

إن اعتدت عليه ستوفر الكثير من الوقت، وستحفظ سلسلة المفاتيح للوصول إلى وظايف معينة. إن فكرت في الأمر ستجده أشبه بكلمات سر GTA VC، لكن أقصر، وأسهل. الفقرة التالية فيها المزيد. **فقرة تخصيص الشريط** كذلك.

الاختصارات Shortcuts

وهذه قائمة بالاختصارات التقليدية في البرنامج:

الأمر	الاختصار
DELETE SELECTION	{CRTL} + {D}
FORM RIBBON BACKSTAGE OPEN PRINT	{CTRL} + {O}
PROJECT IMPORT PROJESELECTOR	{CTRL} + {I}
Ribbon > File > Open	{CTRL} + {O}
Ribbon > File > Save	{CTRL} + {S}
Ribbon > View > Appearance > Block	{CTRL} + {ALT} + {B}
Ribbon > View > Appearance > Shade	{F3}
Ribbon > View > Appearance > Wireframe	{F4}
Ribbon > View > Cursor > Cross Hair	{CTRL} + {H}
Ribbon > View > Cursor > Tool > Tip	{CTRL} + {T}
Ribbon > View > Navigate > Resize to Fit	{F6}
Ribbon > View > Views > From > View from back (+y)	{CTRL} + {8}
Ribbon > View > Views > From > View from bottom (-z)	{CTRL} + {0}
Ribbon > View > Views > From > View from front (-y)	{CTRL} + {2}
Ribbon > View > Views > From > View from left (-x)	{CTRL} + {4}
Ribbon > View > Views > From > View from right (+x)	{CTRL} + {6}
Ribbon > View > Views > From > View from top (+z)	{CTRL} + {5}
Ribbon > View > Views > ISO > ISO 1	{CTRL} + {1}
Ribbon > View > Views > ISO > ISO 2	{CTRL} + {3}
Ribbon > View > Views > ISO > ISO 3	{CTRL} + {9}
Ribbon > View > Views > ISO > ISO 4	{CTRL} + {7}
Ribbon > View > Views > Refresh	{CTRL} + {R}
Ribbon > View > Views > Tool > Drown Axis	{CTRL} + {ALT} + {A}
Ribbon > View > Views > Tool From Side	{CTRL} + {ALT} + {S}

Ribbon > View > Visibility > Blanking > Blank Except	{CTRL} + {K}
Ribbon > View > Visibility > Blanking > Blank Selected	{CTRL} + {J}
Ribbon > View > Visibility > Blanking > Blank Toggle	{CTRL} + {Y}
Ribbon > View > Visibility > Blanking > Unblank	{CTRL} + {L}
Ribbon > View > Window > User Interface > View Toolbar	{ALT} + {V}

ولعل أهم الاختصارات: ما يتعلق بإظهار وإخفاء الرسومات {CTRL} + {J}, {K}, {Y}, {L}.

ولأداء أفضل، ومهارة أعلى، وإنتاجية أكبر: خصص اختصارات أكثر. بعض الاختصارات أساسية؛ موجودة أصلًا في الشريط: كإنشاء المنحنيات، وإجراء بعض العمليات عليها كإسقاطها وما شابه ذلك، وكحساب الكائنات وتعطيلها، وكرسم السطوح، وأمور أخرى كثيرة. وبعضها ليست كذلك: تحتاج كتابة أوامر (كأول ثلاثة أوامر في القائمة السابقة)، أو تسجيلها في ملفات. (مهم)

... انظر **فقرة الإعدادات** في آخر الفصل لتفصيل أكبر عن ضبط الاختصارات.

تخصيص الشريط الرئيسي Ribbon Customization

توفر عامة البرامج التي فيها شريط رئيسي Ribbon إمكانية تخصيص الشريط فيها. وتتفاوت الإمكانية من برنامج لآخر. فمنها ما يتيح لك تخصيص كل شيء حرفيًّا، ومنها ما يتيح لك تخصيص أدوات خاصة فقط، دون أن تخصص شيئًا من أوامر البرنامج وأدواته. طبعًا هذا لا يعني أنك تستطيع تعديل البنية التحتية للأداة إن أتاحوا لك تخصيص أدواتهم؛ الأمر متعلق بإظهار الأداة من عدمه، وموقعها، وحجمها ربما (بعض البرامج تتيح تخصيص حجم الأزرار). الباورميل لا يتيح لك تعديل أدواته، وإنما يعطيك إمكانية إنشاء صفحات Tabs جديدة في الشريط، تضع فيها مجموعات Groups، تضع فيها الأدوات. والأدوات التي يدعمها في الشريط: أزرار Buttons وحقول Fields (صناديق نصية للقراءة فقط).

وبطبيعة الحال فإن الشريط يعلوه شريط وصول سريع QAT، هو الآخر قابل للتخصيص، لكنها قابلية كاملة هذه المرة.

سواء أردت تخصيص الشريط الرئيسي، أو شريط الوصول السريع، فلك أن تضيف أحد أربعة:

- زر من أزرار الشريط الرئيسي Ribbon Button
- زر فيه أمر من أوامر الباورميل البرمجية Command Button
- زر فيه تسجيل أوامر Macro Button
- حقل Expression Field

الأداة الأولى تتيح لك إضافة أدوات الشريط نفسه إلى مجموعة في صفحة تنشئها أو إلى شريط الوصول السريع. مفيدة هذه الأداة إن أردت وضع الأوامر التي تستخدمها دائمًا من الشريط في مكان واحد.

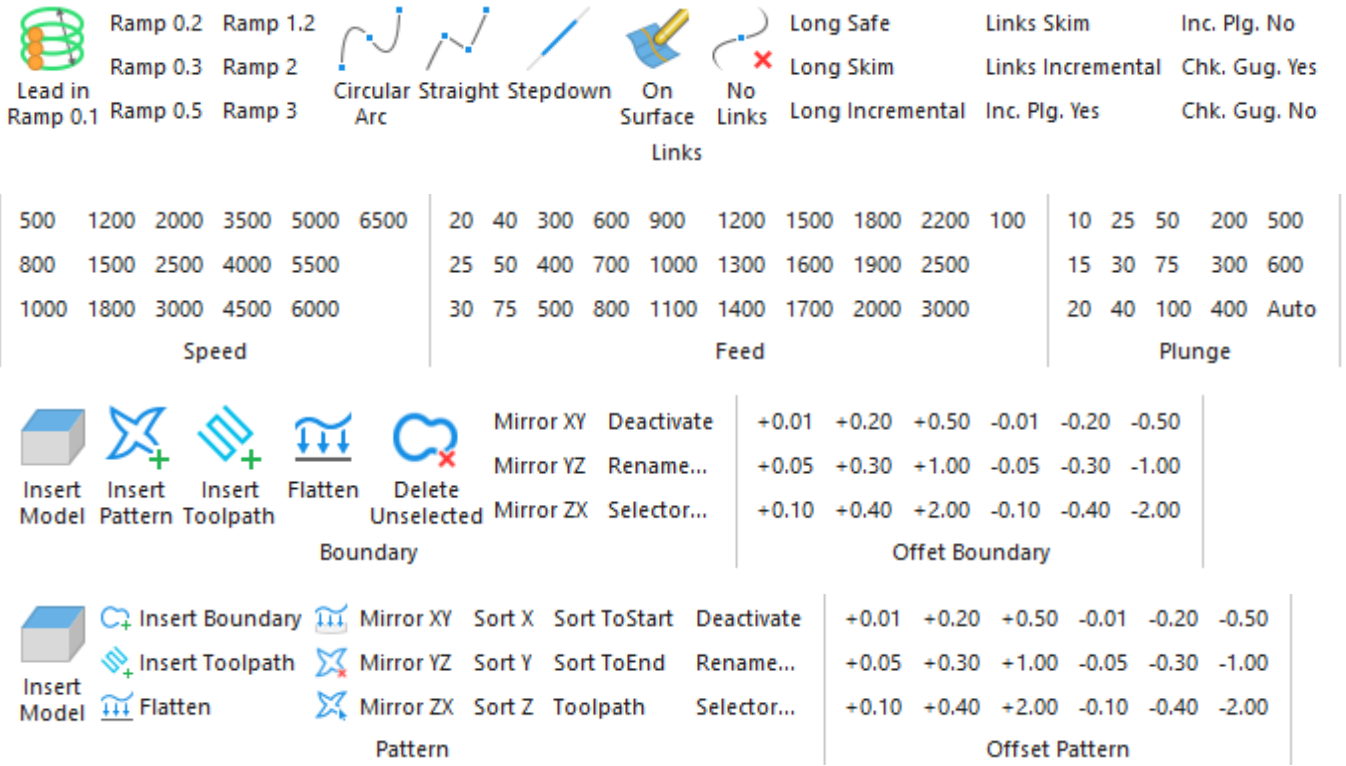
الأداة الثانية تتيح لك كتابة أمر من أوامر الباورميل البرمجية لينفذها البرنامج عند النقر عليها. وارجع إن شئت إلى مرجع الباورميل نفسه البرمجي:

Help > Documenation > Parameters > Reference

الأداة الثالثة تعمل بنفس المبدأ، ولكنها تتيح لك إضافة مسار لتسجيل أوامر Macro (ملف صيغته mac.) بدل كتابة أمر مباشر بسطر واحد.

الأداة الأخيرة تتيح لك إظهار نتيجة تعبير برمجي في صندوق نصي للقراءة فقط.

انظر مثلًا إلى بعض الأوامر التي خصصتها في الشريط الرئيسي:



انظر شريط الوصول السريع:

الحصول على المساعدة

يتميز البرنامج بوفرة التعليمات فيه وتنظيمها، وهي موجودة عمومًا بأربعة أشكال:

- تلميحات الأدوات Tooltips
- شريط الحالة Status Bar
- المساعدة السياقية Context-Sensitive Help (عندما تضغط {F1})
- دليل الاستخدام Manual

إن حملت وثبتت ملفات المساعدة المحلية Offline Help اضبط في الإعدادات استخدام المساعدة المحلية Use offline help.

إن ضغطت {F1} ستنتقل إلى تعليمات السياق الذي أنت فيه. وإن ضغطت {SHIFT} + {F1} وأنت في الشاشة الرئيسية تحول مؤشر الفأرة إلى الرمز فإن اخترت عنصرًا انتقلت إلى تعليماته. وفي صناديق الحوار زر في أعلاها يؤدي نفس الوظيفة. (للإلغاء اضغط المفتاح {ESC}).

ضبط إعدادات البرنامج

اللغة والتعليمات Language & Help

أعلم ما يجول بخاطرك، لكن لا: لا لغة عربية في الباورميل. لا يقف الأمر عند لغة العرض. البرنامج – على عكس سائر برامج ويندوز، وعلى عكس البرامج التي لا تدعم العربية في العرض فيها– لا يفهم لغتنا، لا داخله ولا خارجه. وستواجه مشكلة في بداياتك مع أسماء المشاريع وأسماء الملفات التي تحوي حروفًا عربية، أو تلك التي توجد في مسارات فيها حروف عربية، ومع تسمية الأشياء في المشروع. لكنها فترة وتعتاد الأمر.

أما بالنسبة للتعليمات، فهي وفيرة ومنظمة، ويمكن أن تكون:

- من موقعهم Online: وتحتاج عندها اتصالًا بالإنترنت.
- من جهازك (محلية) Offline: وتحتاج عندها تحميل مثبت لها، وتثبيتها.

التعليمات من موقعهم أوفر وأظرف.

الواحدات Units

يتعامل الباورميل مع نوعين من الواحدات: الدولية (مم mm) والإنكليزية (البوصة أو الإنش inch). معظم الأدوات في البرنامج عديمة الواحدات، وتتعلق بما ستضبطه من إعدادات. في النسخ القديمة كان لكل نظام واحدات برنامج مستقل، لكنهم في النسخ الحديثة جمعوا الواحدات في برنامج واحد، مع الحفاظ على طبيعة الأدوات كونها عديمة الواحدات.

الأمر أشبه بالتعامل مع صيغة dxf، أنت تفترض الواحدات عند تصدير الملف، وتفترضها عند استيراده.

إذا غيرت الواحدات في مشروع ما فإن الباورميل سيحول القيم المدخلة إلى نظام الواحدات الذي اخترته.

رسائل الخطأ والتنبيه Error & Warning Messages

ينصح بإظهار رسائل الخطأ والتنبيه دائمًا. لكن قد تحتاج إخفاءها أحيانًا، خصوصًا في الأتمتة.

عند تطوير إضافة للبرنامج، أو حتى برمجة تسجيلات أوامر (ماكرو)؛ لا نغير الإعدادات من هنا، فلسنا مستخدمين وقتها، وإنما نكتب لذلك أكوادًا، مثل أي مطور في الدنيا.

حدود التشغيل الخاصة Private Boundaries

في النسخ الحديثة إمكانية لخصخصة حدود التشغيل؛ وعندها لكل مسار تشغيل نسخته منها. مفيد هذا الإعداد إن أردت ألا تتأثر المسارات بالتعديلات التي تجريها على حدود غيرها. شخصيًا أميل للتأميم؛ بحيث تتشارك مسارات التشغيل حدود التشغيل، فإن عدلتْ حدودًا مشتركة أخذت كل المسارات المحدودة به التعديل. وبالمناسبة: هذا من بارامترية العمل. لهذا: إن أردت ألا تكون الحدود خاصة لا تفعّل **الخيار Allow new boundaries to be private**.

وحدود التشغيل إن كانت خاصة أخفيت فلا تظهر في المستعرض. إن أردت عدم حصول هذا، لرؤية كل الحدود، الخاصة وغيرها؛ ففعل **الخيار Display private boundaries in the explorer**.

وحتى لا تتراكم الحدود –إن تركتها مخفية– ثمة **الخيار Automatically delete unused private boundaries**.

إخفاء الحدود الخاصة من المستعرض لا يكون إلا في مجلد **حدود التشغيل Boundaries**. فإن كان في **المجموعات Groups** حدود تشغيل خاصة فإنها تبقى ظاهرة فيها سواء ألغيت إظهارها أو لم تلغها.

برامج التشغيل NC Programs

أنصح بضبط هذه الإعدادات لوجع رأس أقل على المدى البعيد:

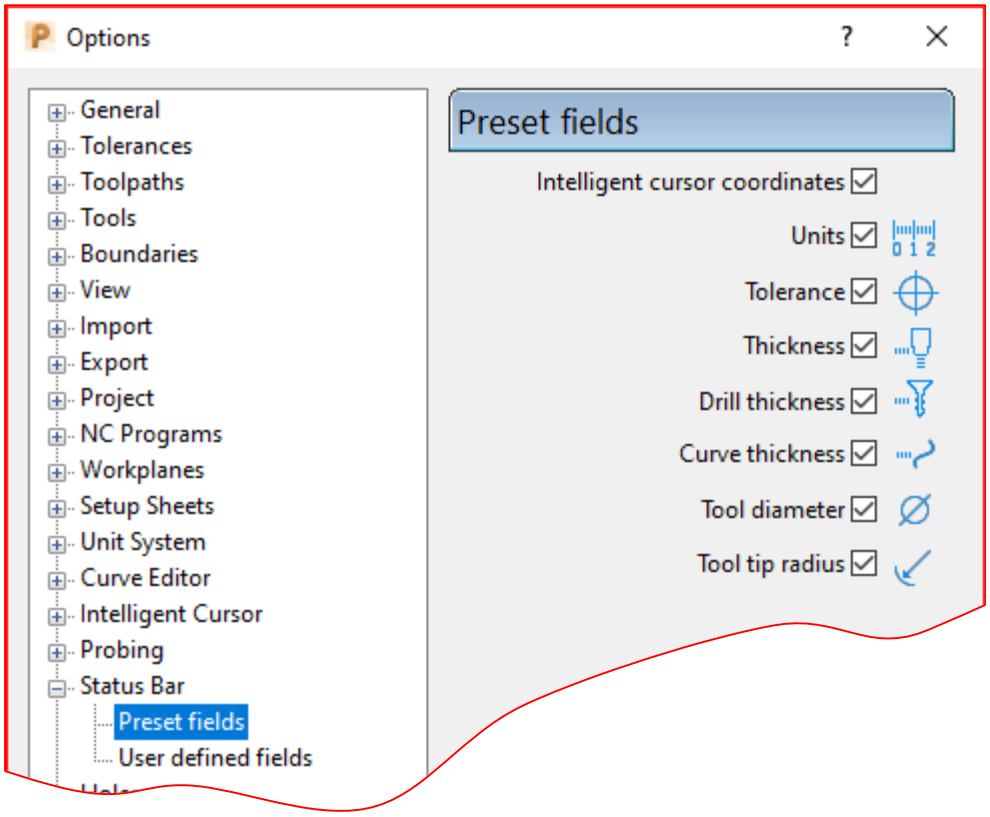
- تفعيل **خيار تخريج برنامج التشغيل بجملة إحداثيات مساراته**،
- وعدم تفعيل **خيار إمكانية تكرار المسارات في البرنامج الواحد**،
- وعدم تفعيل **خيار إضافة المسارات تلقائيًا إلى البرنامج الفعال**.

جمل الإحداثيات Workplanes

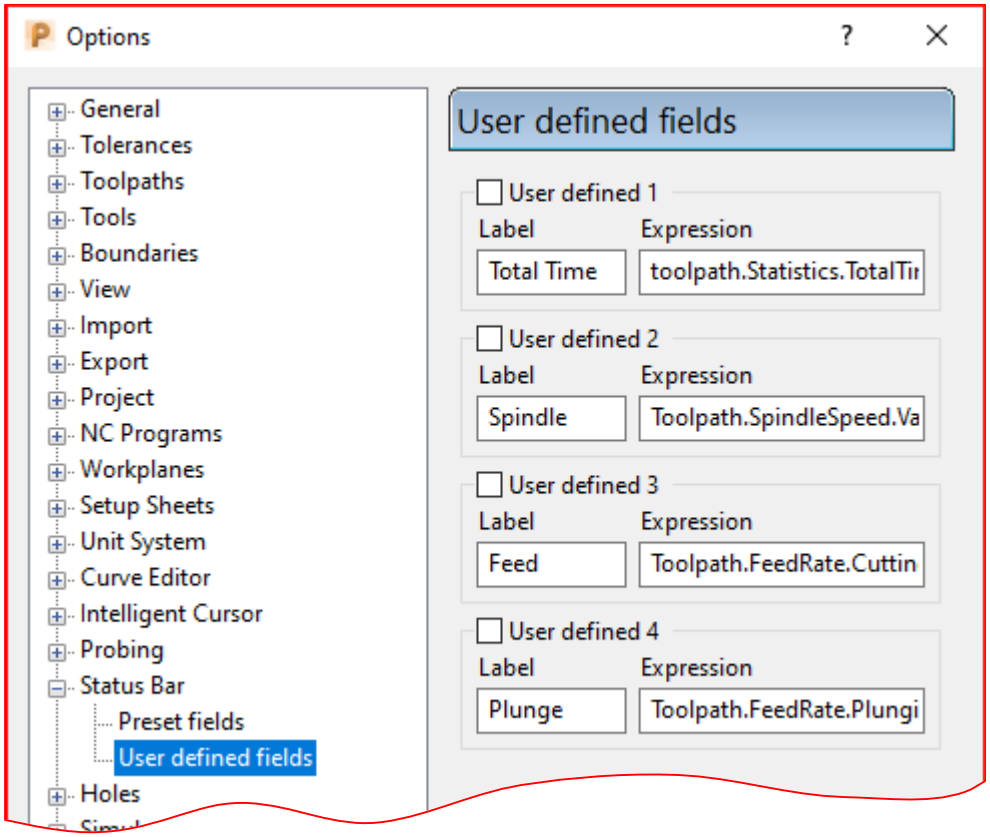
من الإعدادات المفيدة **خيار محاذاة جمل الإحداثيات الجديدة مع الجملة الفعالة**. هو في الحالة العامة مفعل.

شريط الحالة Status Bar

في شريط الحالة كما قدمنا حقول للقراءة فقط فيها معلومات عن بعض الكائنات الفعّالة. يمكن إخفاءها أو إظهارها من الإعدادات. في الحالة العامة كلها مظهرة:



لك أن تعرّف حقولًا خاصة، أكثرها أربعة. انظر:



وكما ترى فإني كتبت فيها أسطرًا برمجية تعطيني معلومات عن مسار التشغيل، هذه المعلومات هي:

- زمن المسار الكلي (بالدقائق)
- سرعة دوران رأس الآلة
- سرعة التغذية
- سرعة الدخول في الخامة

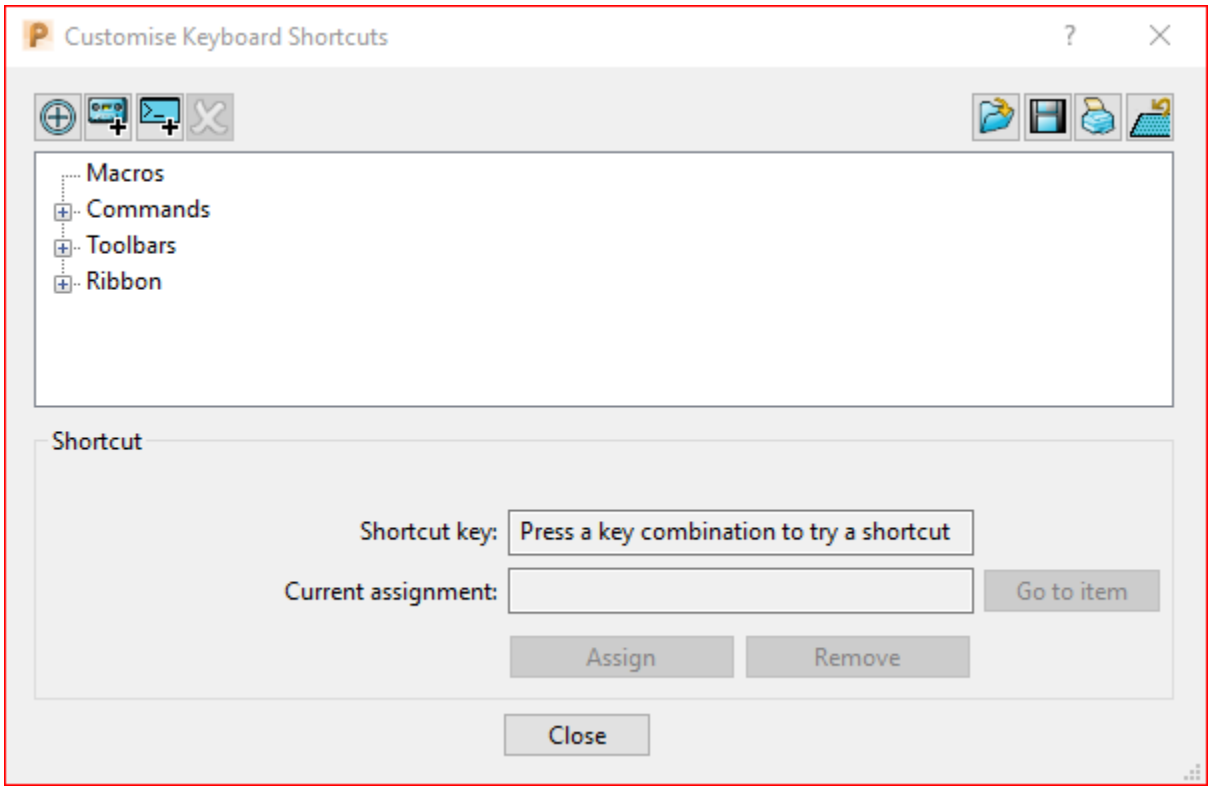
وقد كانت الشاشة التي أستخدمها في العمل كبيرة بحيث تستوعب شريط الحالة بما يحويه من حقول بالإضافة للحقول التي عرفتها أنا.

يمكن إضافة ما يشبه هذه الحقول في الشريط الرئيسي نفسه، وذلك بتخصيصه وإضافة صفحات فيه، وإضافة مجموعات فيها، وإضافة صناديق نصوص تعرض فيها تعابير برمجية تعطيك المعلومات التي تريد فيها. مزيد من التفصيل في **فقرة تخصيص الشريط الرئيسي**.

تخصيص اختصارات لوحة المفاتيح Customize Keyboard Shortcuts

مع أن الباورميل غني من ناحية تخصيص الاختصارات، لكنه –وهذه المعضلة التي لا أحد يعلم سببها– فقير بها (أعني الاختصارات نفسها). لا أدري هل لم يرغبوا أن يلزموا أحدًا بالاختصارات فتروكوها للمستخدمين ليتصرفوا وكأنهم في برنامجهم، أم أنهم لا يعلمون أن في برنامجهم إمكانية تخصيص لها، أو أن الأمر مجهد ويفوق ميزانيتهم وتركوا المهمة للمستخدمين. على كل الحال، ما حصل قد حصل، وسنتدبر الأمر نحن المستخدمين. في هذه الفقرة كيفية ذلك.

مبدئيًا ألق نظرة على الاختصارات التقليدية في البرنامج في **فقرة الاختصارات**.



وهذا تفصيل أوامر النافذة:

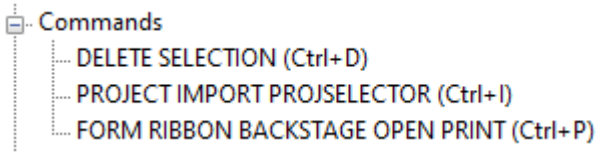
الرمز	الوظيفة
	اختيار أداة على الطاير.[1]
	إضافة اختصار لتسجيل أوامر Macro.
	إضافة اختصار لأمر Command.
	حذف الاختصار المحدد.
	تحميل الاختصارات من ملف XML. (ستضيع عليك كل الاختصارات الحالية).

[1] تُختار الأداة عند الضغط على هذا الأمر وسحب المؤشر فيصبح هكذا: ┼، ثم الإفلات عليها عندما تحاط بمستطيل.

	حفظ الاختصارات في ملف XML.
	طباعة كل الاختصارات. (ستعرض في المتصفح، ثم تظهر نافذة معاينة الطباعة).
	الاختصارات القياسية. (ستضيع عليك كل الاختصارات الحالية).

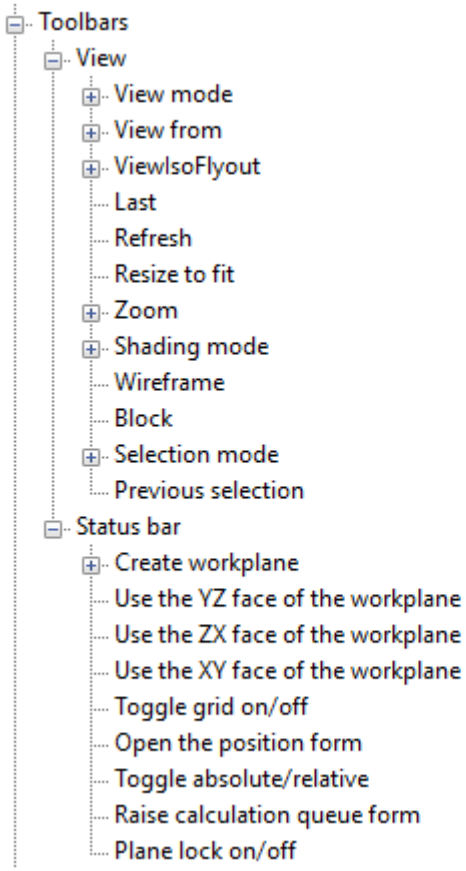
إن ضبطت اختصارا لأمر ما، وكان مضبوطًا لأمر آخر، ظهر الأمر الآخر في **حقل الضبط الحالي Current Assignment**، مع إمكانية الانتقال إليه.

أما بالنسبة لاختصارات الأوامر فهي ثلاث:



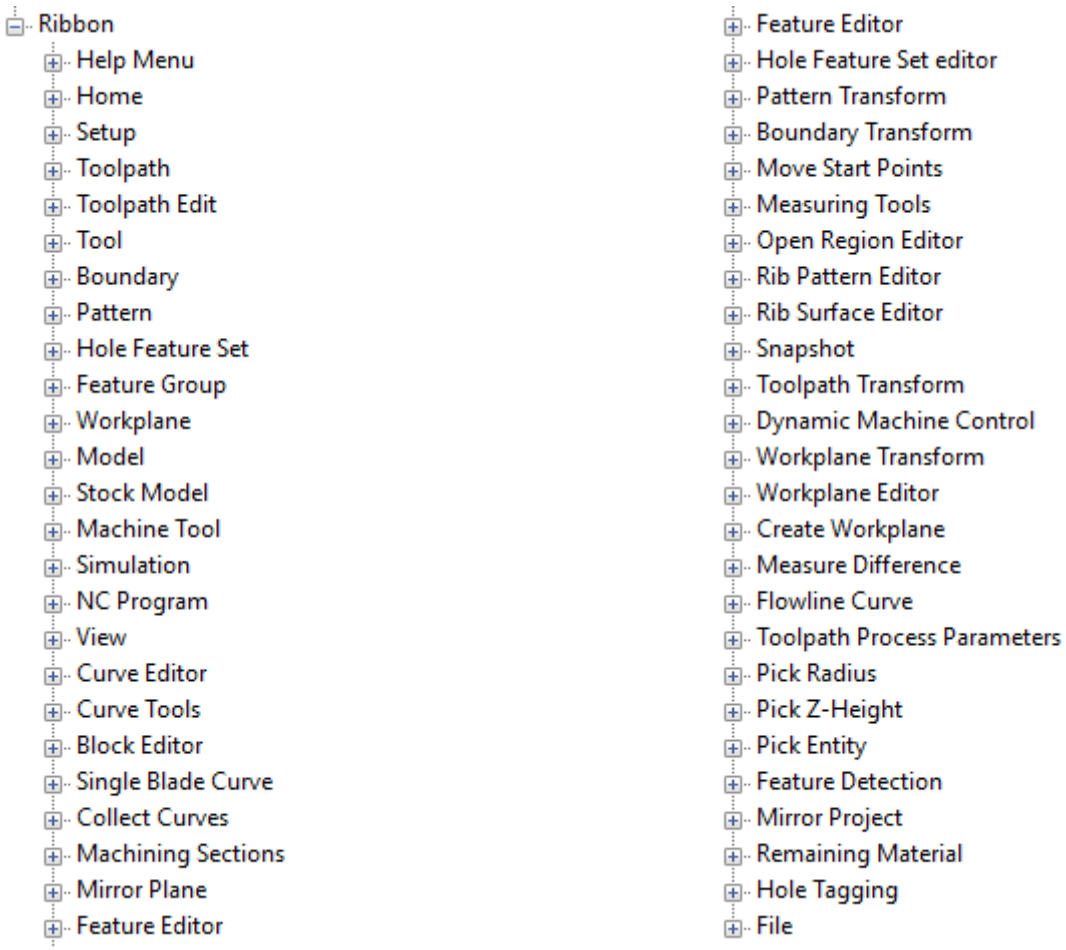
خصص هنا اختصارات الأوامر السطرية. فإن لم تكن كتابة الأمر في سطر واحد ممكنة فاجعله في ملف تسجيل أوامر (ملف mac.) وخصص اختصارًا له في اختصارات تسجيلات الأوامر Macros.

وأما بالنسبة لاختصارات للأشرطة، فهي اختصارات شريط العرض وشريط الحالة:



وكما ترى فإن أدوات هذه الأشرطة مكتوبة بالتفصيل الممل.

وأما بالنسبة لاختصارات الشريط الرئيسي:



إن كان تفصيل اختصارات الأشرطة أعجبك، فلا بد أن تفصيل اختصارات الشريط الرئيسي قد أبهرك.

تخصيص المجلدات العامة في البرنامج

للباورميل نوافذ خاصة للفتح والحفظ، مختلفة عما تجده في عامة برامج ويندوز. قد تعاني منها في البداية لكنك ستعتاد عليها. والحمد لله أحد العاملين عندهم أحس بسوء هذه النوافذ فاقترح إضافة أزرار تؤدي إلى مجلدات خاصة يختارها المستخدم، لكنهم ظنوا أن كثرة الأزرار ستكلّفهم ميزانية الشركة؛ فتكرموا علينا بزرين اثنين لا ثالث لهما.

المهم.. لتحكم أفضل بالمشاريع وملفاتها اضبط المجلد العام، والمجلدين 1 و 2، ومجلد تسجيلات الأوامر.

ضبط المجلد Home

هذا المجلد هو صلة وصل بين نظام التشغيل من جهة، والباورميل من جهة، وأنت باعتبارك مطورًا للباورميل من جهة. ويمكن ضبطه كما يلي:

1. Control Panel > System > Advanced system settings
2. Advanced
3. Environment Variables

أنشئ متغيرًا، سمه Home، وضع في قيمته مسار المجلد Home عندك.

الفصل الرابع – مفاهيم أساسية في الباورميل

هذا أهم فصول الكتاب، والزبدة منه. يمكنك أن تقرأ الفصل وكأنه: كيف تنشئ مسار تشغيل، من الألف إلى الياء. ولكن لا تتوقع أن تنشئ مسارات تشغيل عندما تنهيه، وإنما الفصل الذي يليه. هذا الفصل يضع لك النقاط على الحروف، الفصل التالي يشكل كلمات من الحروف، المنقوطة وغير المنقوطة.

... وقد كتبت معظم الفقرات بترتيب الشغل في الباورميل، تقريبًا.

الدقة Tolerance

نتعامل مع أغلب الأشياء في الباورميل باعتبار الدقة، وتختلف النتائج باختلافها.

الدقة العالية تؤدي إلى نتائج أفضل، لكنها بالمقابل تستهلك وقت حساب أكبر. والعكس صحيح. لا تهمك الدقة العالية دائمًا، كما أنها قد تهمك في المواضع التي تظن أنها ليست كذلك (سنتناول هذه النقطة لاحقًا).

في الحالة العامة نجعل الدقة 0.1 إن أردناها ضعيفة (كعامة برامج الهد، أو إنشاء الخامة في معظم الأحيان)، ونجعلها 0.01 إن أردناها عالية، ولكنها ليست قاعدة، كما سيأتي.

يتأثر وقت التشغيل بالدقة، ولكن بشكل طفيف لا يكاد يذكر في كثير من الأحيان؛ لأن طول مسار التشغيل لا يختلف كثيرًا. ما يختلف فعلًا هو موقع نقاط مسار التشغيل، وهذا ما يعطي النتيجة النهائية.

هذا، ودقة المشغولة تابعة لدقة الرسمة؛ لا بد أن تكون الرسمة بدقة المنتج المطلوبة أو تزيد عنها. ودقة التشغيل تابعة لدقة الآلة؛ لا بد أن تزيد الآلة عن دقة التشغيل، وهذا بديهي، وموجود في عامة الآلة المبرمجة.

تريد أن تعمل على الليبرة؟ انظر **المعيار ISO 2768** ففيه تفصيل التسامحات Tolerances بالنسبة للأبعاد.

علاقة الدقة بخطوة التشغيل

الدقة في طبيعتها مقدار بعدي، بواحدة مم، أي أن دقة 0.1 هي 1 ديزييم، و0.01 هي 1 سنتييم، وهكذا. وقد وجدت تجريبيًا أنها يجب ألا تزيد عن خمس الخطوة. فمسار تشغيل خطوته 0.2 مم يجب ألا تزيد دقته عن 0.04 مم، ومسار تشغيل خطوته 0.05 يجب ألا تزيد دقته عن 0.01، وهكذا. هذا الكلام بالمناسبة سار على أي نوع من مسارات التشغيل، وعلى أي نوع من الخطوات، ما لم تكن خطوات صغيرة جدًا.

كيف تؤثر الدقة بمسارات التشغيل؟

أشرنا في **فصل الأساسيات** إلى معنى الدقة، وكيف أنها تعني من ناحية أخرى ما يمكن اتركابه من أخطاء (التسامحات، وهي الترجمة الحرفية للمصطلح بالمناسبة). وذكرنا أيضًا أنها تعني –تقنيًا– التزام مسار التشغيل الذي تسلكه أداة القطع بمسار التشغيل النظري، والذي يشكله الخط الذي يرسمه مركز الأداة وهي تتحرك ملامسة الأسطح المشغلة، باعتبار الخامة المتروكة.

ولعل إستراتيجيات الهد أكثر ما يمكن أن يوضح لك الصورة، وبالتحديد: إستراتيجيات الهد المتبقي. في هذه الإستراتيجيات تتبع مسارات التشغيل ما قبلها من مسارات، فتكمل عنها، كما سنرى. وقد نترك خامة مختلفة في المسارات المتتالية، وقد نترك نفس الخامة، كما سنرى أيضًا، وذلك تبعًا لاحتياجاتنا التشغيلية.

المهم في كل القصة أن مسار التشغيل المتبقي سيرى ما تركه المسار الذي قبله، باعتبار الخامة المتروكة وباعتبار الدقة. أي:

- إن كانت الدقة واحدة؛ لن ير المسار المتبقي شيئًا من الخامة، إلا إن كان الفرق بين الخامتين المتروكتين أكبر من ضعف الدقة.
- وإن كانت الدقة مختلفة؛ سيرى ما يتجاوز الفرق بين الخامتين المتروكتين.

هذا، وفي كلتا الحالتين سيرى المسار المتبقي ما لا يمكن للمسار الأول الوصول إليه بالطبع، وإنما كنا ننظر في الحالات التي يمكن للمسار الأول والمسار الذي يليه أن يصل إليها.

وبالمناسبة: الدقة لا تؤثر فقط على مسارات التشغيل، ولكنها أشهر ما تتأثر بها. تؤثر الدقة على كل ما يمكن حسابه:

- مسارات التشغيل Toolpaths
- بعض حدود التشغيل Boundaries
- الخامات الافتراضية Stock Models

أي: كل ما فيه **الأمر Calculate والأمر Invalidate**.

أخطاء تضيع الدقة

لا نقصد بمصطلح "الأخطاء" الأفعال غير الصحيحة، أو "الغلطات"، وإنما يعني مقدار البعد عن القيمة الإسمية، أو النظرية، أي التجاوزات فيها. تجد هذا المفهوم في الرياضيات عند دراسة تقريب الأعداد (أن تقول إن العدد 3.14159 هو 3.14، أو تقول إن العدد 9.80665 هو 9.81، وهكذا)، وتجده في علم الدلائل والمثبتات، ويعتبر كلامنا هنا تابعًا له.

تؤدي الأخطاء لظهور أثر للتشغيل في المشغولة. وقد تقدم تفصيل أثر التشغيل في **فصل العملية التشغيلية حاسوبيًا**، فارجع إلى تلك الفقرة.

تضيع الدقة لاعتبارات يمكن إجمالها في:

- أخطاء في أداة القطع
  - خطأ ميلان أداة القطع، أو ما يعرف بـ "رفة أداة القطع". وسببها إما حامل الأداة، أو الجلبة، أو كلاهما. ويظهر أكثر ما يظهر مع الأدوات الطويلة.
  - خطأ ربط اللقم بالأدوات الحوامل.
  - خطأ تآكل أداة القطع.
- أخطاء في جملة الإحداثيات
  - خطأ صفر المشغولة في الاتجاه x.
  - خطأ صفر المشغولة في الاتجاه y.
  - خطأ صفر المشغولة في الاتجاه z، ويمكن أن نسميه: خطأ تصفير أداة القطع، السطح الذي يعرّف الارتفاع الصفري لأداة القطع.
- أخطاء في توضع المشغولة
  - خطأ دوران سطح الاستناد حول المحور x.
  - خطأ دوران سطح الاستناد حول المحور y.
  - خطأ دوران المشغولة حول المحور z.

ونفترض هنا أن آلة التشغيل لا أخطاء فيها، وتحقق الدقة المطلوبة.

- وارد جدًا أن يحدث خلال التشغيل بعض هذه الأخطاء أو كلها، ولكن لا يعقل أن يكون في آلة التشغيل أخطاء تتجاوز دقة الشغل، لا في فرشها ولا في رأسها، ولا محاورها ولا أي جزء منها. يجب ألا تقل دقتها عن دقة التشغيل المطلوبة.
- قد يكون في أداة القطع خطأ ميلان ولكنه يحقق الدقة المطلوبة عندما تكون بطول معين، ولا يحققها إن مُسكت بطول أكبر. (مهم)
- لا نستخدم الأدوات الحوامل –ذوات اللقم– في عمليات الإنهاء؛ كونها تتطلب دقة عالية، وأخطاء هذه الأدوات يتجاوز الدقة المطلوبة. (مهم)
- لا يظهر خطأ صفر المشغولة إلا إن كانت مشكَّلة أو مشغَّلة مسبقًا.

يجب أن لا تتجاوز الأخطاء الخامة المتروكة (الـ Thickness)؛ حتى يبقى شيء لأدوات الإنهاء لتحقق التفاصيل المطلوبة. وهذا يسري ليس فقط على برامج الهد وإنما على برامج نصف الإنهاء أيضًا. يدخل في هذا أيضًا برامج الإنهاء إن كانت على مراحل. في الحالة العامة ننهي كل سطح، أو مجموعة أسطح، أو منطقة، ببرنامج واحد وأداة قطع واحدة ما أمكن. ولكنها ليست قاعدة؛ قد ننهي بعض الأسطح بأكثر من برنامج، بأداة واحدة أو أكثر. نظريًا: لا مشكلة في تعدد البرامج إن كانت كلها تعمل بنفس الأداة؛ فلها كلها نفس خطأ التصفير، ونفس خطأ الميلان، ونفس خطأ التآكل. للمزيد انظر **فقرة أثر التشغيل** في **فصل العملية التشغيلية حاسوبيًا**.

أخطاء أداة القطع تتعلق بها تفاصيل المشغولة. حالتان لا تحقق أدوات القطع فيهما التفاصيل المطلوبة منها:

- إن كان فيها خطأ ميلان، وعندها أزالت طبقة أكبر من الخامة.
- إن كان فيها خطأ تآكل، وعندها تركت طبقة أكبر من الخامة.

وإن كان فيها خطأ في لقمها قد تكون كخطأ الميلان أو تكون كخطأ التآكل، أي قد تزيل طبقة أكبر وقد تترك طبقة أكبر.[1]

وتكون ضربة المعلم بألف إن حصل وتساوى خطأ الميلان وخطأ التأكل، ولو "شلفها شلف"!

[1] لا يدخل في خطأ اللقم تركيب لقم غير ما عرّفت به في البرنامج. مرة أخرى: لا نقصد بمصطلح الأخطاء الأشياء غير الصحيحة، أو الغلطات، وإنما التجاوزات.
في بداياتي في المهنة قال المعلم أسعد إن الحامل ذا القطر 50 عنده لقمه نصف قطر دورانها 4 (كان يقصد 0.4 مم، لأن الحديث كان في سياق كنا نتحدث فيه عن الحوامل 20R0.4 و16R0.4، ولكنه اختصرها جدعنةً). فاعتمدت الأداة باعتبارها 50R4 وعملت بها زمنًا، خصوصًا أني سمعت بهذا الحامل بهذه اللقم من قبل. ولأننا نترك خامة كبيرة نسبيا مع الأدوات الحوامل كان الله يسترها معنا ولا نواجه مشاكل. ولكن في يوم أزيل هذا الستر عنا وتبهدلت المشغولة حرفيًا. كان في البلاطة بلاطات مزروعة، وشغل كثير لتجهيزها، ومعدنها معالج، وسماكتها كبيرة. في المحصلة تغير المنتج، ولكن الزبون قبله. ثم كررنا نفس "الغلطة" في باقي القوالب، لكن عمدًا هذه المرة، لتكون كلها بنفس النتيجة، إذ كان من المنتج مقاسات.

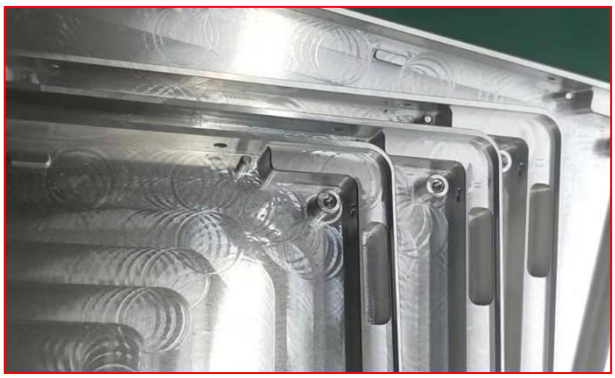
يكافئ خطأ ميلان أداة القطع تعريفها بقطر أكبر، ويكافئ خطأ تآكلها إما تعريفها بقطر أصغر وإما تعريفها بنصف قطر دوران لحدودها القاطعة، وذلك بحسب تآكلها. أما خطأ التصفير فيكافئ تغيير طول الأداة. هذا، وقد نتلاعب بتصفير الأداة لسبب أو لآخر، وذلك تبعًا لاحتياجاتنا التشغيلية.

قد يؤدي ميلان أداة القطع إلى كسرها، خصوصًا مع ذوات الأقطار الصغيرة، حتى في ظروف التشغيل العادية.

إن أريد قياس مجموع الأخطاء في الأداة، تجريبيًّا، شُغِّل تجويف مربع المقطع أو دائري المقطع في خامة (أو أي مقطع يمكنك قياسه تريد)، ثم تقاس أبعاد التجويف بأدوات قياس عيارية؛ فإن كانت مختلفة عن أبعاد التجويف المرسوم ففي الأداة أخطاء، أو أن أخطاءها فنت بعضها (ضربة المعلم). يحسب ميلان الأداة من العلاقة التالية:

$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{d - d_n}{2 \cdot L}\right)$$

فضلًا عن توسيع التفاصيل في الاتجاه XY (الاتجاه القطري)، يؤدي ميلان أداة القطع إلى إزالة أجزاء من الخامة في الاتجاه z (الاتجاه المحوري). تجد هذا الأثر في الأرضيات حيث تتشكل دوائر كثيرة فيها على طول خط سير الأداة، ولكنه تأثير صغير جدًا مقارنة بالتأثير في الاتجاه القطري، فهو يتعلق بقطر الأداة لا طولها. وربّما ظهر هذا التأثير بسبب ظروف التشغيل. يحسب عمق هذا الأثر من العلاقة التالية:



$$h = D_c \tan(\delta)$$

حيث

δ	ميلان أداة القطع $[deg]$.
d	البعد الفعلي في أحد الاتجاهات $[mm]$.
d_n	البعد الاسمي في نفس الاتجاه $[mm]$.
D_c	قطر أداة القطع $[mm]$.
h	عمق أثر أداة القطع في الخامة في الاتجاه المحوري $[mm]$.

نتجاوز أخطاء الأداة بترك مقدار من الخامة Thickness؛ لهذا نقبل وجود شيء منها في برامج الهد، ويجب ألا تتجاوز أخطاء أدوات برامج الإنهاء دقة المنتج المطلوبة. تفصيل الخامة المتروكة تجده في فقرتين قادمتين.

وإن أريد قياس أخطاء جملة الإحداثيات أخذَت قراءات بأداة عيارية، لا أخطاء فيها، لنقطة من سطح ناظمه المحور x، ولنقطة من سطح ناظمه المحور y، ولنقطة من سطح ناظمه المحور z؛ ونُظر في إحداثيات النقاط التي أخذتها في الرسم، بعد تعويض نصف قطر الأداة.

تأثير هذه الأخطاء إزاحة الشغل عما هو عليه بمقدار الأخطاء. ولا يظهر بطبيعة الحال في الخامات، وإنما في المشغولات التي سبق تشغيلها أو تشكيلها. الأخطاء في الاتجاهين x وy واحدة في كل البرامج؛ إذ إن جملة الإحداثيات مشتركة بينها كلها. أما الخطأ في الاتجاه z فمتعلق بكل أداة قطع بأداتها.

وإن أريد قياس أخطاء توضع المشغولة أخذَا نقطتين من كل سطح، ونُظر إن كان لهما نفس إحداثية المحاور الإحداثية في كل سطح. زاوية دوران المشغولة حول محور z تحسب من العلاقة التالية:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}\right)$$

أو العلاقة:

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2}\right)$$

تعطي العلاقتان نفس القيمة، بفرض أن المشغولة متوازية مستطيلات، وأن كل أوجهها مستوية. وبنفس الفرض يحسب دوران سطح الاستناد حول المحورين x وy:

$$\gamma_x = \tan^{-1}\left(\frac{z_1 - z_2}{y_1 - y_2}\right) \quad \gamma_y = \tan^{-1}\left(\frac{z_1 - z_2}{x_1 - x_2}\right)$$

حيث

α	ميل المحور x في المشغولة عن المحور x في الآلة $[deg]$.
β	ميل المحور y في المشغولة عن المحور y في الآلة $[deg]$.
γ_x	دوران مستوي الاستناد حول المحور x $[deg]$.
γ_y	دوران مستوي الاستناد حول المحور y $[deg]$.

لقراءات أدق خذ أبعد نقاط ممكنة عن بعضها.

في **فقرة إنشاء جمل الإحداثيات** مثال على خطأ سببه انحراف الرسمة. ولكن فيها كان سبب الخطأ الرسم أو البرمجة، أما ما نتحدث عنه في هذه الفقرة فهي أخطاء تشغيلية، أي لا دخل للرسام ولا للمبرمج فيها، وإنما المشغل، مع أن النتيجة واحدة في النهاية: جملة الإحداثيات المستخدمة في آلة التشغيل مختلفة عن جملة الإحداثيات المفترضة في البرمجة.

نقطة أخيرة مهمة: بعض الأخطاء ثابتة خلال الشغل، وبعضها قد تكون ثابتة وقد لا تكون؛ قد لا يكون في أداة القطع خطأ تآكل مثلًا، ولكن بسبب ظروف التشغيل قد يحصل ذلك أثناء الشغل.

الرسمة Model

أول خطوة في أي مشروع –غالبًا– استيراد النموذج، أي الرسمة، والتي غالبًا ما تكون المنتج المطلوب تشغيله. قد تستورد رسومات كثيرة أثناء البرمجة، بل وقد يستورد بعضها في مراحل ويحذف بعضها في مراحل أخرى، وقد تُنشأ أسطح في الباورميل، أو الباورشيب، لتقيَّد بها المسارات.

تحوي الرسمة مكونات كثيرة لا تخرج عن إحدى ثلاثة:

- السطوح Surfaces
- الرسوم الشبكية Triangles
- الخطوط Wireframes

وهي في الحالة العامة تمثل المشغولة بعد إنهاءها، تسمى تقنيًا Finished Parts.

كثيرة هي الصيغ التي يمكنك استيراد الرسومات على أساسها.. أشهرها:

- dgk
- stl
- stp
- igs
- x_t
- x_b
- dxf

بالإضافة إلى صيغ رسومات **برنامج SolidWorks**، بشرط توافق النسخ.

أفضل الصيغ dgk؛ لأنها الصيغة القياسية في البرنامج. وأشهر الصيغ igs وstp وstl. وأخف الصيغ x_b، وتسمى Parasolid.

لصيغ الـ Parasolid ميزة أن السطوح فيها –إلا ما ندر– تكون في اتجاهها الصحيح Oriented. أما في صيغة igs مثلًا فغالبًا ما ستأتي وكل سطح باتجاه. ليس هذا فقط: في هذه الصيغة تعتبر الثقوب سطحًا واحدًا، بينما في غيرها، كـ stp، تعتبر سطحين.

ولصيغة الـ dgk ميزة أنها تحوي ليس فقط الرسومات وإنما كائنات أخرى كثيرة متعلق بالرسم، كجمل الإحداثيات، والطبقات، وغير ذلك. كما أنها تحفظ ألوان الرسومات فيها.

لا أجسام في الباورميل، كل شيء هنا سطوح وخطوط، وسمات

إن جئت من برامج هندسية فيها مفهوم الأجسام، فستعاني في البداية قليلًا. الأجسام تعطي بيئة العمل لمسة واقعية. أشياء ثلاثية الأبعاد تتعامل معها كما تتعامل مع أي شيء ثلاثي الأبعاد من حولك. أما عندما تدخل السطوح في المسألة فتتحول القصة من جسم بكيان متكامل إلى أجسام سطحية لا علاقة بينها ولا رابط يجمعها، إلا صدفة تواجد كل سطح في مكانه. حرك أي سطح بأي اتجاه تريد، أو دوره حول أي محور تشاء، أو احذفه حتى؛ ولا كأن شيئًا قد حصل. جرب ذلك مع الأجسام في البرامج التي فيها أجسام؛ وانظر كيف سيولول البرنامج إن حركت جزيئة من أجسامه وهو لا يريد.

الاتجاه الصحيح للسطوح Orient Surfaces

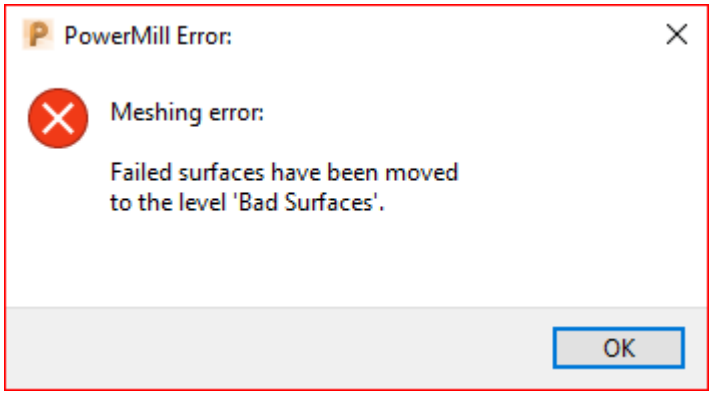
للأسطح في الباورميل اتجاهين، أسطح خارجية وأخرى داخلية، ولكن يستحسن أن تكون كلها باتجاه واحد. هذا لا يعني أن بها مشكلة، هي صحيحة، ولكنها لن تعطيك منحنيات صحيحة (حدود تشغيل وأنماط). كما أنها قد تشتت تركيزك بعشوائية ألوان أسطحها.

لذا، إن جاءت الرسمة بأسطح غير متجهة بالاتجاه الصحيح، حددها كلها، ثم أرسل **الأمر Model > Orient Selected Surfaces**.

قد لا ينجح هذا دائمًا، عندها اختر الأسطح يدويًا واعكسها **بالأمر Model > Reverse Surfaces**.

الأسطح العاطلة Bad Surfaces

قد تكون بعض الأسطح سيئة بسبب برنامج الرسم. وعندها لا يمكن إنشاء مسارات التشغيل إلا بحذفها. إذا اكتشف الباورميل أسطحًا غير صالحة فإنه ينشئ **الطبقة "Bad Surfaces"** وينقلها إليها. قد يكتشفها في أي لحظة، وقد لا يكتشفها إن لم تجرى أي عمليات تقرأ هذه الأسطح. المهم: عندما تُنقل إلى طبقتها، حدد كل سطوح الطبقة، واحذفها، لتستطيع إكمال العمل.



أحيانًا يستحي الباورميل منك فجأة، فيسكت، لا من تمه ولا من كمه، مع أنه في الحالة العادية "بجيج" ولا يستحي من عينه، فلا يقبل أن يحسب المسارات، ولا يرسل لا تنبيهات ولا رسائل أخطاء. عندها أغلق المشروع وافتحه مرة أخرى واحسب المسار الذي توقفت عنده، ليفك عقدته ويخبرك بوجود سطوح عاطلة.

السطوح السياقية

في الحالة العامة لا ينصح بالاعتماد على غير ما في المشروع من رسومات، ولا على سطوح ترسمها على الطاير، إن كان داخل الباورميل أو خارجه، لتستخدمها في مسارات دون غيرها؛ لما في ذلك من ضعف في المقروئية، والتكرارية. قد تصل لهدفك بتغيير الإستراتيجية أحيانًا، وبضبط الحدود أحيانًا

أخرى. نسمي السطوح التي تُنشأ لإعاقة طريق مسار التشغيل أو لقيادته ليرسم بشكل معين سطوحًا سياقية، وهي قد تكون مؤقتة وقد تكون وهمية. نسميها سياقية لأنها مرتبطة بسياق معين، متى ما يحين وقتها أنشأناها –أو استوردناها– ومتى ينتهي سياقها حذفناها. فإن كانت تمثل شيئًا في المنتج سميناها مؤقتة، وإلا سميناها وهمية.

فقرة قطع المسارات فيها مثال عن سطح وهمي.

يشيع عند بعض المبرمجين الاحتفاظ بكل سطوح المشروع، سواءً تلك التي يجلبونها مع الرسمة الرئيسية في المشروع مبيتين نية في استخادمها لاحقًا أو ما يستوردوه وينشئوه مع مرور المسارات، ونقلها إلى مسافة ثابتة تكون عرفًا بالنسبة إليهم. فمثلًا يأتون بأسطح ويستخدمونها سياقيًا ثم ينقلونها مسافة z-100، أو z-50، أو ما شابه ذلك، ويتركونها هناك إلى أن تأتي مناسبتها ويحتاجونها مرة أخرى، فيرفعونها تلك المسافة، ثم يعيدوها إلى مكانها عندما تنتهي مناسبتها. **فقرة أعراف في التسمية** في **فصل المدخل** فيه أسلوب أفضل، فليراجع.

تغيير شفافية الأسطح Translucency

تدعم السطوح الشفافية، لتمييزها، وذلك **بالأمر Model > Translucency**. مفيدة هذه الميزة إن كان عندك سطح تريد أن ترى ما خلفه خلال التشغيل، أو إن كان غير مهم أو لا يمثل شيئًا في المنتج كالمثبتات.

وكالإخفاء، تغيير الشفافية لا يعني أن الأسطح غير موجودة. هي موجودة، والمسارات لا يمكن أن تخترقها، إلا إن ألغيت خيار فحص التصادمات Gouge Check، وعندها لا معنى للرسومات أصلًا، ولا محل لها من الإعراب.

رسم الأسطح في الباورميل Creating Planes

قد لا يكون معنى "رسم الأسطح" حقيقيًا هنا، وإنما يميل إلى كونه "قفل مناطق بأسطح". ومع ذلك فهي مفيدة في كثير من الأحيان.

يشيع بين المبرمجين معرفتهم بإمكانية رسم السطوح المستوية، أفقية كانت أو مائلة، ولكن قلة منهم من يعرفون إمكانية رسم الأسطح المنحنية. بشكل عام نرسم الأسطح بإحدى ثلاث:

- قفل حدود التشغيل
- قفل الثقوب
- من مقطع الخامة

هذا داخل الباورميل. أما خارجه:

- ننسخ حدود التشغيل إلى الباورشيب ونقفلها بسطح.
- أو نحفظها في ملف، ثم نستوردها من الباورشيب أو غيره، ونقفلها بسطح.

ثم نستورد السطح إلى الباورميل.

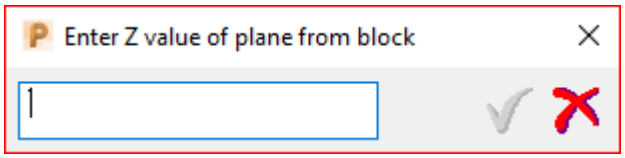
وهذا مختصر رسم الأسطح في الباورميل:

إن رسمت من حدود تشغيل فإنها في الواقع تقفلها. إمكانية الرسم هنا محدودة جدًا، لكنها مفيدة في أغلب الأحيان. إن لم يكن متاحًا أمامك غير الباورميل ولم يكن إنشاء سطح مائل ممكنًا تحايل على الموضوع؛ أنشئ جمل إحداثيات مستوى عملها يوازي ميل الأسطح المطلوب، وأنشئ الأسطح فيها، وارجع إلى جملة الإحداثيات التي كنت تعمل فيها. أما الأسطح المنحنية فلا سبيل لإنشاءها هنا أبدًا، إلا أن تقطعها ثقوب (وهذه قصة أخرى)، وأقرب حل هو الباورشيب.

حتى لو كانت حدود التشغيل منحنية، سينشئ الباورميل الأسطح موازية لمستوي العمل، لكنه يعطيك الخيار:

- أتريدها في أعلى نقطة من حدود التشغيل؟
- أم في أدنى نقطة؟
- أم في أعلاها وأدناها؟
- أم مسقطة على مستوي العمل؟

وإن رسمت باعتبار الخامة، فكأنها قفلت حدود تشغيل بمقطع الخامة، مع تحديد الارتفاع الذي يراد للسطح أن يُنشأ فيه:



عند إنشاء الأسطح في الباورميل فإنها توضع تلقائيًا في رسمة اسمها Planes، وعندها تكون كل الأسطح فيها من رسمة واحدة وكأنها مرسومة ومستوردة باعتبارها كذلك.

وأخيرًا: رسمها بالثقوب موضوع **فقرة الثقوب بسطوح**، سنأتي عليه لاحقًا.

في الحالة العامة لا نحتاج الأسطح التي نرسمها في الباورميل كثيرًا، وإنما تستخدم لإعاقة طريق مسارات تشغيل معينة، ثم لا حاجة لنا بها، أو أنها قد تعيق مسارات أخرى لا ينبغي إعاقة طريقها فنحتاج حذفها. وقد نفعل هذا مع بعض الأسطح التي نستوردها بالمناسبة. أي أننا نرسم في برامج الرسم أسطحًا مؤقتة، نستخدمها في الباورميل لغايات معينة، ثم نحذفها. ولكننا أحيانًا نحتاج إبقاء بعض الأسطح التي نرسمها في الباورميل في المشروع، أي نريدها ألا تُحذف عند حذف الرسمة التي تحويها؛ وعندها ننسخها، ونلصقها في رسمة جديدة (في نفس المشروع)، ونغير اسمها حتى لا يضع الباورميل الأسطح المرسومة بعدها معها. النسخ واللصق موضوع الفقرة التالية.

إن كان في خطوط الحدود تداخلًا ما أمكن رسم سطوح منها. **فقرة حل مشكلة تقاطع الخطوط ببضعها** فيها تفصيل فاقرأه.

لرسم سطح وجعله مستقلًا بحيث لا يبقى في الرسمة "Plane" وما شابهه انسخه والصقه في رسمة جديدة. مفيد هذا الأسلوب لأنك في الحالة العامة تحذف السطوح التي ترسمها في الباورميل بعد استخدامها؛ فهي أسطح سياقية.

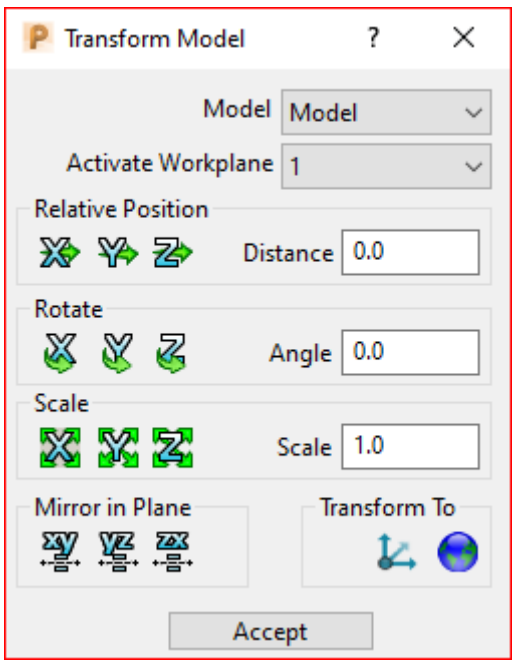
نسخ الأسطح ولصقها Copy and Paste

الأسطح من الكائنات القابلة للنسخ واللصق في الباورميل. يمكن نسخ أسطح بعينها، ويمكن نسخ رسمة كاملة بما فيها. أما اللصق فيمكن ذلك في رسمة موجودة سابقًا، ويمكن ذلك في رسمة جديدة. أعني هنا بالرسمة كائنات النماذج Models.

المميز في الموضوع إمكانية نسخ ولصق الكائنات –الرسومات وغيرها– داخل الباورميل وخارجه، وهذا مفيد إن أريد التعامل مع الباورشيب، أو أي مشروع باورميل آخر مفتوح في جلسة أخرى.

تحريك الأسطح وتدويرها Transform

كنا قديمًا نحتاج هذه الأداة لضبط صفر المشغولة، بحيث نعتمد على جملة المحاور العالمية Global Workplane، فنحرّك وندور القطعة بحيث تكون جملة المحاور في أعلى منتصف الخامة. وما نزال نحتاجها؛ فقد ننشئ أسطحًا في الباورميل، ونريد تغيير موقعها أو اتجاهها، وقد نحتاج ذلك مع بعض أسطح الرسمة أو كلها. إليك أداة التحريك الخالدة:



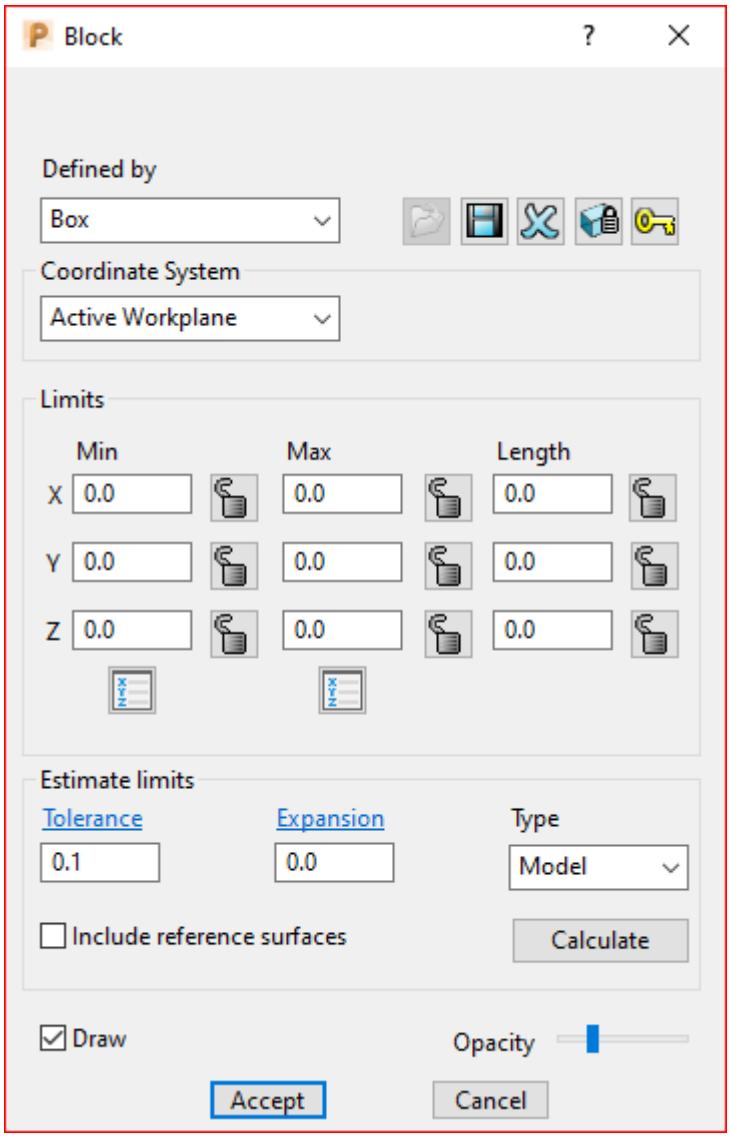
لهذه النافذة هيبة، ستشعر بها مع مرور النوافذ.

المهم: آخر شيء فكر فيه هو تحريك الأسطح أو تدويرها يدويًا؛ فقد تحتاج إنشاء رسومات أخرى في برنامج الرسم لإضافة تفاصيل إلى المشروع، أو تركيب قطع إلى المشغولة، في مراحل معينة من

مراحل تشغيلها؛ لذا، تحتاج أن تبقى كل أسطح الرسمة وخطوطها في مكانها. وإلا، كان عليك تحريك كل النماذج التي تستوردها للمشروع في كل مرة تضيفها إليه، بنفس التحريكات التي أجريتها.

الخامة Block

مع أن الخامة تحمل في معناها معنى الخامة الحقيقي (وستجد هذا في المحاكاة)، لكنها في الواقع أعمق من هذا، فمعناها –التقني، إن صح التعبير– المجال الذي يمكن لمسار التشغيل أن ينشأ فيه، أو بكلام آخر: المجال الذي يمكن لأداة القطع أن تتحرك فيه، أو بكلام درامي: المكان الذي يمكن لأداة القطع أن ترى المشغولة فيه.



لا تتحرك أداة القطع بغرض التشغيل إلا في خامة، أو جزء من خامة. أي لا ينشأ مسار التشغيل إلا إن كانت أداة القطع –أو جزء منها– في الخامة (باستثناء التثقيب). قد تتحرك أداة القطع خارج الخامة بغرض النقلات، لكنها لا يمكن أن تتحرك بغرض التشغيل إلا في الخامة.

والمعنى الحقيقي للخامة ليس جوهريًا هنا؛ لأن كل مسار تشغيل يمكن أن يكون فيه تعريف خاص للخامة، بل ويمكن لغير مسارات التشغيل من الكائنات أن يكون لها تعريفات خاصة للخامات، كبعض أنواع حدود التشغيل. الأكثر من ذلك: حتى لو كان لكل الكائنات الخامة نفسها هي تقنيا مستقلة عن بعضها؛ فالأشياء بمنطق الباورميل برمجيًا –من منظور المستخدم– تشبه فكرة الأنواع ذات القيمة Value Types في بعض لغات البرمجة، وليس ذات المرجع Reference Type؛ عندما يُنسخ كائن من غيره فإنه يأخذ نسخة من بياناته، فلا يتشاركها معه (التعديل على أحدهما لا يؤدي إلى التعديل على الآخر). لمزيد من التفصيل الذي قدمناه في السطور الأخيرة انظر **فقرة الخامة المتروكة** في هذا الفصل.

إليك الأزرار التي تتحكم بتعريف الخامة:

الرمز	الوظيفة
	قراءة الخامة من ملف، وذلك إن كانت Triangle Block أو Picture Block.
	حفظ الخامة في ملف، بصيغة dmt. أو stl..
	حذف الخامة (تأخذ الإعدادات الابتدائية، نفس الصورة السابقة).
	قفل كل حدود الخامة.
	إلغاء قفل كل حدود الخامة.

تعريف الخامة Block Definition

فإن أردت إنشاء خامة عليك تحديد نوعها، وأشهرها:

- الخامة متوازية المستطيلات Box Block
- الخامة الأسطوانية Cylinder Block
- الخامة المحدودة بحدود تشغيل Boundary Block
- الخامة الشبكية (من ملف) Triangles Block

أشهر الخامات تلك المتوازية المستطيلات، فأغلب المشغولات بها. وتليها الأسطوانية. باقي الخامات قليلة الاستخدام مقارنة بأول نوعين لكنها مهمة وقد تحتاجها بين الحين والآخر. وقد تستخدم في مشروع واحد كل أنواع الخامات (هذه علامة على عدم جوهرية المعنى الحقيقي لها، كما أشرنا منذ سطور)، وقد لا يستخدم إلا نوع واحد. وبالمناسبة: الأشياء قليلة الاستخدام –حتى من غير الخامات، كمسارات التشغيل، وغيرها– غالبًا ما تحل أزمة قد لا تستطيع التعامل معها إلا بها، فلا تزهد بها وفكر بها عند كل مشكلة.

ولا يقتصر التعريف على النوع فقط، وإنما أيضًا على جملة الإحداثيات، والتي قد تكون واحدة مما يلي:

- جملة الإحداثيات الفعالة Active Workplane
- جملة الإحداثيات العامة Global Workplane
- جملة إحداثيات معينة Named Workplane

كثير من كائنات الباورميل تحسب باعتبار جملة الإحداثيات، والخامة كذلك (هذا لا يعني أنها من الكائنات).

وهنا تفصيل مهم:

- إذا كانت الخامة معرّفة بجملة الإحداثيات الفعّالة فإن تغيير الجملة يؤدي إلى تغيير اتجاه الخامة، بحيث يبقى حجمها ثابتًا.
- وإن كانت معرّفة بالجملة العامة ما تأثرت الخامة بتغيير الجملة الفعّالة، بحيث يبقى اتجاهها وحجمها ثابتًا بالنسبة للجملة العامة.
- وكذلك إن كانت معرّفة بجملة مسماة، يبقى اتجاهها وحجمها ثابتًا بالنسبة للجملة المسماة. فإن تحركت الجملة تحركت الخامة معها.

حدود الخامة Block Limits

إذا كانت الخامة متوازية مستطيلات فإنه يمكن التحكم بها بالاتجاهات الثلاثة X Y Z. وإذا كانت أسطوانية نتحكم بها بالاتجاهين R Z. وإذا كانت معرّفة بحدود تشغيل اقتصر التحكم بها على الاتجاه Z فقط.

عند أمر حساب الخامة تتغير حدودها لتغطي الرسم / الرسومات الموجود/ة في المشروع، وفق اتجاهات التحكم المذكورة منذ سطرين. وإن حُدّد أي سطح في المشروع ملأت الخامة المكان الذي تغطيه الأسطح المحددة، وإلا: ملأت كل مكان يغطيه رسم.

في أغلب الأحيان لا حاجة لدقة كبيرة لإنشاء خامة صحيحة من رسم ما، لكن أحيانًا لا تنفع الدقة الضعيفة. المشكلة أنك –كما سترى– غالبًا ما ستنشئ جمل الإحداثيات بالاعتماد على الخامة. لهذا تأكد دائمًا قبل تخريج البرامج من أن جملة الإحداثيات في مكانها الصحيح (والعرف في الحالة العامة أن تكون في أعلى منتصف المشغولة).

نتحكم بالخامة بحدودها، في الحالة العامة، إن كانت الخامة متوازية مستطيلات:

- أبعد نقطة للخامة في الاتجاه X-
- أبعد نقطة للخامة في الاتجاه X+
- طول الخامة في الاتجاه X
- أبعد نقطة للخامة في الاتجاه Y-
- أبعد نقطة للخامة في الاتجاه Y+
- طول الخامة في الاتجاه Y
- أبعد نقطة للخامة في الاتجاه Z-
- أبعد نقطة للخامة في الاتجاه Z+
- طول الخامة في الاتجاه Z

التعديل على طول الخامة بأحد الاتجاهات يؤدي إلى تعديل أبعد نقطة في الاتجاهين.

لا يجوز أن تكون أبعد نقطة في الاتجاه السالب أكبر من أبعد نقطة في الاتجاه الموجب (لا معنى للخامة في هذه الحالة). (مهم)

ولك أن تضبط الإحداثيات بتحديدها من نافذة الرسومات، وذلك باستخدام **أداة الموقع Position** .

يمكنك إن أردت قفل أي حد من الحدود، وعندها يحدث التعديل على الحدود غير المقفولة. هذا، وقفل النقاط الحدية في اتجاه ما يؤدي بديهيًا إلى قفل طول الخامة في ذلك الاتجاه.

تذكر: الخامة تعني المكان الذي تستطيع أداة القطع الحركة فيه. نحتاج في كثير من الأحيان تغيير أبعاد الخامة في الاتجاه z إن كان من الاتجاه الموجب أو من السالب لتقييد مجال عمل أداة القطع. أترى كيف لا يهم المعنى الحقيقي للخامة؟

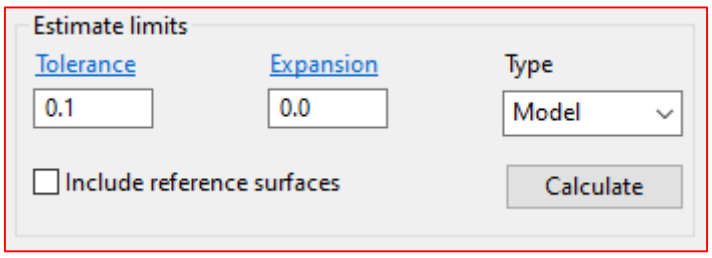
في النسخ الحديثة يمكن تقييد مسار التشغيل في الاتجاه z من **صفحة حدود التشغيل** في إعدادات المسار؛ بضبط أعلى نقطة وأدنى نقطة يمكن لمسار التشغيل أن ينشأ فيها، بغض النظر عن الخامة (ما زال مسار التشغيل متعلقًا بالخامة، ولن ينشأ خارجها). هذه الميزة قليلة الاستخدام؛ لذا، كثيرًا ما تنسى. وستضرب الأخماس بالأسداس عندما لا ينشئ الباورميل مسار التشغيل بشكل صحيح أو لا ينشئه أبدًا مع أن الواحد يظن أن كل شيء صحيح.

حساب الخامة Calculate the Block، وتمديدها Expansion

نحسب الخامة باعتبار واحد مما يلي:

- الرسومات Model
- حدود التشغيل Boundary
- نمط التشغيل الفعال Active Pattern
- نمط تشغيل مسار التشغيل Toolpath Pattern
- سمة Feature

وفي الحالة العامة نحسبها باعتبار الرسومات.

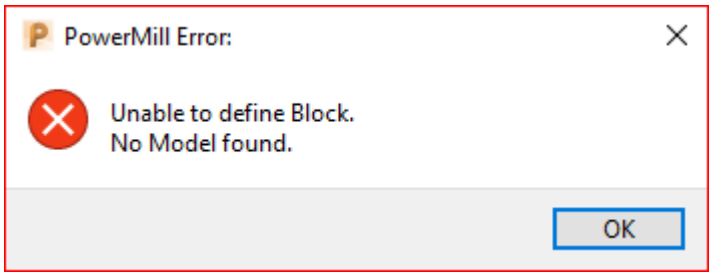


لا يمكن حساب الخامة الشبكية Triangle Block؛ فهي ثابتة ومتعلقة بالرسومات التي تعرّفها.

إن حُددت أسطح أو خطوط من الرسومات حسبت الخامة بحيث تغطيها. فإن لم يحدَّد شيء حسبت بحيث تغطي كل الرسومات في المشروع، إن كانت سطوحًا أو خطوطًا.

لا تتأثر الخامة بإخفاء الرسومات، ككل الكائنات القابلة للحساب. مرة أخرى: هذا لا يعني أن الخامة كائن في الباورميل، وإنما تشترك الخامة مع تلك الكائنات في قابليتها للحساب.

إن لم يكن ما تحسب الخامة على أساسه موجودًا أرسل الباورميل رسالة خطأ:



يعني التمديد Expansion زيادة أو نقصان الخامة عند حسابها بالنسبة للرسم، أو الأسطح المحددة منه. في الحالة العامة هو 0، فإذا حسبت الخامة بهذه القيمة كانت دون أي زيادة أو نقصان. القيم الموجبة منه تؤدي إلى زيادة الخامة، والقيم السالبة تؤدي إلى نقصانها.

إن أردت تمديد الخامة في اتجاه بعينه فاقفل باقي الاتجاهات. وإن أردت تمديد الخامة في كل اتجاه بقيمة مستقلة فمدد كل اتجاه باتجاهه، بقفل باقي الاتجاهات، كما نفعل عند التحجيم Scale.

الخامة الحقيقية، وعلاقتها بالمشغولة

أميز بين الخامة في الباورميل وبين الحامة الحقيقية التي نجري عليها عملية التشغيل. في الغالب أقصد الخامة في عامة فقرات الكتاب. فإن أردت أن أذكر الخامة الحقيقية ذكرت ذلك صراحةً بأن أصفها بأنها حقيقية.

أميز أيضًا بين الخامة الحقيقية وبين المشغولة. تقابل المشغولة في الباورميل الرسمة. وتقابل الخامة الحقيقية في الباورميل الخامة. لا تجرى العملية التشغيلية على الخامات دائمًا، وإنما قد تكون في المشغولات. إن ما سبقت العملية التشغيلية شغل ميكانيكي كان التشغيل على خامة حقيقية. فإن سبقه شغل ميكانيكي تشغيلًا أو تشكيلًا كان التشغيل على مشغولة.

ولا يجوز أن تكون الخامة الحقيقية بنفس أبعاد المشغولة، وإنما تكون أكبر منها مسافة تكفي تسامح التشغيل، بحيث تحقق الدقة المطلوبة.

تختلف الخامات الحقيقية من حيث التثبيت:

- فقد تثبت من أسفلها
  - كأن تثبت بمغناطيس إن كانت تقبل المغنطة،
  - أو بملزمة،
  - أو بظرف،

- أو بلاصق،
- أو بربطها بقطعة ببراغي، أو لحامها فيها إن كانت تتحمل ذلك، وتثبيت القطعة،
- أو بالشفط.

- وقد تثبت من أعلاها
  - كأن تثبت بالقوامط Clamps.

وهذه هي أكثر حالات التثبيت شيوعًا.

عند تثبيت الخامات من أعلاها يجب أخذ مسافة التثبيت ومسافة الفصل بعين الاعتبار عند حساب أبعاد الخامة. (مهم)

ومعرفة طريقة التثبيت قبل البرمجة مهمة؛ فتختلف بعض البرامج بحسبها (كبرامج تسوية الوجوه، وبرامج الإختبار، وغيرها). وكذلك قد تختلف نقلات البرامج. (مهم)

الشفافية Opacity

يمكنك إن أردت إخفاء الخامة، ولكنك غالبًا ستبقيها مرسومة؛ فستحتاجها لتعلم أين يمكن لأداة القطع أن تتحرك. بدلًا من إخفاءها غيّر من شفافيتها. هي في الحالة العامة عالية الشفافية.

إنشاء جملة الإحداثيات Creating Workplane

في كل مشروع جملة محاور عامة Global، قياسية، مرجعية، ثابتة، كل الكائنات منسوبة إليها. حتى لو أُنشأت جمل محاور إحداثية ونسب الشغل إليها فإن الكائنات ما زالت منسوبة بالأساس إلى جملة المحاور المرجعية. وبالمناسبة الأمر نفسه في آلة التشغيل، الـ CNC؛ هناك نقطة صفر، تسمى صفر الآلة، جملة الإحداثيات المرجعية، لكنها في آخر الدنيا، في أقصى مكان يمكن أن تصل إليه عيناك في الآلة. لذا، لا نعتمد عليها مباشرة، وإنما ننشئ جمل محاور إحداثية نسبية، نسميها أصفار المشغولات. تحول الآلة الأوامر من صفر المشغولة إلى صفرها، في كل سطر تقرأه من البرامج.

تتيح بعض برامج التصميم تصدير الرسومات بجمل إحداثيات خاصة، ليقرأها الباورميل وكأنها مرسومة بجمل الإحداثيات هذه، مع أنها مرسومة بالجملة القياسية.

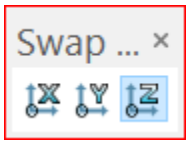
جملة المحاور المرجعية Global Workplane مشتركة بين كل البرامج الهندسية.

طرق إنشاء جمل الإحداثيات

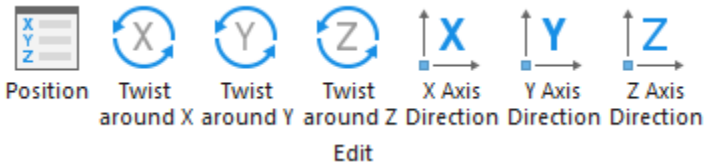
ننشئ جمل الإحداثيات بأكثر من طريقة، أشهرها:

- في نقطة اختيارية؛ وعندها تتجه محاور الجملة بنفس اتجاه محاور الجملة الفعالة. ويمكن أيضًا إنشاء أكثر من جملة إحداثية في نقاط اختيارية مختلفة بنفس الطريقة.
- من ثلاث نقاط؛ بتحديد نقطة الصفر، واتجاه محور +x، واتجاه محور +z (بتحديد المستوي XY).
- من سطح أسطواني؛ بتحديد نقطة الصفر، واتجاه محور +z (بتحديد متجه ناظم الأسطوانة).
- باعتبار الخامة؛ وذلك في إحدى زواياها، أو منتصف أحد أوجهها. وعندها تتجه المحاور بنفس اتجاه المحاور القديمة كما في الحالة الأولى.

أكثر الطرق شيوعًا إنشاء الجمل باعتبار الخامة. وعندها بعد تفعيل الجملة نعدلها فنضبط اتجاه محاورها، **بالأداة Swap Axes**:



ويكفي ضبط محورين؛ فالثالث تحصيل حاصل. وقد لا تكون محاور الجملة موازية لمحاور الرسمة. عندها لا بدّ من توجيهها لتكون بذلك، وذلك بأوامر التدوير والتوجيه:



مثال عليها في فقرة قادمة.

كانوا في النسخ القديمة يحركون الرسمة فينقلونها ويدورونها إلى أن تصبح جملة الإحداثيات العالمية مناسبة لأن تكون جملة إحداثيات التشغيل. مشكلة هذه الطريقة أنه كان عليك تحريك كل الرسومات التي تستوردها لاحقًا بنفس الخطوات التي قمت بها مع الرسمة الأصلية.

لا ينصح بتحريك الرسمة إلا عند الاضطرار، وكذلك أي كائن في الباورميل؛ لا تحرك شيئًا إلا إن اضطررت لذلك، خصوصًا مسارات التشغيل.

إن كنت مضطرًا إلى عدم إنشاء جملة إحداثيات وإنما الاعتماد على الجملة العالمية فاحفظ الرسمة بصيغة تتيح لك حفظها بجملة إحداثيات تحددها أنت، وذلك بإنشاءها في برنامج الرسم تناسب التشغيل. بهذه الطريقة تريح رأسك من عناء تحريك الرسمة وما يأتي بعدها من رسومات، كما أنك لن تنتهك نظافة الشغل.

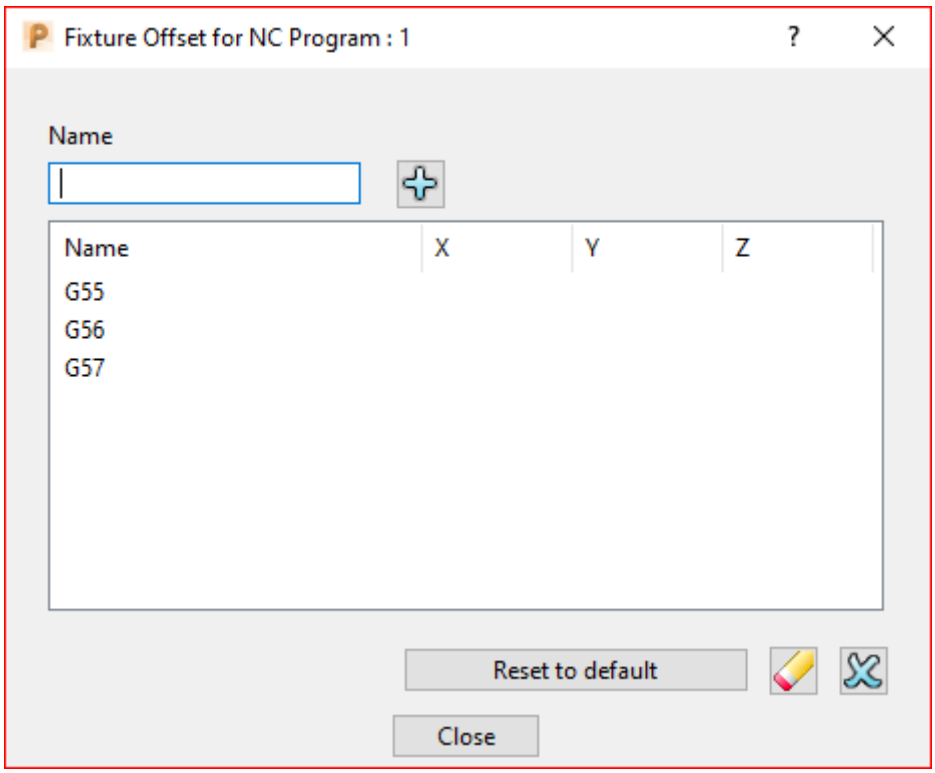
في آلة التشغيل جمل الإحداثيات هي G54 وG55 و...

لكل تثبيت للمشغولة جملة إحداثيات. قد تشغَّل أكثر من مشغولة في الوقت نفسه، أي قد تشغَّل برامج تشغيل عديدة في أكثر من جملة إحداثيات في الوقت نفسه. جملة الإحداثيات التقليدية لكل برامج الباورميل هي G54، ولك أن تغيرها بضبط تعويض التثبيت Fixture Offset. مزيد من التفصيل تجده في **فقرة إنشاء برامج التشغيل** في آخر هذا الفصل، وإن أردت تفصيلًا نظريًا عن تعويض التثبيت فانظر **فقرة التصفير وفقرة تصفير المشغولة** في **فصل الأساسيات**. ويشيع أن يعدلها المبرمجون والمشغلون يدويًا بتعديل الملف الذي يحويها وكتابة جملة الإحداثيات التي يريدون.

لا نقصد هنا بقولنا "بالوقت نفسه" أي أن الآلة تعمل في نفس اللحظة في أكثر من مكان، وكأنها تعمل على التفرّع. وإنما نقصد أن يحوي برنامج التشغيل أكثر من مسار تشغيل مضمومة كلها في ملف واحد، لتشغلّها الآلة مسارًا مسارًا، وكأنها على التسلسل.

قد يضم أكثر من مسار تشغيل في البرنامج نفسه. وهذا ممكن من الباورميل. وقد يضم أكثر من برنامج تشغيل يدويًا. وهذا لا يمكن إلا يدويًا.

ولا يلزم للبرامج المضمومة أن يكون لها مستوي الارتفاع الصفري نفسه، المستوي z=0؛ فيمكن تعويض فرق ارتفاع كل أداة من أدوات القطع عن السطح الذي سجلت عليه (قد يكون فرش الآلة مثلًا، وقد يكون z0 من الجملة G54، وقد يكون غير ذلك).



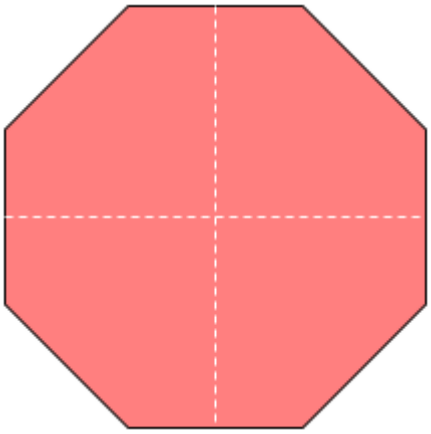
فقرة إنشاء برامج التشغيل في آخر هذا الفصل فيها المزيد.

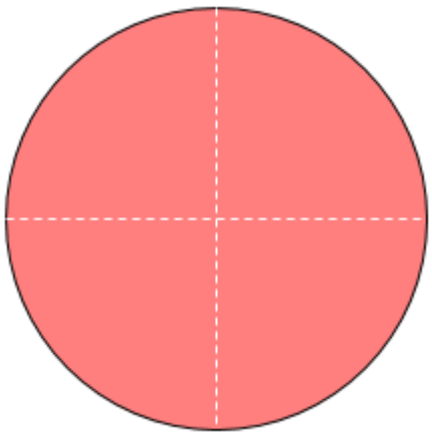
كيف تضبَط جمل الإحداثيات في آلة التشغيل؟

ليست القضية –على عكس ما يبدو– إنشاء جمل الإحداثيات في الباورميل، بل إنشاءها في آلة التشغيل، أو بتعبير آخر: ضبطها في آلة التشغيل.

نضبط جمل الإحداثيات في منتصف المشغولة وأعلاها في معظم الأحيان. وهذا عرف. (مهم)

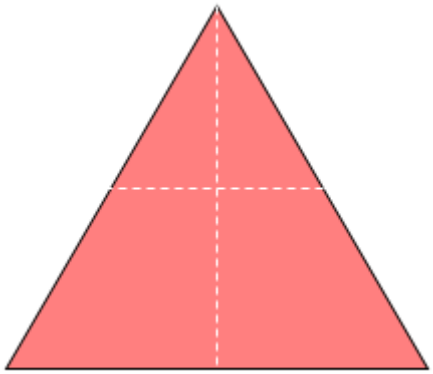
إن كانت المشغولة مستطيلة المقطع (يقابلها في الباورميل الخامة متوازية المستطيلات Box Block)، أو دائرية المقطع (الخامة الأسطوانية Cylindar Block)، أو أي شكل متناظر في الجهات الأربعة في مستوي العمل (كالمقطع البيضوي / القطع الناقص، وكأي مقطع مضلع زوجي عدد الأضلاع)؛ منتصف الشكل هو متوسط إحداثيات نقاطه الحدية.





ولا يلزم أن يضبط المشغل الجملة في المنتصف تمامًا كما يبدو من الصور، وإنما عليه أن يضبطها من نقاط متقابلة؛ إذا أراد ضبط المحور x ثبّت المحورين y وz، وإذا أراد ضبط المحور y ثبّت المحورين z وx. وإن كانت الجدران شاقولية يمكن عدم تثبيت المحور z، ولكن إن لم تكن كذلك لا بد من تثبيته.

وإن كانت المشغولة غير ذلك ضبطت جملة الإحداثيات في نقطة اختيارية وكتب في المخططات التنفيذية التي ترفق مع برامج التشغيل أبعاد النقطة بالنسبة لأطراف معلومة من المشغولة، ليضبط المشغل جملة الإحداثيات بناءً عليها.



مثلًا في الشكل المثلث في الصورة السابقة يمكن ضبط المحور x من أي نقطتين متقابلتين لتناظر الشكل في هذا الاتجاه، بينما لا يمكن ذلك بالنسبة للمحور y، فنضبط المحور بالنسبة للسطح -y (السطح السفلي في الرسمة) كونه معلومًا.

وعلى فكرة: لا يلزم أن تضبط جملة الإحداثيات في منتصف الأسطح الخارجية من المشغولة فقط، وإنما يمكن ذلك في أي سطحين متناظرين فيها؛ كونها تضبط في منتصف المشغولة عرفًا.[1]

لتتأكد من أن المشغولة موضوعة على سطح مستوٍ، بفرض توازي أوجهها، أي دون ميل حول المحاور x ولا y؛ خذ قراءة في نقاط على سطحها، وانظر في الإحداثي z:

- فإن كان في نقطتين على خط يوازي $x'x$ اختلاف في الارتفاع كان فيها ميل حول $y'y$.
- وإن كان في نقطتين على خط يوازي $y'y$ اختلاف في الارتفاع كان فيها ميل حول $x'x$.

وهذا –إن افترضنا توازي أوجه المشغولة واستواء سطح التوضع– سببه قد يكون روايش تحت المشغولة، أو أي شوائب أخرى، أو عدم تثبيت جيد. وقد لا يكون الأمر ميلًا حول المحاور وإنما تقوّسًا في الخامة، خصوصًا إن كانت طرية، كالألمنيوم، وخصوصًا إن كانت بسماكات صغيرة.

وللتأكد من أن المشغولة موضوعة بالاتجاه الصحيح، دون ميل حول المحور z:

- إما: تؤخذ قراءة في أبعد نقطتين مناسبتين على سطح يوازي المستوي XY، ويُنظر هل لهما نفس قيمة y.
- وإما: تؤخذ قراءة في أبعد نقطتين مناسبتين على سطح يوازي المستوي YZ، ويُنظر هل لهما نفس قيمة x.

فإن كان كذلك كان توضع المشغولة صحيحًا. وإلا كان هناك خطأ ميل حول المحور z. الفقرة التالية فيها مثال الرسم فيه غير متجه بالاتجاه الصحيح. في هذه الفقرة لا نتناول هذه المسألة، وإنما نتناول مسألة تشغيلية، أي متعلقة بالمشغل، لا المبرمج. بل إن البرمجة تكون مبنية على أساس صحة اتجاه المحاور الإحداثية بالنسبة للرسم دون أي دوران أو انحراف.

فقرة أخطاء تضيع الدقة في أول الفصل فيها تفصيل أكبر عن الأخطاء.

هذا، وعلى المشغّل تعويض نصف قطر الأداة التي ضبط فيها الإحداثيات؛ فهو لا يضبط الإحداثيات فعليًّا وإنما يضبط إحداثيات مزاحة عنها بمقدار نصف قطر الأداة. وهذا تفصيل التعويض:

- إن مست المشغولة من خارجها أضيف إلى الإحداثيات نصف قطر الأداة.
- وإن مست من داخلها طرح نصف قطر الأداة.
- وإن كانت المشغولة متناظرة لم يؤخذ قطر الأداة بعين الاعتبار؛ فقد حصل تعويض ضمني، لأن الإزاحة في الإحداثيات تفني بعضها من الجهتين.

[1] ستحتاج هذه الطريقة إذا لم يكن ضبط جملة الإحداثيات في المشغولة من أسطحها الخارجية متاحًا، لسبب أو لآخر.

نقطة أخيرة: تضبط الإحداثيات بأدوات عيارية، بأقل خطأ ميول ممكن، وإلا نتج خطأ صفر المشغولة، كما تقدم تفصيله في **فقرة الدقة** في أول الفصل.

إعادة توسيط جمل الإحداثيات مع تغيير الرسومات

جمل الإحداثيات في منتصف أعلى المشغولة عرفًا كما ذكرنا. وهذا للمشغولات أحادية القطَع. فإن كانت متعددة القطَع فإنها في الحالة العامة في منتصف المنطقة التي تحويها، وقد تكون غير ذلك.

المهم: إن كانت الجملة في المنتصف وفي المستوي الصفري، كما في الحالة العامة، فقد يعاد ضبطها لاحقًا، إما لحصول تغيير في المشغولات، أدى لتغييرات في الرسومات، وإما لتشغيل مشغولات أخرى برسومات أخرى بنفس البرامج، أي بنفس المشروع.

قديمًا كان الشائع بين المبرمجين تحريك الرسومات حتى في أول مرة بحيث تكون جمل الإحداثيات مظبوطة. لكننا كما قدمنا ننشئ جمل الإحداثيات في الموقع الذي نريد، ولا نحرك الرسومات إلا في الشديد القوي. في بداية الشغل الأمر سهل: عند إنشاء الجملة عندنا أكثر من طريقة لإنشاءها في المنتصف في أعلى نقطة، أشهرها: إنشاء جمل الإحداثيات في منتصف الخامة. لكن عند تعديل الشغل الأمر غير متاح، بل إننا نعدل الجمل فنحركها وندورها بحيث تصير في الموقع الذي نريد. أسهل طريقة: أن نعدل الجملة، ثم من **أداة تحديد الموقع Position** نختار الموقع الذي نريد، هكذا:

- إما بإدخال نقطة متعلقة بجملة الإحداثيات التي نحن فيها، وهنا نعتمد على **نافذة الخامة Block Form** لمعرفة الفرق في الإحداثيات الكبرى والصغرى في كل اتجاه. الفرق هو الموقع الذي نريد.
- وإما –وهذا هو الأسهل، والأسرع، والأكثر احترافية– أن نحدد نقطة بين نقطتين، هما في الحالة العامة زاويتان متقابلتان في الرسمة.

وقد تقدم تفصيل **أداة ضبط الموقع** في **فصل المدخل**.

وهنا مسألة: كيف تعرف إن كانت جملة الإحداثيات صحيحة أصلًا، بالعرف الذي ذكرناه؟ + كيف تعرف مقدار انحراف جملة الإحداثيات إن لم تكن صحيحة؟ الأمر بسيط: بنفس الطريقة التي أنشأتها بها: من المشغولة، أو بكلام محدد أكثر: من الرسومات. نعتمد على الرسمة لضبط جملة الإحداثيات في مكانها المتعارف عليه، أو حتى في المكان الذي نريد، أيًّا كان. وبالتالي نعتمد على ما اعتمدنا عليه لإنشاء الجملة في التأكد من أنها صحيحة. فإن أنشأناها بالعرف المتبع (في أعلى المنتصف) عندها تكون جملة الإحداثيات صحيحة إن كانت النقاط الحدية في الرسومات متقابلة؛ فإن كانت أبعد نقطة في x+ هي 100+ مثلًا، فلا بد أن تكون أبعد نقطة في x- هي 100-، وهكذا في الاتجاه y، وإلا كانت الجملة غير صحيحة بالعرف المتبع.

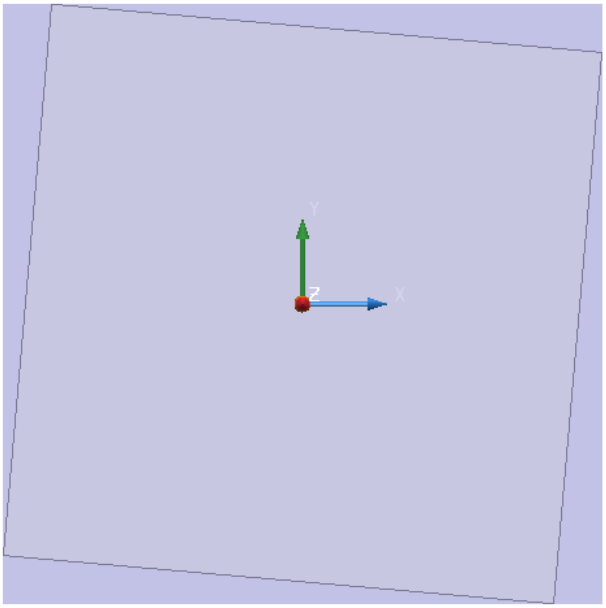
أما كيف نعرف مقدار الانحراف إن لم تكن صحيحة؟ ببساطة: مجموع الأبعاد الحدية هو مقدار الانحراف؛ فإن كان معدومًا كانت الجملة صحيحة في هذا الاتجاه. وبالمناسبة: أعتمد هذه الطريقة في برمجة أمر مركزة جملة الإحداثيات (كلام موجه للمطورين، أهل الـ Macro وأهل الـ API).

اعتمد على الخامة في معرفة النقاط الحدية، وذلك بحسابها على الرسومات التي تريد.

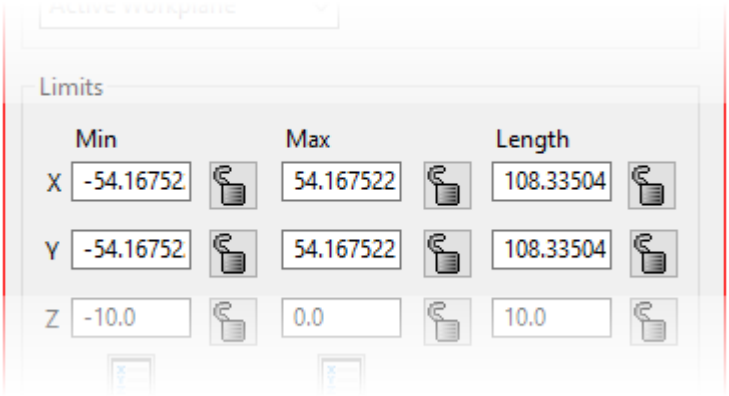
طيب مسألة أخرى: ماذا لو كانت الرسمة على علمك بأبعاد معينة، ولكن عندما تحسب الأبعاد تجدها مختلفة، اختلافًا صغيرًا في كثير من الأحيان، لا يتعدى بضعة ديزمات في كل اتجاه؟ في هذه الحالة عندك احتمالان:

- أن لا يكون مقطع الرسمة مستطيلًا تمامًا (بأن لا تكون كل أضلاعه متعامدة)، بغير قصد من الرسام، خصوصًا من يرسمون في برامج مثل الباورشيب والتي لا قيود تحكم الرسمة فيها. وهذا احتمال نادر الحدوث. لا حل هنا، لا بدّ من تعديل الرسمة.
- أن تكون الرسمة منحرفة. حلّها توجيه جملة الإحداثيات باتجاه الرسمة، وهي شائعة الحدوث بالمناسبة. (مهم)

هذه بلاطة مربعة أبعادها 100 × 100، ولكنها ليست باتجاه المحاور العالمية، وإنما منحرفة رسمًا لسبب أو لآخر:



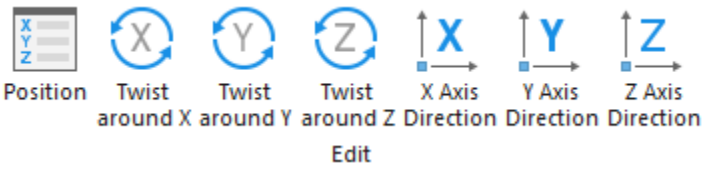
انظر أبعاد الخامة إن حسبت بهذه الاتجاهات:



في الغالب لا تكون الرسومات منحرفة بهذا المقدار، وإنما حرفتها هكذا لتوضيحها. أما في الواقع فإنها تكون منحرفة بمقدار صغير جدًّا لا يكاد يكون ملموسًا. أما إن كانت بهذا المقدار فتكون واضحة، ومقصودة من الرسام لأسباب تصميمية، ومعروفة للمبرمج. المشكلة في الواقع في الانحرافات الصغيرة التي لا تكاد تلاحظ، والتي إن لم تعالج –كما سيأتي بعد أسطر– أدت إلى خطأ في جملة الإحداثيات، وبالتالي أخطاء في التشغيل وفي المشغولة. **فقرة الأخطاء** في بداية الفصل فيها المزيد.

لتوجيه جملة الإحداثيات مع الرسمة عدلها. أي ادخل إلى بيئة تعديل جمل الإحداثيات Workplane Editor، ثم وجه المحاور **بأوامر الاتجاه Direction**.

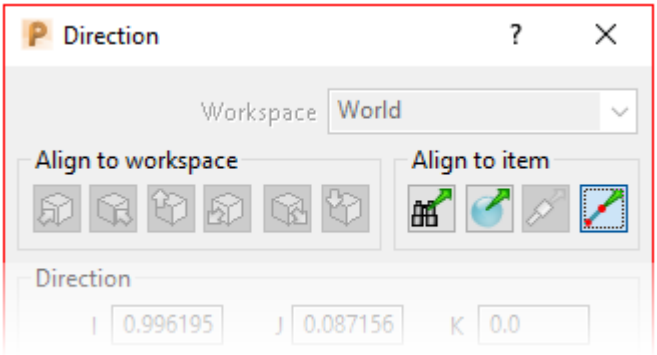
في الواقع هذه الأداة تفتح **أداة التوجيه Direction** ، وقد فصّلناها في **فصل المدخل**.

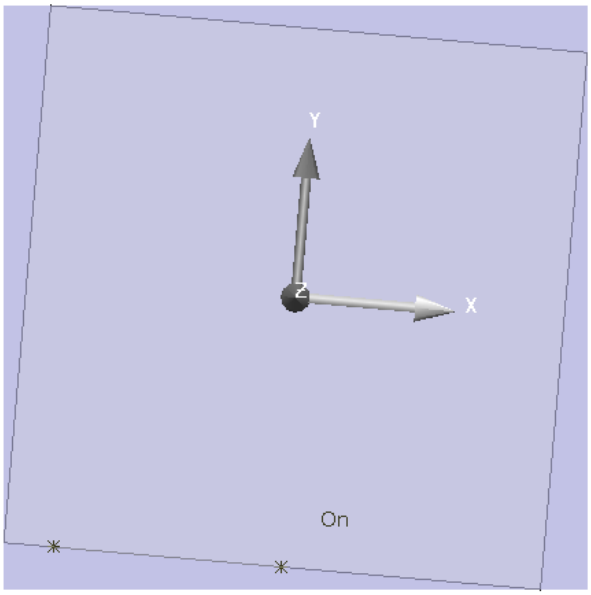


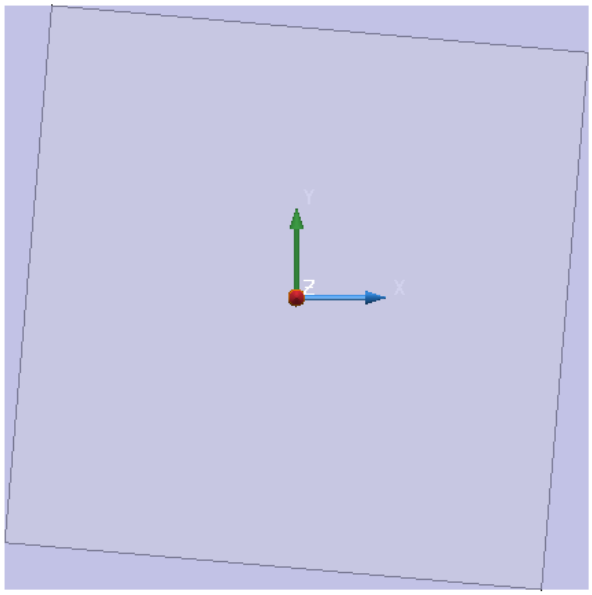
لنقل إننا نريد توجيه المحور x. يكون التوجيه وفق:

- أحد اتجاهات جملة الإحداثيات .
- باتجاه الرؤية (في حالتنا الرؤية باتجاه z–).
- باتجاه سطح (عمودي عليه) .
- باتجاه الأداة (باتجاه محورها) .
- باتجاه خط .
- كما يمكن إدخال الاتجاه يدويًا، ولكنه كما ترى شيء من التنجيم، وضرب بالمندل.

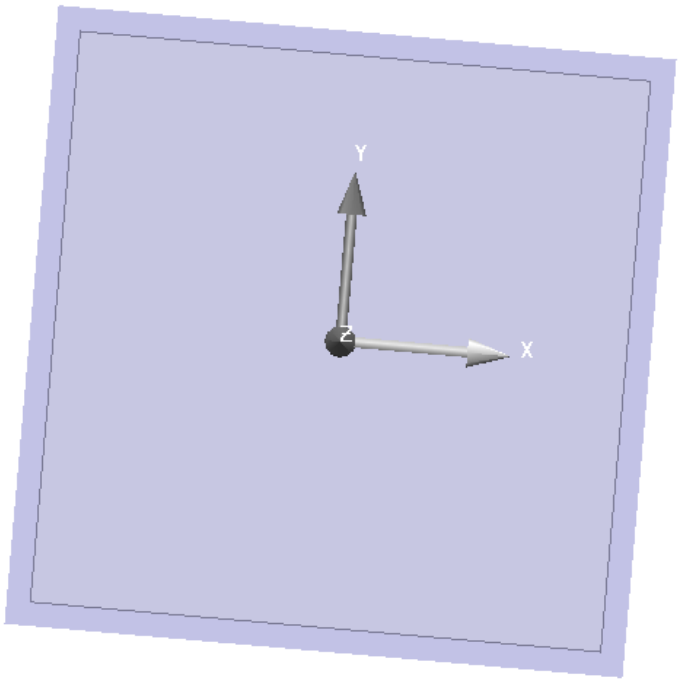
غالبًا ما يكون أنسب الاختيارات التوجيه بسطح (بحيث يكون الاتجاه عمودي عليه) والتوجيه بخط. انظر كيف نوجه المحور بخط:


Direction
Workspace
World
Align to workspace
Align to item
Direction
I 0.996195
J 0.087156
K 0.0

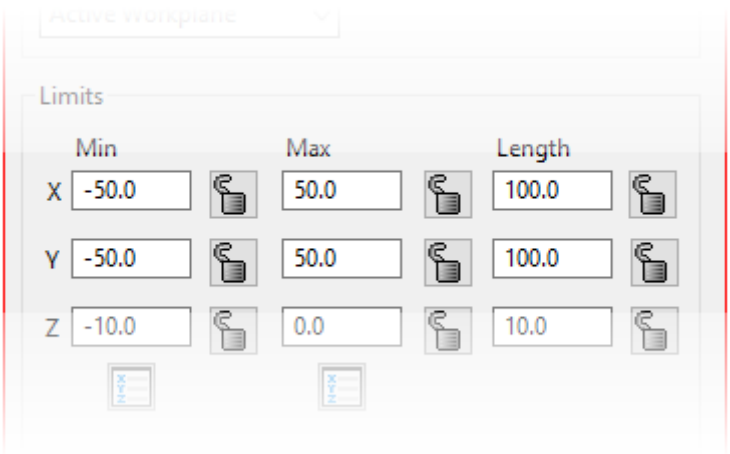

Y
Z
X
On



وبالتالي:


Y
Z
X

انظر الآن إلى أبعاد الخامة:



وأخيرًا، نقطة مهمة: لا بدّ من حذف برامج التشغيل NC Programs قبل تعديل جمل الإحداثيات؛ فلا يجوز تعديلها اتقاءً للغلطات (عدم الجواز هذا هو جدعنة من الباورميل). وإنما ننشئ برامج جديدة مرتبطة بجمل الإحداثيات بعد تحريكها. مزيد من التفصيل في الفقرة التالية.

لا يمكن تعديل جمل الإحداثيات المرتبطة ببرامج تشغيل

كل الكائنات التي ترتبط بغيرها ويرتبط غيرها بها إن عُدلت أدى ذلك إلى إبطال الكائنات المرتبطة بها. جمل الإحداثيات كذلك. باستثناء ارتباطها ببرامج التشغيل، فإنه لا يمكن ذلك إلا بحذف البرامج، أو بمعنى آخر: فك الارتباط بينها وبين البرامج. الأمر أشبه بتبعية المسارات لبعضها في النسخ القديمة؛ ما كان يمكن تعديل مسار إن كان ثمة مسارات متبقية مرتبطة به، إلا بفك الارتباط. وأسهل طريق لذلك هو نسخ المسار المراد تعديله، ثم ربط المسارات التالية به، واحدًا واحدًا. حتى بعض الإستراتيجيات في النسخ الحديثة التي ترتبط بالأنماط لا تسمح بتعديل الأنماط إلا بفك ارتباط المسارات بها أو نسخها.

ماذا لو تخطى أحد البرامج حدود الآلة؟؟

+ ما تفعله إن أردت فك المشغولة من الآلة وتثبيتها وإكمال الشغل لاحقًا

لكل آلة مساحة عمل ثابتة، لا يمكن أن تتخطاها أداة القطع. هذا أحد الأسباب الوجيهة الذي من أجله نثبت المشغولات في منتصف فرش الآلة، ومن أجله نجعل البعد الطويل في المشغولة بالاتجاه x. وهناك سبب آخر أكثر وجاهة: أن تتوزع الحمولات على الفرش بشكل متوازن.

المهم: في الحالة العامة تكون مساحة العمل أكبر بكثير من المشغولات؛ فقلّما نواجه مشكلة تفاجئنا بأن الأداة لا يمكنها الحركة لأنها تخطت حدود الآلة. ولكن مع المشغولات الكبيرة والتي تقترب أبعادها من أبعاد فرش الآلة قد تحدث هذه المشكلة. مع هذه المشغولات نشغل برامج نختبر فيها إن كان موقع جملة الإحداثيات مناسب أم أن أحد البرامج ستتخطى الأداة فيه حدود الآلة، وذلك قبل تشغيل

أي برنامج في الشغل. كما نقدّر ذلك بمعرفة أبعد نقطة تصل إليها البرامج في كل اتجاه. في الحالة العامة مشكلتنا في عرض الفرش، أي في الاتجاه y.

ولكن هب أنك لم تشغل برامج اختبار، وحدثت هذه المشكلة، فاضطررت أن تفك المشغولة وتغير مكانها، أو أنك اضطررت لفك المشغولة لأي سبب آخر حتى لو لم تحدث هذه المشكلة؛ عندها عليك أن تفعل ما يلي:

- أن تنشئ في المشغولة سطحًا حقيقيًا فيها (وذلك بإنهاءه) أو وهميًا (وذلك بتشغيل الخامة في مكان مؤقت، وهده لاحقًا، أو تركه كما هو ببساطة، بحيث تعامله معاملة فضلات الخامة)، لتعتمد عليه في توجيهها عند تثبيتها مرة أخرى.
- أن تنهي في المشغولة أسطحًا يمكن إنشاء جملة الإحداثيات منها، ويدخل في ذلك ما كان في النقطة الأولى: إنشاء أسطح وهمية في الخامة بأبعاد معلومة.

يشيع عند كثير من المشغلين تشغيل إطار لإنهاء الأسطح الخارجية لبلاطات القوالب (هي إطارها)، بعمق صغير حوالي 5 مم أو 10 مم. هذه الممارسة تتضمن في الواقع النقطتين المذكورتين. صحيح أنها تحقق المطلوب، لكن فيها كحتنة؛ ليوفروا تشغيل ارتفاع البلاطة كلها (نصف ساعة أو ساعة بالكثير).

في آخر **فصل أشهر الإستراتيجيات** تفصيل برامج الاختبار.

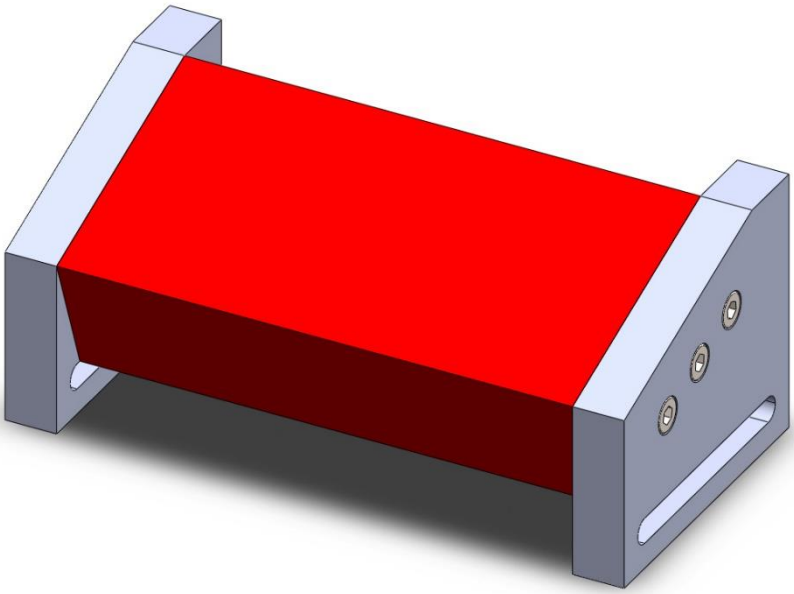
ماذا لو كان السطح الصفري مائلًا؟

لا يجوز أن يكون السطح الصفري مائلًا. لا معنى لهذا السؤال أصلًا؛ وهذا من بديهيات التشغيل ثلاثي الأبعاد. لا بدّ أن يوازي السطح الصفري مستوي العمل.

السؤال الصحيح: ماذا لو لم يكن توازي السطح الصفري مع مستوي العمل ممكنًا؟ بسبب تفاصيل المشغولة أو أي سبب آخر. عندها أمامك أحد حلين:

- إما أن تمسك المشغولة بملزمة زاوية، فإن كانت أعرض من فتحة الملزمة اربطها بقطعة وامسك القطعة بالملزمة. عادةً ما تكون فتحة الملازم الزاوية صغيرة مقارنة بالملازم العادية.
- وإما أن تصنع مثبتًا Jig، تربط القطعة فيه، وتثبته. عادةً ما يكون في المثبتات بيوت توضع المشغولات أو أجزاء منها فيه. وقد لا يكون فيها بيوت، وإنما يكون فيها ثقوب تقابلها ثقوب مقلوظة فتربط المشغولات بالمثبتات ببراغي.

شيء كهذا:



وأما طريقة ضبط جملة الإحداثيات ففي أي منطقة معلومة من المشغولة، كما تقدم في الفقرات السابقة.

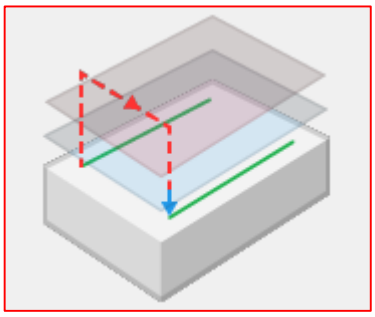
اجعل لكل مسكة في الآلة جملة في الباورميل، حتى لو بنفس مكان غيرها

قد تُمسك المشغولة أكثر من مرة في آلة التشغيل بنفس الاتجاه، لكن بشغل مختلف. كأن تشغل ثم تفك وتجرى عليها عمليات تشغيلية يدوية أو على آلات أخرى ثم تركب لاحقًا. يشيع هذا عند إضافة لقم إلى المشغولة، حيث تشغل أول مرة فيكون فيها تشغيل بيوت للقم، فتركب اللقم في بيوتها، ثم تمسك القطعة مرة أخرى لتشغيلها مع اللقم (هذه الحركة مهمة فنيًّا لتوحيد السطوح).

يؤدي هذا الأسلوب –تعدد جمل الإحداثيات مع أنها كلها في نفس النقطة– إلى اعتمادية أفضل، ومقروئية أكثر، واستقلالية في التعديل.

ارتفاعات الأمان Safe Heights

نحدد هنا أين ومتى تتحرك أداة القطع حركة سريعة. الحركة السريعة هذه قد تكون بحركة الآلة السريعة G00 إن كانت النقلات بمستوي الأمان Safe (يدخل فيها بطبيعة الحال النقلة التزايدية Incremental [1])، وقد تكون بحركة سريعة نحددها نحن G01 إن كانت النقلات بمستوي الأمان النسبي Skim. يعني باختصار نحدد هنا سلوك أداة القطع عند النقلات غير المباشرة [2].



في الحالة العامة نضبطها قبل أن ننشئ أي مسار تشغيل، حتى يأخذها أي مسار ننشئه. كما أننا في معظم الأحوال نجعلها واحدة في كل المسارات، لهذا فإننا نضبطها قبل أن ننشئ أي مسار، أو على الأقل بعد إنشاء أول مسار. إن نسيت أن تضبطها فتذكرت ذلك في النهاية عليك ضبطها في المسارات واحدًا واحدًا. لهذا ريح راسك واضبطها عند بداية المشروع.

من المفيد أن تنشئ تسجيل أوامر Macro يضبط ارتفاعات الأمان وارتفاعات الدخول. ثم تستدعيه في كل مرة تنشئ فيها مشروعًا جديدًا.

نعرّف نقلات الأمان في أول صفحتين من **النافذة Toolpath Connections**، حيث نعرّف في الأولى نقلات الأمان المطلقة Safe Links (ويدخل فيها النقلات التزايدية Incremental كما أشرنا) وفي الثانية نقلات الأمان النسبية Skim Links.

منطقة الأمان Safe Area

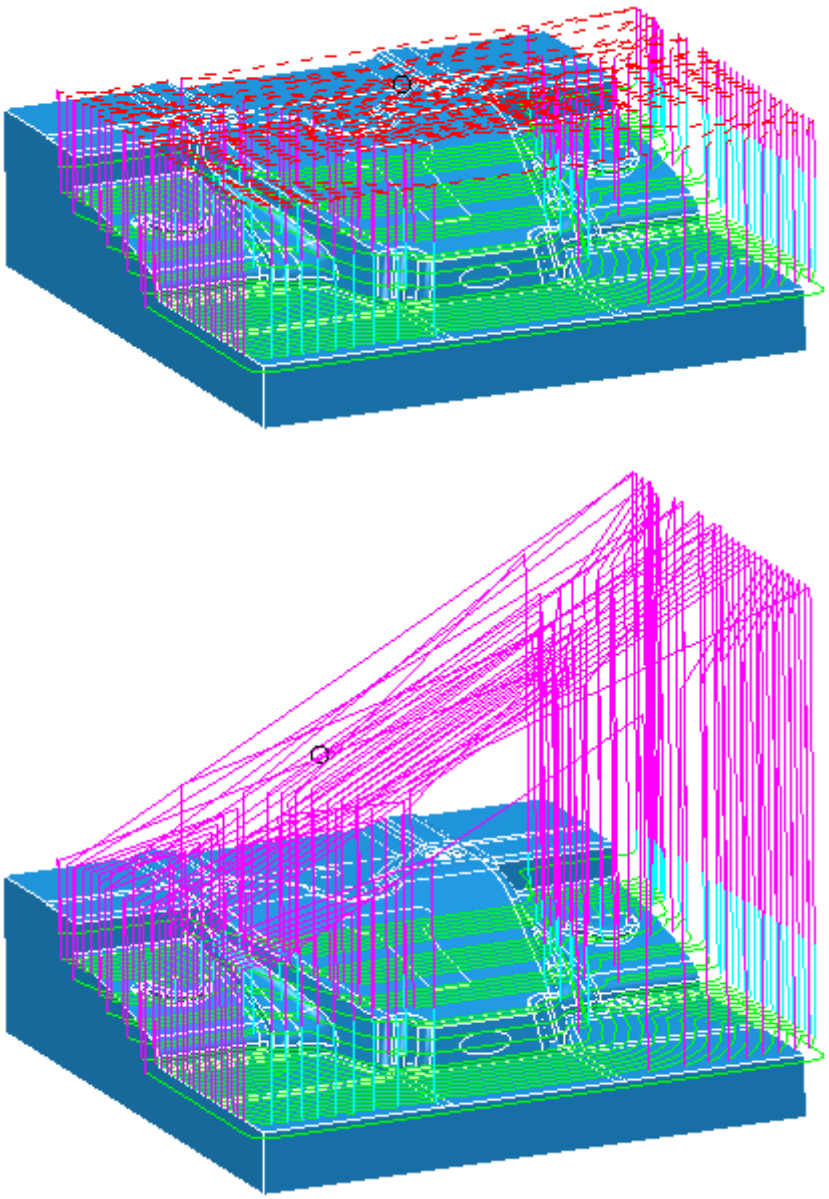
إن تحركت الأداة بنقلة بعيدة في مستوي الأمان فإنها تتحرك في منطقة الأمان. ومنطقة الأمان هذه نعرّفها بأحد أربعة أشكال:

- بمستوي Plane
- بأسطوانة Cylindar
- بكرة Sphere
- بمتوازي مستطيلات Box

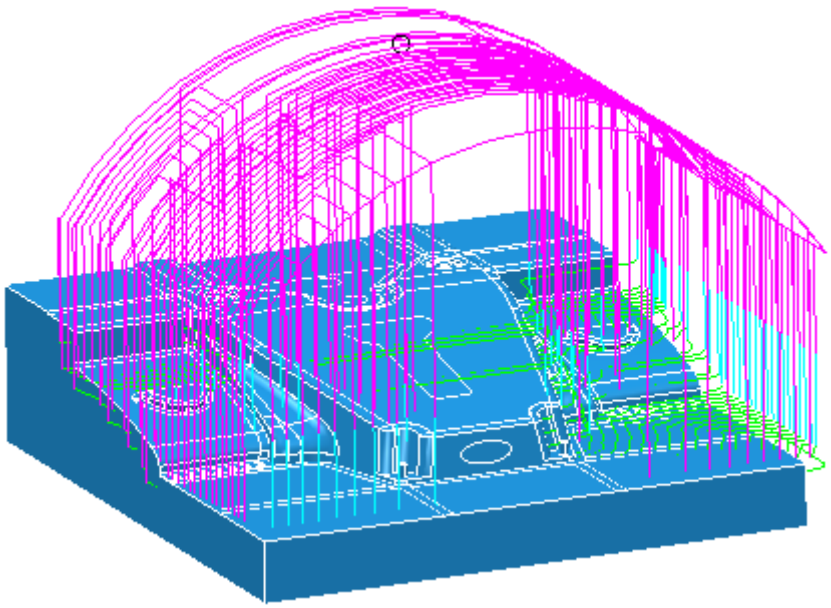
في الحالة العامة نجعلها معرّفة بمستوي، ونجعله موازيًا لمستوي العمل، أي موازيًا للمستوي XY، عموديًا على المحور z. هذا التعريف مناسب لعامة احتياجاتنا التشغيلية إن كانت تشغيلًا ثنائي الأبعاد أو تشغيلًا ثلاثي الأبعاد (موضوع الكتاب).

[1] النقلة التزايدية ما هي إلا نقلة أمان بدخول نسبي. يعني تتحرك الأداة فيها بالحركة السريعة لآلة التشغيل G00 (الخطوط الحمراء المتقطعة)، ولكن ارتفاع الدخول متعلق بأسطح المشغولة لا بسطح الأمان (الخطوط الريشية).
[2] النقلات كلها سبع، نقسمها إلى نقلات مباشرة وأخرى غير مباشرة. تفصيلها تجده في فقرة قادمة.

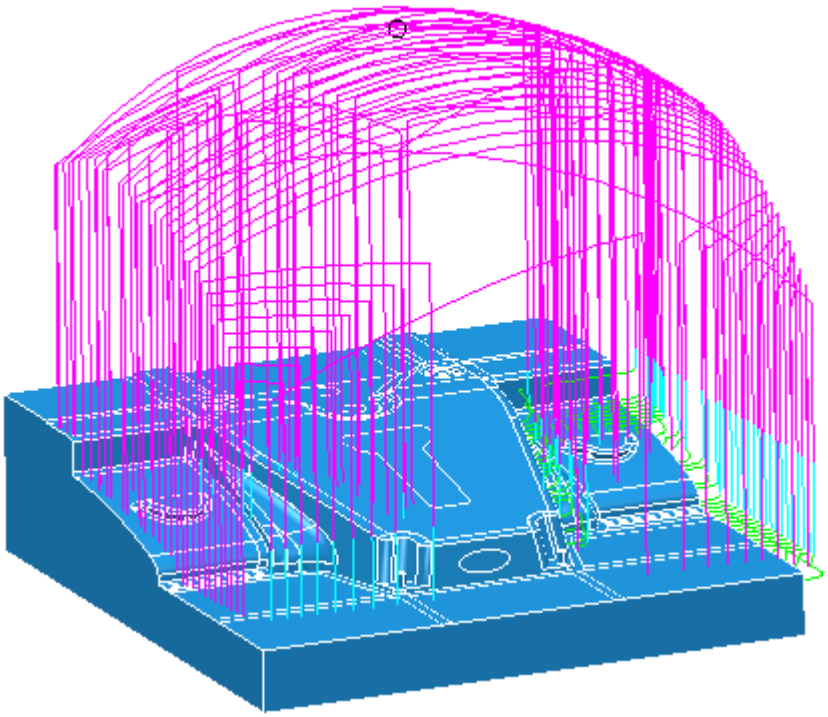
انظر:



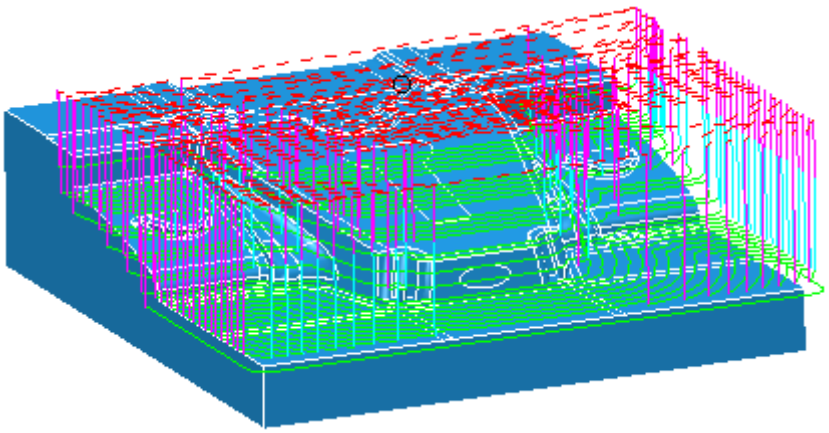
فإن عرّفت بأسطوانة حُدد مركزها ومحورها:



وإن عرّفت بكرة حُدد مركزها:



وإن عرّفت بمتوازي مستطيلات حُدد زواياه وأبعاده والوجوه التي يتضمنها:



وكما ترى فإن الإعدادات سياقية هنا، أي تتغير بتغير التعريف المستخدم.

يشيع تعريف منطقة الأمان بغير المستوي في الآلات فوق ثلاثية المحاور.

المهم: إن عرّفت منطقة الأمان بمستو موازٍ لمستوي العمل، عندها يحدد البرنامج قيمتين:

- ارتفاع النقلات السريعة Rapid Height.
- ارتفاع الدخول في الخامة Plunge Height.

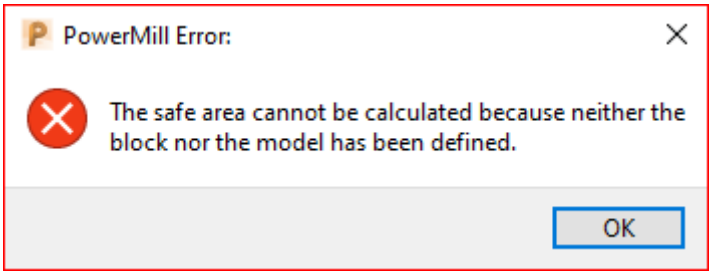
لك أن تدخل هاتين القيمتين يدويًا، لكن يستحسن أن تتركها للباورميل ليحسبها، وهو موضوع الفقرة التالية.

حساب الارتفاعات Calculate Dimensions

نحسب الارتفاعات على أساس أحد أربعة اعتبارات:

- الخامة والنموذج Block and Model
- الخامة فقط Block
- النموذج فقط Model
- آلة تشغيل Machine Tool

ولا بدّ من وجود ما تحسب الارتفاعات على أساسه، وإلا أرسل الباورميل رسالة خطأ.



هنا لم أحدد الخامة وما من رسومات في المشروع.

في الحالة العامة نحسبها على أساس الخامة والنموذج. ونجعلها هكذا:

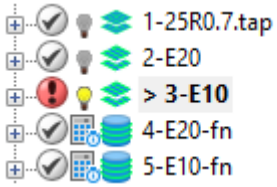
- خلوص النقلات السريعة Rapid Clearance: نجعله 10 مم. قد نجعله أكثر من ذلك، إن وجد في طريق أداة القطع عند النقلات أجسام غير موجودة في المشروع، كالقوامط وما شابه ذلك.
- خلوص الدخول في الخامة Plunge Clearance: نجعله زيادة عن خطوة القطع بالاتجاه z بمقدار بسيط: 0.25 مم مثلًا. وهذا يتغير بحسب الإستراتيجيات:
  - في إستراتيجيات الهد يأخذها البرنامج بعين الاعتبار تلقائيًا. لذلك نجعلها المقدار البسيط فقط، أي 0.25 مم.
  - أما في إستراتيجيات الإنهاء فلا يحسبها البرنامج، لأنه لا يحسب المسار على أساس الخامة وإنما على أساس الرسمة. لهذا فإننا نجعلها كما تقدم: زيادة عن عمق قطعها المحوري بمقدار بسيط، وفي هذا تفصيل:
    - بعض الإستراتيجيات عمق قطعها واضح، **كالإستراتيجية Constant Z Finishing** . فإن كانت الخطوة 1 مم اجعلها 1.25 مم. وإن كانت 0.5 مم اجعلها 0.75 مم. وإن كانت 0.1 مم اجعلها 0.25 مم، أو أي قيمة أخرى تزيد عن 0.1 مم.
    - وبعضها عمق قطعها غير واضح، **كالإستراتيجية 3D Offset Finishing** . وعندها نجعلها زيادة عن الخامة المتبقية لمسار التشغيل.

المهم في ارتفاع الدخول أن يكون بحيث تدخل أداة القطع الخامة بسرعة الدخول لا سرعة النقلات السريعة.

وهنا نقطة مهمة: ارتفاعات الأمان لا تحسب إلا بفعل فاعل. أي أنها لا تحسب تلقائيًا، لا يتدخل الباورميل فيها، كعامة الكائنات في الباورميل بالمناسبة. لهذا عليك أن تحسبها في كل مرة تأتي برسمة جديدة إلى المشروع، أو على الأقل: في كل مرة تأتي برسمة أعلى من السطح الصفري، أو بكلام أدق: في كل مرة تأتي برسمة أعلى من ارتفاعات الأمان السابقة.

حساب ارتفاعات الأمان حساس للرسومات المحددة، فاحذر!

عادةً ما تكون الرسومات كلها أدنى من المستوي الصفري، ويكون المستوي z = 0 أعلى نقطة في المشروع. لكن عندنا حالتان شائعتان تكون فيهما بعض الرسومات أعلى من أعلى نقطة في المشروع (أعلى من المستوي الصفري، فهو أعلى نقطة عرفًا):

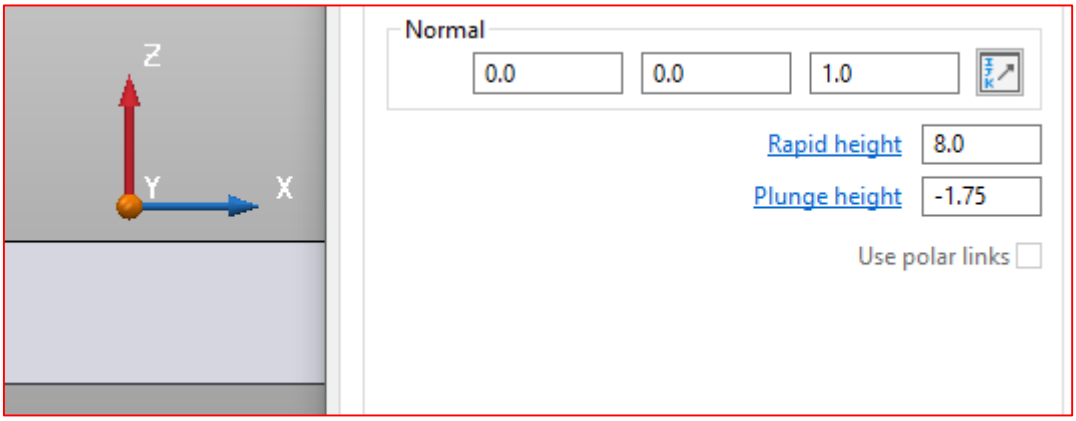


- إن جئنا بالمثبتات إلى المشروع، كالقوامط وما شابهها.
- إن جئنا بأجسام مع المشغولة، كلقم وما شابهها من الأجسام المؤقتة.

وقد تكون الرسومات أدنى من أعلى نقطة، وذلك لغايات تشغيلية، عندها لا بدّ من ضبط الخامة بحيث تكافئ الخامة الحقيقية؛ فقد تكون أعلى نقطة في الخامة الحقيقية أدنى من أعلى نقطة في المشروع،

كأن نشغل مشغولات مشغلة مسبقًا، وقد لا تكون كذلك ولكنها ستصير هكذا بعد التشغيل أو في مراحل تشغيلية لاحقة. (مهم)

مثلًا في الصورة التالية أعلى نقطة في المستوي z = -2، أو يمكن أن نقول: جملة الإحداثيات أعلى من أعلى نقطة في المشغولة بـ 2 مم. في هذه الحالة قبل أن أحسب ارتفاعات الأمان حسبت الخامة بأبعاد الرسومات كما هي، أي كانت أعلى نقطة فيها كما في الرسمة، فكانت ارتفاعات الأمان كما ترى.



المهم: احسب ارتفاعات الأمان مع كل جسم جديد. (لا تنسى فيها خربان بيوت).

النقلات النسبية Skim Moves

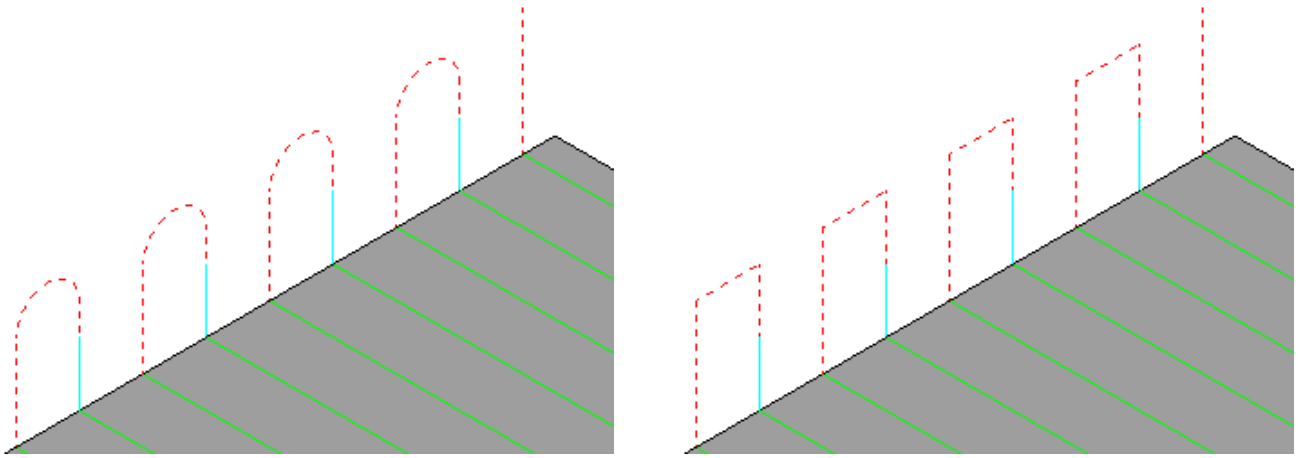
نضبط هنا الخلوص القطري والمحوري ليحسب منها البرنامج نقلات الأمان النسبي Skim Links، ولها القيمتين Axial Clearance = 5 وRadial Clearance = 0. في الحالة العامة هذه القيم مقبولة. الأولى تبعد الأداة عن الجدران والثانية تبعدها عن الأرضيات، وذلك أثناء النقلات.

نضبط أيضًا مسافة الدخول التزايدية Incremental Plunge Distance، وهي القيم التي يعتمدها البرنامج عند الدخول في الخامة في النقلات النسبية Skim Links ونقلات الأمان التزايدية Incremental Links.

تدوير النقلات السريعة Arc Fit Rapid Moves

في نفس صفحة النقلات النسبية (الفقرة السابقة) خيار هو **Arc Fit Rapid Moves** يجعل النقلات السريعة تتحرك بقوس لا بخط مستقيم. مفيد هذا الخيار للتخفيف من التغير المفاجئ في اتجاه الحركة، حيث يتغير الاتجاه 90° في النقلات التي تتحرك بخط مستقيم، بينما هذه الدرجة أقل من ناحية وأكثر سلاسة من ناحية، في النقلات التي تتحرك بقوس.

انظر:



في الحالة العامة نجعلها تساوي أو أقل من ارتفاع النقلات النسبية. وبما أنها نسبة من قطر أداة القطع فإليك معادلة تحسبها بها:

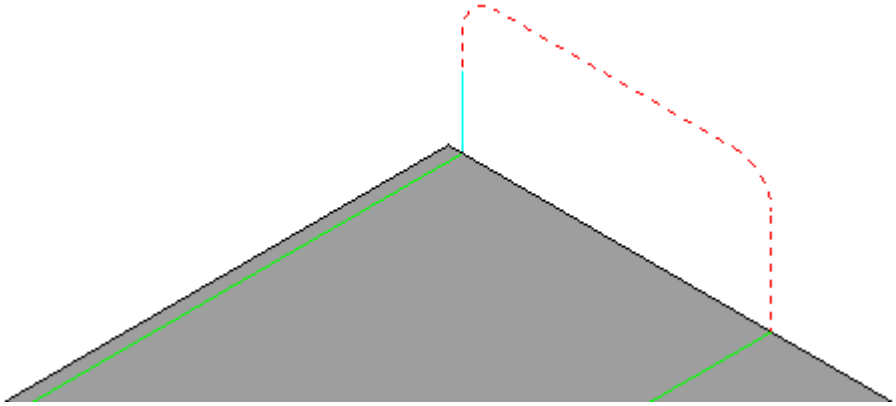
$$f_R = \frac{r}{D_C/2}$$

حيث

f_R	معامل نصف قطر دوران نقلات الأمان.
D_C	قطر أداة القطع $[mm]$.
r	نصف القطر الذي أريد $[mm]$. القيمة 5 مناسبة في الحالة العامة.

وبالمناسبة: هذا الكلام ينطبق أيضًا على غير النقلات السريعة. فيزيائيًا: التغير المفاجئ يؤدي إلى تسارعات. التسارعات هذه تولد قوى. هذه القوى هي ما يسبب الاهتزازات المتولدة في آلة التشغيل. يؤدي هذا مع الوقت إلى اهتراء في أجزاء الآلة.

خيار الانتقال بقوس هذا يؤدي إلى حركة الأداة بقوس نصف قطره قيمة هي نسبة من أداة القطع نحددها نحن. إن كانت مسافة الانتقال أكبر من قطر القوس فإن الأداة تنتقل في البداية بالقوس، ثم تتحرك بخط مستقيم، ثم تنهي النقلة بالقوس.
انظر:



قد يجعل هذا الخيار الدخول المباشر منحنيا، أي ليس شاقوليًا كما هو في الحالة العامة (في الاتجاه z)؛ وذلك لأنه امتداد للنقلات السريعة.

لا يعمل هذا الخيار مع مسارات التثقيب.

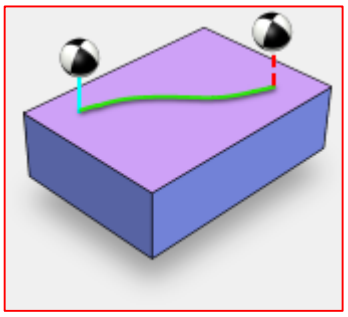
فحص الوصلات Gouge Check

إذا كان هذا الخيار مفعّلًا فإن الباورميل يفحص الوصلات ليرى هل فيها من خبطات وتصادمات مع الرسومات في المشروع. إن ألغيتَ فحص الوصلات اجعل النقلات في مستوي الأمان دائمًا، فالنقلات إن كانت بمستو نسبي لا تحسب على أساس الخامة في هذه الحالة، وستنتقل الأداة بارتفاع الدخول في الخامة، وقد تتحرك في الرسمة = ستدخل الأداة في المشغولة.

يشيع إلغاء فحص الوصلات في **الإستراتيجية Pattern Finishing** . ولكن في الحالة العامة في سائر الإستراتيجيات نفحصها (مهم).

إن ألغيت فحص الوصلات فقيد النقلات المباشرة بشروط دقيقة، ولا تجعلها نقلات نسبية Skim Links. (مهم)

نقطة البداية ونقطة النهاية Start & End Points

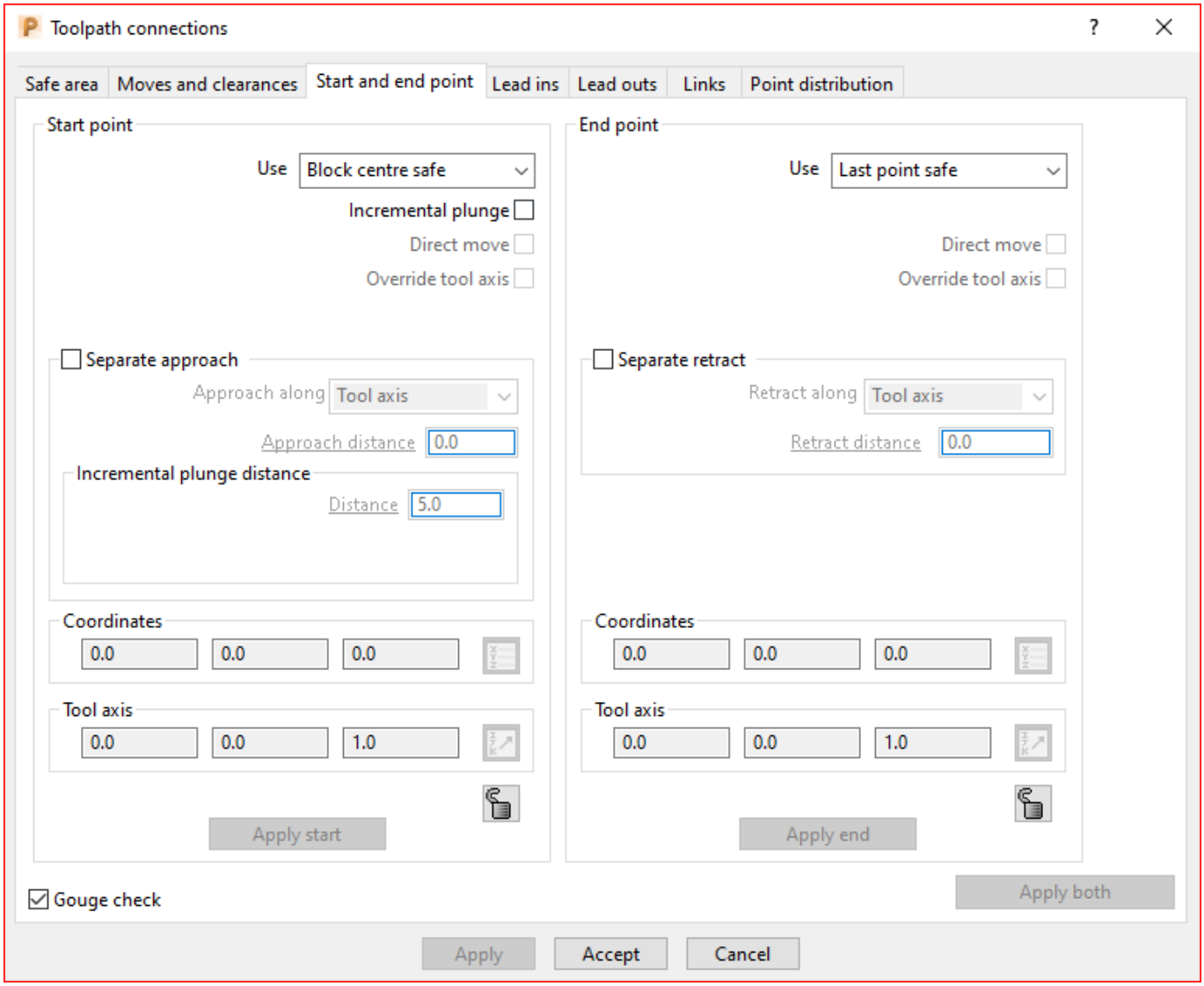


كارتفاعات الأمان، نضبط نقطتي البداية والنهاية في بداية المشروع؛ فهي هي في كل المسارات. وكارتفاعات الأمان أيضًا، يمكن أن نضبطها بعد إنشاء المسار، أو أثناء إنشاءه حتى. وكذلك أي إعداد من إعدادات المسارات.

هاتان النقطتان يمكن أن تكونا:

- في مركز الخامة الآمن Block Center Safe
- في أول / آخر نقطة آمنة First / Last Point Safe
- أول / آخر نقطة First / Last Point
- نقطة معينة Absolute

إليك نافذة ضبط هاتين النقطتين، وما يشيع ضبطهما به:



إن قيدت بالخامة Block فإنها تتعلق عندها بالخامة التي ضبطت في مسار التشغيل. هذا يعني أنها في الحالة العامة هي في منتصف الخامة الحقيقية، وفي منتصف المشغولة (وفي منتصف الرسمة)؛ ولكن لاحتياجات برمجية قد تُغيَّر أبعاد الخامة، فلا تبقى النقطتان عندها في منتصف الخامة الحقيقية ومنتصف المشغولة.

وكما ترى فإن إعدادات النقطتين متشابهتان، وتختلفان في أمور. ولعل أهم ما تختلفان فيه هو الدخول التزايدي، وهو موضوع الفقرة التالية.

البداية بدخول تزايدي Incremental Plunge

أول نقطة في المسار دائمًا تتحرك في مستوي الأمان، أي هي تنتقل بنقلة أمان. حتى لو جعلت النقلات البعيدة بغير نقلات الأمان فإن النقلة الأولى من لحظة تشغيل البرنامج إلى الانتقال إلى أول خط من خطوط المسار يتحرك البرنامج فيها بنقلة أمان (يعني حتى لو كانت Incremental أو Skim أول نقلة لا تزال Safe).

لهذا إن أردت جعل أول نقلة تزايدية Incremental Move، مهما كانت النقلات البعيدة، ففعل هذا الخيار. (مهم)

محور أداة القطع Tool Axis

لن نتعامل في كتابنا هذا مع غير الآلات ثلاثية المحاور. وبالتالي فاتجاه محور أداة القطع شاقولي دائمًا Vertical، وهو الخيار الابتدائي لعامة الإستراتيجيات.

بعض الإستراتيجيات موجهة أصلًا للآلات متعددة المحاور Multi Axis، **كالإستراتيجية Parametric Spiral Finishing**. إذا أردت استخدامها في آلة ثلاثية المحاور اجعل محور أداة القطع فيها شاقولي Vertical.

إن كان مسار التشغيل موجه للآلات الأعلى من ثلاث محاور، بمعنى أن محور أداة القطع فيه ليس شاقوليًا؛ ستجد في منتصف عنوان نافذة الباورميل الجملة MULTIAXIS ENABLED، لتنتبه...

اختيار أداة القطع Choosing Tool

في برامج الهد نختار أكبر أداة قطع ممكنة. والمعيار هنا أن تكون مسارات التشغيل مناسبة، لا كثيرة ولا قليلة. وهذا معيار بالنظر. [1] معيار آخر، ملموس هذه المرة، يدل على أفضل أداة وهو زمن عملية التشغيل. في برامج الهد نشغل المنتج النهائي بدقة ضعيفة بسماكة بسيطة من الخامة نتركها لبرامج

[1] كنت أقول لمن يسألني عن معنى معيار النظر هذا: إن كنت ترى خطوط المسار مثل الناس بعد صلاة الجمعة؛ فعليك بأداة أكبر. فإن لم يستلطف الجواب أقول له: إن كنت تراها كأسلاك الكهرباء في الحارة؛ فعليك بأداة أكبر.

الإنهاء. أداة قطع كبيرة نسبيًّا لن تزيل كل المادة من الخامة وتبقي على المنتج مع السماكة البسيطة المتروكة، بل ستبقي على خامة كثيرة. وأداة قطع صغيرة نسبيًّا ستقوم بالعمل المطلوب، ولكنها ستأخذ وقتًا يكفي وزيادة لطردك من العمل. لذا: نهد المشغولة على مراحل؛ نختار أكبر أداة قطع ممكنة، أو بمعنى آخر: "مناسبة"، ثم نختار أداة قطع أصغر منها، تكمل من بعدها، وهكذا إلى أن نصل إلى أصغر تفصيل مطلوب هده. نسمي مجموعة برامج التشغيل المستخدمة لهد الخامة، والمتعلقة ببعضها: **سلسلة برامج الهد**. وقد يكون في الشغل الواحد أكثر من سلسلة، ولكنها في الحالة العامة واحدة.

في الحالة العامة ننتقل من أداة قطع إلى التي تليها بمقدار النصف، لكنها ليست قاعدة. إن أردت أن تضمن أقل وقت ممكن احسب كل الاحتمالات المتاحة، أو على الأقل كل الاحتمالات التي تراها مناسبة.

لنقل مثلًا أن أدوات القطع المتاحة عندك (أو التي رأيتها مناسبة) هي:

- 80R6
- 63R6
- 32R0.7
- 16R0.7
- E12
- E10
- E8
- E6
- E4
- E3
- E2

جرب السيناريوهات التالية:

- الأداة 80، ثم 32، ثم 16، ثم 8، ثم 4، ثم 2.
- الأداة 80، ثم 32، ثم 12، ثم 6، ثم 3، ثم 2.
- الأداة 80، ثم 16، ثم 8، ثم 4، ثم 2.
- الأداة 80، ثم 12، ثم 6، ثم 3، ثم 2.
- ... إلخ

وهكذا مع الأداة 63، وهكذا مع الأدوات الأصغر منها، وانظر أي السيناريوهات وقته أقل، فاختره. وعلى فكرة: قد تجد أنك إن بدأت بالأداة 12 أو 10 مثلًا تكلفت أقل الأوقات. الأمر يعتمد على تفاصيل ما ستشغله.

ثمة معايير أخرى خذها بعين الاعتبار عند اختيار أدوات القطع في برامج الهد:

- إن كان الفرق دقائق معدودة فاختر ما فيه أقل الأدوات، حتى لو كان وقته أكبر؛ لأن ما ستوفره من دقائق ستتكلفه –أو أكثر منه– في تركيب الأدوات في آلة التشغيل وتجهيزها.
- الأدوات الحوامل –ما يركب فيها لقم Inserts– تضيف على تكلفة التشغيل تكلفة لقمها، إن كان من حيث الوقت لتجهيزها أو من حيث الثمن لشراءها.
- بعض الأدوات ضعيفة، خصوصًا ما صغر منها، ما يضيف على تكلفة التشغيل تكلفة الأدوات التي قد تنكسر أو يقل عمرها.
- قد نأخذ أسعار أدوات القطع بعين الاعتبار؛ بحيث نستخدم أدوات أصغر، مع أنها ستكلفنا وقتًا أطول، لكنها من حيث هي باعتبار سعرها أرخص. هذا المعيار صالح إن لم تتجاوز تكلفة وقت التشغيل فرق تكلفة الأدوات.

في برامج الإنهاء المعيار مختلف. صحيح أن لزمن التشغيل اعتبار، لكنه ثانوي أمام جودة الإنهاء. في الحالة العامة: ننهي كل منطقة، أو سطح، أو مجموعة سطوح، بأداة قطع واحدة ما أمكن. مرة أخرى: وهذه ليست قاعدة.

أولوية أدوات القطع بحسب العملية التشغيلية

يلعب الشكل الهندسي لأداة القطع دورًا في التشغيل بحسب طبيعة البرنامج:

- فإذا كان برنامج هد كانت الأولوية **للأدوات الحوامل**؛ تليها **أدوات التفريز العادية**، تليها **أدوات التفريز مدورة الحدود القاطعة**، ويفضّل ألا نستخدمها ما أمكن حتى لا نستهلكها في غير محلّها وتتآكل حدودها القاطعة.
- وإذا كان برنامج إنهاء:
  - وكان ينهي جدرانًا شاقولية بتسامح كبير (الدقة غير مهمة هنا) فله ما لبرامج الهد من أولوية؛ **الأدوات الحوامل** ما أمكن، ثم **الأدوات العادية**، ثم **الأدوات مدورة الحدود القاطعة**.
  - فإن كان ينهي سطوحًا منحنية فالأولوية **للأدوات الكروية**، تليها **الأدوات مدورة الحدود القاطعة**. هذا لأن **الأدوات الكروية** تمس المشغولة في نقطة واحدة؛ وبالتالي إمكانية تحقيق الأسطح المشغلة أكبر. وفي الحالة الحدية إن كان نصف قطر الأداة نفسه نصف قطر الأسطح المشغلة فإنها تمسها بكامل سلاحها. أما غيرها من الأدوات فإنها تناسب الجدران من السطوح أكثر مما تناسب الأرضيات منها، وتقل مناسبتها مع نقصان أنصاف أقطار حدودها القاطعة. (مهم)
  - وإن كان ينهي أرضيات فالأولوية للأدوات ذوات الأقطار الأكبر.

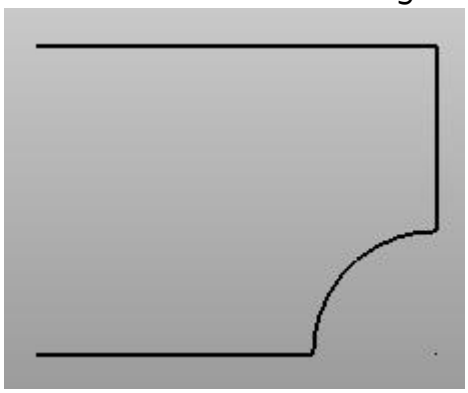
واعلم أن أخطاء الأدوات معظمها في اتجاهها القطري لا في اتجاهها المحوري؛ لهذا نترك في الجدران من الخامة مقدارًا كبيرًا في **الأدوات الحوامل**، ولا نترك إلا ما نتركه في الأرضيات في غيرها من الأدوات، أو زيادة بسيطة ربما؛ ولهذا أيضًا تجرى عمليات تسوية الوجوه عادةً بها؛ توفيرًا للوقت من ناحية، وللحصول على نعومة أكبر من ناحية.

رسم أدوات القطع – أدوات تدوير الحواف مثالًا

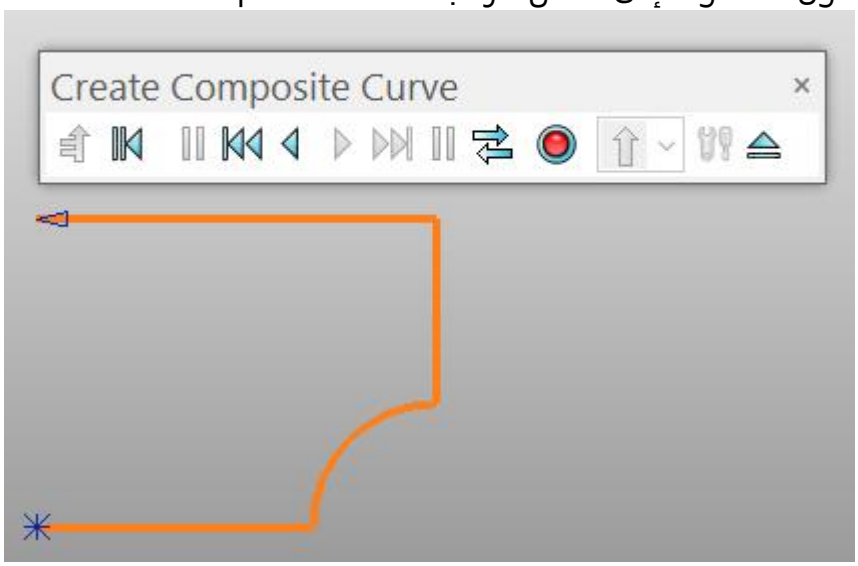
الأدوات في الباورميل محدودة وهي أكثر الأدوات شيوعًا واستخدامًا، ولكنها قد لا تكفيك. في الحالة العامة هي كافية وتمثل أشهر الأدوات التي قد تحتاجها، مع أنها لا تمثل الأدوات الحقيقية دائمًا (كالأدوات الحوامل، تمثلها نفس الأدوات التي تمثل أدوات التفريز ذات الأنصف أقطار في حدودها القاطعة). وهذا –كونها لا تمثل الأدوات الحقيقية– لأنها تمثل أثر الأدوات تشغيليًا لا بنيتها الفيزيائية وشكلها الهندسي.

يمكن رسم الأدوات في الباورميل ويمكن ذلك في الباورشيب، وفي الباورشيب أسهل. لنقل أننا نريد رسم أداة تدوير الحواف ، على الباورشيب. مبدأ رسم الأدوات هو رسم مقطعها، كما نرسم مقطع الأجسام التي ندورها بالأمر Revolve في برامج الرسم، لكن دون رسم محور الدوران.

1. اجعل الرسم في المستوي XY، وذلك بتفعيل الخيار . ارسم المقطع الذي تريد بأدوات هي خطوط Wireframe:



2. حول الخطوط إلى منحن مركب Composite Curve:



3. احفظها بصيغة dgk، ثم حملها من صفحة تعريف الحد القاطع للأداة في الباورميل.
4. إن أردت واقعية أكبر ارسم جسمها (الجزء الأخضر من الأداة). في أدوات تدوير الحواف عادةً ما يكون قطر جسم الأداة أصغر من قطر حدها القاطع.

إنشاء حدود التشغيل Creating Boundaries

في الحالة العامة ينشأ مسار التشغيل في أي مكان فيه خامة، والتي كما قلنا، معناها تقني هنا أكثر من كونه حقيقيًا (المجال الذي يمكن لمسار التشغيل أن ينشأ فيه = المجال الذي يمكن لأداة القطع أن تتحرك فيه). فإن أردت تقييد مسار التشغيل بجعله لا ينشأ داخل منطقة أو مجموعة مناطق، أو خارج منطقة أو مجموعة مناطق؛ فارسم حدود تشغيل وقيد مسار التشغيل به.

واعلم أنه في الحالة العامة لا نحدد المسارات بحدود، خصوصًا إن كان هناك قابلية للتغذية خارج الخامة؛ فلا تحدد المسارات بحدود إلا إن لم يكن إنشاء المسار بالتفاصيل التي تريد ممكنًا. بالمقابل: تقييد المسارات بحدود أفضل من قيادتها بأسطح مؤقتة تستورد أو ترسم في الباورميل أو خارجه عند الحاجة ليعاق بها طريق أداة القطع؛ لأن الحدود أكثر مقروئية، وأكثر تكرارية.

إليك استخدامات الحدود في الباورميل:

- تقييد المسارات
- تعديل المسارات
- إنشاء الحدود الأخرى والأنماط
- رسم السطوح

تتقيد مسارات التشغيل بحدود التشغيل من ناحيتين:

- أن يكون التشغيل داخليًا أو خارجيًا. وهذا لمعظم مسارات التشغيل.
- أن تمس أداة القطع حدود التشغيل من مركزها ، أو من محيطها . وهذا لبعض مسارات التشغيل.

ولا يمكن لأداة القطع أن تتجاوز حدود التشغيل أبدًا. بمعنى أن مسار التشغيل لا يمكن أن يكون فيه نقاط خارج حدود التشغيل إن كان القيد داخلها، أو داخل حدود التشغيل إن كان القيد خارجها.

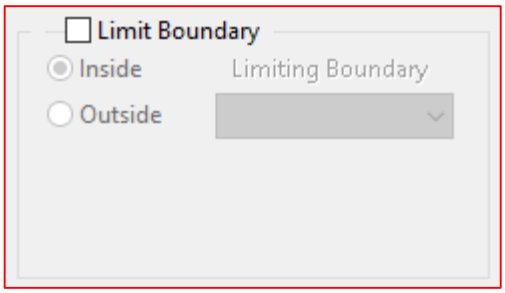
حدود التشغيل بطبيعتها منحنيات Curves. سأحيل طريقة التعامل مع المنحنيات إلى فقرة قادمة، كون الأنماط Patterns أيضًا منحنيات، ومعظم الأوامر مشتركة بين النوعين.

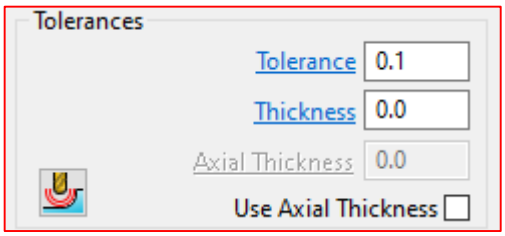
ثمة أنواع كثيرة من حدود التشغيل، قد لا تعتمد على أي منها، وقد تعتمد على نوع واحد في المشروع كله، وقد تستخدمها كلها في مشروع. وقد سبق ذكرها في **فصل المدخل**.

لإضافة خطوط إلى حدود التشغيل:

- إضافة رسم، يدخل فيه الأسطح Surfaces ويدخل فيه الخطوط Wireframe
- إضافة مسار تشغيل
- إضافة أنماط
- رسمها، باعتبارها منحنيات

أهم نقطة خذها بعين الاعتبار عندما تنشئ الحدود والمسارات: أن يكون للحدود والمسارات الإعدادات الحسابية نفسها: الخامة والدقة، والخامة المتروكة. هذا لا يعني أن هذه الإعدادات إن اختلفت لا يمكن عندها حساب المسارات بهذه الحدود، بل ستحسب، ولكنها ستكون غير متوافقة معها، مما قد يؤدي إلى نتائج خاطئة. صحيح أنه في كثير من الأحيان عدم التوافق لا يكون كبيرًا (النتيجة مقبولة أو قريبة جدًا من النتيجة المثالية، التي نحصل عليها عندما نحسب الحدود بنفس إعدادات المسارات)، لكن الأصل أن تحسب المسارات بنفس إعدادات الحدود، والعكس. لهذا: أغلب الحدود القابلة للحساب فيها خيار لتحديد الحدود بحدود أخرى، وخيار للسماح للأداة بالخروج من الخامة أو أن تتقيد بها، وحقول لضبط الدقة والخامة المتروكة.



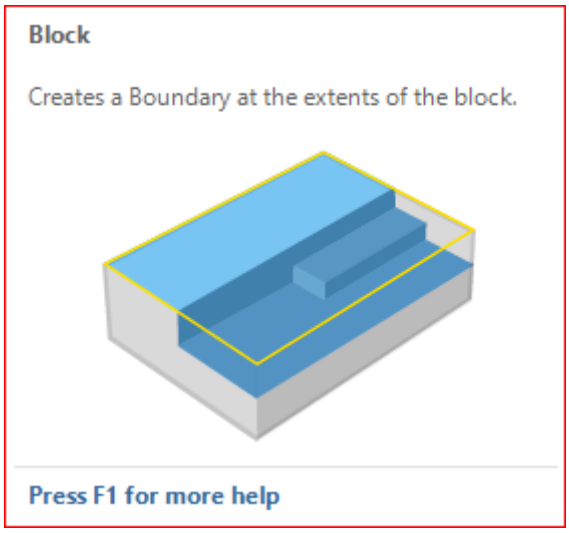


وعلى سيرة حساب الحدود. إن نُسخ المشروع بالتناظر ستنسخ الحدود كذلك، وستحافظ على حسابها لكنها قد لا تكون متوافقة مع خامات المسارات. لهذا، إن حصل ذلك عندها أبطلها، **بالأمر Boundary > Invalidate**، ثم احسبها مرة أخرى، بتحديد ما تحتاج الحدود تحديده من سطوح، وبضبط الخامة الصحيحة المتوافقة مع المسار.

نقطة أخيرة: يمكن الاعتماد على أي حدود تشغيل مهما كانت جملة الإحداثيات التي أنشأتها بالنسبة إليها في أي مسار تشغيل حتى لو بغير جملتها طالما أنها مرئية في جملة إحداثيات المسار. (مهم)

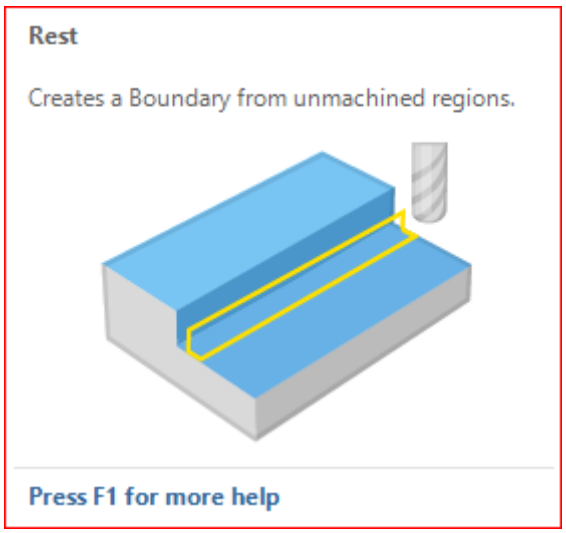
Block Boundary

أشهر الحدود تلك المرتبطة بالخامة. مع ذلك ليست أكثرها استخدامًا.



Rest Boundary

إن أردت تحديد المناطق التي تركتها أداة مرجعية لتشغلها أداة معينة فهذه هي الحدود التي تريد. تعمل بمبدأ المسارات المتبقية، لدرجة أن فيها إعدادات "Detect Material Thicker Than"؛ لهذا سموها على اسمها. وكالمسارات: فيها إعدادات للخامة المتروكة.



Selected Surface Boundary

أفضل طريقة لتشغيل أسطح بعينها تحديدها بحدود متعلقة بها. تختلف نتيجة الحدود بحسب خياران في الحالة العامة غير مفعلان:

- **الخيار Top** لتتبع الحدود أعلى الجدران الشاقولية، وإلا أدناها.
- **الخيار Roll Over** لتحيط الحدود بالحواف المختارة، وإلا لا تتعداها.

Boolean Operation Boundary

العمليات المنطقية التي تدعمها هذه الحدود ثلاث:

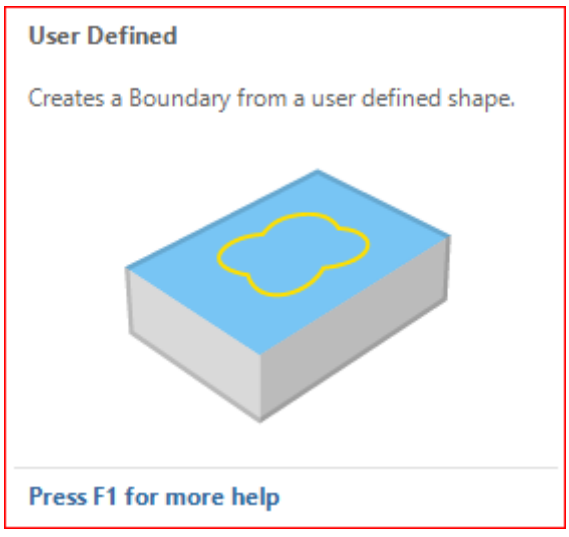
- الجمع Addition
- الطرح Subtraction
- التقاطع Intersection

من أعراف التسمية التي أعتمدها أني أسمي هذه الحدود بالحدود التي تجري عليها العمليات المنطقية، وبالعملية التي تجريها. لنقل إن عندنا حدود تشغيل باسم b1 وأخرى باسم b2. عندها إن جمعتهما سميت النتيجة هكذا: b1 + b2، وإن طرحتهما سميتها b1 – b2، وإن قاطعتهما سميتها b1 U b2، صحيح أنها ليست علامة التقاطع وإنما الاجتماع، ولكني أعتمدها هكذا لعدم وجود رمز التقاطع الرياضي صراحةً في لوحة المفاتيح.

وبالمناسبة: هذا النوع من الحدود إن كنت لا تعلمه فقد فقدت نصف عمرك حرفيًا.

User Defined Boundary

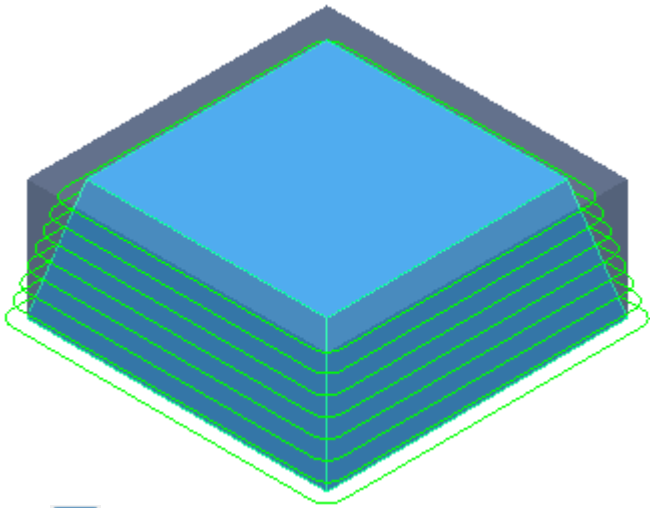
وهذه أكثر الحدود استخدامًا.



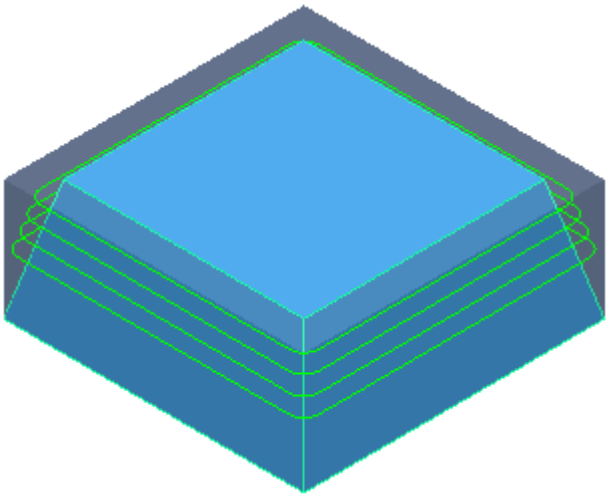
تحديد مسار التشغيل بالخامة

كما يمكن أن يُسمح للمسار أن يرسم خارج الخامة، أو يُمنع من ذلك. هذا لا يعني أن المسار لم يعد متعلقًا بالخامة، فهو ما زال كذلك؛ إذ هي وأدوات القطع من شروطه، وإنما يعني أن الأداة يمكنها أن تتحرك كلها خارج الخامة مسافة تزيد عن نصف قطرها بقليل.

انظر:



مركز أداة القطع يتحرك خارج الخامة



مركز أداة القطع محدود بالخامة

تتحرك أداة القطع خارج الخامة في مستوي العمل فقط، أي في حالتنا في المستوي XY.

بالمناسبة: لا نقصد من السماح للمسار بأن يرسم خارج الخامة أن هذه هي طريقة التغذية خارجها في برامج الهد، بل إننا إن أردنا ذلك فإننا نمنع المسار من أن يرسم خارجها، ونضبط إعدادات في المسار تؤدي هذا الغرض، ولا نحد المسار بحدود، على الأقل في المكان الذي نريده أن يدخل في الخامة منه. وهذا ما فصّلناه في **فقرة التغذية خارج الخامة** في **فصل أشهر الإستراتيجيات**. بل إن الشائع أننا نسمح للمسار أن يرسم خارج الخامة في برامج الإنهاء، لا الهد، هذا إن سمحنا بذلك.

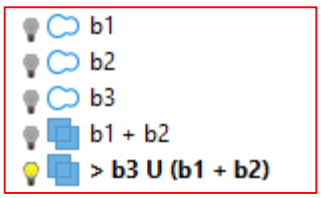
تقييد مجال الاتجاه Z

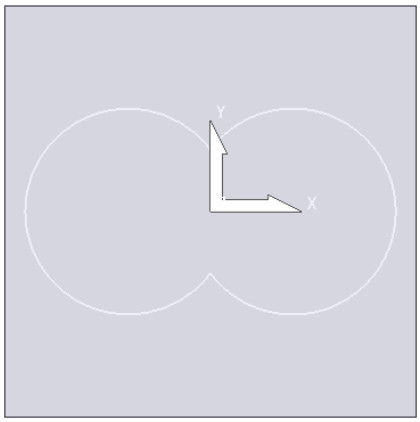
يمكن تقييد مسار التشغيل بالاتجاه z، وذلك بضبط أعلى قيمة Z Maximum وأدنى قيمة Z Minimum يمكن أن يتحرك فيها المسار. لها نفس تأثير ضبط حدود الخامة في هذا الاتجاه، ويستحسن التعامل مع الخامة؛ فاحتمال نسيان هذه القيم كبير، فتنتج مسارات تشغيل خطأ دون قصد، أو بقصد ولكن لا يُعرف سبب الخطأ. في الحالة العامة نحتاجها إن كنا مضطرين لخامة بحدود معينة؛ لارتباط المسار بحدود تشغيل مرتبطة بخامة مثلًا، أو إن كانت من نوع لا يمكن تغيير أبعادها، كأن تكون من رسمة Triangle Block.

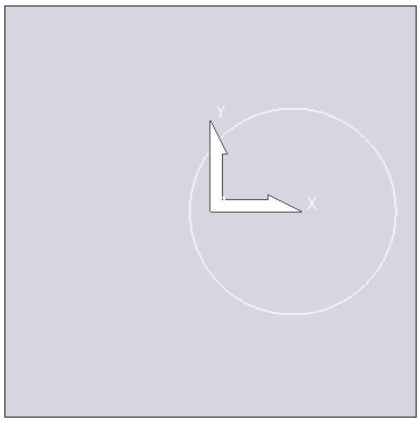
يمكن ضبط أعلى قيمة وأدنى قيمة على الطاير بالأزرار المجاورة لحقول هذه القيم، **بأمر الارتفاع ZHeight**. هذا الأمر يتيح لك اختيار نقطة في نافذة الرسومات للحصول على قيمة ارتفاع z فيها. للمزيد انظر **فقرة تحديد الارتفاع** في **فصل المدخل**.

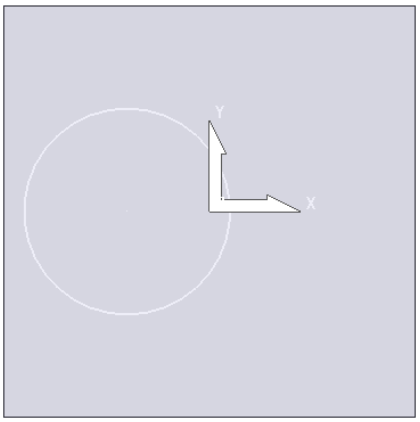
إعادة حساب المسارات يعيد حساب حدودها، ولكن ...

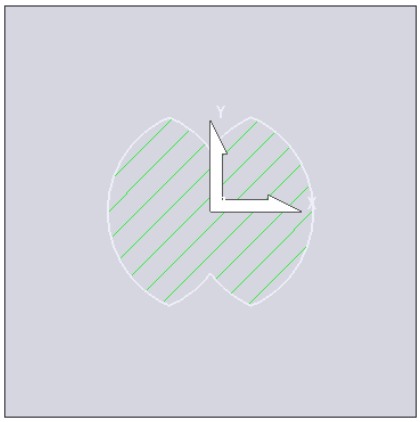
عندما ترتبط المسارات بحدود قابلة للحساب فإنها إن أعيد حسابها أعيد حساب ما تعتمد عليه من حدود. في الحالة العامة الأمور بهذه البساطة: تعيد حساب المسارات = يعاد حساب حدودها تلقائيًا. لكن هذا الكلام سليم في حالة كون الحدود معتمدة على حدود ثابتة، حدود غير حسابية. فإن لم تكن كذلك أعيد حساب الحدود دون إعادة حساب ما تعتمد عليه من حدود أخرى. يعني: لتكن الحدود b1 والحدود b2، وليكن مجموعهما حدود سميناها b1 + b2، ولتكن الحدود b3، نتيجة تقاطعها مع المجموع السابق: b3 U (b1 + b2). الآن إن حدت المسار الحدود الأخيرة، فإن أعيد حسابه يعاد حساب الحدود b3 U (b1 + b2)، ولكن لا يعاد حساب الحدود b1 + b2، وبالتالي فالحدود التي هي نتيجة التقاطع هي نتيجة خطأ، فانتبه إلى هذه النتيجة.

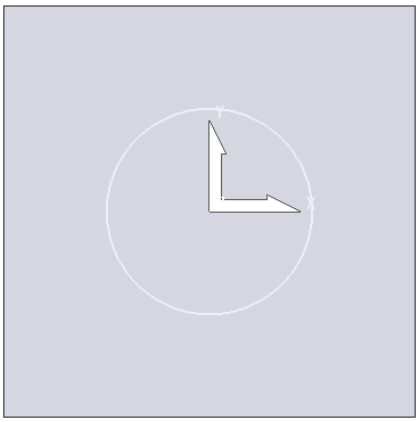



b1 + b2


b2


b1


b3 U (b1 + b2)


b3

لا يحفظ المسار ما تختاره من خطوط من الحدود .. فانتبه!

عند حساب المسار فإن الباورميل ينظر هل هناك خطوط من الحدود محددة أم لا. فإن كان ثمة خطوط محددة فإنه يحسب المسار وكأنها الوحيدة في الحدود، وإلا –وهذه هي الحالة العامة– فإنه يحسب المسار باعتبار الحدود كلها.

في الحالة العامة لون خطوط الحدود أبيض. فإن حددت خطوط منها أصبح لونها أصفر. إن فقدت التحديد (وبالتالي ما كان هناك خطوط بلون أصفر) فإنه إن أعيد حساب المسار سيحسب باعتبار الحدود كلها. وهذا سيؤدي إلى نتائج غير التي كنت تريد.

الأمر أشبه بتحديد السطوح. بعض الإستراتيجيات تحتفظ بالسطوح التي تحددها عند حساب مساراتها. فإن فعّلت مساراتها لاحقًا أعادت تحديد السطوح تلقائيًا، كإستراتيجيات إنهاء الأرضيات. ولكن معظم الإستراتيجيات ليست كذلك. كذلك الأمر بالنسبة للحدود، لا تحتفظ المسارات بالخطوط المحددة عند حسابها.

لهذا: الأفضل أن تنشئ حدودًا جديدة فيها الخطوط التي تريد تحديدها. وإلا: ستنتهك تكرارية الكائنات، وتجعلها للاستخدام لمرة واحدة.

النسخ، واللصق، وما إلى هنالك ...

تدعم المنحنيات إمكانية النسخ واللصق في الباورميل. ليس فقط في الجلسة الواحدة (في نفس العملية / في نفس النافذة) بل وفي الجلسات المختلفة (من مشروع لآخر / من نافذة لأخرى).

كذلك التراجع والتكرار. في الباورميل إمكانية مذهلة لذلك، حتى عند إغلاق المشروع وفتحه لاحقًا. الأمر متعلق بسجل التغييرات في الكائن (الـ History). تفصيله تجده في فقرة قادمة.

بل ولك أن تحفظ المنحنيات في ملفات فتفتحها في برامج أخرى أو تفتحها في مشاريع أخرى لاحقًا، أو لمجرد الاحتفاظ بها.

ولعل من لطائف النسخ واللصق في حدود التشغيل التكامل الجميل بين الباورميل والباورشيب. فإن أردت إغلاق حدود منحنية بسطح انسخها إلى الباورشيب واقفلها هناك، ثم انسخ سطوح القفل إلى الباورميل مرة أخرى، والصقها باعتبارها رسمة جديدة.

حل مشكلة تقاطع الخطوط ببعضها

+ حل مشكلة عدم قابلية قفل الحدود بسطوح

لا يمكن الاعتماد على الحدود التي تحوي خطوطًا متقاطعة، لا في حساب المسارات ولا في إنشاء السطوح. تحل المشكلة بأحد حلين:

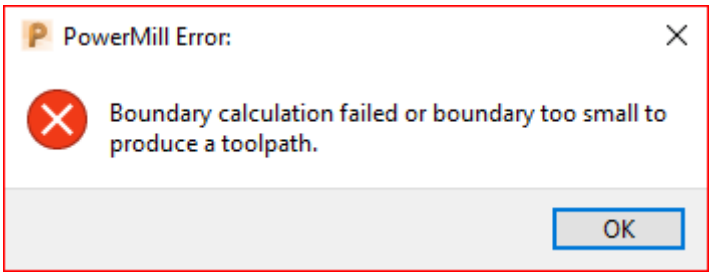
- تعديل الخطوط يدويًا، بمعرفة مكان التقاطع، وتقليم الخطوط ووصلها.

- تكبير الحدود وتصغيرها أو تصغيرها وتكبيرها مسافة تزيد عن مقدار التقاطع. لن تكون الخطوط هي هي 100% ما كانت عليه قبل التحريك، ولكنها قريبة منها. وكلما كانت المسافة أقل كانت الخطوط أقرب لما كانت عليه. في الواقع: في كثير من الأحيان تحل المشكلة بتكبير الحدود وتصغيرها (أو العكس) مسافة سنتييمات لا أكثر.

وربما كانت المشكلة أنها متضاعفة

قد لا تنجح طريقة الإزاحة، تكبيرًا وتصغيرًا، أو تصغيرًا وتكبيرًا، وعندها لا بد وأن تكون الخطوط متضاعفة؛ أي يكون هناك أكثر من خط في نفس المكان، وكأنها منسوخة وملصوقة في المكان نفسه.

عند حساب المسارات وهذه الخطوط موجودة، يظن الباورميل أنها خطوط متداخلة، فيحاول إنشاء خطوط للمسار بين الخطوط في منطقة التداخل، ولكنها منطقة صفرية، تمامًا كمشكلة السماكة الصفرية Zero Thickness في **برنامج SolidWorks**، فيرسل رسالة الخطأ:



فإن كان كذلك، لا سبيل أمامك سوى تحديد الخطوط وحذف المضاعف منها.

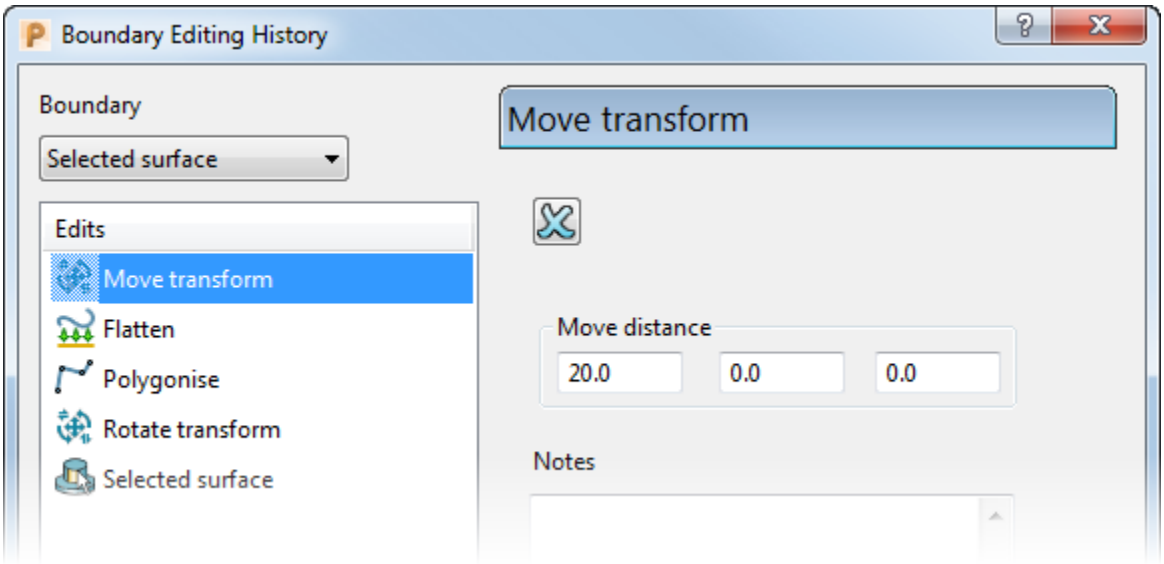
حذف الخطوط غير المحددة Delete Unselected

تدعم الكائنات المكونة من أجزاء أمرًا لحذف ما هو محدد منها، ولكن لا وجود لأمر يحذف ما هو غير محدد. بمعنى: في الحالة التي يدعمها الباورميل أنت تحدد ما تريد حذفه، فتحذفه ببساطة، فيبقى ما لم تحدده. في الحالة التي أتحدث عنها: قد يكون عندك أجزاء كثيرة وأنت تريد أن تبقي على أجزاء بعينها وتحذف الباقي (قد تبقي على بضعة خطوط وتحذف المئات منها)، عندها ترسل **الأمر Invert Selection** ثم **الأمر Delete Selected**. العملية تبدو بسيطة فهي لا تتعدا الخطوتين. هي كذلك فعلًا. ولكنها قد تتكرر عشرات المرات في المشروع. لهذا فوجود أمر يفعلها بخطوة واحدة أحسن. وقد طورت تسجيل أوامر Macro يفعل هذا.

في المنحنيات **الأمر Clear**، والذي يمسحها كلها. يكافئ هذا الأمر إرسال **الأمر Select All** ثم **الأمر Delete Selected**.

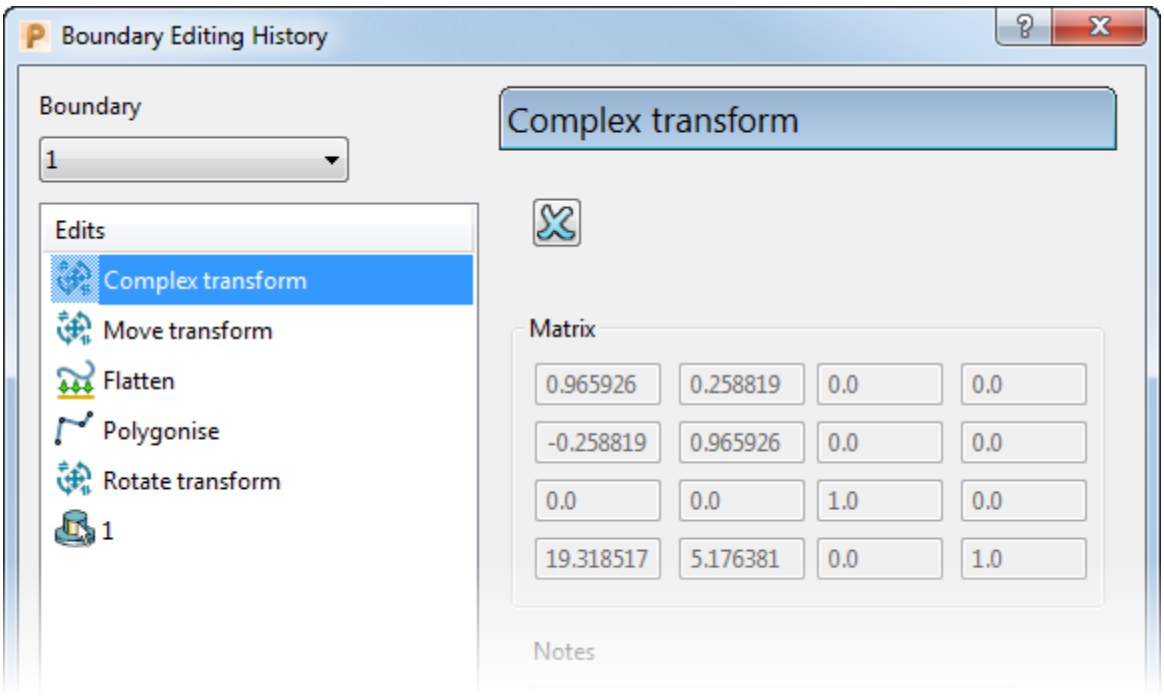
سجل تغييرات حدود التشغيل Boundary Editing History

يتميز سجل تغييرات الحدود في كونه قابلًا للتغيير في كثير من الأحيان. انظر مثلًا:



كما ترى كل التغييرات التي حصلت على الحدود موجودة هنا، وبالترتيب. ولك أن تحذف التغيير الذي اخترته إن أردت بالزر . بعض التغييرات قابلة للتغيير، كما في الصورة. إن عدلت المسافات فإن التغيير سيطرأ على الحدود وكأنها حصلت عليه في أول مرة.

إن أجريت عدة تحريكات فإن سجل التغييرات يجمعها مع بعضها باسم Complex Transform، وعندها ليس لك أن تغيرها:



بعض التغييرات تميز بالرمز ⚠، ما يعني أنها تغييرات على خطوط محددة Selective Edit (ليست على كل الكائن). هذا يعني أن إعادة حساب الحدود لن تأخذ التغييرات كلها بعين الاعتبار.

إنشاء مسار التشغيل Creating Toolpath

وهذه أهم مرحلة في الشغل، وأهم فقرة في الفصل. إن قلنا أن ما نقوم به من شغل هو طبخة، فإن ما ننشئه من مسارات هو الوصفة. ولكل شيخ طريقة. وقد تسمى المسارات: أكوادًا Code، إشارةً إلى أنها G-Code. وقد تسمعهم يقولون: كودات!

أغلب المفاهيم مشتركة في مسارات التشغيل. وجمعت أهمها هنا في الفقرات الفرعية لهذه الفقرة. ستجد هنا كلامًا نظريًا عن هذه المفاهيم، وستجد في **فصل أشهر الإستراتيجيات** كلامًا عمليًا عنها؛ لهذا أنصحك بالعودة إلى هذه الفقرات كلما قرأت فقرة لاحقًا متعلقة بفقرة هنا.

أيضًا: صندوق حوار مسارات التشغيل مشترك، تقريبًا. في النسخ الحديثة الاشتراك كبير بين معظم مسارات التشغيل. وستجد فيها كلها الرمزين:

الرمز	المعنى أو الوظيفة
	تعديل المسار Recycle Toolpath
	نسخ المسار Copy Toolpath

كلا الأمرين يرسلان **الأمر Toolpath > Load Settings** (تفصيله قادم في فقرة لاحقة)، باختلاف أن النسخ ينشئ كائنًا جديدًا معطلًا (غير محسوب) فيه إعدادات المسار بعد تحميلها، بينما التعديل يلغي قفل المسار (بتعطيل كل ما هو معتمد عليه) ويحمل إعداداته ويجعله متاحًا للتعديل.

كذلك فتح إعدادات المسار (أي **الأمر Toolpath > Settings**) يرسل أمر تحميل الإعدادات.

إن أردت نسخ المسار دون تعطيله أرسل **الأمر Toolpath > Edit > Copy Toolpath**.

يمكن أن يعتمد المسار على كائنات أخرى، كجمل الإحداثيات والحدود والمسارات وغير ذلك. وفي معظم الأحوال لا يمكنه أن يعتمد إلا على كائن واحد من كل نوع. فإن اخترت كائنًا ليعتمد عليه أصبح الكائن الفعّال؛ وبالمثل: تفعيل الكائن يجعل المسار يعتمد عليه. للمزيد انظر **فقرة تفعيل الكائنات** في **فصل المدخل**.

نختار الكائنات بأدوات برمجية تسمى قوائم اختيار Combo Boxes: . معظمها يمكن تركها خالية (دون اختيار كائن فيها).

مثلًا: عدم اختيار جملة إحداثيات يجعل المسار يحسب في الجملة العالمية Global Workplane، وعدم اختيار حدود تشغيل يجعله يحسب في كل مكان فيه خامة في المشروع. وبطبيعة الحال بعض الكائنات لازمة: كأدوات القطع [1]، والمسارات المرجعية أو الأدوات المرجعية، في المسارات المتبقية، وأنماط التشغيل في بعض الإستراتيجيات (أحيانًا تكون الأنماط اختيارية).

يمكن اختيار الكائنات وحساب المسار بناءً عليها دون فتحه وانتظاره يحمل البيانات ثم اختيارها، وذلك بتفعيلها من المستعرض، وإرسال **الأمر Calculate > Toolpath > Ribbon**. من المفيد إنشاء اختصار لهذا الأمر؛ لحساب المسار على الطاير. إن أردت ذلك في نسخة قديمة من الباورميل فسجل أمر حساب المسار واجعله في مجلد تسجيلات الأوامر، واستدعه من المستعرض. لكن على كل حال ففتح إعدادات المسار في تلك النسخ لا يستهلك وقتًا كبيرًا كما في النسخ الحديثة.

اختيار الإستراتيجية الأفضل

وضعت قائمة بكل الإستراتيجيات المتعلقة بموضوع الكتاب في **فصل أشهر الإستراتيجيات**، فألق نظرة عليها. وهي نفسها بالمناسبة ما تظهره أداة اختيار الإستراتيجيات في الباورميل Strategy Selector. لن نتناول كل إستراتيجيات الباورميل بطبيعة الحال، وإنما أشهرها. وربما نفعل ذلك في النسخ القادمة من الكتاب إن شاء الله.

أحيانًا تكون الإستراتيجية المناسبة للتفاصيل المراد تشغيلها وحيدة، فلا حيرة عندها. وأحيانًا تكون أكثر من إستراتيجية مناسبة، وعندها يكون التفضيل. في هذه الفقرة تفصيل عام لكيفية اختيارنا للإستراتيجيات عند إنشاء المسارات. ولكن خذ بعين الاعتبار نقطة مهمة: أن هذا التفصيل عام، فليس معيارًا نهائيًا وليس قاعدة ثابتة، وإنما ننظر في المسار بعد إنشاءه ونعتمده أو نغير إستراتيجيته بناءً على انسيابية خطوطه ووقته، وذلك بحسب طبيعته إن كان برنامج هد أو برنامج إنهاء.

إذا أردنا تسوية السطوح فأمامنا إستراتيجيتان:

- إن كان السطح غير محدود بحدود، أو أردنا التشغيل على مراحل: Face Milling،
- وإلا: Raster Flat Finishing، أو Offset Flat Finishing، والأولوية للمسار المتوازي.

إذا أريد الهد:

- Model Area Clearance،
- وربما استخدمنا غيرها ولكنها الأشهر.

[1] ذكرنا في **فصل الأساسيات** أن الخامة وأداة القطع شرطان لمسارات التشغيل، فلا يمكن أن تحسب دونهما.

إذا أريد إنهاء الجدران والسطوح العميقة Steep Surfaces:

- في الحالة العامة: Constant Z Finishing، وهذه هي الإستراتيجية الوحيدة التي يمكن أن تكون لولبية بطبيعتها، والإستراتيجية الوحيدة التي تناسب الجدران الشاقولية وغير الشاقولية.
- وقد نستخدم إستراتيجيات الأنماط، في بعض الجدران الشاقولية، وذلك بحسب ما عندنا من تفاصيل:
  - 2D Curve Profile
  - Pattern Finishing
  - Profile Finishing
  - Wireframe Profile Machining

إذا أريد إنهاء السطوح السهلة Shallow Surfaces:

- إن كانت منحنية معقدة: 3D Offset Finishing،
- وإن كانت كذلك ولكن فيها تفاصيل عميقة أيضًا: Optimized Constant Z Finishing،
- وإن كانت منحنية باتجاه واحد: Raster Finishing، وFlowline Finishing،
- وكذلك إن كانت مستوية ومائلة ميلانًا أقرب للأفق.
- وإن أردنا لخطوط المسار أن تكون دائرية، إذا ما نظر إليها من مستوي العمل، بغض النظر عن السطوح المشغلة والحدود التي تحدها:
  - لخطوة لولبية: Spiral Finishing
  - لخطوة قطرية: Radial Finishing
- وإن كان يبدو أنه تناسبها إستراتيجيات الأسطح المنحنية المعقدة وإستراتيجيات الأسطح المنحنية البسيطة معًا: Parametric Offset Finishing، وParametric Spiral Finishing ولكن اجعلها موجهة نحو الآلات ثلاثية المحاور، والأولولية للمسار اللولبي.

وإذا كانت السطوح أجزاء أسطوانية (كعبوات المياه وما شابهها):

- Raster Finishing، ولا تجرب غيرها!
- وكذلك أي سطوح متناظرة حول محور (اتجاه المسار يكون قطريًا حصرًا).

إذا أريد إنهاء الزوايا:

- Corner Finishing
- Corner Multi-Pencil Finishing
- Corner Pencil Finishing

إذا أريد التثقيب:

- في الحالة العامة Deep Drill،
- وفي المركزة (السناتر): Single Pick،

- وربما استخدمنا غيرها من الإستراتيجيات، ولكنها الشائعة.

إذا أريد كسر الحواف، أو تدويرها:

- في الحالة العامة Chamfer Milling،
- وربما نستخدم Constant Z Finishing أو Pattern Finishing بمناسبة وبدون مناسبة.

وإن أريد الكتابة:

- في الحالة العامة Pattern Finishing،
- وقد نستخدم Wireframe Profile Machining،
- وربما استخدمنا Constant Z Finishing.

وأخيرًا: للتشغيل المخفي:

- Constant Z Finishing،
- إستراتيجيات الإسقاط Projection:
  - Projection Curve Finishing
  - Projection Line Finishing
  - Projection Plane Finishing
  - Projection Point Finishing
  - Projection Surface Finishing
- أو Pattern Finishing، أو Wireframe Profile Finishing، وهذه أفضل.

لا تزهد في الإستراتيجيات المخصصة؛ ففيها توفير كبير للوقت –من حيث البرمجة لا التشغيل– وتفصيل أكبر في المسارات، حتى لو كنت تستطيع الوصول لنفس الخطوط بغيرها من الإستراتيجيات المشهورة.

في الحالة العامة نقول عن السطوح أنها عميقة إن كانت تزيد عن 30°. وإلا كانت سهلة.

سلوك الإستراتيجيات مع الرسمة والخامة والحدود

يختلف سلوك مسارات الإستراتيجيات مع الرسومات (السطوح والأجسام الشبكية) والخامة والحدود بحسب طبيعتها.

من حيث الرسومات:

- معظم مسارات الإستراتيجيات تعتمد عليها في رسم نقاطها.
- بعض المسارات تدعم خيارًا لفحص السطوح Gouge Check، عندها لا تعتمد عليها إلا بتفعيله.
- لا تراها مسارات التثقيب، إلا لفحص السطوح، لكنها لا تعتمد عليها في رسم نقاطها.

وتتعلق بها أيضًا من حيث فحص الوصلات.

من حيث الخامة:

- هي شرط من شروط المسارات؛ فلا ترسم لولاها (مسارات التثقيب استثناء).
- هي أساسية في مسارات الهد؛ ترسم بحيث تستوعبها كلها.
- هي ثانوية في مسارات الإنهاء؛ الغاية منها تحديد المكان الذي يمكن لأداة القطع أن تتحرك فيه.
- ولا تؤثر في مسارات التثقيب لا من قريب ولا من بعيد.

من حيث الحدود:

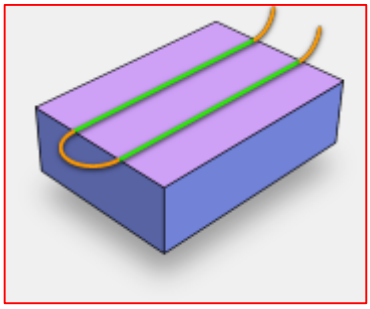
- كالخامة؛ تؤثر على عامة المسارات، إلا مسارات التثقيب. ولكنها ليست شرطًا للمسارات مثلها.
- تتحرك المسارات التي ترسم بأسلوب الإزاحة Offset بما يوافقها، كمسارات الهد، وعامة مسارات الإنهاء، وأشهرها **الإستراتيجية 3D Offset Finishing**.
- تتحرك المسارات التي ترسم بأسلوب التوازي Raster **كالإستراتيجية Raster Finishing** وتلك التي تعمل من الأعلى للأسفل **كالإستراتيجية Constant Z Finishing** كأنها تقطعها.

وهنا نقطة مهمة: لا تتحرك عامة الإستراتيجيات إلا في خامة، وترسم خطوط مساراتها بما يوافق حدود التشغيل وتقاطع أدوات القطع مع سطوح المشغولة، باعتبار الخامة المتروكة. "باعتبار الخامة المتروكة" هذه تفصيلة لطيفة؛ قد تترك خامة في سطوح المشغولة، ولا يكون ثمة خامة كافية في المكان الذي تركت فيه الخامة؛ كأن تترك خامة على سطوح قريبة من المستوي الصفري، عندها إن كان المسار مما يتحرك بأسلوب الإزاحة ستجده متقطعًا كثير الوصلات؛ وذلك لأنه لا خامة يرى فيها سطوح المشغولة باعتبار الخامة التي سيتركها عليها. لهذا: إما لا تترك خامة تزيد عن ارتفاع الخامة حول السطوح، أو كبّر الخامة بحيث تستوعب الخامة المتروكة، أو بكلام آخر: بحيث يمكن لأداة القطع أن تتحرك لتحقق السطوح باعتبار الخامة المتروكة.

نقطة مهمة أخرى: تلك الإستراتيجيات التي ترسم مساراتها بأسلوب الإزاحة لا تمثل لها الخامة أكثر من مجال رؤية كما أشرنا. العامل الأساسية بالنسبة إليها هي الحدود. وكما أن المسارات التي ترسم بأسلوب التوازي والمسارات التي تعمل من الأعلى للأسفل تتأثر بالحدود وكأنها تقطعها، فإن مسارات الإزاحة تتأثر بالخامة وكأنها تقطعها. لهذا: إن احتجت تغيير ارتفاع الخامة لضبط أعلى عمق وأدنى عمق للمسار ارسم الحدود بحيث تحقق ما تريد، واترك الخامة كما هي، حتى لا يتبايخ المسار. **فقرة الخامة المتروكة** بعد صفحتين فيها تفصيل أكبر ومثال في آخرها.

الدخول في الخامة Approach

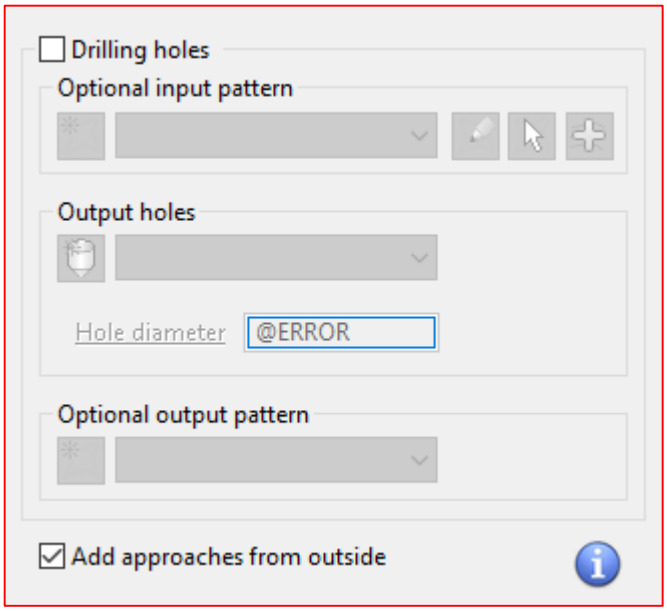
في إستراتيجيات الهد صفحة لتحديد إعدادات الدخول في الخامة، يسمونها هم "الاقتراب" Approach، ويقصدون الاقتراب من الخامة (ولعلهم قصدوا المسار)، ولكن معناها الدخول في الخامة (أو المسار إن كانوا قصدوه أول مرة).



هنا نحدد إعدادين:

- خيار لجعل الدخول من خارج الخامة. (مهم)
- خيار لجعل الدخول في نقاط محددة. ويلزمنا إن فعلناه:
  - سمة ثقوب (اجبارية).
  - نقاط نحددها في نمط تشغيل (اختياري).

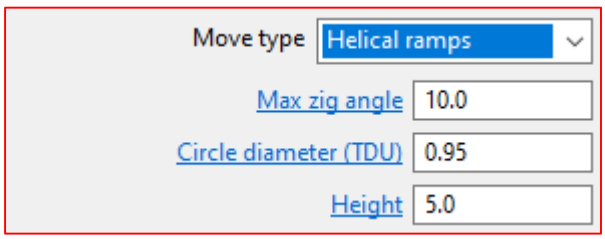
ولعل ما يميز الثقوب هنا أنها ترتبط بالمسار فتقفل كالكائنات التي تقفل إن ارتبطت بغيرها.



والثقوب هنا تنشأ تلقائيًا، بحسب أداة القطع المختارة. يحدد الباورميل قطر الثقوب ويرسمها بناءً عليه. لك أن تغيره إن شئت. لاحظ أن الثقوب هذه ليس معناها أن الخامة مثقوبة في مواقع هذه الثقوب وبأقطارها، بل إن معناها أن مسار التشغيل سيحاول أن لا يدخل في الخامة إلا في منطقة تكافئ الثقوب هذه. أي أن مسار التشغيل يرى أن في هذه الثقوب خامة، فلا يتعامل معها وكأنها مهدودة فيكمل من بعدها كالبرامج المتبقية.

في **فصل أشهر الإستراتيجيات** تفصيل أكبر عن هذا الموضوع، وبالتحديد في الفقرتين: **التغذية خارج الخامة والتغذية في نقاط نختارها**.

إن كانت إستراتيجية الهد من النمط Vortex فإن لك الخيار إما أن تعاملها معاملة غيرها من إستراتيجيات الهد وإما أن تعاملها معاملة خاصة. وعندها تصبح الإعدادات هكذا:



اتجاه القطع Cut Direction

يحدد اتجاه القطع طريقة حركة أداة القطع، ويأخذ إحدى ثلاث قيم:

- معاكس Climb، حيث تتحرك الأداة على يسار الخامة المشغلة ما أمكن.
- مساير Conventional، حيث تتحرك الأداة على يمين الخامة المشغلة ما أمكن.
- أي اتجاه Any، حيث تتحرك الأداة بالاتجاه ذي أقل تكلفة من حيث النقلات.

في برامج الهد نحدد اتجاه القطع بالنسبة للخامة وبالنسبة للرسم، بهذا التفصيل:

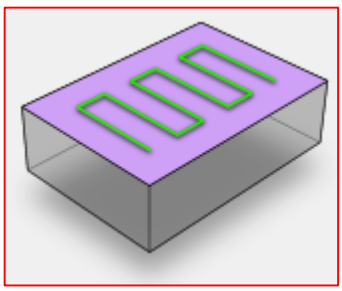
- نجعل اتجاه القطع معاكسًا، للأدوات الحوامل.
- نجعله بأي اتجاه، للأدوات العادية، إن لم تكن مساراتها مرتبطة بمسارات قبلها.
- فإن كانت مرتبطة (كانت برامج متبقية Rest) نجعل اتجاه القطع بالنسبة للخامة بأي اتجاه وبالنسبة للرسم معاكسة أو مسايرة، ونجعل النقلات القصيرة أقواسًا دائرية Circular Arc.

في **فصل أشهر الإستراتيجيات** تفصيل أكبر، في **فقرة اتجاه القطع**، فليراجع.

أما في برامج الإنهاء فنحدده باعتبار الرسم، وباعتبار احتياجاتنا التشغيلية، ونجعله بحيث تكون خطوط مسارات التشغيل انسيابية قدر الإمكان.

اتجاه خطوط المسار

بعض مسارات التشغيل تتحرك أدوات القطع فيها بخطوط مستقيمة متوازية، باتجاه ثابت، **كالإستراتيجية Raster Finishing**، وتكون خطوطها إما باتجاه واحد أو باتجاهين. عامة مسارات التشغيل متوازية الخطوط نجعلها باتجاهين، أي تكون خطوطًا متعاكسة. ولكن أحيانًا، لأغراض تشغيلية، نجعلها باتجاه واحد.



مع مسارات التشغيل هذه نضبط زاوية الخطوط أيضًا، والتي هي مع المحور الأفقي، المحور x. ويستحسن عمومًا أن نجعلها موازية لأحد محاور العمل، x أو y. ومع هذا فإننا في معظم الأحيان نجعله باتجاه أطول تفصيل في المشغولة. فإن كان فيها تفاصيل مختلفة في الطول (بعضها في اتجاه x، وبعضها في اتجاه y، وبعضها مائلة) لا نحدد الزاوية إن كان المسار يقبل ذلك (كبرنامج مسح الأرضية Raster Flat)، ونتركها تلقائية.

الخامة المتروكة Thickness

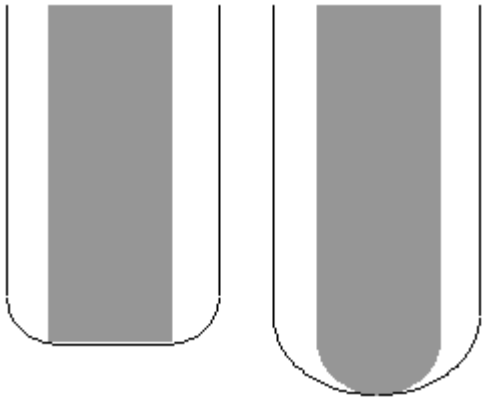
ذكرنا في أكثر من موضع أننا نترك جزءًا من الخامة في عمليات الهد، وكذلك عمليات النصف إنهاء، لتزيلها عمليات الإنهاء وتعطي نعومة السطوح المطلوبة. وهنا تفصيل الموضوع.

نترك الخامة في اتجاه واحد أو اثنين:

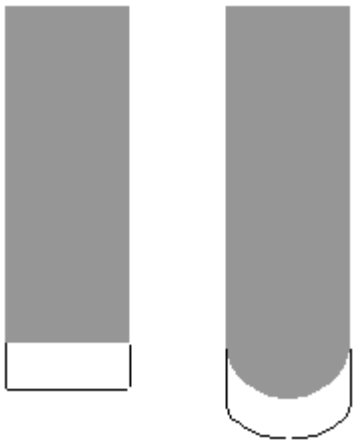
- إما في الاتجاه القطري Radial Thickness،

- وإما في الاتجاه المحوري Axial Thickness،
- وإما في كليهما.

وهذا ينطبق على كل سطوح المشروع. إن أردت ترك خامة على أسطح بعينها فانظر **فقرة الخامة المتروكة في أسطح معينة**.

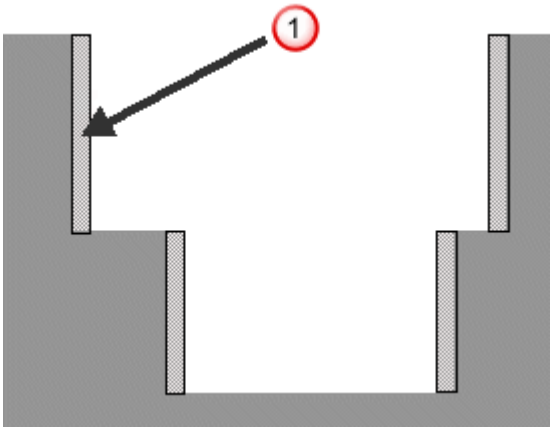


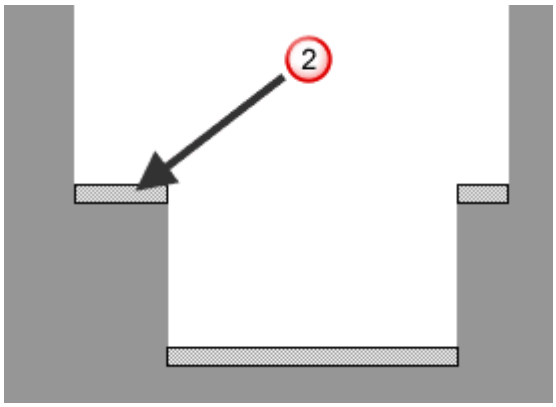
الخامة المتروكة في الاتجاه القطري



الخامة المتروكة في الاتجاه المحوري

هذا بالنسبة للأداة. انظر كيف تترك الخامة في المشغولة:





1. خامة متروكة في الاتجاه القطري (في الجدران) Radial Thickness.
2. خامة متروكة في الاتجاه المحوري (في الأرضيات) Axial Thickness.

للخامة المتروكة رموز:

الرمز	الوظيفة
	Thickness الخامة المتروكة في الاتجاهين.
	Radial Thickness الخامة المتروكة في الاتجاه القطري.
	Axial Thickness الخامة المتروكة في الاتجاه المحوري.
	Component Thickness الخامة المتروكة في أسطحة محددة.

وهذه نقطة للمطورين: يكافئ الخيار الأمر البرمجي:

```
Toolpath.UseAxialThickness = 1
```

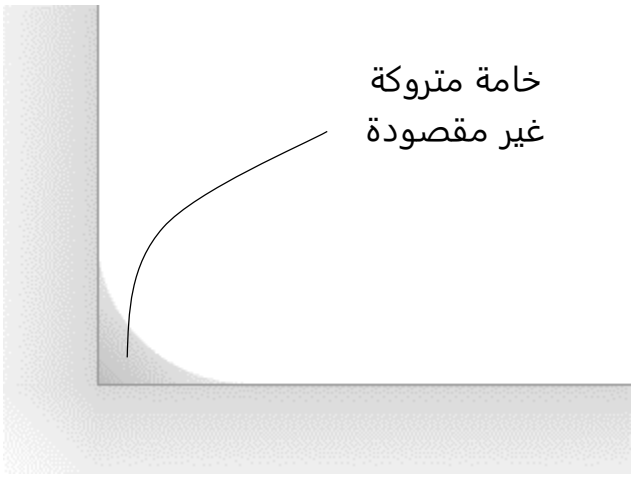
هذا يعني –وهذه نقطة للمطورين وغيرهم– أنه إن كان هذا الأمر مفعلًا فما زال الكائن يحتفظ بقيمة الخامة المتروكة في الأرضيات، ولكنها لا يستخدمها.

تلعب الخامة المتروكة دورًا في نعومة السطوح. فإن تركت خامة ضئيلة جدًا بحيث تجاوزتها أخطاء أدوات قطع برامج الهد ما حُصل على النعومة المطلوبة. وكذلك إن تركت خامة كبيرة جدًا بحيث أزالت أداة القطع المستخدمة لغرض الإنهاء والتنعيم مقدارًا أكبر مما يفترض أن تزيله ما حصل على النعومة المطلوبة. وضعنا في **فصل الأساسيات** جداول من AutoDesk فيها قيمًا للخامة المتروكة، للاستخدامات العامة، فلتراجَع.

وبالمناسبة: تكافئ الخامة المتروكة تصغير أداة القطع بالاتجاه القطري أو الاتجاه المحوري أو كليهما. الأكثر من ذلك: يمكن ترك خامة سلبية: وكأنك إما كبرت الأداة، وإما وسعّت تفاصيل المشغولة.

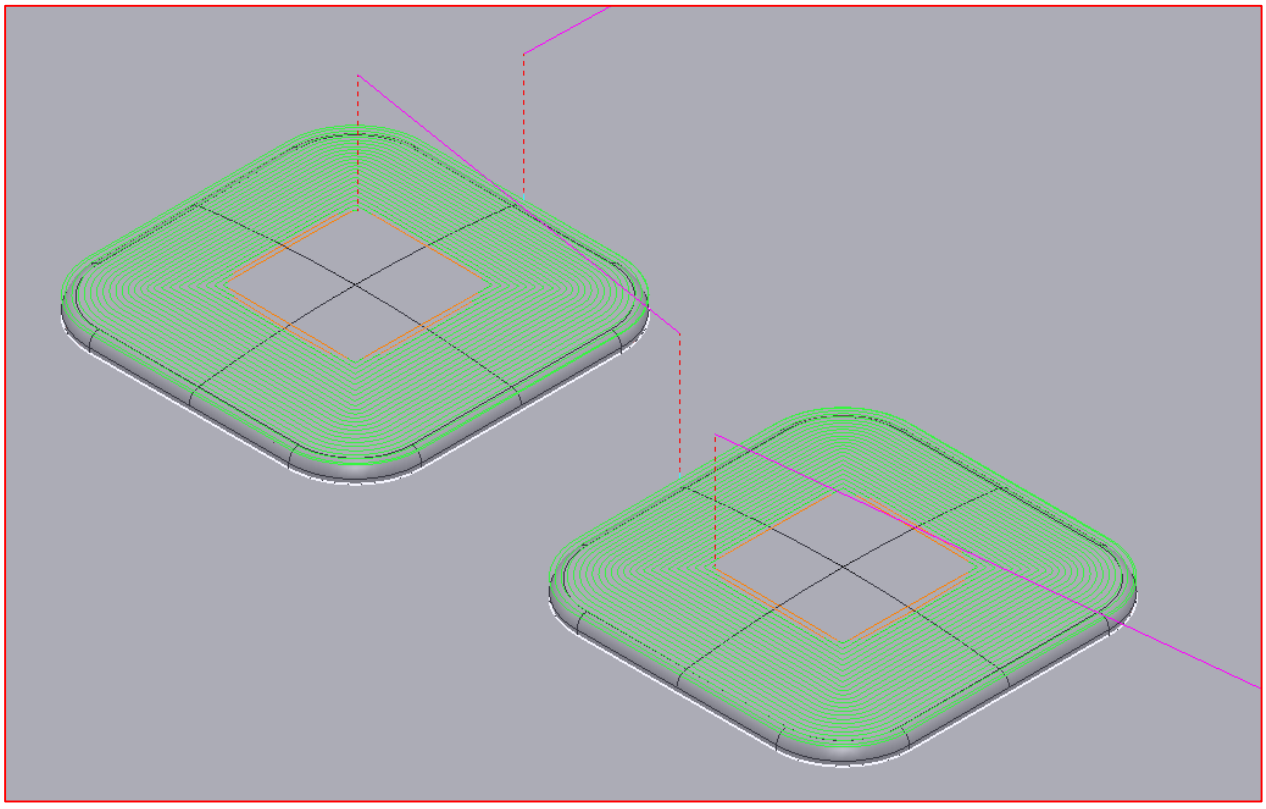
في النسخ القديمة كان ترك خامة سلبية يجعل مسار التشغيل غير آمن، فيميّز بدائرة حمراء للإشارة إلى أنه خطأ.

وهنا نقطة مهمة: احسب في برامج مسح الأرضيات حساب الخامة المتروكة. لا أعني ما تتركه من خامة في الأرضيات، فهذا معلوم في التشغيل بالضرورة ويتعلق بأداة القطع ومادة الخامة المستخدمة في الأرضيات. ولكني أقصد ما تتركه من الخامة في الجدران؛ اترك فيها ما ستتركه في ما قبلها من برامج أو زيادة، ويستحسن أن تؤخر برامج إنهاء الأرضيات إلى ما بعد برامج إنهاء الجدران. وانتبه إلى نوع أداة إنهاء الأرضيات ونوع أداة إنهاء الجدران؛ فلا بد من ألا يقل نصف قطر دوران الحدود القاطعة في أدوات الأرضيات عما يقابلها من أدوات الجدران، أو بكلام آخر: ألا يكون في الزوايا الداخلية في الأرضيات خامة زيادة عما يمكن أن تتحمله أدوات الأرضيات. في الصورة التالية خامة متروكة غير مقصودة تركتها البرامج السابقة بسبب الشكل الهندسي لأدوات القطع المستخدمة فيها.



مع أني أقصد بالصورة منطقة محدودة بأرضية وجدار، وبالتالي فإن الخامة المتروكة هنا في الزوايا السفلية في الجدران؛ ولكن يمكن أيضًا أن يقصد بها منطقة فيها جدارين، أي صورة مأخوذة من مستوي العمل (ناظمها المحور z).

نقطة أخرى مهمة: لا تتحرك أدوات القطع إلا في خامة، أو جزء منها؛ لهذا فإن المسارات لا ترسم إلا في خامة في الحالة العامة. في الصورة التالية برنامج تركنا فيه خامة فما عادت أداة القطع ترى بعض المناطق من الرسمة، وهي المناطق العليا منها. في حالتنا هذه الأمر هيّن؛ فالنقلات حلت الأزمة نوعًا ما. ولكن في أحيان كثيرة يصبح الأمر عويص؛ فتكثر النقلات، ويهدر كثير من الوقت. وأحيانًا لا تكون الأزمة في الوقت المهدور وإنما في دخول الأداة في المشغولة؛ لأجل الأداة وسلامتها أو لأجل المشغولة ونعومتها.



المهم: إن كانت الخامة المتروكة في السطوح العليا في المشغولة ستسبب أزمة تشغيلية، ولكن لا بد من تركها، فارفع الخامة فوق المستوي الصفري بحيث ترى الأداة الأسطح مع الخامة المتروكة فيها. هذا سيجعل الأداة تتحرك في الهواء، صحيح، ولكننا نعتبرها مجازًا نقلات وليس خطوط قطع. بمعنى: الباورميل يراها خطوط قطع (الخطوط ذات اللون أخضر)، ولكننا نعتبرها خطوط نقلات (الخطوط ذات اللون البرتقالي). وهذا دليل آخر على أن الخامة Block في الباورميل لا تمثّل الخامة الحقيقية بالدرجة الأولى. نعم، تمثلها، لكنها بالدرجة الأولى تعني المكان الذي يمكن للأداة أن تتحرك فيه. أما الخامة الحقيقية فهو معنى ثانوي قد يكون محققًا وقد لا يكون. (مهم)

بالمناسبة: هذه المشكلة شائعة الحدوث مع الإستراتيجيات التي تتحرك بأسلوب الإزاحة، خصوصًا تلك التي ترسم مساراتها على أساس حدود التشغيل، **كالإستراتيجية 3D Offset Finishing** **والإستراتيجية Optimized Constant Z Finishing** .

الخطوة، عمق القطع Stepdown وعرض القطع Stepover

عندما تنتقل أداة القطع في مسار التشغيل من خط لآخر فإنها تنتقل بخطوة، قد تكون عرضية وقد تكون محورية. نسمي الخطوة العرضية **عمق القطع بالاتجاه القطري Radial Depth of Cut**، وتعرف أيضًا بـ **عرض القطع Stepover**. ونسمي الخطوة المحورية **عمق القطع في الاتجاه المحوري Axial Depth of Cut**، وتعرف أيضًا بـ **عمق القطع Stepdown**.

يمكنك أن تقول إن ما يعمل في الأسطح العميقة يأخذ عمق قطع، وما يعمل في الأسطح السهلة يأخذ عرض قطع. يعني كل ما يعمل في الاتجاه z يأخذ عمق قطع، Stepdown. وكل ما يعمل في المستوي XY (مستوي العمل) يأخذ عرض قطع، Stepover. وقد تسمع التسمية "باص" Pass أحيانًا للدلالة على خطوة التشغيل بإطلاق، والتسمية "عرض الباص" للدلالة على عرض القطع Stepover، خصوصًا مع عمليات الهد.

لا تجعل دقة التشغيل أكبر من خمس عمق القطع، خصوصًا في أدوات القطع الصغيرة.

وقد ذكرنا أن بعض أدوات القطع مصممة بحيث تتحمل التغذية الجانبية Literal (في اتجاه مستوي XY، مستوي العمل)، وبعضها مصممة بحيث تتحمل التغذية المحورية Axial (في اتجاه z)، وبعضها مصممة بحيث تتحمل التغذية المائلة Ramp.

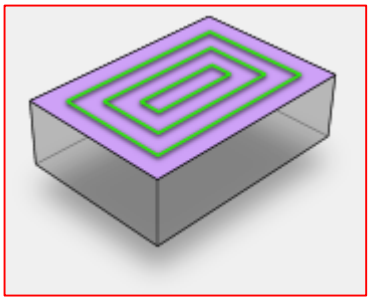
تتعلق الخطوة بـ:

- المشغولة
- أداة القطع
- إستراتيجية التشغيل
- طبيعة عملية التشغيل (هد، أو نصف إنهاء، أو إنهاء)

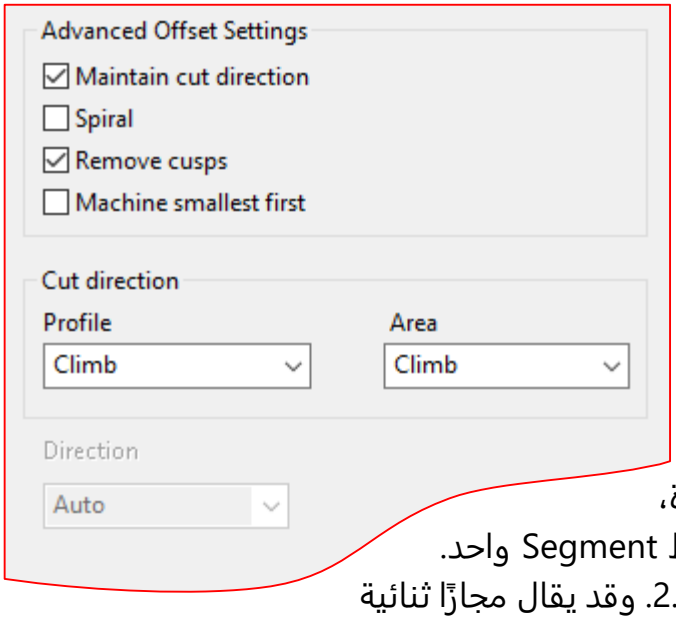
نختار الخطوة في برامج الهد بحيث تعطي أداة القطع أفضل أداء، ومعيارنا كما ذكرنا الوقت المطلوب لهد أكبر قدر من الخامة بأسرع وقت. عندنا هنا معيار آخر وهو تحمل أداة القطع للخطوة، ويتعلق بمادة الأداة، ومادة الخامة، والظروف التشغيلية (سرعات وتغذيات وتبريد، وما إلى ذلك). أما في برامج الإنهاء فنعومة السطوح هي المعيار الأول، وتتعلق بارتفاع النتوءات التي تشكلها أداة القطع، وهو موضوع فقرة قادمة.

وقد وُجد تجريبيًا أن أفضل أداء في برامج الهد يكون عندما يكون عرض القطع 70% من قطر الأداة [1]، و40% في برامج إنهاء الأرضيات. وضعت في آخر الفصل فقرة فيها قيم تجريبية لعمق القطع، فلتراجع.

إعدادات خطوة برامج الهد في الباص الواحد Offset



يهمنا من برامج الهد تشغيل الخامة بأقل وقت ممكن؛ لهذا فجودة التشغيل ليست مهمة هنا. لهذا فإننا لا نفعّل الخيار Maintain Cut Direction. قديمًا كان في إستراتيجيات الهد خيار اسمه "تقليل النقلات الهوائية" Minimize Air Moves، هو عكس هذا الخيار تمامًا. وكان في الحالة العامة غير مفعل عند إنشاء مسار جديد، وعليك تفعيله. تمامًا كهذا الخيار هو مفعل في الحالة العامة، وعليك إلغاءه.



وعند عدم تفعيل هذا الخيار فإنك تفقد إمكانية تفعيل خيار جعل الإزاحة لولبية Sprial. يسلك هذا الخيار نفس سلوك خيار الخطوة اللولبية في **الإستراتيجية 3D Offset Finsihing**، لا **Constant Z Finishing**؛ أي في عرض القطع لا عمق القطع؛ فبرامج الهد تشغل كل عمق على حدة، وتعتبر كل منطقة يمكن لمسار الهد أن يشغلها خط Segment واحد.
لهذا تعتبر برامج الهد برامج ثنائية الأبعاد ونصف 2.5D. وقد يقال مجازًا ثنائية الأبعاد 2D، ولكنه علميًا قول غير دقيق. الأدق 2.5D؛ لدخول الحركة في الاتجاه z بالمعادلة، ولو على سبيل النقلات والدخول لا القطع.

بالمقابل فإنك تكسب من عدم تفعيله إمكانية التحكم باتجاه الإزاحة: أمن الخارج للداخل Outside In أم العكس Inside Out، أم تلقائية. وهنا عندنا تفصيل:

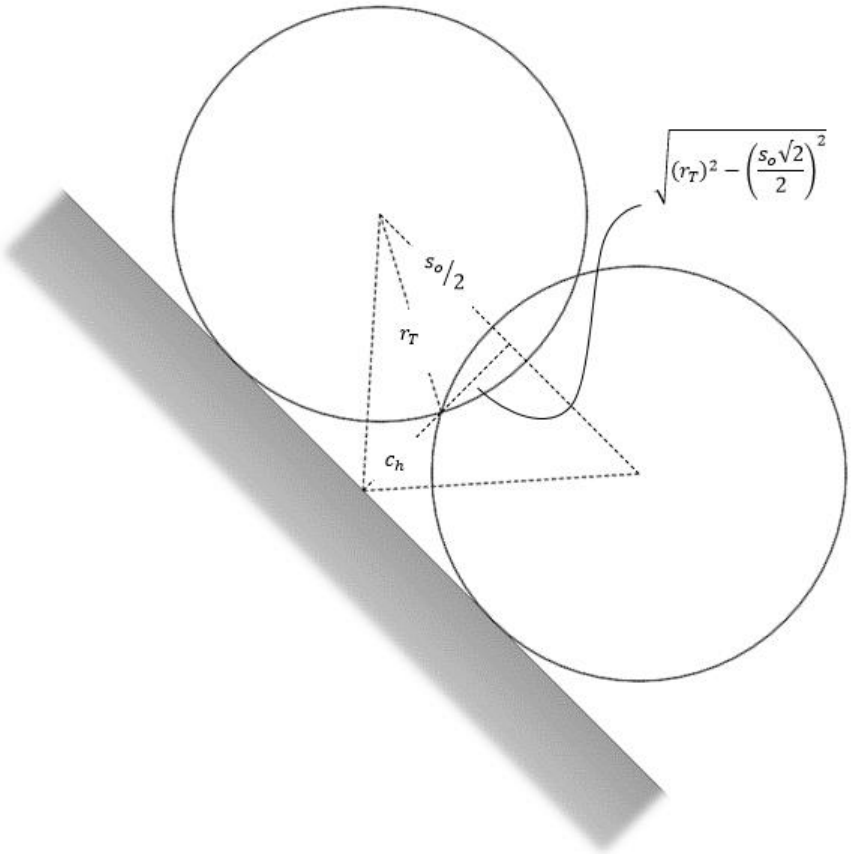
- إن أمكن التغذية خارج الخامة جعلنا اتجاه الإزاحة من الخارج إلى الداخل.
- وإن كانت المنطقة المشغلة مغلقة جعلناها من الداخل إلى الخارج.

[1] هذه القيمة وسطية. إن كانت الخامات قاسية جدًا ربما احتجت لتخفيضها. وإن كانت الخامات طرية ربما تمكنت من رفعها.

ارتفاع النتوءات Cusp Height

تتشكل –ولا بدّ– أجزاء من الخامة نتيجة أثر خطوة أداة القطع، نسميها نتوءات Cusps، وتجدها في المشغولة على شكل خشونة. ومهما صغرت الخطوة ستتشكل النتوءات، ولو بأبعاد مكروية. تذكر **فقرة أثر التشغيل** في **فصل العملية التشغيلية حاسوبيًا**؟ ارجع إليها ففيها كلام ذو صلة بارتفاع النتوءات.

يحسب الباورميل ارتفاع النتوءات لأجل مستو مائل بزاوية 45°، وهي الحالة الحرجة؛ عندها يكون أكبر ارتفاع للنتوءات من أجل أي دقة يحسب بها المسار.



يحسب الباورميل ارتفاع النتوءات بالمعادلة التالية:

$$c_h = r_T - \sqrt{r_T^2 - \left(\frac{s_o\sqrt{2}}{2}\right)^2}$$

ويمكن أن تحسب أيضًا من المعادلة:

$$c_h = r_T - \sqrt{{r_T}^2 - \left({}^{s_o}/_{2}\right)^2}$$

حيث

c_h	ارتفاع النتوءات $[mm]$.
r_T	نصف قطر دوران الحد القاطع Tip Radius $[mm]$.
s_o	عرض الباص Stepover $[mm]$.

ولكن الباورميل يضيف تأثير الأبعاد بتدوير الرسمة بزاوية $45°$، جدعنةً منه.

وبالمناسبة هذه المعادلة سارية على أي نوع من أدوات التفريز. وهذا تفصيل نصف قطر الحد القاطع:

- إن أردتها **أداة تفريز عادية** فنصف قطر حدها القاطع هو 0، وهنا أيضًا يتجدعن الباورميل فإذا كانت النتيجة قطبية اعتمد العدد التخيلي (جرب احسبها).
- وإن أردتها **أداة تفريز بحد قاطع بنصف قطر** فهو نفسه نصف قطر حدها القاطع.
- وإن أردتها **أداة تفريز كروية** فهو نصف قطرها، أي يمكن أن تكتب بالمعادلة: D_C.

... تعامل برامج نصف الإنهاء معاملة بين برامج الهد وبين برامج الإنهاء، وهي أقرب لبرامج الإنهاء منها لبرامج الهد؛ فالمطلوب منها إزالة ما يزيد عن الخامة المتروكة مما تركته برامج الهد، مع الحفاظ على خامة متروكة مناسبة لبرامج الإنهاء.

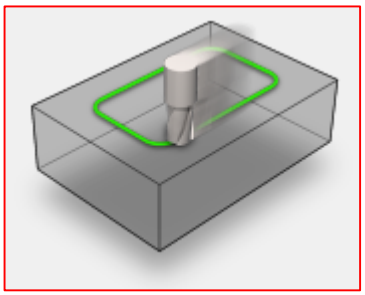
الخطوة اللولبية (أو الحلزونية) Spiral

تدعم بعض برامج الإنهاء الخطوة اللولبية، حيث تتصل خطوط مسارات التشغيل ببعضها ما أمكن، مما يقلل النقلات، وبالتالي الزمن، ويعطي أداءًا أفضل، من حيث نعومة السطوح.

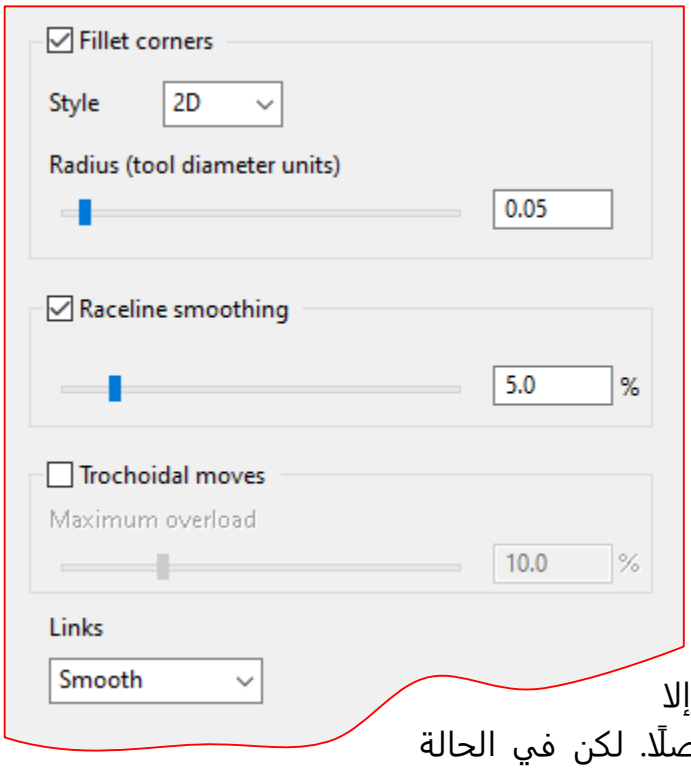
وتتميز بها **الإستراتيجية Constant Z Finishing**؛ كونها شائعة الاستخدام من ناحية، والوحيدة التي تتحرك بها في الاتجاه z من ناحية أخرى. وتحويها إستراتيجيات الهد أيضًا، ولكنها كونها ثنائية الأبعاد (وبكلام أدق ثنائية الأبعاد ونصف 2.5D) فإنها تتحرك بها في مستوي العمل لا في الاتجاه z.

هي كما قدمناها: ما يجعل المسار متصلًا. ولا توجد إلا في الخطوط المغلقة من المسارات.

التشغيل السريع High Speed



عندما تغير أداة القطع اتجاهها فجأة، وهذا يحصل في الزوايا ذات الأنصاف أقطار أقل من نصف قطر الأداة؛ تنخفض سرعتها بمقدار كبير للحظة متناهية في الصغر. وربما انعدمت في تلك اللحظة، وهذا سلوك فيزيائي نتيجة تغيير الاتجاه، نسميه: التسارع. هذا يؤدي من ناحية إلى زيادة وقت التشغيل (ستجد البرنامج يأخذ أكثر من وقته على آلة التشغيل)، ويؤدي من ناحية أخرى إلى حمل على الآلة، نتيجة التسارعات والصدمات الحاصلة بسبب تغير السرعة الفجائي، فضلًا عما يسببه من حمل على أداة القطع.

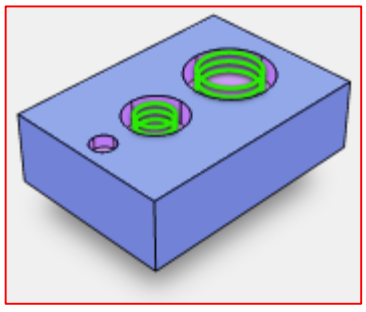


لتفادي الزوايا وتشغيلها بخطوط تشغيل بأنصاف أقطار سلسة نفعل هذا الخيار. وهو في الحالة العامة مفعّل، لكنك قد تحتاج إلغاءه لسبب أو لآخر (لتحقق الزوايا مثلًا، أو أن نتيجة بعض الإستراتيجيات، كـ Constant Z، كانت سيئة بوجوده).

هذا، وإن فعلت الخطوة اللولبية Spiral في مسار كان عليك تدوير الحواف بنمط ثلاثي الأبعاد 3D، وإلا بنمط ثنائي الأبعاد 2D. هذا إن أردت تدويرها أصلًا. لكن في الحالة العامة لا نفعل خيارات التشغيل السريع في برامج الإنهاء.

حذف الأجزاء غير الآمنة Unsafe Segment Removal

الأدوات الحوامل وعلى اعتبار لقمها ليست منها من ناحية وخارجة عنها ما يشكل تجويفًا في منتصفها من ناحية أخرى فإنها تحتاج معاملة خاصة. قد تتجمع الروايش أو أجزاء من الخامة في هذا التجويف. وقد تتضرر اللقم، أو الأداة، أو المشغولة، إن حدث هذا. خصوصًا أن جسم الأدوات الحوامل ضعيف، وما يساهم في العملية التشغيلية هي اللقم فقط. ولا يجوز التشغيل بأجسام الأدوات. حتى الأدوات العادية، لا يجوز التشغيل فيها إلا في حدودها القاطعة.



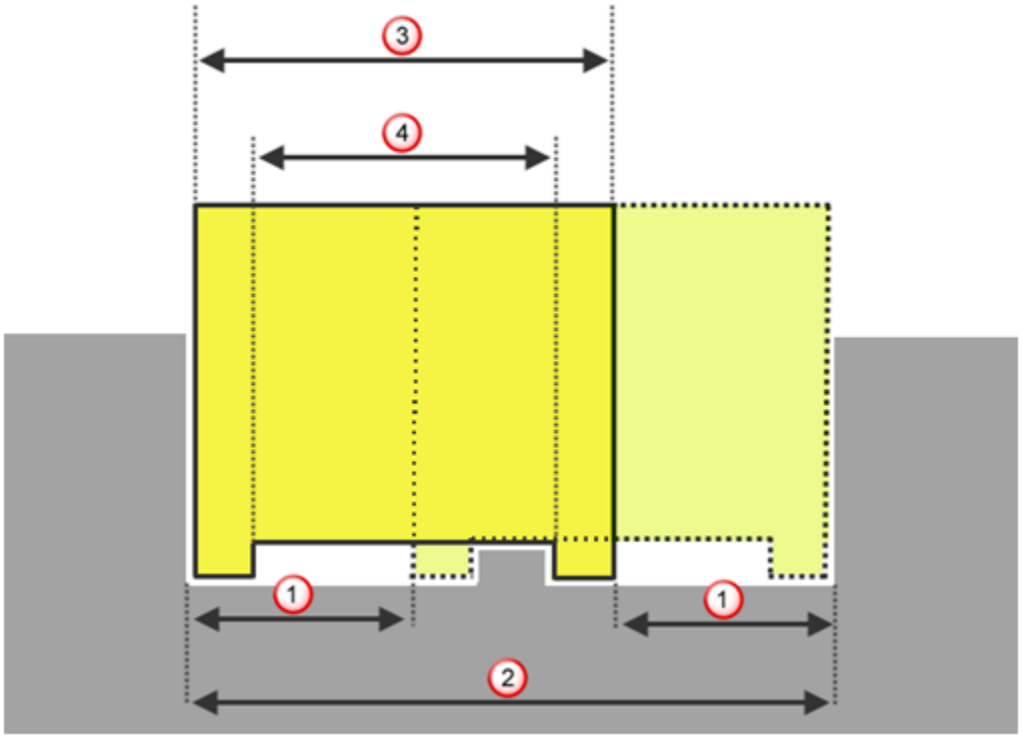
لا تتحمل الأدوات الحوامل التغذية الشاقولية. فإن لم يكن هناك سبيل للتغذية خارج الخامة نجعلها تتحرك بغرض الدخول بحركة مائلة Ramp. لهذا فإنها بحاجة إلى مسافة واسعة نسبيًّا لتتحرك فيها. كما أنها –باعتبار وجود لقم مربوطة بها– لا تتحمل أن تتحرك في مستوي العمل وقد حشرت خامة تحتها، ولقمها في الخامة؛ فهذا سيؤدي إلى تضررها، هي أو لقمها. لهذه

الأسباب نحذف الأجزاء من مسار التشغيل ذات الأطوال القصيرة نسبيًا، وذلك بتفعيل هذا الخيار. في الحالة العامة الطول غير الآمن هو 95% من قطر الأداة.

لهذا، نفعل هذا الخيار مع الأدوات الحوامل، بحيث تتجاهل الأدوات الأماكن المغلقة. وقد نفعّله مع الأدوات العادية، لكن هذا ليس شائعًا، ويكون لظروف تشغيلية خاصة، أو لظروف برمجية (كأن تمنع مسار التشغيل من دخول مناطق معينة، دون قفلها بسطوح أو تقييدها بأبعاد خامة أو بحدود تشغيل).

وبالحديث عن الأدوات الحوامل، حتى لو لم تكن هذه مناسبتها، ولكنها ذات صلة؛ أن سرعة الدخول في الخامة Plunge Feed Rate في الأدوات الحوامل أعلى من سرعة الدخول في غيرها من الأدوات. إن كانت لا تتجاوز 100 مم/د في غير الأدوات الحوامل فإنها تصل للمئات في الأدوات الحوامل. وإلا، ستسمع أصواتًا تظن أنه قد جاءها المخاض، وستلد ما تحمله من لقم! هذا عدا عن الأضرار التي قد تحدث، للأداة، وأحيانًا للمشغولة، إن لم تكن مربوطة جيدًا.

انظر:



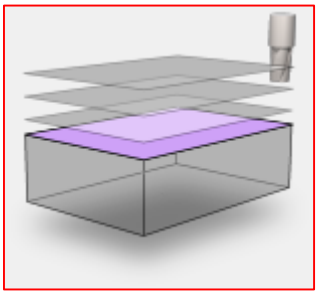
1. طول خط من المسار Segment Length
2. طول التجويف المراد تشغيله
3. قطر أداة القطع
4. قطع تجويف الأداة

كما ترى إن تحركت الأداة من أقصى التجويف إلى أقصاه فإنها ستترك داخلها أجزاءً من الخامة، نظريًا هذه الأجزاء غير موجودة، أي أن الباورميل يظن أن الأداة شغلتها؛ لأن الأدوات الحوامل في الباورميل

تعرّف على أنها أدوات تفريز عادية بحدود قاطعة ذات أنصاف أقطار. المهم: إن حركتَ الأداة الحامل وداخلها ما زال هناك خامة كما في الصورة فالعوض بسلامتك ☠.

الأعماق المتعددة Multiple Cuts

نحدد هنا أعلى نقطة من المسار وعمق القطع، وعدد الباصات. أشهر الإستراتيجيات التي تحوي هذه الصفحة: **Pattern Finishing** و**Wireframe Profile Machining** و**Profile Finishing**.



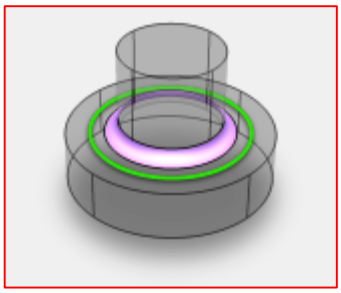
في الحالة العامة نجعلها بالنمط Mode = Offset Down. ثم نحدد الإعدادات التي نريد.

أما أدنى نقطة من المسار فإننا نحددها في الصفحة الرئيسية للإستراتيجية.

إعدادات هذه الصفحة غير متاحة إلا إن عرّفت أدنى نقطة في المسار بالنمط Drive Curve.

المسارات المرجعية Reference Toolpaths

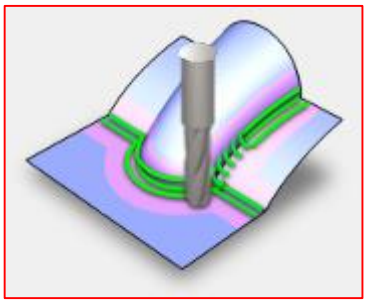
نعتمد في كثير من الأحيان على سلسلة من مسارات التشغيل لإنجاز عملية التشغيل. وقد يكون هذا في برامج الهد، وقد يكون في بعض برامج الإنهاء، كبرامج إنهاء الزوايا.



إن كانت الإستراتيجية تدعم الأدوات المرجعية والمسارات المرجعية فالأولى اعتماد الأدوات المرجعية؛ فالحسابات في حالة الأدوات تكون في الحالة المثالية، لأن أثرها يؤخذ بعين الاعتبار، وهذه معلومات هندسية (متعلقة بشكل مقطع الأداة وأبعادها)، بينما في حالة المسارات تكون بحسب ما حُسب المسار عليه، وهذا يدخل فيه عوامل عديدة منها دقة المسار المرجعي وخامته المتروكة وحدود تشغيله وما إلى ذلك. الفقرة التالية فيها كلام عن الأدوات المرجعية.

لكن إن كان ولا بد ستعتمد على مسارات مرجعية فاجعل دقة المسارين واحدة، قدر الإمكان.

الأدوات المرجعية Reference Tools

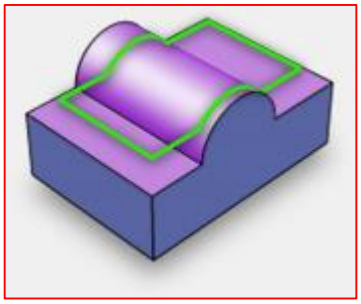


بعض برامج الإنهاء، كبرامج إنهاء الزوايا Corners، تعتمد على أدوات قطع أكبر من أدواتها لحساب المسارات. في الحالة العامة نضع الأداة المرجعية الحقيقية، أي ما كان قبل الأداة الحالية. لكن في كثير من الأحيان نضع أداة مرجعية وهمية، قد تكون أكبر أو أصغر من الأداة السابقة، ولكنها بالتأكيد أكبر من الأداة الحالية، وذلك تبعًا لسلاسة المسار المحسوب وجودته وأداءه.

تفادي التصادمات Gouge Avoidance

+ فحص مسار التشغيل Gouge Check

بعض مسارات التشغيل تعطيك إمكانية تجاهل سطوح الرسمة وعدم الاعتماد عليها عند حسابها، كالإستراتيجية **Pattern Finishing**. في هذه الحالة أنت المسؤول الأول والأخير عما سيحدث، والباورميل يخلي ذمته من الموضوع. إن فعّلت هذا الخيار ادرس المسار جيدًا، وتأكد منه من كل النواحي؛ أصلًا آلة التشغيل عمياء تنفذ ما تجده من أوامر، الآن الباورميل نفسه أعمى، وينفذ ما تطلبه منه دون أي تدخل منه. (مهم)



نقطة أخرى مهمة: عدم فحص المسار يؤدي إلى عدم التزامه بالخامة المتروكة؛ فهو لا يرى الرسمة.

الخامة المتروكة في أسطح بعينها Component Thickness

تكافئ الخامة المتروكة في الأسطح المحددة إضافة أسطح جديدة إلى المشغولة، إما برسمها ببرامج رسم واستيرادها، وإما بنسخ أسطح في الباورميل ولصقها بعد تحريكها للأعلى للخامة المتروكة محوريًا AxialThickness وتحريكها في مستوي العمل للخامة المتروكة قطريًا RadialThickness، أو قفل مناطق معينة بأسطح. الأمر مثل إزاحة الأسطح في برامج الرسم تمامًا. نفس الكلام ينطبق على الخامة المتروكة على مستوى المشروع كله، لكن وقتها من الصعب إزاحة الأسطح يدويًا برسمها أو تحريكها في الباورميل، أما مع أسطح معدودة فالأمر سهل. لكن طبعًا الطريقة الصحيحة عن طريق الأمر Component Thickness، ولكن ذكرنا ما يكافئها للعلم بالشيء فقط. [1] والمميز فيها أنها مجموعات، صحيح أنها معدودة، ولكنها ليست قليلة.

الأكثر من ذلك: لك أن تترك خامة في أسطح تحددها في مسارات التشغيل وفي حدود التشغيل. كما يمكنك ضبط خامة متروكة ابتدائية في أسطح تحددها، ليعتمدها ما ستنشئه من مسارات تشغيل أو حدود تشغيل.

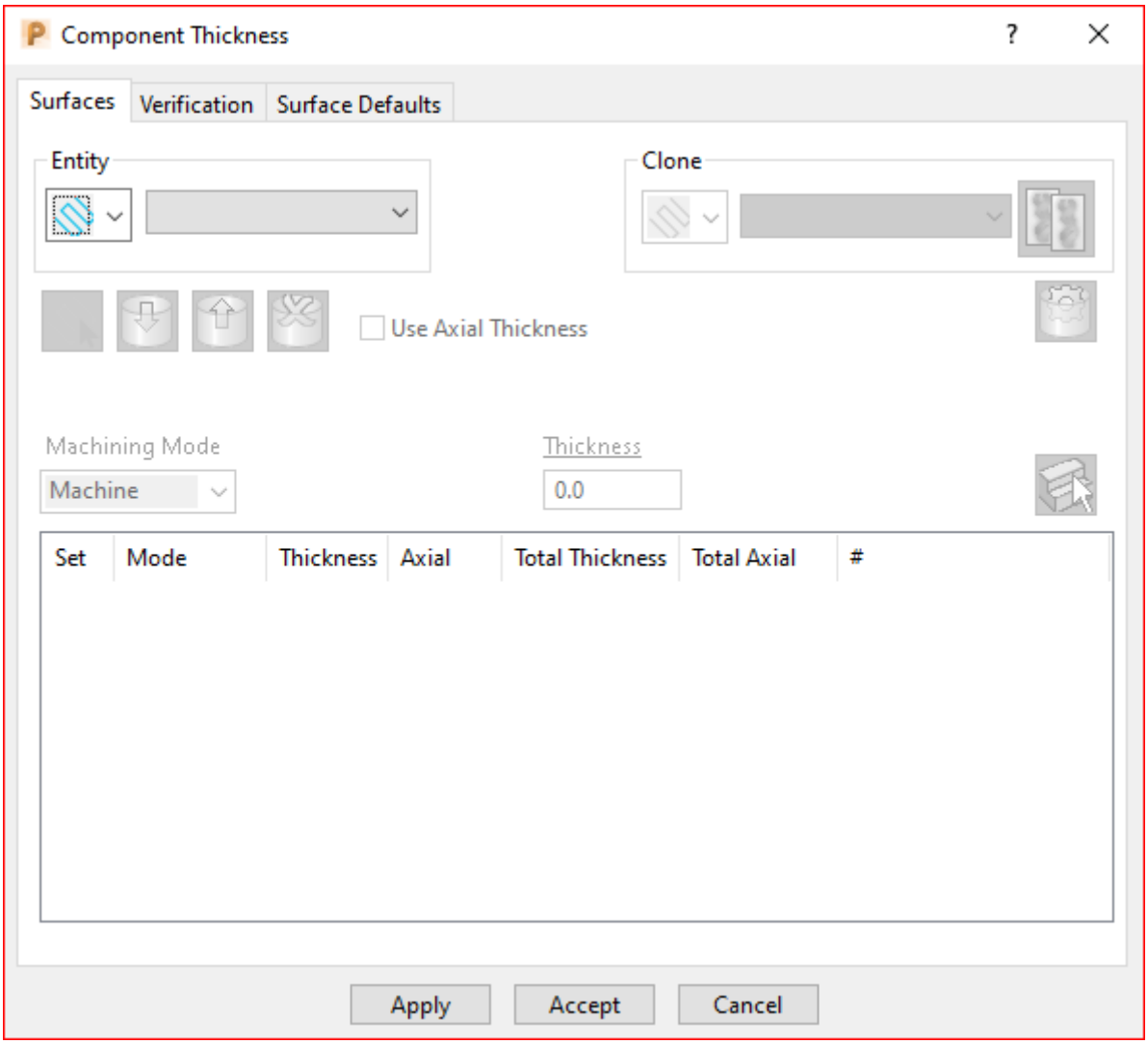
تقسم نافذة الخامة المتروكة في السطوح إلى أربع مناطق:

- الكائن المراد ترك خامة فيه Entity،
- والكائن المراد نسخ إعدادات الخامة المتروكة منه Clone،
- ومجموعة من الأزرار لاختيار الأسطح أو إلغاء اختيارها،
- وقائمة بالخامات المتروكة في الكائن المختار.

أما الكائن فيقابل الكائن الفعال، مسار تشغيل كان أو حدود تشغيل. تغيير الكائن هنا يفعله، وبالمقابل تفعيله في المستعرض يغيره هنا. وأما النسخ فلا يفعل كائنًا، ولكنه، إن ضغط على زر النسخ يترك

[1] مشكلة إنشاء أسطح وتحريكها، أو استيراد أسطح مزاحة، أنه عليك أن تنشئها أو تستوردها في كل مرة تريد التعديل على مسار التشغيل، وتحذفها إن كانت ستعيق مجال عمل مسارات التشغيل الأخرى، واحتمال أن تنسى هذا كبير.

نفس الخامة المتروكة فيه، في الكائن الفعال. وعلى فكرة: يمكن نسخ إعدادات الخامة المتروكة من مسار تشغيل أو حدود تشغيل، إلى مسار تشغيل أو حدود تشغيل. كما أن هذا مما يجعل حدود التشغيل قابلة للحساب.



وأما مجموعة الإزرار فتعمل كما يلي:

الرمز	الوظيفة
	لإضافة الأسطح المحددة إلى مجموعة السطوح المختارة.
	لإزالة الأسطح المحددة من المجموعات المختارة.
	لإزالة كل السطوح من المجموعات المختارة.
	لنسخ الإعدادات الابتدائية، وهو موضوع الفقرة التالية (اقرأ الملاحظة الثانية).
	لتحديد سطوح المجموعات المختارة.

وأما قائمة المجموعات، فمن خلالها تضبط إعدادات الخامة المتروكة، على شكل مجموعات، ويضم إليها ما يراد ضمه من الأسطح.

حذف الرسومات أو إعادة استيرادها يؤدي إلى فقدان بيانات الخامة المتروكة. لذا، عليك إعادة تحديدها في كل مرة تستورد الرسمة سواءً حذفتها واستوردتها باعتبارها رسمة جديدة أو أعدت استيرادها باعتبارها نفس الرسمة.

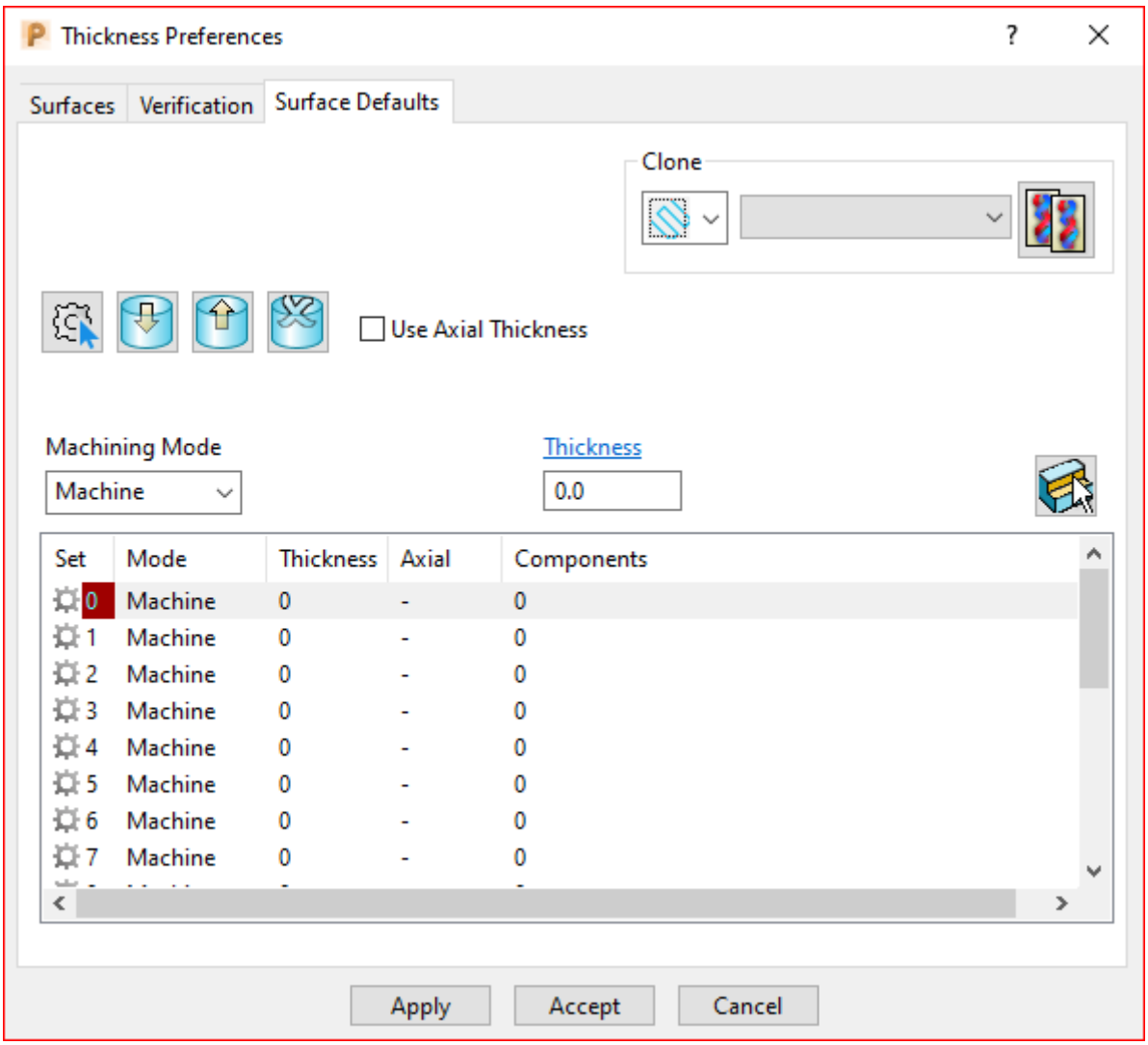
في الحالة العامة، عندما تنشئ مجموعة جديدة من بيانات الخامة المتروكة، فإنها تنسخ من الإعدادات الابتدائية تلقائيًا. ولكن إن عدلت على الإعدادات الابتدائية، أو أضفت إليها، بعد إنشاء هذه المجموعة، فإنها لن تأخذ التعديلات أو الإضافات، وعليك نسخها بهذا الزر.

عوّد نفسك على تفقد بيانات الخامة المتروكة في سطوح محددة بعد انتهاءك من كل مشروع، وقبل تخريج البرامج، خصوصًا في المشاريع التي تعيد حسابها. إن كان ثمة بيانات، لخامات متروكة، ولا أسطح محددة معها؛ هذا يعني أنك نسيت تحديد الأسطح. وبالعكس: إن كان ثمة بيانات لأسطح محددة، ولكن لا خامات متروكة معها؛ هذا يعني أنك إما نسيت ترك الخامات فيها أو عدلت رأيك ولم تترك خامة فيها لاحقًا، وعندها: لا معنى من المجموعة.

لاحظ أنه في الصورة الأخيرة لا كائن فعال، وبالتالي فأغلب النافذة معطل. عند تفعيل كائن، من المستعرض أو من هنا، تعرض بيانات الخامة المتروكة فيه.

الإعدادات الابتدائية Surface Defaults

إن أريد ترك خامة في سطوح معينة في كل المسارات والحدود الجديدة فإنها تضبط من هنا:



وكما ترى، لا تتعلق هذه النافذة بالكائنات الفعالة. أقصى ما في الموضوع أنها يمكن أن تنسَخ من كائن بعينه، لكنها لا تتعلق بأي كائن، لا فعال ولا غيره.

التشغيل المتبقي Rest Machining

لا يكون الهد بمسار واحد وبأداة واحدة في الحالة العامة، وإنما يكون على مراحل. نسمي مجموع المسارات التي تهد الخامة **سلسلة برامج الهد**. قد يكون في الشغل أكثر من سلسلة، ولكنها في الحالة العامة سلسلة واحدة. نسمي المسار الذي يعتمد على غيره مسارًا متبقيًا. ويمكن أن يعتمد المسار على مسار –نسميه المسار المرجعي Reference Toolpath– ويمكن أن يعتمد على **خامة افتراضية Stock Model**.

رؤية الكتلة الأسمك من قيمة معينة Detect Material Thicker Than

قد تترُك خامة في مسار تشغيل أقل مما تركته في المسار الذي سبقه، ولكنك تتفاجأ بأنه لم ير فرق الخامات المتروكة، فلم يشغلها. كأن تترك 0.2 مم في المسار الأول، و0.15 في المسار الذي يليه، فلا يرى المسار المتبقي الـ 0.05. ولكنك إن رفعت الدقة تجده يراها. هذه الخاصية هي المسؤولة عن هذا السلوك. تتبع هذه الخاصية دقة مسار التشغيل، والخامة المتروكة فيه، وتحسب تلقائيًّا –إن لم تغيرها– هكذا:

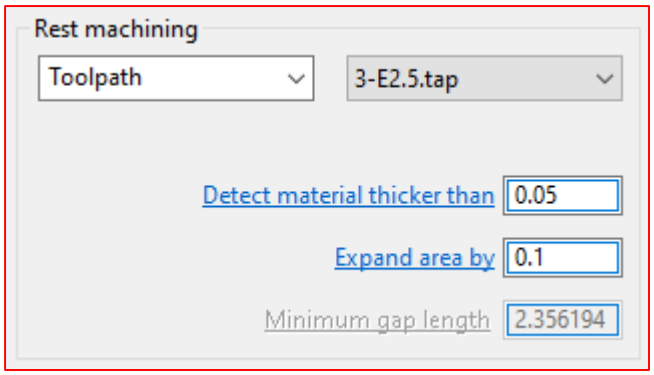
$$f(Tol, th) = \begin{cases} 2\mathrm{T}ol, & Tol \leq th/6 \\ 2Tol + 0.333\ (th - Tol), & Tol > th/6 \end{cases}$$

حيث

f	التابع الذي يحدد القيمة الحدية التي يمكن للمسار أن يرى خامة عندها.
Tol	الدقة Tolerance.
th	الخامة المتروكة.

وهي معادلة تجريبية. تؤثر هذه القيمة في ما يراه مسار التشغيل؛ فإن كانت الخامة التي تركها مسار التشغيل الأول عمدًا –باعتبارها خامة متروكة Thickness– أو قسرًا –باعتبارها تفاصيل لا يمكن لأداة القطع أن تصل إليها– أقل منها لن يراها مسار التشغيل.

فإن كانت الدقة –مثلًا– 0.1 مم، وكانت أقل أو تساوي سدس الخامة المتروكة؛ كانت هذه الخاصية 0.2 مم، حيث يمكن أن ينحرف مسار التشغيل عن المسار المثالي 0.1 في كل اتجاه. وفي ما يلي مثال كانت الدقة فيه 0.025 مم ولم تترك خامة:



هذا يعني أن مسار التشغيل الحالي لن يرى الخامة إلا إن كانت تزيد عن 0.05 مم. بمعنى: إن تركت في المسار الأول 0.1 مم، وفي المسار الثاني 0.05 أو يزيد؛ لن يراها المسار الثاني، إلا أن ترفع الدقة، وتتغير القيمة.

وفي ما يلي أمثلة عما سيراه مسار التشغيل –تلقائيًّا– تبعًا لدقته وما يتركه من خامة:

الدقة Tolerance	الخامة المتروكة Thickness	سيرى مسار التشغيل ما يزيد عن
0.1	0.1	0.200
0.1	0.2	0.200
0.1	0.3	0.200
0.1	0.6	0.200
0.1	0.7	0.233
0.1	1.0	0.333
0.1	10.0	3.333

هذا يعني إن كان مسار التشغيل الأول قد ترك 1.0 مم من الخامة، فإن مسار التشغيل المتبقي إن كانت دقته 0.1:

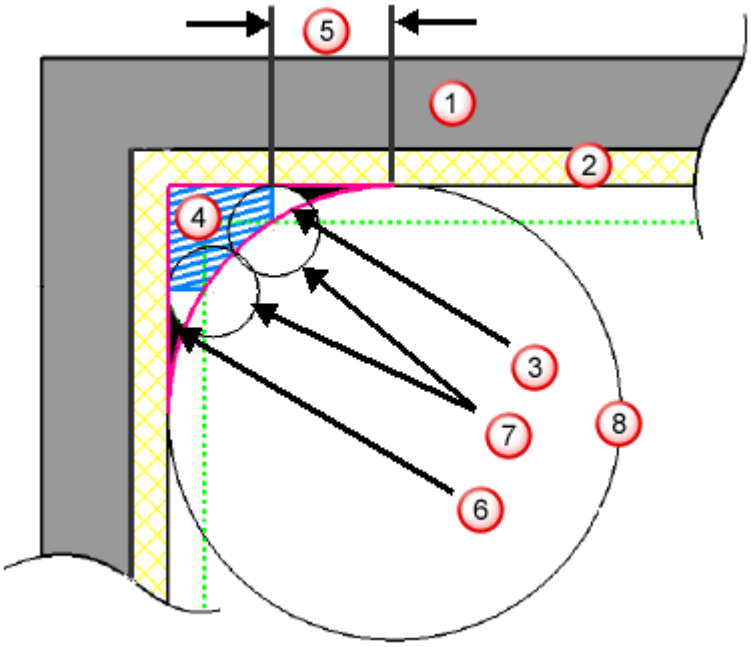
- إن ترك 1.0 فإنه لن يرى شيئًا بطبيعة الحال،
- وإن ترك 0.9 فإنه لن يرى شيئًا أيضًا؛ كون ما سيزيله (0.1) أقل مما يمكنه رؤيته (0.300)،
- وإن ترك 0.8 فإنه لن يرى شيئًا أيضًا؛ كون ما سيزيله (0.2) أقل مما يمكنه رؤيته (0.267)،
- وإن ترك 0.7 فإنه سيرى خامة يزيلها؛ كون ما سيزيله (0.3) أكثر مما يمكنه رؤيته (0.233)،
- وكذا: إن ترك أقل من 0.7 مم.

هذا بفرض أن المسارين يمكنهما الوصول لنفس التفاصيل.

فقرة الدقة في **فصل أشهر الإستراتيجيات** فيها توضيح أكثر.

تمديد المنطقة التي يراها المسار المتبقي Expand Area By

لنقل إن للمسار المرجعي والمسار المتبقي نفس الإعدادات، باختلاف أداة القطع. عندها كما ترى في الصورة المجاورة ثمة منطقة ميتة (المنطقة السوداء) لم يلحظها المسار المتبقي، ولضمان تشغيل هذه المنطقة فإننا نمدد المنطقة التي يراها (المنطقة المهشرة بالأزرق).



1. الرسمة
2. الخامة المتروكة
3. المنطقة المتبقية الفعلية
4. المنطقة التي رآها المسار المتبقي
5. المقدار الذي تحتاج تمديده لتشغيل كل المنطقة المتبقية
6. المنطقة التي لم يلحظها المسار المتبقي
7. أداة قطع المسار المتبقي
8. أداة قطع المسار المرجعي

إنشاء الأنماط Creating Patterns

قد لا تسعفك أي من إستراتيجيات التشغيل العادية، عندها لا سبيل أمامك إلا الأنماط. تستخدم الأنماط لرسم مسارات التشغيل الخاصة. يشيع استخدامها لرسم النقشات والزخرفات، وللكتابة. وعلى سيرة الكتابة فإن في الباورميل –بالإضافة لخطوط نظام التشغيل– خط مميز شائع الاستخدام بين صفوف المبرمجين، وكذلك رسامي الباورشيب، هو الخط Delcam Sans Serif.

وهنا نقطة مهمة: مسارات إستراتيجيات الأنماط في الحالة العامة ترسم بحيث يتحرك مركز أداة القطع على خطوط الأنماط. بعض الإستراتيجيات تأخذ قطر الأداة بعين الاعتبار فترسم خطوط المسار على يمين أو يسار خطوط الأنماط، ولكنها في الحالة العامة ترسم فوق الخطوط. هذا يعني أنه –في الحالة العامة أيضًا– أداة القطع ثانوية في رسم المسار هنا، وللمشغل أن يغير الأداة دون أن يعود للمبرمج. هذا إذا ما كانت خطوط الأنماط مسقطة على السطوح باعتبار أداة القطع والخامة المتروكة.

كحدود التشغيل تمامًا، الأنماط منحنيات بطبيعتها، وتقبل إضافة الكائنات الأخرى إليها. لك أن تقول أننا نستخدمها لإنشاء مسارات مخصصة User Defined Toolpaths، في الوقت الذي لا يوجد من الإستراتيجيات ما يدعم المسار المطلوب.

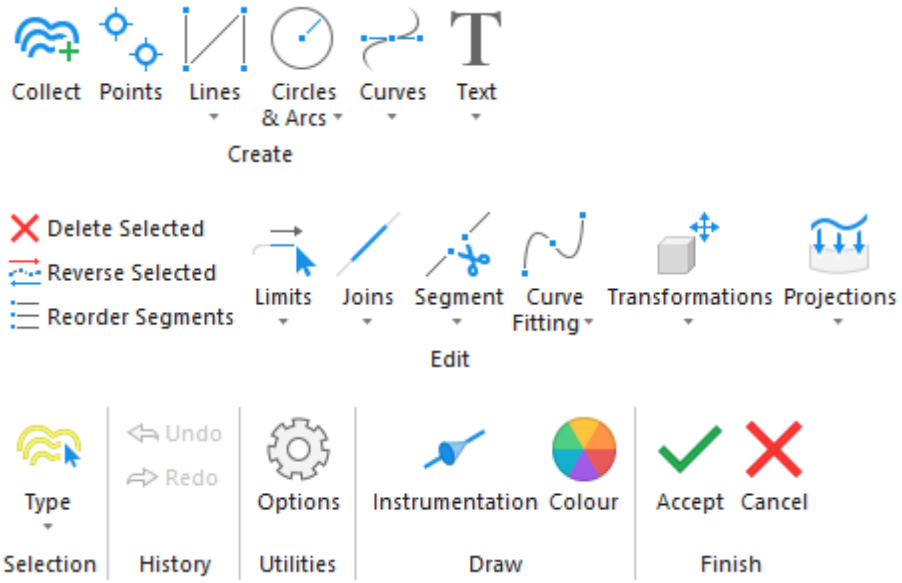
... كل ما قرأته في **فقرة حدود التشغيل** يسري على الأنماط. أردت وضع فقرة مشتركة شبيهة **بفقرة محرر المنحنيات** ولكني لم أرد أن أؤخر المحتوى عن **فقرة الحدود**، فوضعته هناك، فارجع إليه واقرأ الفقرات التي تشرح سلوك المنحنيات، وارجع إلى هنا بعدها، لتقرأ الفقرة التالية.

محرر المنحنيات Curve Editor

كل ما قرأته سابقًا في كفة، بميزان تظبيط الشغل، وما ستقرأه في هذه الفقرة في كفة أخرى. لا يكاد يخلو مسار من المنحنيات، إن كانت حدودًا أو أنماطًا، أو كليهما. تذكر **فقرة تظبيط الشغل**؟ هذا أنسب مكان تظبط شغلك فيه.

وعند الحديث عن محرر المنحنيات فإننا نفترض وجودها. صحيح أن فيه إمكانية لإنشاء الخطوط كما سنرى، ولكن الاستخدام الأساسي له في تحريرها.

ألق نظرة على أدوات هذا المحرر، حيث يحدث السحر:



لكل أداة قصة، لن نسردها كلها بطبيعة الحال، وإنما سنسلط الضوء على أهم ما تحتاج لتظبط شغلك، وأنت وإبداعك بقا.

طبيعة المنحنيات

كنت أنوي تخصيص فقرة للحديث عن المنحنيات، لكني وجدت أن أضع فقرة هنا تتحدث عن الأمر.

تختلف طبيعة المنحنيات بحسب نوعها إن كانت حدودًا أو أنماطًا. يمكن أن تكون الأنماط مفتوحة ويمكن أن تكون مغلقة. أما الحدود فلا يمكن أن تكون إلا مغلقة. ولها تصنيف آخر: قد تكون متقاطعة؛ فلا تصلح لتحد المسارات، وقد تكون متداخلة؛ فتقيد المسارات فيما بينها وفيما ليس بينها، وقد تكون غير متداخلة؛ فتقيد المسارات داخلها وخارجها.

جمع الخطوط Collecting Curves

أسرع طريقة لإضافة حواف الرسومات إلى المنحنيات هي بجمعها بالأمر Collect. يشبه أمر إضافة الرسومات إلى المنحنيات خارج المحرر، في وضع شبيه **بوضع التحديد بالسحب Drag Select**، لكنه ليس كذلك بطبيعة الحال، فلا يزال التحديد نافذًا.

عند اختيار الأمر يظهر صندوق حوار فيه خيار لقبول الاختيارات وآخر لرفضها:

النقاط Points

أبسط كائن رسومي هو النقطة. سواء كنت تتعامل مع نقطة قائمة بذاتها أو مع أطراف الخطوط فالتعامل واحد. في شريط الحالة أداتان للتحكم بالنقاط:

- **أداة تحديد الموقع Position** لتحديدها بدقة.
- **صندوق لإدخال الموقع** [1] لتحديد على الطاير، مطلقًا أو نسبيًا .

المنحنيات المعقدة Composite Curves

يجمع أمر جمع الخطوط خطوطًا مغلقة، باعتبارها حواف الرسومات، والحواف لا بد مغلقة. إن أردت جمع خطوط مفتوحة فعليك بالمنحنيات المعقدة. طبعًا إن كنت ترسم الحدود فلا بد من أن تغلقها قبل أن تخرج من المحرر، وإلا أغلقها الباورميل قسرًا، ويا صابت يا خابت [2]. أما إن كنت ترسم الأنماط فعلى راحتك إن شئت أغلقتها وإن شأتها تركتها مفتوحة. إليك مشغل الأغ ... أعني صندوق حوار إنشاء المنحنيات المعقدة:

يا مزاجك يا باورميل! ما علينا. المهم: المنحنيات المعقدة بحد ذاتها يمكن أن تكون مفتوحة، ولكن لا بد عند إنشاء خطوطها أن تكون متصلة. يمكن طبعًا إنشاء أكثر من خط مفتوح، ولكن الخط الواحد لا بد وأن يكون متصلًا. لإنشاء أكثر من خط بالأمر نفسه اضغط لتحفظ الخط الذي حددته وتبدأ بخط جديد.

[1] تكتب إحداثيات النقطة تفصلها فراغات. إن أردت أن تكتب (1, 0, 0) فاكتب 1 0 0، من اليسار إلى اليمين. هذا الكلام يسري على الإحداثيات المطلقة والإحداثيات النسبية. كتابة الإحداثيات المطلقة يكافئ إدخال موقعها الجديد، وكتابة الإحداثيات النسبية يكافئ نقلها.

[2] قد يحذفها إن لم يجد طريقة لإغلاقها!

تقليم الخطوط Limit Segments

نقلم الخطوط بطريقتين:

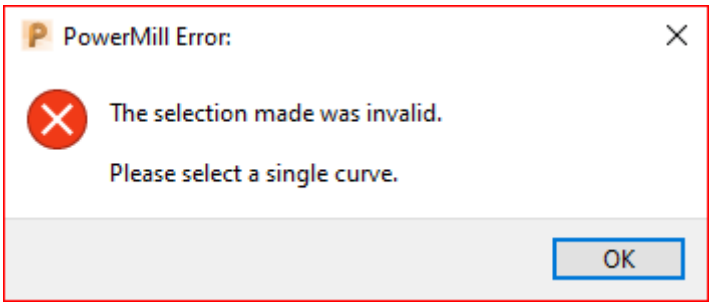
- بنقطة. وتكون على خط واحد.
- بتقاطع. وتكون على خطين متقاطعين.

التقليم Limiting أفضل من القطع Cutting في أحيان كثيرة. هو أشبه بالفصل Splitting، لكنه لا يكون إلا في الخطوط المحددة، ويؤدي إلى حذف الخطوط مباشرة. قطع الخطوط وفصلها مواضيع الفقرات القادمة.

قطع الخطوط Cut Segments

تقطع الخطوط كما تقلم بنقطة، ولكنها لا تحذف، تجزأ فقط.

ولا يجوز قطع أكثر من خط واحد، وإلا:



فصل الخطوط Split Segments

إن أردت قطع كل الخطوط وتجزأتها إلى خطوط بسيطة (خطوط مستقيمة وأقواس) بحيث لا يحوي الخط الواحد أكثر من نقطتين فافصلها.

دمج الخطوط Merge Segments

فإن أردت أن تجعل الخطوط المجزأة المتصلة ببعضها خطًا واحدًا فادمجها.

تعتبر الخطوط المجزأة خطوطًا مفتوحة، حتى لو بدت مغلقة بسبب اتصالها ببعضها. ولا يجوز أن تكون كذلك في الحدود. ولا يناسبك أن تكون كذلك في الأنماط في الحالة العامة. لهذا فإننا قبل أن نخرج من بيئة تحرير المنحنيات ندمج الخطوط مع بعضها.

للخطوط المجزأة اتجاهات مستقلة عن بعضها. فإن دمجت أصبح لها اتجاه واحد؛ فهي تعامل معاملة خط واحد.

وصل الخطوط Join Segments

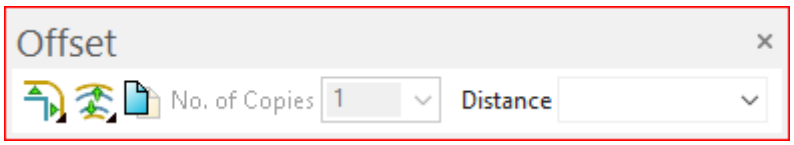
فإن فصل الخطوط فاصل ما أمكن دمجها؛ فلا بد من أن تكون متصلة. وصل الخطوط يحل الأزمة، وهو يكافئ رسم الخطوط بالمناسبة، باختلاف أنه يدمجها تلقائيًا.

التحريك Transform

معظم الكائنات القابلة للتحريك في الباورميل تحرَّك بالأدوات نفسها. سأحيل معظم أوامر التحريك إلى **فقرة التحريك** عند التحدث عن التعامل مع الكائنات؛ كونها أوامر مشتركة. سأكتفي بأمر الإزاحة باعتباره خاصًّا بالمنحنيات، وأمر التحجيم كونه يختلف عن التحجيم في الرسومات.

الإزاحة Offset

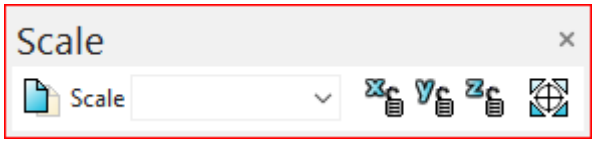
نحدد هنا مقدار الإزاحة، موجبة إن كانت للخارج وسالبة إن كانت للداخل. وما إذا أردنا تدوير الزوايا أو لا. وإن أردنا الحفاظ على الأصل (أي نسخها) أو عدم ذلك.



لا بدّ من وجود الخطوط كلها في ارتفاع واحد. إن لم تكن كذلك جعلها الباورميل بارتفاع واحد وأزاحها. في الحدود لا مشكلة مع هذا السلوك، إلا في أنك قد لا ترى أجزاءً منها لوجودها خلف الرسومات، ولضياع مصدرها فلا يعرَف أي الكائنات حدد عند إنشاءها. ولكن في الأنماط غالبًا ما تكون هذه مشكلة، عندها إما أزحها في مجموعات (بحسب ارتفاعها) أو انقلها بعد الإزاحة للارتفاع الذي تريد. إن أردت الحل الأول فإني أنصحك بتجزئة المنحني إلى أكثر من واحد بحسب ارتفاع الخطوط.

التحجيم Scale

هذه الأداة مع قلة استخدامها لكنها مهمة وتوفر الكثير من الوقت بل وتساهم في تظبيط الشغل. في الحالة العامة نستخدمها عند تكرار الشغل، أو تعديله. إن كان من الرسمة مقاسات، وتربطها علاقة تحجيم فإن كنت تعلم نسبة التحجيم عندها طبقها على المنحنيات بدل إنشائها من البداية، وذلك بشرط: **ألا تكون التفاصيل في الرسمة قد حركت بغير التحجيم**.



وهذا تفصيل ما في النافذة:

الرمز	الوظيفة
	استبدال الأصل Replace Original.
	الحفاظ على الأصل Keep Original.
Scale	نسبة التحجيم. السهم يفتح لك قائمة بالنسب التي استخدمتها مؤخرًا.
	التحجيم باتجاه X، X Scale Unlocked.
	عدم التحجيم باتجاه X، X Scale Locked.
	التحجيم باتجاه Y، Y Scale Unlocked.
	عدم التحجيم باتجاه Y، Y Scale Locked.
	التحجيم باتجاه Z، Z Scale Unlocked.
	عدم التحجيم باتجاه Z، Z Scale Locked.
	نقل مبدأ التحجيم Move Origin.

وهنا عندنا تفصيل مهم:

- في الحالة العامة ننقل مبدأ التحجيم؛ فهو نقطة معلومة غالبًا ما تكون جملة الإحداثيات العالمية Global Workplane؛ هي مشتركة بين البرامج الهندسية.[1]
- قد لا تكون محاور الإحداثيات المستخدمة عند إنشاء المنحنيات أو عند حساب المسارات التي تستخدم المنحنيات هي نفسها المحاور التي طبق التحجيم باتجاهها في برنامج الرسم. عندها لا بد من تفعيل جملة الإحداثيات التي محاورها بنفس اتجاه محاور برنامج الرسم. في الحالة العامة هي الجملة العالمية. (ولكنها قد لا تكون كذلك، ارجع للرسام أو المصمم في هذه النقطة).
- قد تكون بعض أجزاء المنحنيات قابلة للتحجيم وبعضها ليس كذلك، إما لأنها حركت في برنامج الرسم أو عدلت، وذلك بعد تحجيمها. قد تكون الأجزاء غير القابلة للتحجيم منسوخة بالتناظر، وقد تكون منقولة. في هاتين الحالتين انظر **فقرة تحريك الكائنات**، فيها تفصيل عن النقل والنسخ والنسخ بالتناظر.

... بالمناسبة: أدوات التحريك هي هي في الباورميل والباورشيب، مع تفصيل أكبر في الباورشيب.

[1] لا بدّ هنا من التحجيم في برنامج الرسم بالنسبة لنقطة المبدأ، أي Scale about origin. في **برنامج SolidWorks** مثلًا هذا ليس الخيار الافتراضي، وعليك أن تضبطه في كل مرة تحجم الأشياء فيه، أو على الأقل في أول مرة. (مهم)

إسقاط المنحنيات على الرسومات Drop Curves

أردت بصراحة –لنوايا درامية– الترجمة الحرفية هنا: فأقول: إفلات المنحنيات، وإفراد المنحنيات (الفقرة التالية). قد يكون الإفلات دقيقًا هنا، لكن الإفراد ليس كذلك، ولا بأي لغة، ولا حتى بلغة الإشارة.

لا تدعم الحدود الإسقاط على المنحنيات، لسبب لا أحد يعرفه. فإن أردت ذلك انسخ الحدود إلى نمط، ثم أسقطه على الرسومات، ثم انسخه مرة أخرى إلى الحدود بعد مسحها أو مسح الأجزاء التي نسختها لتسقطها 🤡.

ولكن هنا نقطة مهمة: **مبدأ الإسقاط على الرسومات هو رسم أثر أداة القطع باعتبار شروط التشغيل**، أي عند الإسقاط على الرسومات جهز ما يلي:

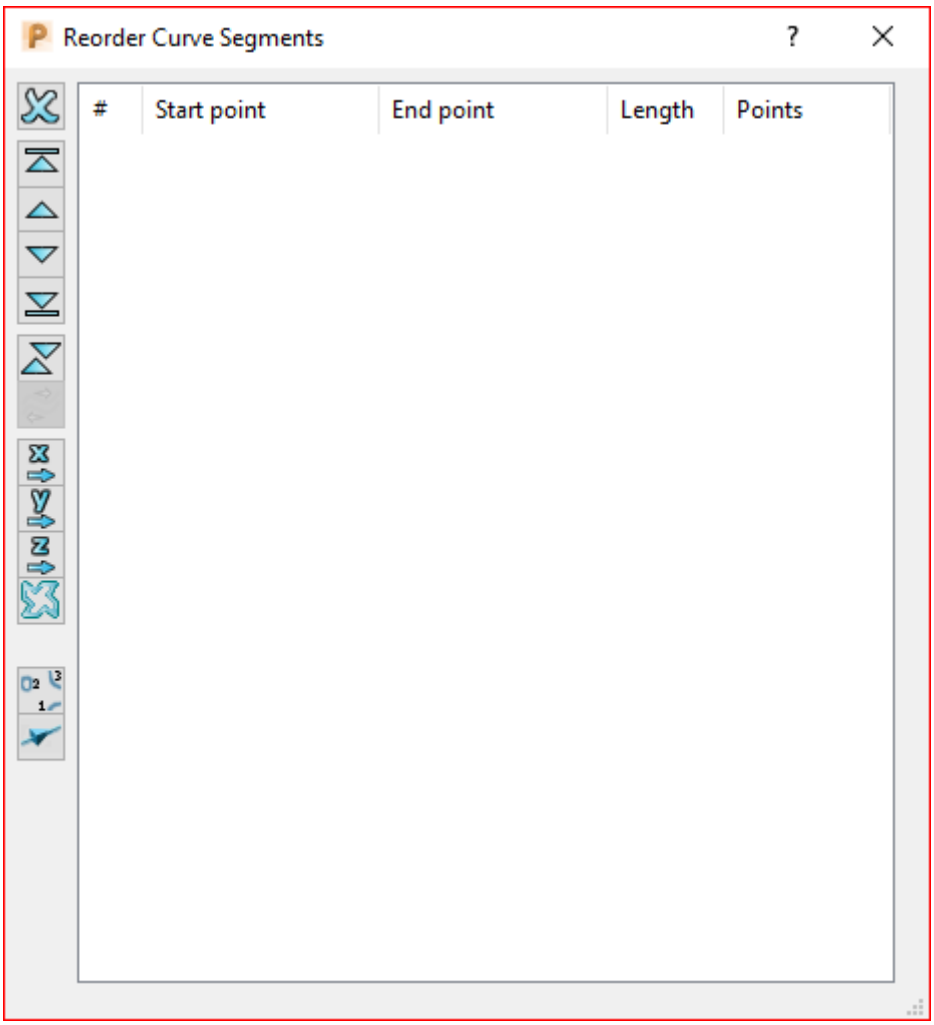
- أداة القطع (نوعها، وقطرها، ونصف قطر دوران حدها القاطع)
- الدقة
- الخامة المتروكة (نقطة مهمة يغفل عنها الكثير)

إسقاط المنحنيات على مستوي العمل Flatten Curves

فإن أردت إسقاطها على مستوي العمل (الارتفاع الصفري، z = 0) فأسقطها بالأمر Flatten. هذا الأمر يسري على الحدود وعلى الأنماط.

ترتيب خطوط المنحنيات Reorder Curve Segments

تتشابه المنحنيات والمسارات في كونها مكونة من خطوط Segments، ويختلفون في طبيعة الخطوط، أو بكلام أدق: في معنى الخطوط. الخطوط –كانت مسارات أو منحنيات– تكوّنها نقاط. وقد وضعوا صندوق حوار لتحريرها، لأجل ترتيبها أو حذف أجزاء منها. كذلك صندوق حوار ترتيب خطوط المنحنيات يتشابه مع ما يقابله في ترتيب خطوط المسارات في طريقة العرض وبعض أدوات الترتيب، ويختلف عنه في بعضها، وذلك بسبب اختلاف الطبيعتان، أو اختلاف المعنيان كما أشرنا.



لا تأثير لترتيب الخطوط في الحدود، ولكن له تأثير جوهري في الأنماط. وقد تأتي إلى هذه النافذة مع كل نمط جديد تنشئه أو مع كل خطوط تضيفها إليه.

وهذا موجز ما في النافذة:

الرمز	المعنى
#	رقم الخط. أي تعديل على المنحني بتغيير ترتيب خطوطه أو حذف بعضها يؤدي إلى تغيير أرقام الخطوط تلقائيًا (لهذا لا يمكنك الاعتماد عليه برمجيًا لتعريف الخطوط؛ فهو مؤقت).
Start Point	نقطة بداية الخط.
End Point	نقطة نهاية الخط.
Length	طول الخط.
Points	عدد نقاط الخط.
	حذف الخطوط المحددة Delete Selected.
	نقل إلى البداية Move to Start.
	نقل خطوة للأعلى Move Up.
	نقل خطوة للأسفل Move Down.
	نقل للنهاية Move to End.
	عكس الترتيب Reverse Order. يجعل أول الخطوط آخرها.
	عكس الاتجاه Reverse Direction. يجعل أول النقاط آخرها.
	ترتيب الخطوط باتجاه X، Sort In X.
	ترتيب الخطوط باتجاه Y، Sort In Y.
	ترتيب الخطوط باتجاه Z، Sort In Z.
	ترتيب الخطوط بأقصر طريق بينها Shortest Path.
	عرض أرقام الخطوط في نافذة الرسومات Number Segments.
	عرض اتجاه الخطوط في نافذة الرسومات Instrumentation.

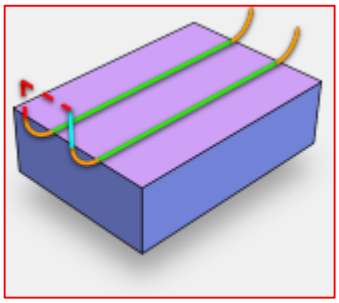
وهذه بيننا : مطور الباورميل كان حلمه أن يعمل في شركة صوتيات، لكن انتهى به المطاف في شركة هندسية.

تدعم المنحنيات ترتيب أجزاء منها دون غيرها، وذلك بتحديدها وتطبيق الترتيب عليها وحدها.

الوصلات Connections

عندما تنتقل أداة القطع في مسار التشغيل من خط لآخر فإنها تنتقل بنقلة Link، قد تكون مباشرة وقد تكون غير مباشرة، وهي كلها سبع:

- النقلات غير المباشرة، ونسميها أيضًا النقلات البعيدة، ونسميها أيضًا نقلات الحركة السريعة:
  - في مستوي الأمان Safe
  - في مستوي الأمان، تزايديًا Incremental
  - في مستو نسبي Skim
- النقلات المباشرة، ونسميها أيضًا النقلات القريبة:
  - نقلة منحنية On Surface
  - نقلة خطوية Stepdown
  - نقلة مباشرة Straight
  - نقلة بقوس Circular Arc



وعندما تدخل الأداة في خطوط المسار فإنها تدخل ببداية Lead In، وتخرج منها بنهاية Lead Out. نسمي نقلة الأداة وهي خارجة من الخطوط بنقلة غير مباشرة: انسحابًا Retracting.

قديمًا كانت تسمى النقلات: نقلات قصيرة ونقلات طويلة Short \ Long Links. في النسخ الحديثة من الباورميل أصبحت النقلات: نقلات أولى، ونقلات ثانية، ونقلات ابتدائية.

في الحالة العامة يحاول الباورميل سلوك النقلات الأولى (التي كانت تسمى قصيرة)، فإن لم يستطع فإنه يسلك النقلات الثانية (هي نقلات قصيرة بالمفهوم القديم، لكن ما كان لها وجود وقتها، ما كان غير النقلات الأولى). فإن لم يستطع سلوك أي من النقلات الأولى أو الثانية فإنه يسلك النقلات الابتدائية. هذا إن كان خيار فحص النقلات Gouge Check مفعلًا. فإن لم يكن كذلك فإن النقلة الأولى تسلك إن كانت شروطها محققة؛ فما كان يرفضها هو فحص الوصلات.

تقبل النقلات القصيرة (الأولى والثانية) كل النقلات (القريبة والبعيدة). ولا تقبل النقلات الابتدائية إلا النقلات البعيدة (نقلات الحركة السريعة).

لا تقبل كل الإستراتيجيات كل النقلات، حتى لو ضبطتها عليها. إستراتيجيات الهد مثلًا لا تقبل النقلتين On Surface وStepdown. إستراتيجيات التثقيب لا تقبل غير نقلات الحركة السريعة.

نقلات الأمان Safe Links

إن تحركت أداة القطع حركة سريعة فإنها إما تتحرك في مستوي الأمان Safe Plane وإما تتحرك في مستو نسبي Skim Plane. ذكرنا تعريف منطقة الأمان في فقرة سابقة. ارجع إليها ثم عد إلى هنا لتربط الأفكار ببعضها.

المهم: إن تحركت في مستوي الأمان فإن حركتها نسميها نقلة أمان Safe Link. وفي هذه النقلات ترتفع الأداة إلى مستوي الأمان أولًا، وهو المستوي z = 10، أي لا تتحرك في مستوي العمل، وإنما في الاتجاه z فقط، بسرعة الحركة السريعة في الآلة G00. ثم تنتقل إلى النقطة التي تريد. ثم تنزل إلى مستوي الدخول، فتأخذ سرعة الدخول، إلى أن تصل إلى خطوط المسار، فتأخذ سرعة القطع.

هذه هي النقلة الابتدائية في الباورميل. كل النقلات في مستوي الأمان. ومع هذا فإننا لا نتركها هكذا في الحالة العامة ففيها يكون الدخول في المسار في كل نقلة، وإنما إن أردناها بمستوي الأمان جعلناها تزايدية، وهي النقلة التالية.

في الحالة العامة تنتقل أداة القطع من وإلى مستوي الأمان شاقوليًا. أي تتحرك في الاتجاه z فقط. ولكن يمكن جعلها تتحرك بقوس إن فعّل الخيار Arc Fit Rapid Move. أي تتحرك بالاتجاهات الثلاثة. هذا الخيار أفضل لآلة التشغيل على المدى البعيد، فهو يقلل من تأثير تغير الاتجاه المفاجئ الذي يحصل عند عدم تفعيله.

النقلات التزايدية Incremental Links

مشكلة نقلات الأمان أنها تأخذ سرعة الدخول في مستوي الدخول دائمًا. قد لا تكون هذه مشكلة كبيرة إن كانت خطوط مسار التشغيل تبدأ كلها من نقطة قريبة من مستوي الدخول، ولكنها كذلك إن كان في المسار خطوط بعيدة عن مستوي الدخول.

في الحالة العامة دخلة الأمان مفيدة لينظر المشغل في حركة أداة القطع إن كان طريقها سالكًا أو ليس كذلك. لكنه لا يحتاجها إلا في بداية البرنامج، هذا إن احتاجها أصلًا (عندنا خيار لجعل كل دخلات المسار تزايدية كما تقدم **في فقرة الدخول التزايدي**).

النقلات التزايدية تحل هذه المشكلة. هي نقلات أمان ولكن بدخلة تزايدية. نقلات تتحرك في مستوي الأمان، ولكن عند الدخول في المسار فإنها تأخذ سرعة الدخول قبل بداية الخطوط بمسافة يحددها ارتفاع الدخول Plunge Height. **فقرة ارتفاعات الأمان** فيها تفصيل هذا.

النقلات النسبية Skim Links

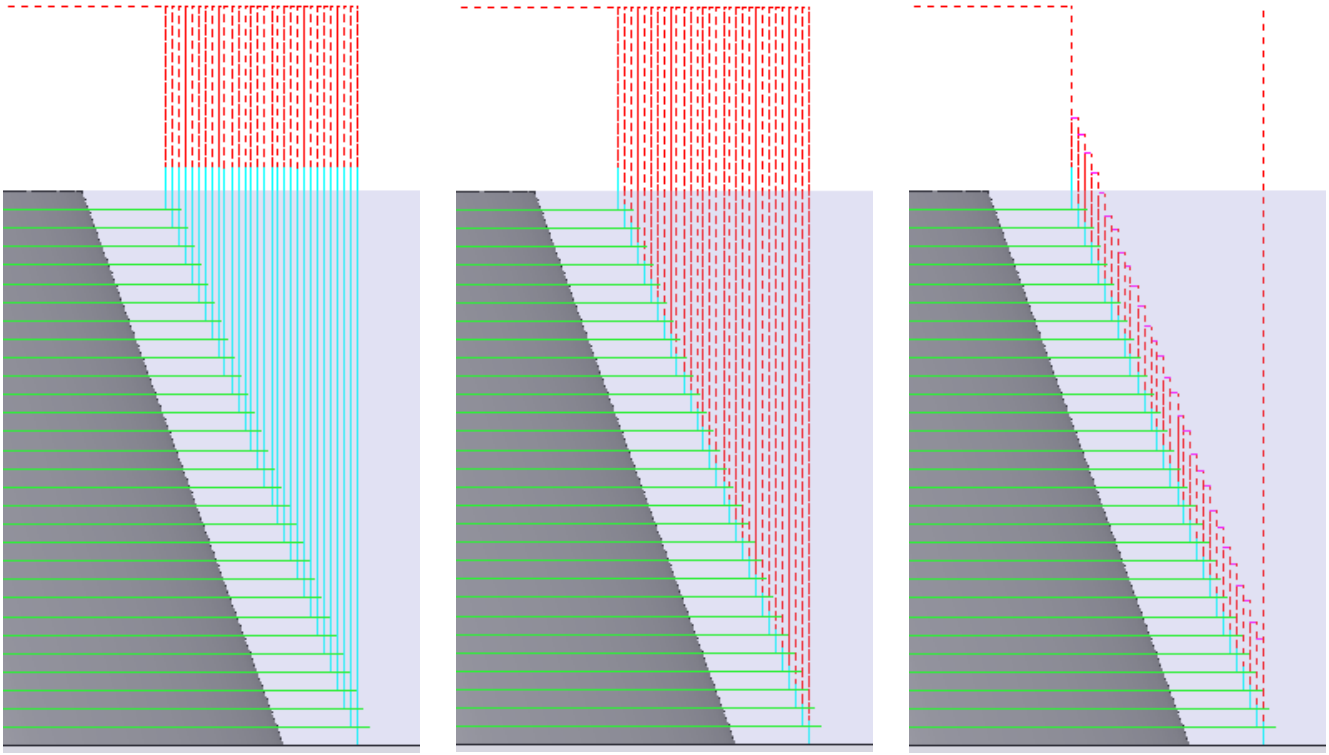
الانتقال إلى مستوي الأمان عند كل نقلة بعيدة لا جدوى منه دائمًا، خصوصًا إن كان ثمة تفاصيل عميقة في المشغولة. بل على العكس يكون في المسار هدر كبير للوقت. لهذا فإننا في الحالة العامة ننتقل بنقلات نسبية.

تعتبر هذه النقلة النقلة الابتدائية في الحركة السريعة في البرنامج. تتميز هذه النقلة عن غيرها من نقلات الحركة السريعة في أن سرعتها تضبط في مسار التشغيل، وبالتحديد هي Rapid Feed (سنتناولها في **فقرة السرعات والتغذيات**). أي أنها ليست G00 في برنامج التشغيل، مع أنها حركة سريعة. لك أن تقول إنها حركة سريعة مبرمجة.

تتميز أيضًا في أنها تأخذ خلوصًا قطريًا وآخر محوريًا؛ كونها تحسب بالنسبة لسطوح الرسمة، لهذا نسميها نقلات نسبية.

وهنا نقطة مهمة: كونها تحسب بالنسبة للرسمة فإن إلغاء فحص النقلات يفقدها نسبيتها. صحيح أن المسار سينتقل بها، ولكنها لن تكون مرتبطة بالرسم، وإنما بارتفاع الدخول فقط. أي أنها ستكون بارتفاع الدخول في كل خط من خطوط المسار.

لهذا: **لا تجعل نقلات المسارات التي تلغي فحص النقلات فيها نسبية**. أكرر: **لا تجعل نقلات المسارات التي تلغي فحص النقلات فيها نسبية**. (مهم)

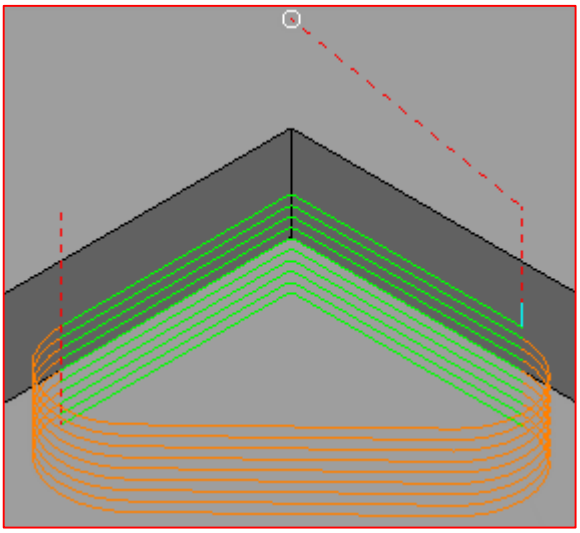


نقلة أمان Safe Link | نقلة تزايدية Incremental Link | نقلة نسبية Skim Link

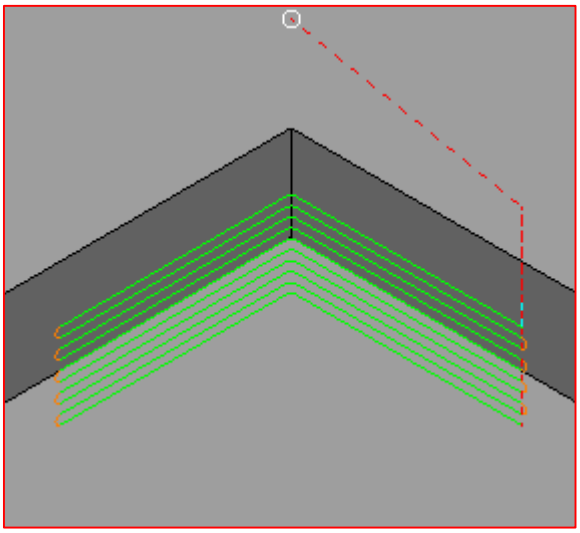
نقلات الأقواس Circular Arc Links

أشهر –وأسلس– نقلة قصيرة هي نقلة القوس. هنا يرسم الباورميل خطًّا منحنيا مماسًا لخطي المسار اللذين ينتقل بينهما، بحيث لا يحدث تغير مفاجئ في الاتجاه.

مفيدة هذه النقلة في أحيان كثيرة. ومن أكثر حالاتها استخدامًا: التشغيل المعاكس. ولا ينصح بها إن كان التشغيل بأي اتجاه؛ لأن أداة القطع ستتحرك بالاتجاه z بسرعة القطع، وعامة أدوات التفريز غير مصممة على التغذية في الاتجاه المحوري. أما إن كانت الحركة في المستوي XY فلا بأس بها.



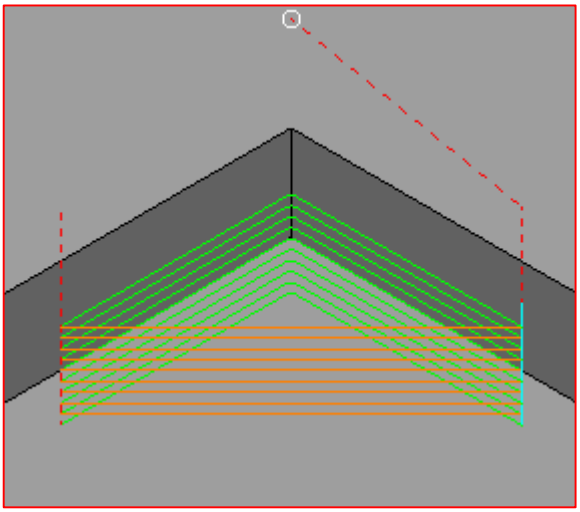
نقلة قوس في تشغيل معاكس



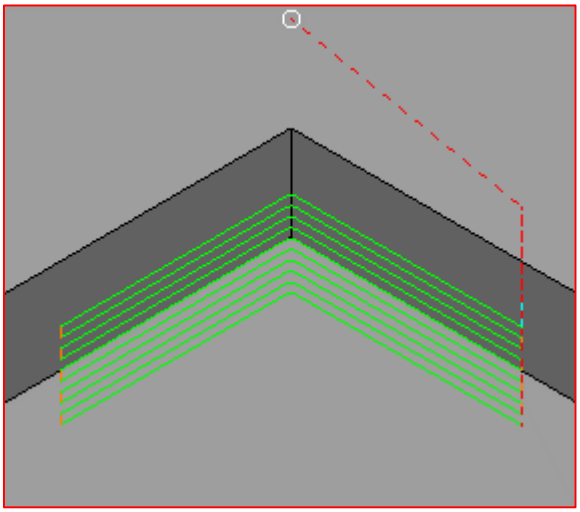
نقلة قوس في تشغيل بأي اتجاه (غير آمنة)

النقلات المباشرة Straight Links

إن أردت لأداة القطع أن تنتقل مباشرة من خط لآخر فاجعل نقلتها مباشرة. في الحالة العامة لا ينصح بهذه النقلة؛ فهي تؤدي إلى تغير مفاجئ في الاتجاه، وهذا ضار على الآلة على المدى البعيد. هي مفيدة في بعض الإستراتيجيات، كإستراتيجيات مسح الأرضية.



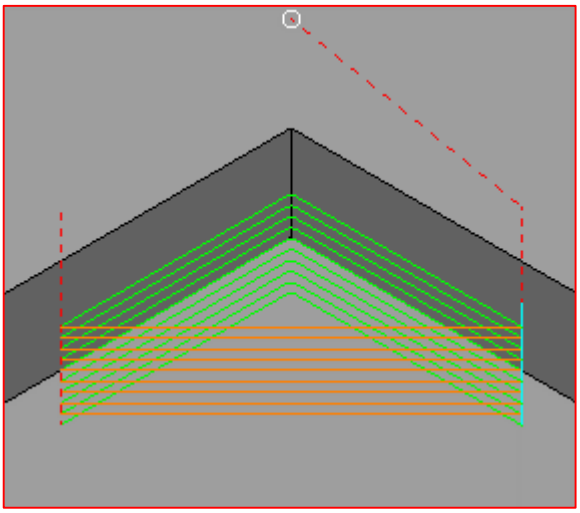
نقلة مباشرة في تشغيل معاكس

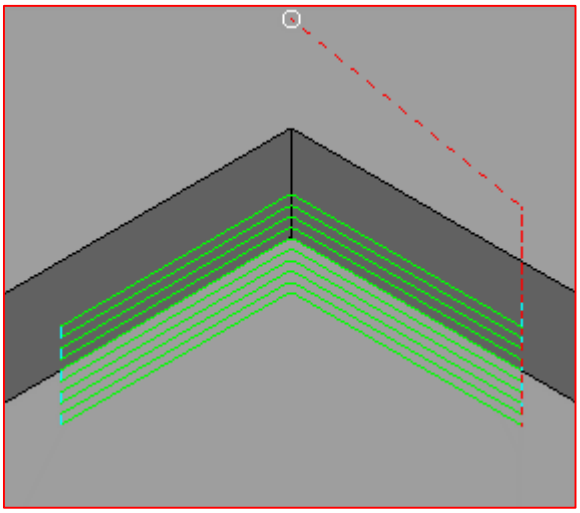


نقلة مباشرة في تشغيل بأي اتجاه (غير آمنة)

النقلات الخطوية Stepdown Links

فإن كانت أداة القطع تنتقل من خط لآخر شاقوليًا (**كالإستراتيجية Constant Z Finishing**، **والإستراتيجية Pattern Finishing**) فإن أنسب نقلة هي النقلة الخطوية. وما يميزها عن غيرها من النقلات أن أداة القطع تتحرك فيها بسرعة الدخول لا سرعة القطع.


نقلة خطوية في تشغيل معاكس


نقلة خطوية في تشغيل بأي اتجاه (ممتازة 👌)

النقلات المنحنية On Surface Links

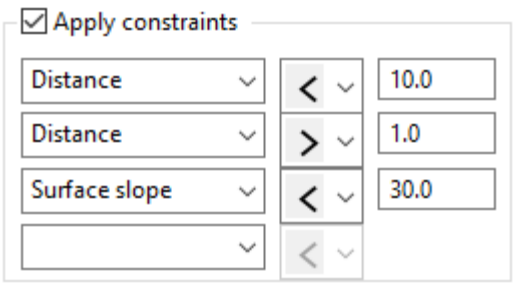
أشهر نقلة مستخدمة في إستراتيجيات الإنهاء هي النقلة المنحنية؛ حيث يرسم الباورميل خطًا منحنيا هو مسقط أداة القطع على السطوح المشغلة على طول النقلة، مع الأخذ بعين الاعتبار ما تتركه من خامة كلية وما تتركه من خامة في أسطح بعينها.

إن كانت الخطوط بعيدة عن بعضها بحيث لا يصلح أن ترسم النقلة على سطح رسمت كالنقلات المباشرة.

لا ينصح بهذه النقلة إن كانت ستؤدي إلى ترك أثر على سطوح المشغولة، سواءً أكانت سطوح منتج أو سطوح فصل في القوالب.

تقييد النقلات بشروط Apply Constraints

كانت النقلات قديمًا مقيدة بشرط واحد: Short / Long Threshold، قيمة حدية تفصل بين النقلات الطويلة والنقلات القصيرة. الآن النقلات كما قدمنا نقلات أولى ونقلات ثانية؛ وذلك لأنه قد تُضبط النقلتين الأولى والثانية ويقصد بها نقلات قصيرة، مع فرق الشروط.



المهم: الآن النقلات مقيدة بشروط أكثر، ولكل نقلة شروطها. وكما ترى في الصورة المجاورة لك ألا تقيدها بأي شرط، إن لم تفعل الخيار Apply Constraints. ولك أن تقيدها بأربعة شروط على الأكثر، إن فعّلته. فإن قيدت النقلة بشروط فإنها لا تقبل إلا إن كانت كل شروطها محققة. هذا: والشروط مقيدة بقيدين: أكبر تمامًا < ، وأصغر تمامًا > .

ينظر الباورميل في شروط النقلة الأولى، إن كانت محققة كلها قبلها، وإلا ينظر في شروط النقلة الثانية، إن كانت محققة كلها قبلها، وإلا فإنه يعتمد النقلة الابتدائية، والتي هي نقلة حركة سريعة حصرًا.

هذا كله إن كانت النقلات مفحوصة، أي كان الخيار Gouge Check مفعلًا. إن لم يكن كذلك فإن الباورميل يعتمد النقلة الأولى إن تحققت شروطها؛ إذ ما كان يرفض النقلة دواعي الأمان التي يحددها فحص النقلات، كما قدمنا.

- إن كنت تضبط الشروط من نافذة إعدادات المسار فإن لك أن تضبط شرطين فقط. لهذا فإن التعامل معها في نافذة النقلات أفضل. هذا فضلًا عن أن ضبطها في نافذة الإعدادات يكلّف إعادة حساب المسار، والذي قد يأخذ دقائق طويلة، خصوصًا في برامج الهد.
- لا يمكنك ضبط الشرط الثاني ما لم تضبط الشرط الأول، ولا يمكنك أن تضبط الشرط الثالث ما لم تضبط الشرط الثاني، وهكذا.

البدايات والنهايات Leads

في الحالة العامة تتحرك أداة القطع في خطوط مسار التشغيل مباشرة. لكن لغايات تشغيلية، وأحيانًا برمجية، تبدأ الخطوط وتنتهي بنقلات إضافية نسميها البدايات Leads In والنهايات Leads Out.

كثيرًا ما نجعل البدايات والنهايات واحدة، من حيث النوع ومن حيث المقدار. صحيح أنها ليست الحالة العامة، ولكنها تحدث في أحيان كثيرة. لهذا فإنهم خصصوا زرين لنسخ البدايات إلى النهايات، والعكس:

الرمز	الوظيفة
	لجعل النهايات كالبدايات
	لجعل البدايات كالنهايات

- تأكد من تفعيل خيار فحص الوصلات Gouge Check؛ فالبدايات والنهايات تمدد مسار التشغيل.
- إن كانت الوصلات مفحوصة لن تطبق البدايات ولا النهايات إن أدت إلى تصادمات.

البداية الأولى والنهاية الأخيرة Separate First \ Last Leads

وقد لا تحتاجها إلا في أول المسار أو آخره، أو قد تحتاجها مختلفة عن غيرها في أول المسار أو آخره. هذا الخيار لهذا الأمر.

الإضافات Extensions

باختصار: الإضافات ما هي إلا بدايات البدايات، ونهايات النهايات.

الحركة المائلة Ramp

عامة أدوات التفريز مصممة على التغذية القطرية (في المستوي XY)، وقد تكون مصممة على التغذية المائلة كذلك [1]، لكنها كلها لا تتحمل التغذية المحورية (في الاتجاه z).

المهم: إن أردت أن تتحرك الأداة حركة مائلة Ramp فاجعلها في البدايات. وقد تحتاج ذلك في النهايات. ولكن عامة احتياجاتنا التشغيلية في الأدوات التي تتطلب حركة مائلة في بداياتها تتطلب بدايات مائلة لا نهايات مائلة.

والحركة المائلة تعتبر دخولًا Plunging (تجدها بلون ريشي في نافذة الرسومات). صحيح أنهم في إحصائيات المسار يضعونها في بند مستقل، ولكنها تقنيًا تعتبر دخولًا في الخامة، حتى لو لم تدخل في الخامة في الواقع، ولكنها كذلك اصطلاحًا. وهذه بالمناسبة البداية والنهاية الوحيدة التي تعتبر كذلك.

بالمناسبة أيضًا: كون الحركة المائلة تتحرك قطريًا فإنها لا تتحمل الحركة بسرعة منخفضة كما نجعلها في حالة الدخول العادي. لهذا اجعلها كبيرة نسبيًا. في آخر الفصل فقرة فيها قيم تجريبية لظروف التشغيل ومنها سرعة الدخول في الخامة Plunging Feed Rate. كما ستجد في **فقرة السرعات والتغذيات** تفصيلًا عنها. بشكل عام هي نصف سرعة التغذية.

إن فعّلت الحركات المائلة ظهر زر يفتح نافذة ضبط إعداداتها:

الرمز	الوظيفة
	فتح صندوق حوار ضبط إعدادات الحركة المائلة Ramp.

الحركة الامتدادية Extended Move

أشهر البدايات والنهايات التي يستخدمها عامة المبرمجين الحركة بامتداد خطوط المسار. قد تستخدمها في البدايات فقط وقد تستخدمها في النهايات فقط وقد تستخدمها في البدايات والنهايات، وهذه أكثر الحالات شيوعًا.

ميزة الحركات الامتدادية أنها تتحرك مماسًا لخطوط المسار. إن أردتها باتجاه معين فاجعلها مستقيمة، وهو موضوع الفقرة القادمة.

[1] نقصد هنا أنها قي الفراغ XYZ. قد تكون حركتها فراغية تمامًا وقد تكون في مستوٍ عمودي على مستوي العمل؛ المهم أن تتحرك في الاتجاه z واتجاه آخر في نفس الوقت.

الحركة المستقيمة Straight Move

تشبه الحركات المستقيمة الحركات الامتدادية، وتختلف عنها في كونها مستقيمة موجهة بزاوية.

الحركة بقوس Arc Lead

وقد تحتاج أن تكون البداية أو النهاية قوسًا، عندها أمامك إحدى خمس حركات:

- قوس عمودي على السطح Normal Surface Arc
- قوس شاقولي Vertical Arc
- قوس أفقي Horizontal Arc
- قوس أفقي يمين Horizontal Arc Left
- قوس أفقي يسار Horizontal Arc Right

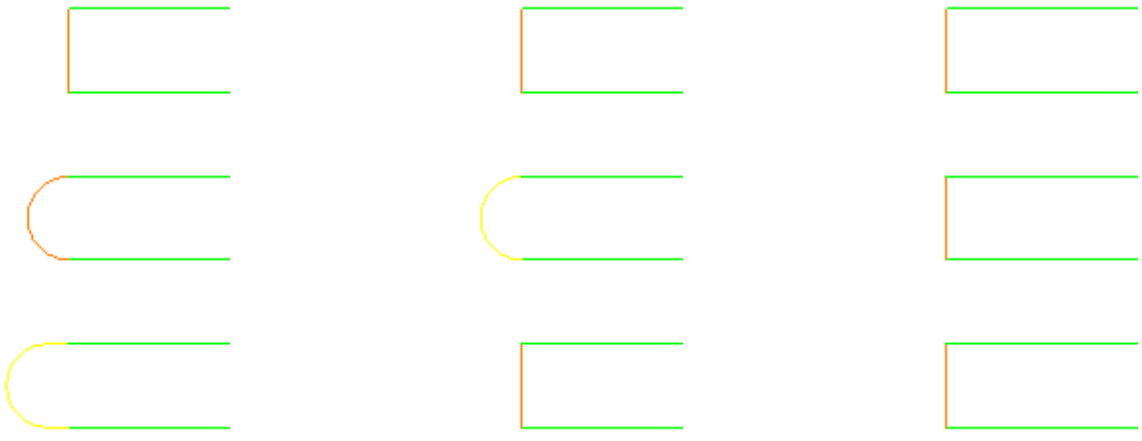
أكثرها استخدامًا: القوس الأفقي. يدخل فيها بطبيعة الحال الأقواس اليمينية والأقواس اليسارية. في الحالة العامة نجعلها أقواسًا تلقائية، فإن لم تنفع أو أدت لحركات لا نريدها نخصصها، يمينية أو يسارية.

الحركة نحو مركز التفريز Pocket Center

يمكن اعتبار هذه الحركة من الحركات القوسية، كون خطوطها ترسم أقواسًا. ولكنها تختلف عنها في كونها أقواسًا تصل بين مركز التفريز وبداية أو نهاية خطوط المسار.

تعديل نقلات وبدايات ونهايات بعينها Editing Selected Links and Leads

تمامًا كتحديد خطوط من المسار وحذفها، يمكن تعديل النقلات والبدايات والنهايات. بهذه البساطة: حدد النقلة التي تريد وعدلها.



قبل التعديل | بتغيير نقلة | بتغيير نقلة وبداية ونهاية

... الأمر أشبه بتعديل خطوط المسار: يحتفظ المسار بخطوطه عند تعديلها بحذف بعضها أو تحريكها وتدويرها ونسخها أو أي تعديل كان، فلا يعود الأمر متعلقًا بالحسابات التي أجراها المسار.

بالمناسبة: يمكن تثبيت نقلات بعينها حتى إن عُدل المسار كله لا تطبق التعديلات عليها، وذلك بتحديد ما يراد تثبيته ثم إرسال **الأمر Toolpath > Edit > Lock Connection Moves**. فإن أردت فك التثبيت فأرسل **الأمر Toolpath > Edit > Unlock Connection Moves**.

التغذيات والسرعات Feeds & Speeds

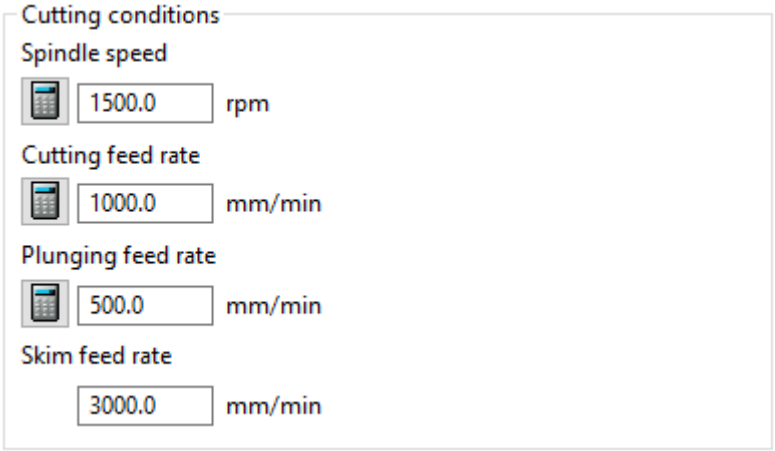
تتعلق ظروف حركة أداة القطع بالمادة المشغّلة وبمسار التشغيل وطبيعته وبأداة القطع نفسها، وبالمشغولة. بعض شركات أدوات القطع تعطيك مع الأدوات جداول لتشغلها عليها. ولكن في الحالة الشائعة عندنا، كوننا نشتري أدوات قطع رخيصة، ولا أحد يضمنها، فلن تجد أي جدول، وإنما ستعتمد على خبرتك الفنية أو خبرة المشغّل لتحددها.

في الحالة العامة تعطيك الجداول القيم التالية:

- السرعة السطحية Surface Speed، بواحدة m/min، وهي السرعة المحيطية v_c لأداة القطع. وتسمى سرعة القطع أيضًا.
- التغذية لكل ريشة Feed/Tooth، بواحدة mm، ويرمز لها بالرمز f_z. إن كانت أداة القطع أحادية الريش كانت هذه القيمة هي التغذية لكل دورة Feed/Rev. تسمى أيضًا حمل الرايش Chips Load.
- عرض القطع Radial Depth of Cut، بواحدة mm، ويرمز له a_p وهو نفسه Stepover.
- عمق القطع Axial Depth of Cut، بواحدة mm، ويرمز له a_e وهو نفسه Stepdown.

ولكننا في الواقع لا نتعامل مع آلة التشغيل بهذه القيم، لا في برامجنا ولا في تعاملنا المباشر، وإنما نتعامل معها بالقيم التالية:

- سرعة الدوران Spindle Speed، بواحدة rpm.
- سرعة التغذية Cutting Feed Rate، بواحدة mm/min.
- سرعة التغذية عند الدخول في الخامة Plunge Feed Rate، بواحدة mm/min.
- سرعة النقلات السريعة Skim Feed Rate، بواحدة mm/min.



وتربط هذه القيم بالقيم الجدولية معادلات:

$$n = \frac{1000\ v_c}{\pi\ \cdot D_c}\ [rpm]$$

$$v_F = n \cdot f_z \cdot z\ \left[\frac{mm}{min}\right]$$

$$v_P = v_F \cdot f_P$$

حيث

n	سرعة دوران أداة القطع $[rpm]$.
v_F	سرعة التغذية $[mm/min]$.
v_P	سرعة التغذية عند الدخول في الخامة $[mm/min]$.
v_c	السرعة المحيطية لأداة القطع $[m/min]$.
D_c	قطر أداة القطع $[mm]$.
z	عدد ريش أداة القطع.
f_z	التغذية لكل ريشة $[mm]$ (حمل الرايش Chip Load).
f_P	معامل سرعة الدخول في الخامة.

يضبط معامل سرعة الدخول في المسار –ويمكن أن نسميها سرعة الدخول في الخامة– f_P من الإعدادات. في الحالة العامة قيمته 0.1، وهي قيمة غير صالحة للشائع من تطبيقاتنا التشغيلية.

قد لا تعطى القيم الجدولية بالواحدات المذكورة، وعندها عليك تحويلها. لا يوجد اتفاق بين المراجع على واحدات معتمدة، حتى الباورميل نفسه تجد الواحدات فيه مختلفة عن الواحدات المستخدمة في مراجع **AutoDesk**، الشركة المطورة للبرنامج.

تتحرك أداة القطع بسرعة ثابتة (نظريًا [1])، وهذه هي الحالة العامة. قد تحتاج تغيير سرعة التغذية زيادةً أو نقصانًا لغايات تشغيلية؛ حفاظًا على أداة القطع، خصوصًا في الزوايا، أو لأجل الحصول على سطوح أنعم. يلون الباورميل في الحالة العامة خطوط مسار التشغيل بالأخضر إن تحركت بسرعة القطع العادية (المذكورة في هذه الفقرة)، ويلونها بألوان أخرى إن تحركت بسرعة قطع معدلة. يمكن عرض الألوان

[1] يحسب الباورميل زمن المسار باعتبار حركته بسرعة ثابتة، إن كان لغرض القطع، أو لغرض الدخول. هي نفسها قيمة السرعة المضبوطة في ظروف القطع. ولكن في الواقع لا تستطيع آلة التشغيل الحفاظ على هذه القيمة 100%، وإنما تزيد وتنقص بحسب حركة الأداة، والمسألة هنا فيزيائية، أكثر ظاهرة شيوعًا: تغيير أداة القطع اتجاهها؛ لا يمكن هذا إلا بتغيير قيمة السرعة (قد تنعدم بغمضة عين إن عكس المسار اتجاهه 180°).

لمعرفة سرعة خطوط المسار بالتفصيل بإرسال **الأمر View Feed Rates > Toolpath**. في الفقرات التالية تفصيل تغيير سرعة التغذية.

في آخر الفصل قيم تجريبية للتغذيات والسرعات للعدد رخيصة الثمن التي لا جداول تحدد ظروفها التشغيلية، للاستئناس، فلتراجع.

سرعة النقلات السريعة Rapid Feeds

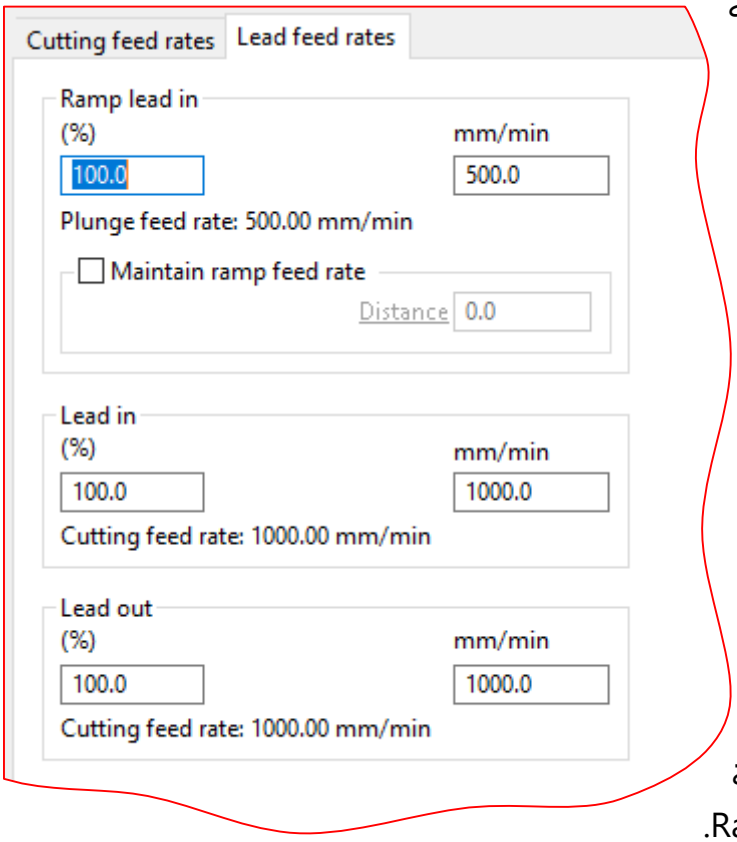
إن كانت النقلات السريعة في مستوي الأمان كانت سرعتها G00، وهي الحركة السريعة لآلة التشغيل، أي أنها متعلقة بها ولا سبيل لضبطها في البرمجة. وإن كانت في المستوي Skim كانت سرعتها ما ضبطت عليه في **صفحة التغذيات والنقلات**. هذا يعني أنها تتحرك بالسرعة G01 ولكن بمعدل عال غير معدل التغذية v_F.

معاملات سرعات البدايات والنهايات Leads Feed Rates

تعتبر البدايات المائلة Ramp Leads In دخولًا في المسار Plunging، وتعامل معاملتها. ونستخدم هذه البدايات في الحالة العامة مع الأدوات الحوامل. وقد نستخدمها مع غيرها من الأدوات لغايات تشغيلية.

وتعتبر البدايات Leads In والنهايات Leads Out إن كانت غير مائلة خطوط قطع، وتعامل معاملتها.

المهم: لا بدّ إن تحركت الأداة حركة مائلة (Ramp يعني) أن تدخل بسرعة كبيرة نسبيًّا، وكونها دخولًا في الخامة فإننا نضبط سرعة الدخول بهذه القيمة الكبيرة نسبيًا. لكن قد لا يكون الدخول المائل ممكنًا، عندها تدخل الأداة دخول عاديًّا (إن لم تضبط خيارًا آخر غير الدخول المائل). سرعة الدخول العادي صغيرة نسبيًا. لهذا إن أردت التفريق بين سرعة الدخول العادي وسرعة الدخول المائل فاضبط سرعة الدخول العادي على القيمة العادية، واضبط سرعة الدخول المائل من هنا على القيمة الكبيرة نسبيًا.



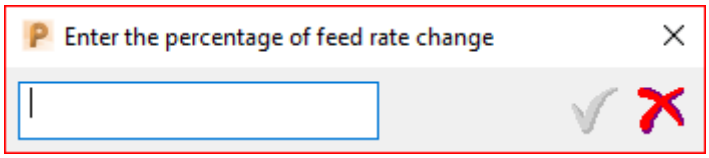
في الحالة العامة سرعة الدخول المائل نفسها سرعة الدخول العادي، وذلك لأن معامل سرعة الدخول المائل = 100% من سرعة الدخول العادي، كما في الصورة. هذا يعني أن الأداة إن تحركت حركة مائلة Ramp فإنها لا تأخذ قيمة سرعة الدخول Plunge Feed Rate (القيمة في الصفحة الأولى)، وإنما تأخذ قيمة سرعة الدخول المائل Ramp Lead In Feed Rate.

كذلك: تتحرك أداة القطع في البدايات والنهايات (الخطوط البرتقالية) بسرعات البدايات والنهايات Leads Feed Rate، وهي في الحالة العامة = 100% من سرعة القطع Cutting Feed Rate. فإن أردت التفريق بين سرعة القطع وسرعات البدايات والنهايات فاضبط معامل السرعات من هذه الصفحة. هذا الأسلوب مفيد إن كانت البدايات والنهايات تتحرك الأداة فيها بظروف مختلفة عن الخطوط المسار، فتحتاج أن تجعلها أسرع أو أبطأ.

يعتبر التحكم بسرعة التغذية هنا عامًّا؛ كونه يتعلق بنوع حركة الأداة (إن كانت دخولًا مائلًا، أو بدايات، أو نهايات). الفقرات التالية فيها تحكمًا خاصًا؛ يتعلق بمنطقة بعينها.

تغيير التغذية في حدود التشغيل Update FeedRate Inside Boundary

فإن أردت تغيير سرعة القطع بمناطق معينة فأنشئ حدود تشغيل تحيط بهذه المناطق، وأرسل **الأمر** **Toolpath > Edit > Update Feed Rate Inside Boundary**:

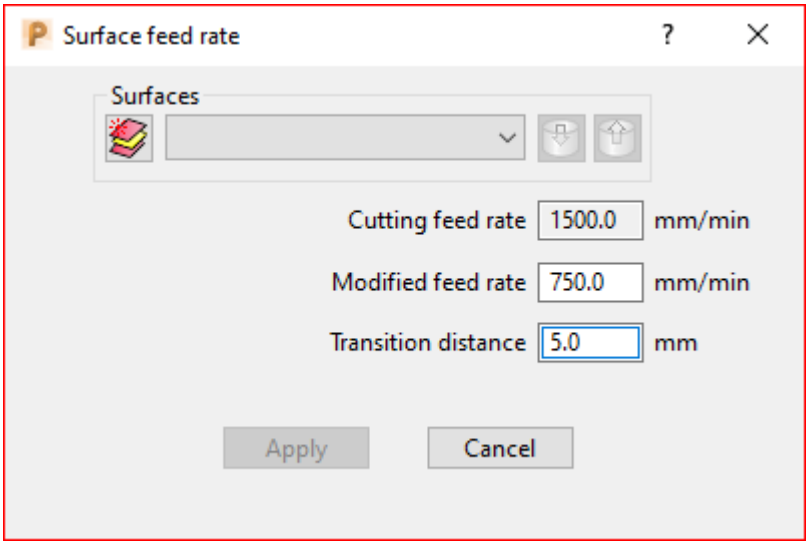


نحدد هنا معامل سرعة القطع المطلوب.

من الحالات الشائعة التي نستخدم فيها هذا الأسلوب تخفيض سرعة التغذية في الزوايا، وذلك بإنشاء حدود تشغيل متبقية Rest Boundaries، ثم تطبيق هذا الأمر.

تغيير التغذية عند أسطح محددة Update FeedRate On Chosen Surfaces

ويمكن أيضًا تغيير سرعة القطع عندما تلامس الأداة أسطحًا محددة (باعتبار الخامة المتروكة)، وذلك بإرسال **الأمر** **Toolpath > Edit > Update Feed Rate On Chosen Surfaces**:

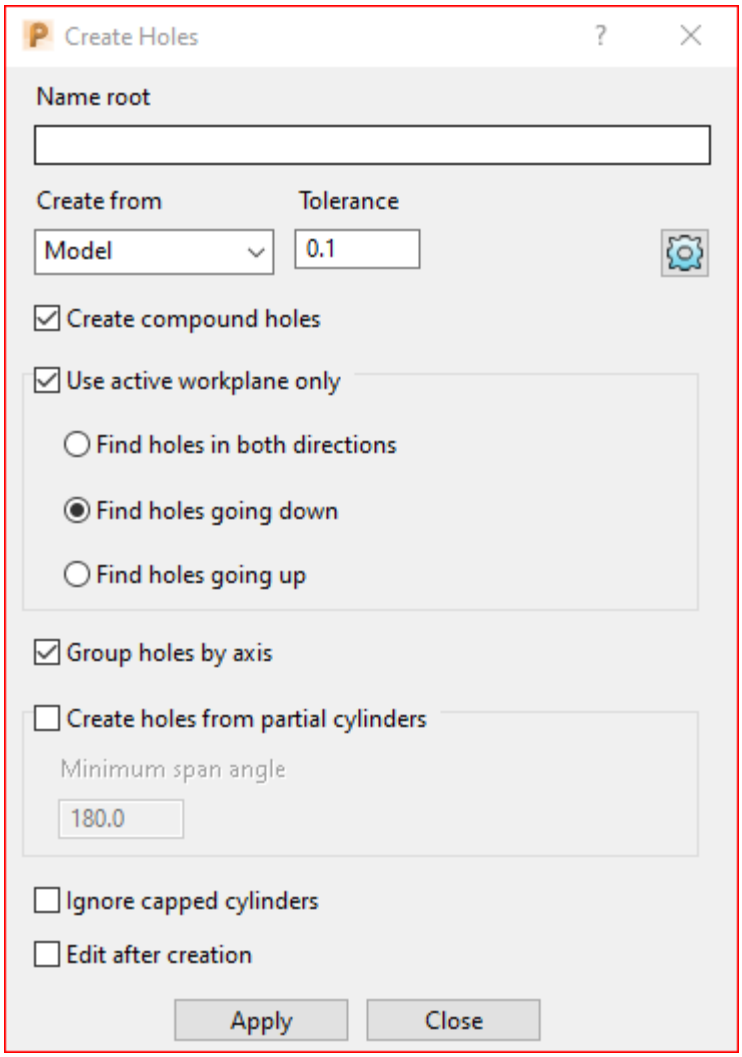


نحتاج قبل تطبيق الأمر إنشاء مجموعة Set أو اختيار واحدة كنا قد أنشأناها سابقًا. يمكن إضافة وإزالة الأسطح من المجموعة المختارة من هنا بالمناسبة.

أخيرًا: نحدد معامل الانتقال Transition Distance، وهي قيمة بواحدة مم تحدد المسافة التي يقطعها المسار للانتقال من سرعة القطع العادية إلى سرعة القطع المعدلة، والعكس.

إنشاء الثقوب Hole Feature Sets

كائنات الثقوب هي تمثيل للثقوب الحقيقية في المشغولة، أو لنقل: هي ثقوب افتراضية تمثل الثقوب الحقيقية. وهي افتراضية لأنه لا وجود لها في الواقع ولا بد من تعريفها تعريفًا خاصًا؛ لا يرى الباورميل ولا يفهم السطوح الأسطوانية ولا السطوح المخروطية ولا أي سطوح دورانية على أنها ثقوب، أي لا يمكنه تشغيلها بإستراتيجيات التثقيب، وإنما ننشئ الثقوب الافتراضية التي تمثل تلك السطوح وتمثل الثقوب الحقيقية لتشغيلها بإستراتيجيات التثقيب. بالمقابل قد تعرّف ثقوبًا غير موجودة في الرسمة، كأن تعرّفها من أسطح تشكل مقطعًا أسطوانيًا مثلًا. هندسيًا هذه الأسطح ليست ثقوبًا؛ لا بد للثقب أن يكون سطحًا دورانيا كاملًا، لكن الكائنات التي تمثلها هي ثقوب بالنسبة للباورميل.



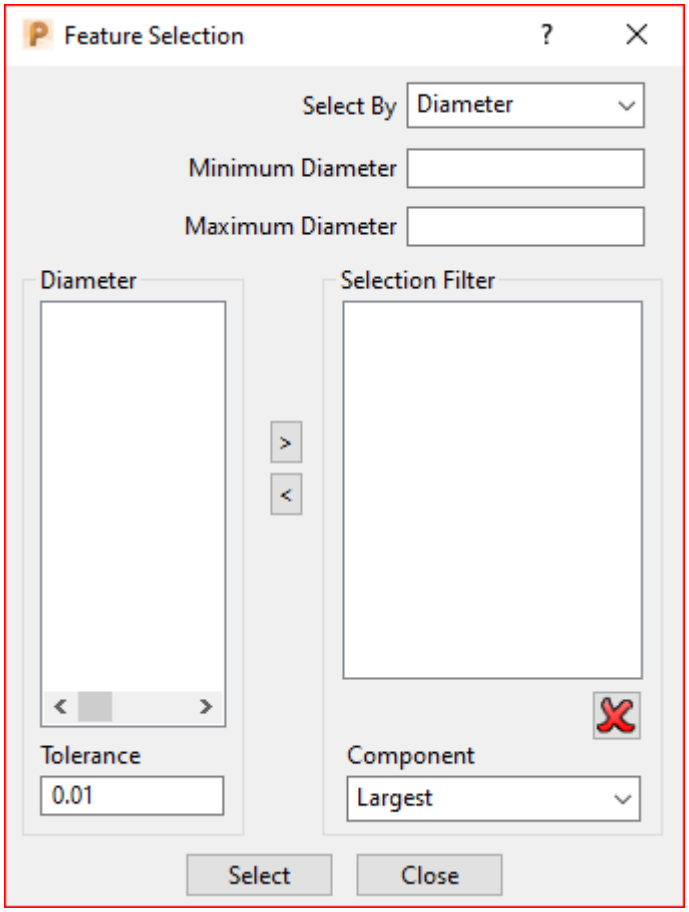
ننشئ في البداية سمة Hole Feature تحوي الثقوب، أو لنقل: مجموعة ثقوب. ثم ننشئ الثقوب فيها. الأمر أشبه بتجميع الثقوب في مجموعات. لا بدّ للثقوب أن تكون في مجموعة. في الحالة العامة نضع ثقوب كل جملة إحداثيات في سمة، وربما وضعنا كل مجموعة ثقوب متعلقة ببعضها في سمة، حتى لو كانت كلها بنفس جملة الإحداثيات. كما أننا في الحالة العامة ننشئ الثقوب من سطوح دورانية كاملة. لهذا فإننا نفعّل الإعدادات كما في الصورة.

تتميز إستراتيجيات التثقيب بحفظها للثقوب المختارة. لهذا إن فُعّل المسار لاحقًا فإنه سيتذكر الثقوب التي ثقبها.

اختيار الثقوب Feature Selection

الموقع الأنسب لهذه الفقرة هو في **فقرة إنشاء المسارات**؛ فنافذة اختيار الثقوب من إعدادات المسارات لا الثقوب ولا سماتها. لكني كسرت القاعدة ووضعتها هنا حتى تقرأ فقرة الثقوب بكل الملاحظات المتعلقة بها.

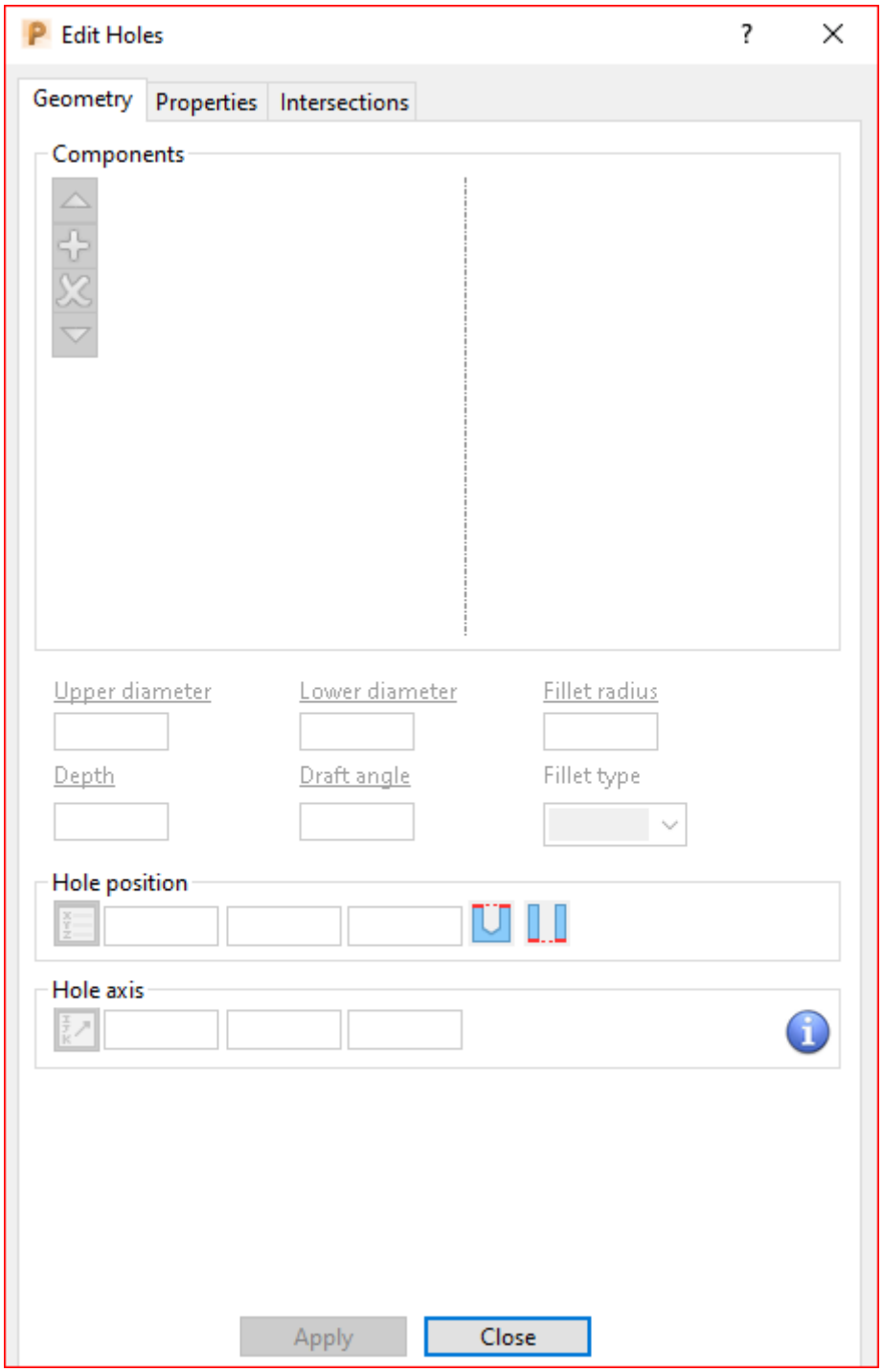
في الحالة العامة تكون في سمة الثقوب الواحدة ثقوب كثيرة. وهي غالبًا ما تكون بأقطار مختلفة. لهذا فإننا نختار الأقطار التي نريد من هذه النافذة:



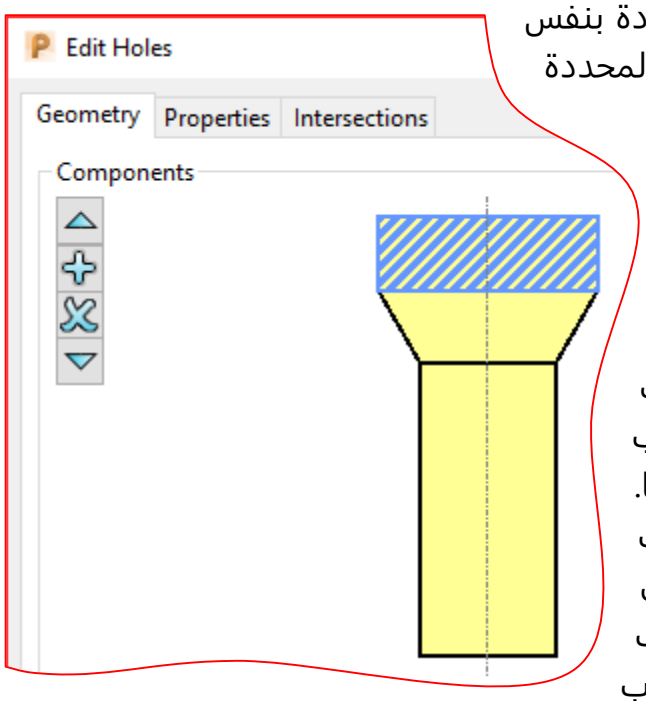
تظهر هذه النافذة من **الأمر Select** في إعدادات إستراتيجيات التثقيب.

تعديل الثقوب Edit Holes

وقد لا تكون الثقوب كما تريد، إن كان قطرًا أو ارتفاعًا، أو موقعًا. عندها تستخدم نافذة تعديل الثقوب لذلك:



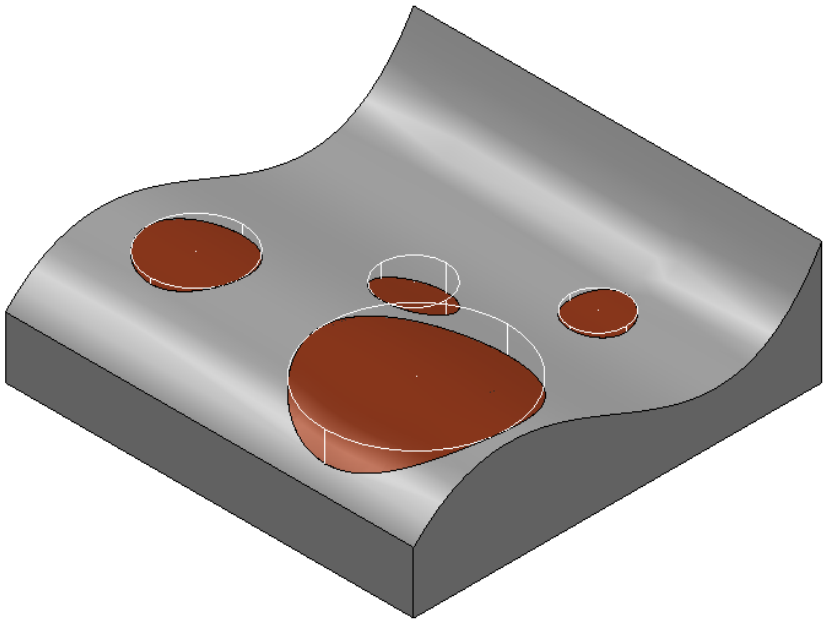
والنافذة هذه كما ترى لا تكون فعّالة إن لم يحدد أي ثقب. فإن حدّدت ثقوب ظهرت هنا في هذه النافذة، حيث تترك الحقول خالية إن لم تكن كل الثقوب المحددة بنفس القيم. وإن عُدّل على حقل من الحقول عدّلت الثقوب المحددة كلها لتأخذ القيم التي أدخلتها فيه.



قد تكون الثقوب مركبة. وعندها ستربكك عند التثقيب، إذ سيظهرها لك الباورميل في نافذة اختيار الثقوب بأكبر قطر في الثقوب المركبة. لهذا إن كان بين ثقوب مشغولتك ثقوبًا مركبة فإنك تأتي إلى هنا وتنظر في الثقوب فما وجدته مكونًا من أكثر من ثقب حذفت كل ما يحويه من ثقوب وتركت ما يمثل الثقب الحقيقي. وربما عدّلت ارتفاعات الثقوب أو مواقعها. تشيع هذه الحالة مع الثقوب ذات التخويش، حيث يقرأها الباورميل ثقبًا واحدًا مركبًا من أكثر من ثقب. في الصورة المجاورة مثلًا ثقب مركب. في حالة كهذه احذف ما لا تريد من مكونات الثقب واترك ما يمثل الثقب الحقيقي، وهذا يتبع ما تريده من تشغيل؛ قد تشغّل الثقب كما هو في الصورة بعمليات تثقيب. وقد تشغل الجزء ذي القطر الأصغر فقط. وقد تشغيل الجزء ذي القطر الأكبر فقط.

قفل الثقوب بسطوح Hole Capping

وهذه ميزة لطيفة في الباورميل. لو تذكر عندما تحدثنا عن رسم السطوح في الباورميل قلنا إنها قد تكون بقفل حدود تشغيل وقد تكون من مقطع الخامة وقد تكون بقفل ثقوب. وقد أجلنا الحديث عن قفل الثقوب بسطوح وقتها، وهذا موضعها.



رسم السطوح من الحدود ومن مقطع الخامة ينشئ سطوحًا مستوية، قد تكون مائلة، نعم، لكنها مستوية. أما رسمها من الثقوب فإنه ينشئ سطوحًا يمكن أن تكون منحنية. إن لم تر شيئًا لطيفًا اليوم، انظر إلى الصورة المجاورة.

يضع الباورميل السطوح التي ينشئها من قفل الثقوب في **طبقة** يسميها **Capping Surfaces**.

حفظ الثقوب وتحميلها Export & Import Holes

الثقوب كائنات افتراضية لا وجود لها على أرض الواقع (من منظور تمثيل البيانات). هي ليست رسومات فتخزن باعتبارها سطوحًا وخطوطًا، وليست منحنيات فتخزن باعتبارها خطوطًا؛ فوجدوا أن يخزنوها في ملفات XML. برمجيًا هذه الملفات هي أبسط ما يمكن هيكلة البيانات فيه (هيكلة البيانات شيء يشبه تخزين البيانات في جداول مترابطة).

جرب احفظ ثقوبًا في ملف وافتح الملف بأي محرر نصوص (كالمفكرة مثلًا)، وانظر محتواه.

إنشاء الثقوب عند إعادة حساب المشاريع وتغير اتجاه جملة الإحداثيات

إن جعلت مجموعات الثقوب لا تقبل إلا الثقوب باتجاهها فإن أعدت حساب المشروع بتغيير الرسمة وقد تغيَّر اتجاه الثقوب عندها لا يمكن إضافة الثقوب إلى مجموعاتها. اتباع هذا الأسلوب يعني أن وجود الثقوب حتى مع تغير اتجاهها في المجموعات التي قررت أول مرة أنشأتها فيها أنها تمثلها أمر مهم بالنسبة إليك؛ لأن مجموعات الثقوب مرتبطة بمسارات التثقيب، والتي هي الأخرى مرتبطة بالعملية التشغيلية والشغل الذي أجري على المشغولة (المسكة التي مسكت بها المشغولة لتشغيلها بهذه المسارات). وفي هذا الأسلوب لن تضطر لفتح المسارات مسارًا مسارًا وتعديل المجموعات التي تقابل كل مسار. أصلًا الغاية من هذا الأسلوب عدم تعديل المسارات واستخدامها مع تغير المشغولات وإعادة حساب المشاريع، أو ما نسميه: التكرارية.

لهذا: إن تغير اتجاه السطوح فغير اتجاه مجموعات الثقوب بما يتوافق معها، ثم أضف الثقوب إليها.

عمليات على بعض الكائنات

تشترك بعض الكائنات بطبيعة واحدة، فتعامل معاملة واحدة. الفقرات التالية فيها تفصيل أهم العمليات المشتركة بين بعض الكائنات.

إعادة إنشاء الخامة Recreating Block

يحتفظ كل مسار تشغيل بإعدادات خامته (نوعها، وجملة إحداثياتها، وحدودها، ...)، وحدود التشغيل كذلك. لذا.. قد تستفيد من هذه الميزة بحساب كائن بعد إعادة إنشاء خامة كائن آخر (كأنك نسخت خامة الكائن الآخر إليه)، خصوصًا إن أردت ضمان توافقية مسارات التشغيل مع حدودها.

بعض حدود التشغيل قابلة للحساب. أي أنها تعتمد على إعدادات معينة، كالدقة، والخامة المتروكة Thickness، وإعدادات الخامة؛ فإن لم تكن مسارات التشغيل التي تعتمد عليها بنفس هذه الإعدادات عند حسابها أعطتك تحذيرًا عندها.

يوجد أمر في مسارات التشغيل هو **تحميل الإعدادات Load Settings**، بنفس هذه الفكرة ولكن على مستوى مسار التشغيل بكل ما فيه. ستجده بعد فقرات.

تحديد السطوح المرتبط بها الكائن Select Surfaces

تحتفظ بعض مسارات التشغيل، كمسارات إنهاء الأرضية، وبعض حدود التشغيل، كـ Selected Surface Boundary، وكذلك إعدادات الخامة المتروكة في سطوح بعينها Component Thickness؛ تحتفظ بالسطوح التي حددتها عند حسابها. الأمر مشابه لفكرة الطبقات، لكنه مختلف طبعًا؛ فالأسطح لا يمكنها أن تكون في أكثر من طبقة، بينما يمكن أن تحدَّد من أكثر من كائن.

المهم.. إن كان الكائن قادرًا على حفظ الأسطح التي حدّدتها عندما حسبتَه يمكنك عندها تحديدها في أي وقت بهذا الأمر.

وهنا نقطة مهمة: عليك تحديد السطوح التي يعتمد عليها الكائن في كل مرة تحسبه فيها؛ فإن حسبته مرة دون تحديد سطوحه، أو بتحديد بعضها دون بعضها، أدى ذلك إلى نتيجة غير التي تريد. هذا فضلًا عن خسارتك لما كنت محدده من سطوح، إن لم تكن تعلمها وتعتمد على الكائن في ذلك. قد يفيد **أمر التحديد السابق Previous Selection** في استعادة التحديد إن كنت قد حددتها قبل تغيير التحديد، أو قبل إجراء الحساب، إن أدى إلى إلغاء تحديد السطوح.

تفعيل جملة إحداثيات الكائن Activate Workplane

قد تعمل في المشروع الواحد بأكثر من جملة إحداثيات (هذا يعني أن المشغولة تمسك بأكثر من مسكة). هذا يعني أنه قد لا تكون الجملة الفعالة هي الجملة التي حسب الكائن بها. فإن أردت تفعيلها أرسل **الأمر Entity > Activate Workplane**، أو وسّع المسار في المستعرض، وانقر مرتين على جملة الإحداثيات لتفعيلها، أو ببساطة فعلها من مجلد جمل الإحداثيات.[1]

تحريك الكائنات Entity Transform

بيئة التحريك في الباورميل واحدة لمعظم الكائنات القابلة للتحريك، باختلافات بسيطة بحسب طبيعة كل كائن:

- المسارات
- الحدود
- الأنماط
- جمل الإحداثيات

وحدها الرسومات ما يوجد لها أداة للتحريك لا بيئة لذلك.

التحريك في الباورميل هو تغيير موقع الكائن أو أبعاده أو عدده، ويكون بإحدى الطرق التالية:

- النقل Move
- التدوير Rotate
- النقل بالتناظر Mirror

[1] لهذا الأمر فائدة للمطورين أكثر من المبرمجين.

- النقل المتعدد Multiple Transform
- التحجيم Scale (لما فيه أبعاد)
- الإزاحة Offset (للمنحنيات)

ولأن لكل طريقة قصة فسأحيل تفصيل التحريك إلى فقرة قادمة.

... آخر شيء فكر فيه هو التعديل اليدوي، في أي كائن كان، منحن أو مسار أو رسمة؛ أنت لا تبرمج لنفسك فقط، ولا تبرمج لتشغل البرامج اليوم فقط. قد تعود –أنت أو غيرك– في أي وقت –طال أو قصر– إلى المشروع؛ أي تعديل يدوي سيضعف مقروئية الكائنات، وقابلية التعديل، والتكرارية، وسيقلل من التشاركية؛ قد يتحول المشروع إلى مشروع للاستعمال لمرة واحدة، وقد يصبح غير صالح للاستخدام البشري.

بالمقابل: إن فتحت أي مشروع قديم، أو مشروع أرسِل إليك، تأكّد من أن الكائنات غير محرّكة إن أردت التعديل عليها أو أردت الإضافة إليها. فإن كانت محرّكة كان عليك إجراء نفس التحريكات في التعديلات والإضافات لتناسب المشروع والشغل الذي يقابله.

حذف الأجزاء المحددة Delete Selected

تدعم كل الكائنات التي تحوي مكونات (ولك أن تقول: أجزاء) على أمر لحذف الأجزاء المحددة منها. يعتبر حذف الأجزاء المحددة من التعديل اليدوي على الكائنات. وهذا –كما رأيت– مما لا ينصح به، إلا عند الاضطرار.

تحريك الكائنات Entity Transform

قد تكون كلمة "التحويل" ترجمة أفضل لغويًا للمصطلح Transformation، ولكنّي أجد التحريك أوضح من حيث الدلالة. لا أعني أنها لا تصلح في هذا السياق، بل تصلح وزيادة، ولكن التحريك أوضح في إيصال المعنى المراد. ومع هذا، قد تجد المصطلح الذي أعتمد مربكًا فقد تظنه يشير إلى الكلمة Transformation والكلمة Move في الوقت نفسه.

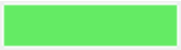
نقصد بالتحريك أي تغيير في مكان الكائن، سواء كان تغييرًا ناتجًا عن تغيير في الموقع، أو تغيير في الاتجاه، أو تغيير في الأبعاد. الفقرات التالية فيها تفصيل التحريك في الباورميل. وهو مشترك بين معظم الكائنات؛ لهذا جمعته في فقرة واحدة بعنوان عام كما ترى.

النقل Move (والنسخ Copy)

ننقل الكائنات من نقطة إلى أخرى. بهذه البساطة. أي أنك لتنقل الكائنات تحتاج تحديد الكائنات وتحديد نقطتين: نقطة البداية ونقطة النهاية. إليك أداة النقل (والنسخ):

وكما ترى فإن فيها ما يلي:

الرمز	الوظيفة
	استبدال الأصل Replace Original.
	الحفاظ على الأصل Keep Original.
	عند تفعيله تصبح جملة الإحداثيات مركز النقل Workplane Origin.
	عند تفعيله يصبح منتصف الكائنات المحددة مركز النقل Bounding Box Origin.[1]
	تحريك مركز النقل Move Origin.

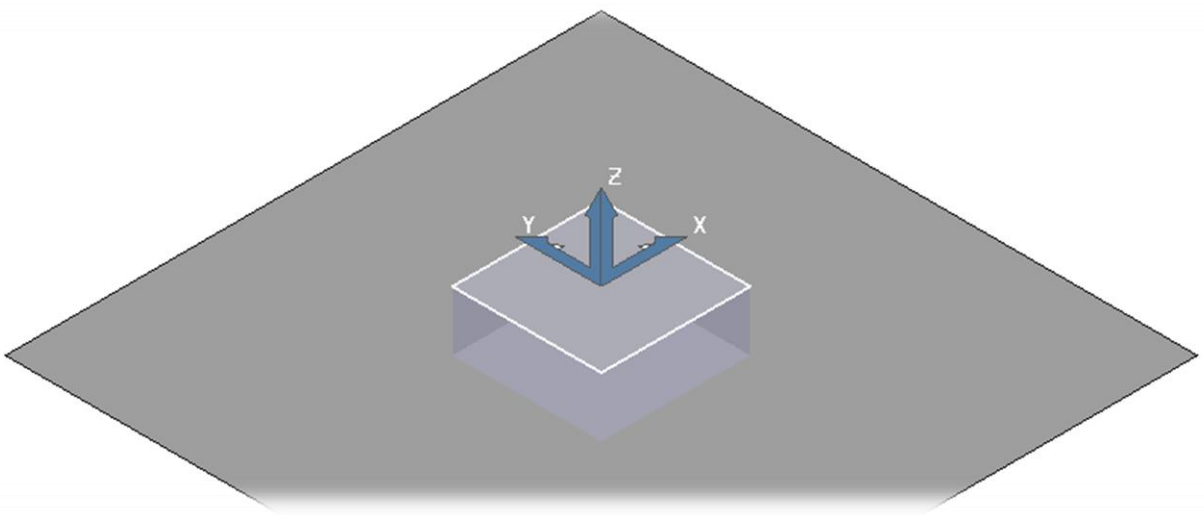
ومركز النقل هو النقطة الأولى. يتبقى عليك تحديد النقطة الثانية. نحددها إما **بأداة الموقع Position** أو بإدخالها على الطاير في الأداة  ، وذلك إما مطلقًا أو نسبيًا .

نستخدمها هكذا:

- إذا تركت منتصف الكائنات المحددة مركز النقل فإنك في الغالب تستخدم أداة تحديد الموقع لتقفل الإحداثيات إلا ما تريد التحريك على أساسه، وتحدد في نافذة الرسومات النقطة التي تريد. يشيع هذا الأسلوب عند نقل (أو نسخ) الأشياء بالاتجاه z.
- إذا حركت مركز النقل وجعلته نقطة معلومة فإنك تحدد نقطة أخرى معلومة المسافة بينها وبين المركز نفسها مسافة نقل أو نسخ الأشياء.

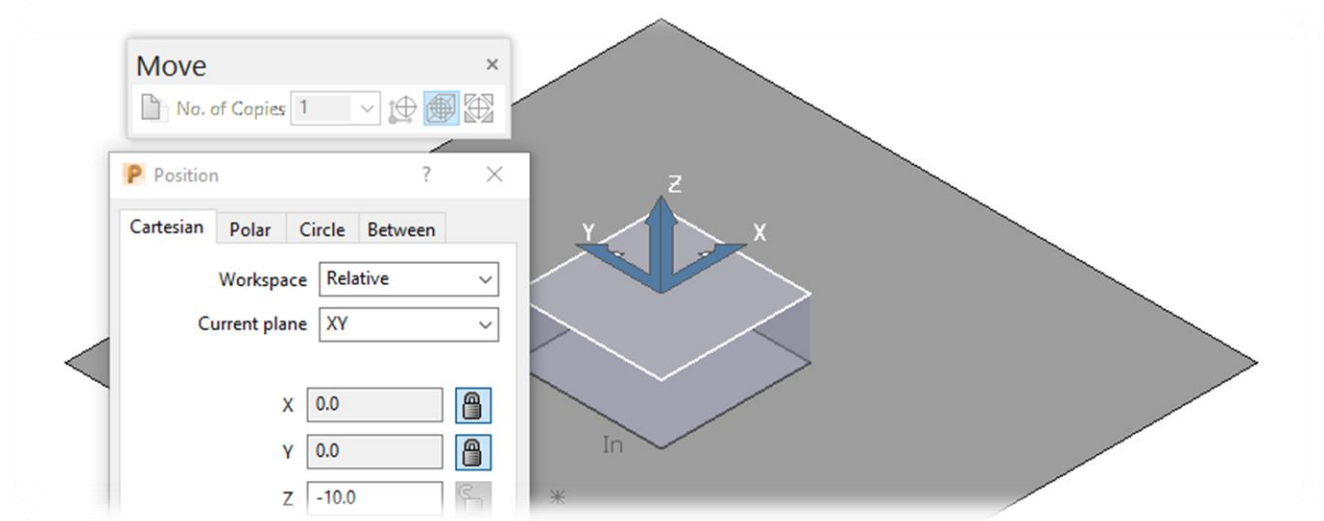
هاتان أكثر الحالات شيوعًا.

هذا مثال على الحالة الأولى: انظر إلى الحدود هنا:



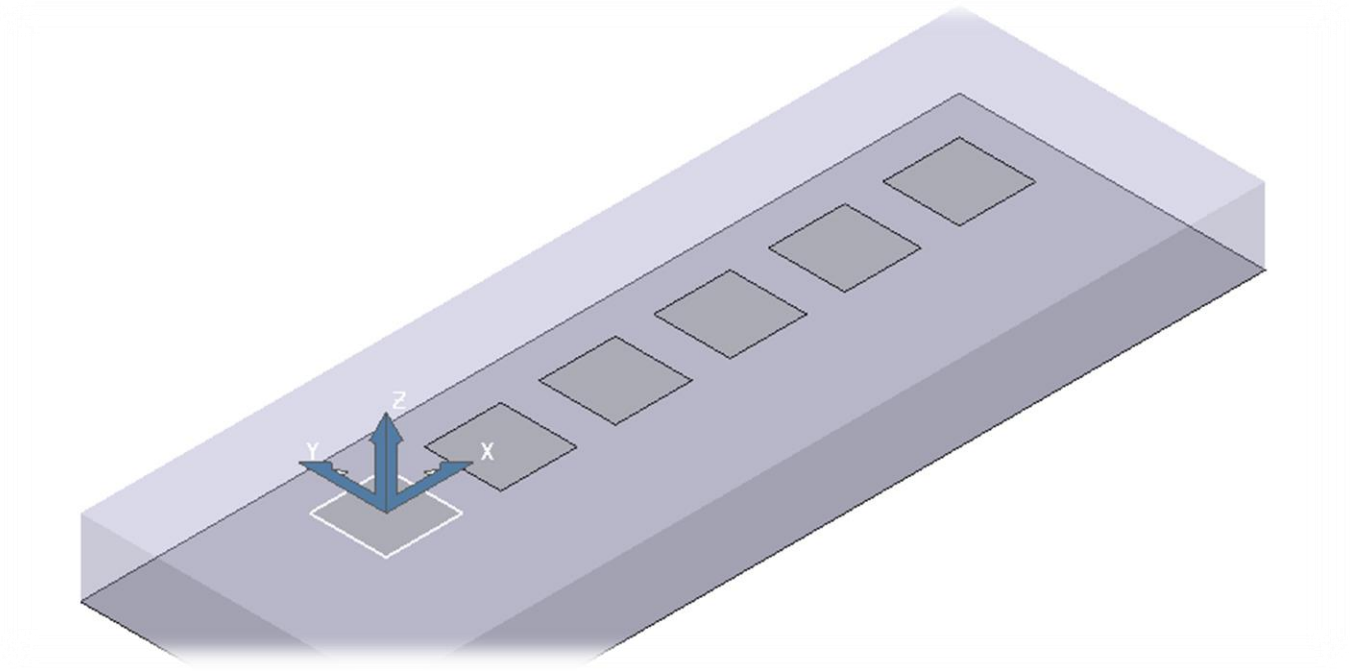
[1] منتصف الكائنات هو مركز متوازي مستطيلات وهمي يحيط بالكائنات المحددة.

لنقل إننا نريد نقلها من أعلى لأسفل:

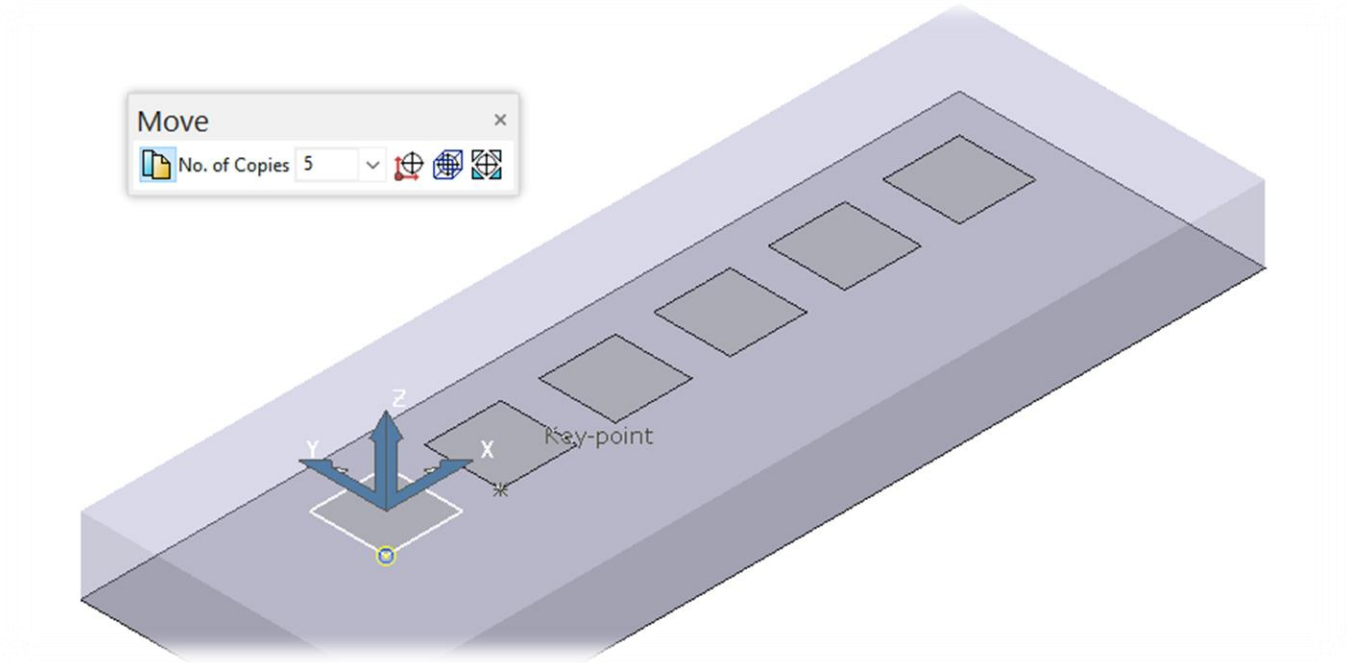


انظر كيف قفلت الإحداثيين X وY لأني أريد النقل بالاتجاه z فقط، ثم حددت على الرسمة في نافذة الرسومات المكان الذي أريد النقل إليه، أو بكلام أوضح: النقطة التي أريد، أو بكلام في منتهى الوضوح: الإحداثيات التي أريد.

وهذا مثال على الحالة الثانية:

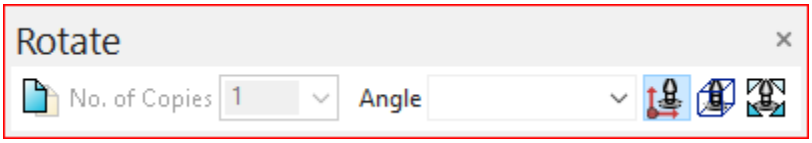


إن أردت نسخ الحدود إلى التفاصيل الأخرى في الرسم فإني أنقل مركز النقل إلى نقطة معلومة، ثم أحدد نقطة تقابلها بحيث تفصلهما مسافة هي مسافة النقل:



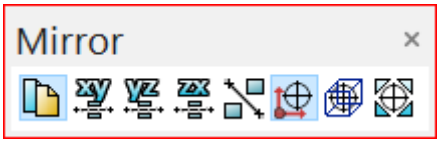
التدوير Rotate

التدوير هو نقل زاوي، وفهمك كفاية.



التناظر Mirror

أما التناظر فقصة لوحده. انظر:



الرمز	الوظيفة
	استبدال الأصل Replace Original.
	الحفاظ على الأصل Keep Original.
	التناظر حول المستوي XY، Mirror in XY.
	التناظر حول المستوي YZ، Mirror in YZ.

	التناظر حول المستوي ZX، Mirror in ZX.
	التناظر حول مستوي يمر من خط، Mirror in Line.
	عند تفعيله تصبح جملة الإحداثيات مركز التناظر Workplane Origin.
	عند تفعيله يصبح منتصف الكائنات المحددة مركز التناظر Bounding Box Origin.
	تحريك مركز التناظر Move Origin.

وهنا نقطتان مهمتان:

- مركز التناظر في الأصل في مبدأ جملة الإحداثيات، حتى يكون للتناظر حول المستويات معنى. في الحالة العامة هذا ما نريده فعلًا. ولكنك قد ترغب بالتناظر حول مستو يوازي المستويات الأساسية، وعندها تحدده: إما في مركز الكائنات المحددة وإما بتحريكه.
- نستخدم التناظر حول مستو يمر من خط لتعريف مستو لا يوازي أيًّا من المستويات الأساسية، أو يوازي أحدها ولكننا لا نعلم نقطة نعرّفه بها. نصيحة أخوية: عوّد نفسك على هذا الأمر. ستحتاجه من حيث لا تعلم.

ماذا لو كانت التفاصيل التي تحركها بالتناظر باتجاه واحد، كالكتابة؟ عندها حركها بالتناظر مرتين:

1. مرة لتحركها حول مستوي تناظر التفاصيل بالنسبة للمشغولة فتصبح في الناحية الأخرى،
2. ومرة لتعكسها حول محور تناظرها هي بحد ذاتها فتصبح باتجاهها الصحيح.

وربما احتجت نقلها بعد ذلك.

حالة أخرى غير التناظر ترسم بها المشغولات خصوصًا القوالب، وهي تدوير القطع حول منتصف المشغولة، والتعامل معها يشبه التعامل مع الكتابة.

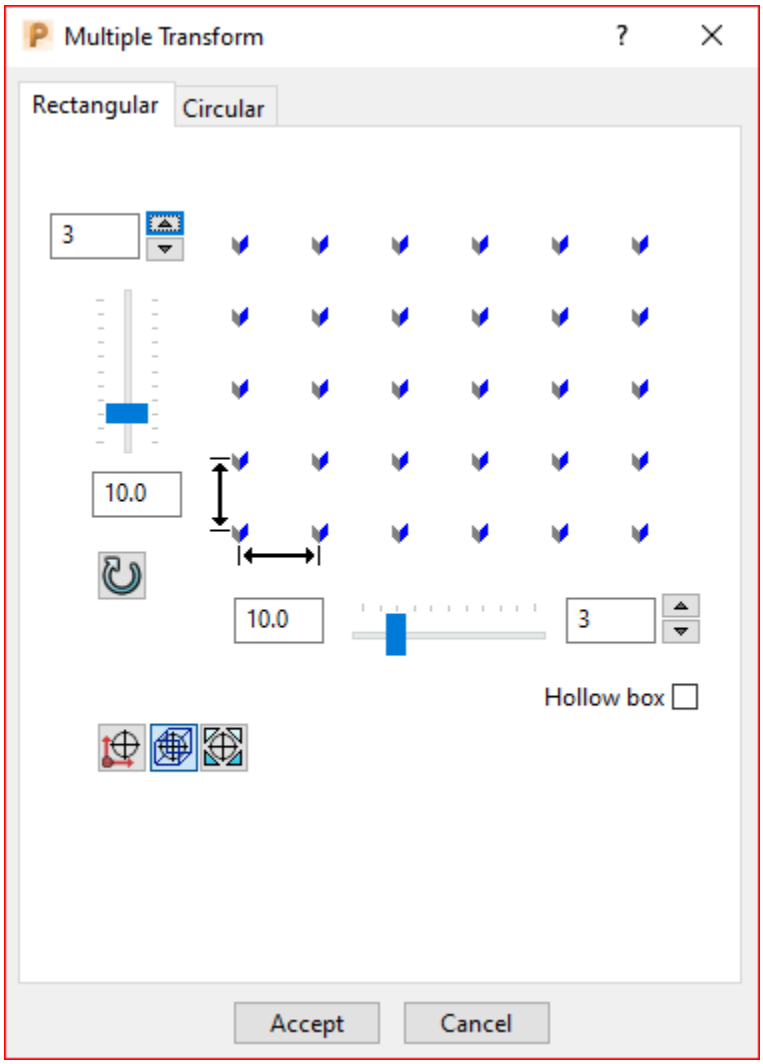
هنا التناظر حول المستويين ZX وYZ.

إن كنت أنت الرسام فارسم المشغولات بحيث يكون فيها إما التناظر أو التدوير. لا بأس بأن تجعل التفاصيل منقولة إن لم يكن فيها سبيل لتناظرها، لكن تدويرها أفضل؛ لأن أوامر تحريك الخطوط أقل (تناظر مرتين).

النقل المتعدد Multiple Transform

باختصار شديد: هو نسخ باتجاهين. وبس.

أهم ما لا بد أن تعرفه: أن النقل هذا يكون في مستو. نحدده من شريط الحالة إما YZ وإما ZX وإما XY .



عمليات على المسارات

بما أن المسارات جوهر الشغل في البرنامج فإن الأوامر فيها أكثر من غيرها. بعض أوامرها مشتركة مع غيرها من الكائنات، تجدها في الفقرتين السابقتين. وبعض الأوامر خاصة بالمسارات، وضعت أهمها في هذه الفقرة.

تحميل الإعدادات Load Settings

لكل مسار تشغيل إعدادات مستقلة عن غيره. لا نقصد هنا الكائنات التي يعتمد عليها، كأداة القطع أو حدود التشغيل أو غير ذلك. وإنما نقصد ما يأخذه من قيم، كالخامة وخطوات القطع والخامة المتروكة، والسرعات والتغذيات وما إلى ذلك. والخامة لا نعتبرها كائنًا في الباورميل، فهي مجموعة من الخصائص، لكن كونها تأتي دفعة واحدة، ولها صفحة خاصة بها، يُظَن أنها كائن، شأنها كحدود التشغيل والأنماط وما شابه ذلك.

عندما يُنشأ مسار تشغيل جديد تنسخ معظم الإعدادات من آخر مسار تشغيل فعال، وهذه نقطة مهمة. فإن كانت هذه بداية المشروع نسخت الإعدادات الابتدائية في الباورميل. تعطيك هذه الميزة سرعة في العمل، ودقة أكبر؛ فلا تحتاج أن تتذكر كل تفصيلة بتفصيلتها لتضبطها عند كل مسار تشغيل. بل إنك قد تفعّل مسار تشغيل فقط لتؤخذ إعداداته تلقائيًا إلى مسار تشغيل جديد تنوي إنشاءه.

ولا تُحفظ الإعدادات في مسار التشغيل إلا بحسابه، أو الخروج منه وحفظه.

وإن أردت نسخ إعدادات أي مسار تشغيل إلى المسار الفعال أرسل **الأمر Toolpath > Load Settings** إلى مسار التشغيل المراد نسخ إعداداته. يمكنك فعلها أيضًا مع نفس مسار التشغيل إن عدلته وأردت استرجاع إعداداته قبل تعديله، دون الخروج منه وعدم حفظ الإعدادات، وفتحه من جديد.

مرة أخرى: تُنسخ إعدادات مسار التشغيل السابق عند إنشاء مسار تشغيل جديد. ستشكل هذه الميزة عقبة في طريقك في البدايات، لكنها ميزة ممتازة عندما تحترف البرنامج، بل وستكون أحد أسباب احترافك، وسرعتك، ودقتك.

وفي بعض الإستراتيجيات تعتبر الأسطح المحددة من الإعدادات، وأشهرها إستراتيجيات إنهاء الأرضيات **والإستراتيجية Profile Finishing** 🛬.

إعادة الحساب سياقيًا Recalculate the Toolpath over a Specific Region

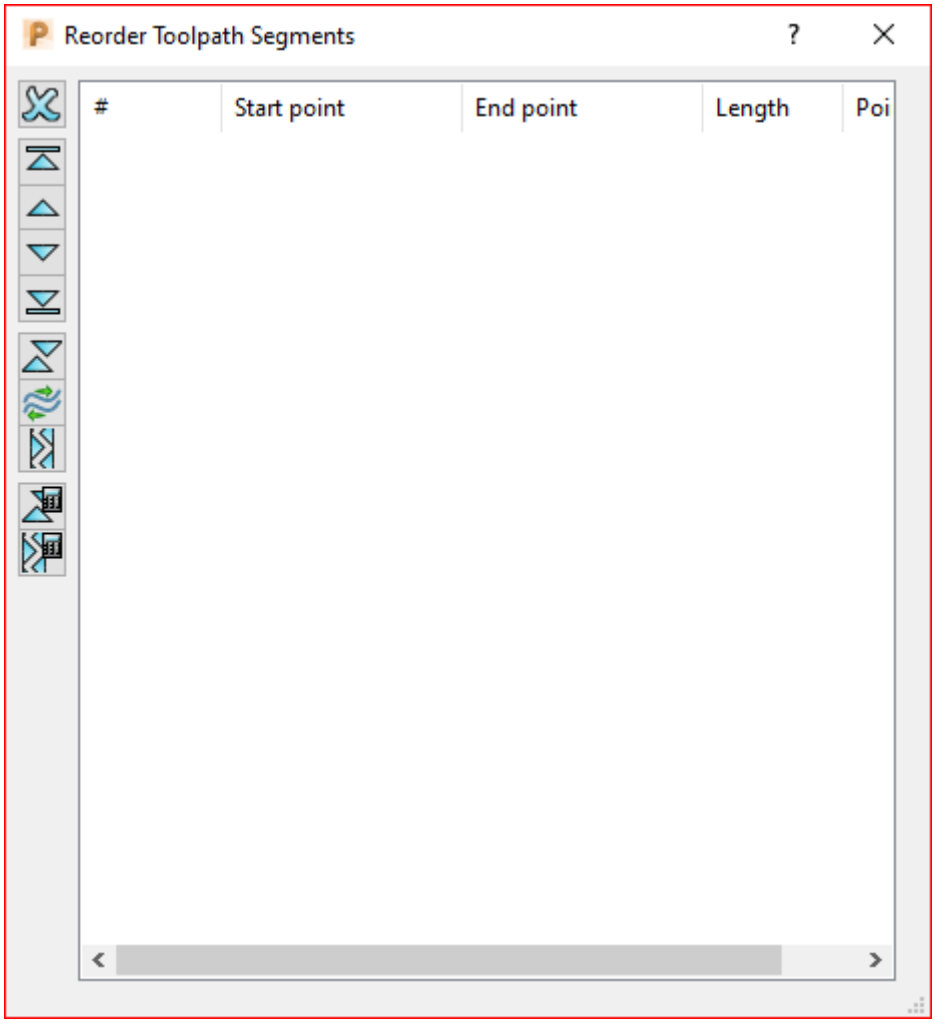
قد تجرى تعديلات معينة على الرسومات في أجزاء منها. وعندها يمكن حساب المسار في المناطق التي أجريت عليها التعديلات وحدها، وذلك بتحديدها بحدود تشغيل، ثم إرسال **الأمر Update Region**.

قد لا يعمل هذا الأمر جيدًا مع كل الإستراتيجيات؛ لذا عليك التأكد من المسار بعد إعادة حسابه. ويستحسن أن تأخذ نسخة منه قبل إعادة الحساب. ستجده مع الإستراتيجيات التي تعمل مع الأرضيات أفضل منه مع غيرها من الإستراتيجيات.

ترتيب خطوط المسار Reorder Toolpath Segments

لهذه الأداة أكثر من فائدة:

- ترتيب الخطوط وتغيير اتجاهها، كما هو اسمها.
- معرفة تفاصيل الخطوط: نقاط بدايتها ونقاط نهايتها، وطولها، وعدد نقاطها.
- قطع الخطوط.



في الحالة العامة لا ينصح بتعديل المسار يدويًا، إلا في إستراتيجيات معينة، كإستراتيجيات الأنماط؛ حيث تحتاج عكس اتجاه الخطوط ليرسم المسار بالاتجاهين.

نقل نقاط البداية Move Stating Points

تقبل المسارات المغلقة نقل نقاط بداية خطوطها، أو بعض خطوطها. أشهر هذه المسارات:

- Model Area Clearance
- Constant Z [1]
- 3D Offset
- Optemized Constant Z

عند الدخول إلى بيئة نقل نقاط البداية –ولا يكون ذلك إلا إن كان في المسار خط قابل لنقل نقطة بدايته واحد على الأقل– تتلون خطوط المسار بلونين: ما يمكن نقل نقطة بدايته وما لا يمكن ذلك فيه. وتوضع نقاط زهرية كبيرة تمثل نقاط البداية. يمكن تحريك هذه النقاط بالنقطة ويمكن ذلك بالجملة (برسم خط مستقيم يقطع خطوط المسار، نقاط التقاطع ستكون نقاط البداية).

قطع المسار Toolpath Limit

كما أشرنا سابقًا: آخر شيء فكر فيه التعديل اليدوي. القطع من التعديل اليدوي. إن كنت مضطرًا إليه فهنا تفصيله.

نقطع المسارات بثلاث طرق. هي في الواقع طريقتين لكن الباورميل يفصلهما إلى ثلاث:

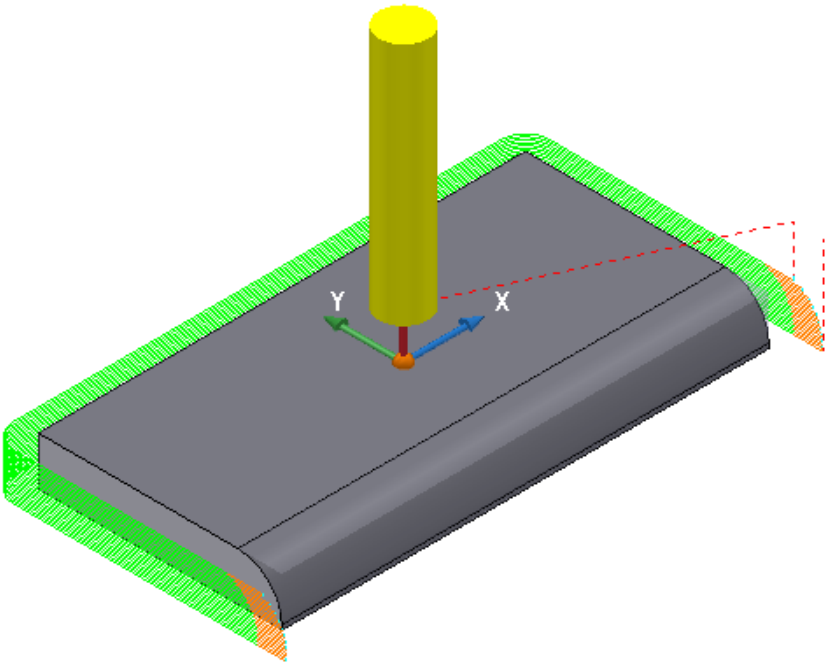
- بمستو Plane.
- بمضلع ترسمه على الطاير Polygon.
- بحدود تشغيل Boundary.

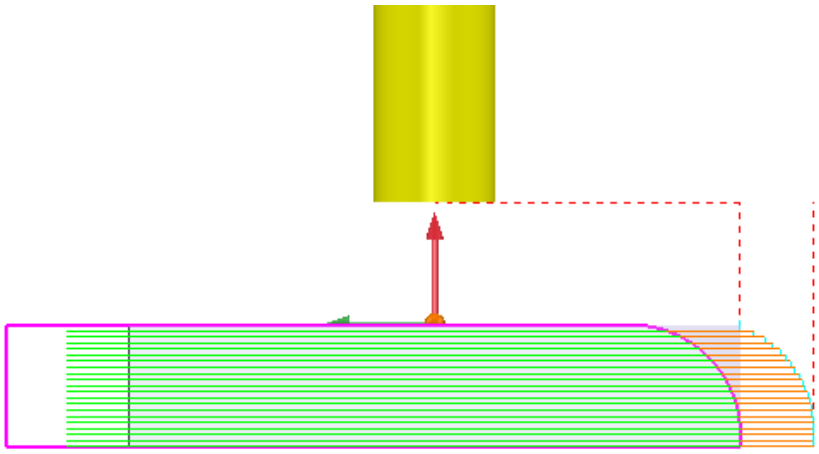
عند القطع بحدود تشغيل يوجَّه القطع إما باتجاه مستوي العمل وإما باتجاه مستوي الرؤية (بحسب زاوية الشاشة) وإما باتجاه الحدود.

وكما ترى لا فرق بين القطع بمضلع ترسمه وأنت في بيئة القطع وبين القطع بحدود تشغيل إلا في أن الحدود لا بد من وجودها قبل اختيار أمر القطع، وفي أن القطع بالحدود موجّه. إن أردت قطعًا سريعًا (سياقيًا) إن صح التعبير فاقطع بمضلع. وإن أردت قطعًا نظيفًا قابلًا للتكرار ومقروئيته مقبولة فاقطع بحدود تشغيل.

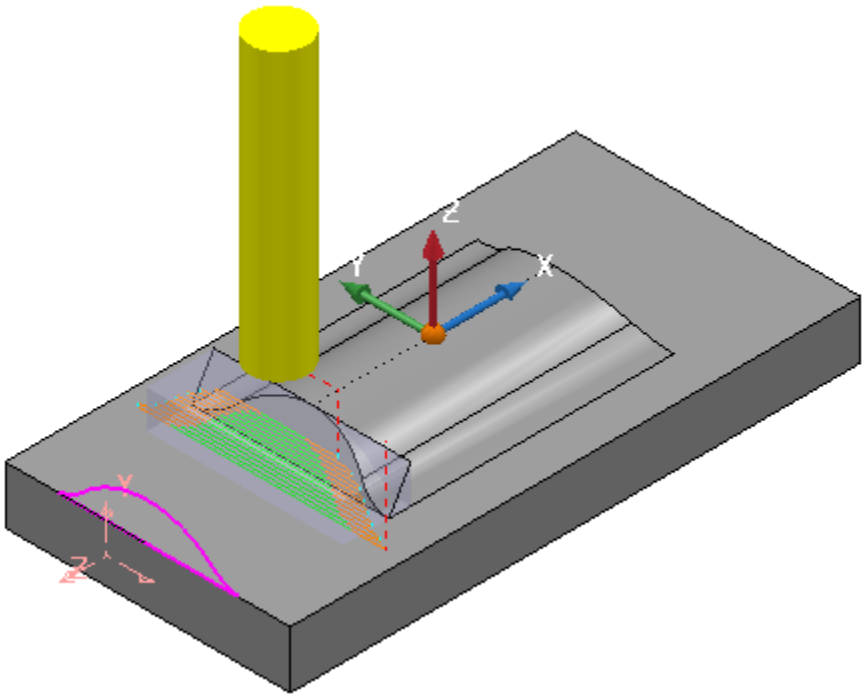
[1] لا يعتبر المسار اللولبي Spiral مغلقًا، وإنما خطوط ثلاثية الأبعاد مفتوحة متصلة ببعضها ما يوحي أنها مغلقة، لكنها في الواقع ليست كذلك. أما المسارات ثنائية الأبعاد (التي ليست Spiral) فقد تكون مغلقة وقد لا تكون. إن لم تكن مغلقة لا يمكن تعديل نقاط بدايتها، فهي في أوائل الخطوط المفتوحة. هذا لأن الخط المفتوح لا يمكن المرور على نقاطه دون تكرار إلا بأن تكون نقطة البداية في أول الخط فقط.

انظر:

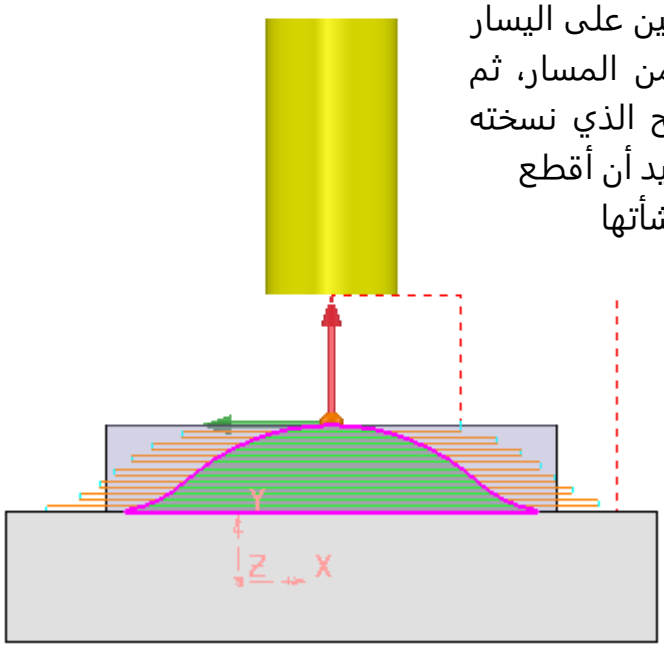




وأنا هنا أفترض أن الأسطح ذات الدوران مشغلة، ولم يبق إلا تشغيل الجدران الشاقولية. أرأيت كيف أحطت المسار بحدود وقطعته بها؟ طيب انظر هذا:



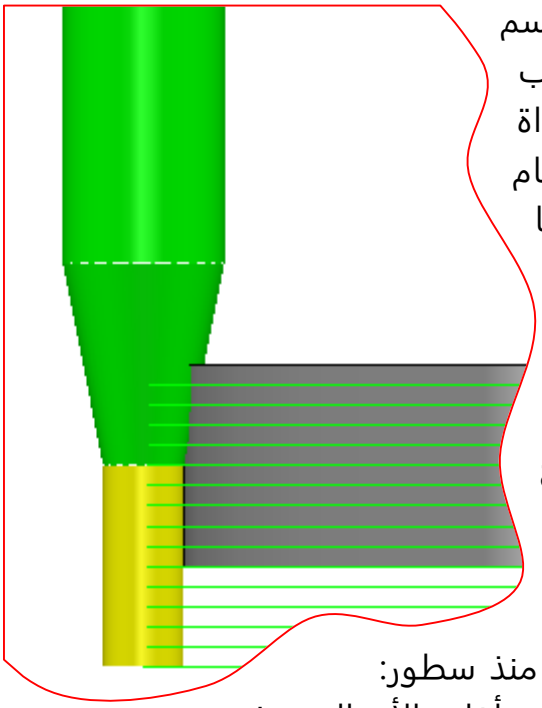
لاحظ أنه في المثالين كانت الحدود في مستوي القطع المطلوب. في المثال الأول أنشأت الحدود ونسخت إليها السطح من الرسمة، ثم عدلت النقطتين على اليسار لتحيط الحدود بالأجزاء التي لا أريدها أن تقطع من المسار، ثم قطعت المسار بالحدود. في المثال الثاني السطح الذي نسخته ليس في مستوي القطع الذي أريد، بل مائل عنه (أريد أن أقطع في مستو يوازي المستوي YZ، بينما الحدود التي أنشأتها ليست كذلك)، لهذا أنشأت جملة إحداثيات مؤقتة، ووجهتها بحيث يكون الاتجاه z باتجاه القطع الذي أريد، ثم أسقطت الحدود على المستوي الصفري في الجملة (**بالأمر Boundary > Flatten**)، ثم قطعت المسار. لاحظ أيضًا أني أنشأت سطحًا وهميًا لأقود المسار به (قللت شفافيته لتمييزه، **بالأمر Model > Translucency**)، وجعلت الخامة بأبعاده، وكبرتها في الاتجاه x- بحيث تستطع الأداة الحركة لتشغيل السطح، ثم حسبت المسار، وقطعته بالشكل الذي ترى. وبالمناسبة: هذا السطح الوهمي لن أحتاجه في هذا المثال إلا في هذا المسار، لهذا فإني سأحذفه من المشروع عند اعتمادي المسار، ولكني محتفظ به في ملف بجانب المشروع؛ فإن أردت تعديل المسار أو إعادة حسابه أتيت بالسطح مرة أخرى. انظر **فقرة السطوح السياقية** في بداية هذا الفصل لمزيد عن الأسطح الوهمية، **وفقرة أعراف في التسمية** في **فصل المدخل** للمزيد عن الملفات التي نخزنها بجانب المشاريع.



... ولكن أكرر للأهمية: إن كان أمامك تصرف آخر في الكائنات غير التعديل اليدوي فتصرف به؛ اجعل التعديل اليدوي آخر خياراتك.

استبدال أداة القطع Replace Tool

الأمر المبهج: لا حاجة لاستبدال الأداة لإعادة حساب المسار. الأمر المحبط: لا يمكن استبدال الأداة إلا بمثلها. الفكرة من هذا الأمر هو استبدال الأداة بأخرى بجسم مختلف. وهذا مفيد في حالة تعريف جسم الأداة. قد تحسب المسار بأداة تفريز E2 x 5 مثلًا، فتختبره، فتجد جسم الأداة اصطدم بالمشغولة. والمسارات لا تحسب على أساس أجسام الأدوات (الأجزاء ذات اللون الأخضر) وإنما على أساس سلاحها فقط (الجزء ذو اللون الأصفر). سلاح الأداة (ويسمى حدها القاطع) هو الجزء الملولب من الأداة والذي يحوي ريشها. تفصيل بنية أدوات القطع تجده في فقرة سابقة في هذا الفصل وفي الفصل السابق. يضمن الباورميل شخصيًا أن سلاح الأداة لن يصطدم بالمشغولة، ولكنه لا يفعل ذلك مع جسمها ولا حاملها. لهذا إن أردت معرفة هل سيصطدم جسم الأداة بالمشغولة عليك اختبار المسار بنفسك **(بالأمر Verify Toolpath)**. هذه الحالة ستصادفك مع الأدوات الصغيرة والتي لا يكون جسمها بقطر سلاحها، أي في مثالنا المذكور منذ سطور: سلاح الأداة بقطر 2 مم وارتفاع 5 مم، أما جسمها فأكبر منها في أغلب الأحوال. ويشيع أن يكون 4 مم. الصورة المجاورة، ولو أنها متطرفة زيادة عن اللزوم، ولكنها تصف ما نقوله وتمثل ما نشرحه. المهم: إن وجدت أن الأداة مصطدم جسمها بالمشغولة استبدلها بأخرى بهذا الأمر. لنقل مثلًا: E2 x 12، والتي تعني أداة بسلاح قطره 2 مم، وارتفاعه 12 مم، وبجسم قطره أكبر من قطر سلاحها (غالبًا ما يكون 4 مم). بعد استبدال الأداة تُختبر مرة أخرى، وتكرَّر العملية مع أداة أخرى إن اصطدمت كذلك.

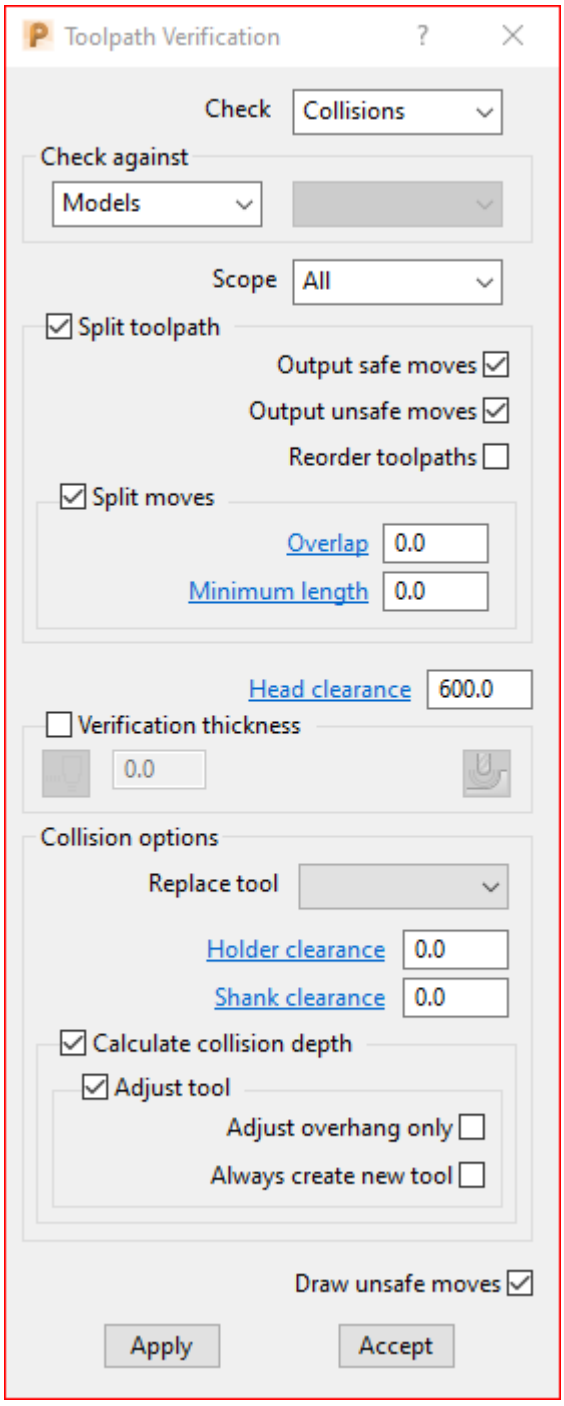


من نتائج اختبار المسارات طول سلاح الأداة المطلوب حتى لا يصطدم جسمها بالمشغولة. مزيد من التفصيل في **فقرة فحص المسارات**، الفقرة التالية. وإن عرّفت الحامل فإن الطول المطلوب بحيث لا يصطدم بالمشغولة يكون من نتائج الاختبار كذلك.

في كثير من الأحيان طول سلاح الأداة المطلوب واضح، إن كانت تفاصيل المشغولة كلها أرضيات أفقية وجدران شاقولية، وأحيانًا: إن كانت الأرضيات أفقية على الأقل. طول السلاح يجب أن يزيد عن المسافة الشاقولية (بالاتجاه z) بين أبعد سطحين أفقيين في المشغولة. هذا إن كانت التفاصيل واضحة كما قلنا. إن كان فيها منحنيات فلا بد من اختبارها بأداة اختبار المسارات (الفقرة التالية).

فحص المسارات Toolpath Verification

تحسب المسارات على أساس حد أدواتها القاطع فقط. لا يدخل في حسابها أجسامها (الـ Shank) ولا حواملها (الـ Holder). هذا الكلام ينطبق على حدود التشغيل التي تحسب على أساس أدوات القطع أيضًا بالمناسبة. لهذا عليك التحقق من المسارات قبل إخراجها في برامج تشغيل.



كثير من المسارات بل أكثر المسارات يمكن التحقق منها بالنظر. وذلك بحسب التفاصيل المراد تشغيلها. المهم في كل القصة:

- أن لا تتجاوز الجدران في المشغولة طول حد أدوات القطع القاطع،
- وأن لا تتجاوز الأعماق فيها طول أداة القطع خارج الحامل،
- والأهم: **أن لا تتجاوز الأعماق ارتفاع سطح عمود الدوران**.

إن ما أمكنك التحقق من المسار بالنظر فهذا الأمر سيساعدك في ذلك.

نفحص المسارات من ناحيتين:

- تصادمات الحد القاطع Gouges.
- تصادمات جسم الأداة وحاملها Collisions.

ويكون الفحص بالنسبة لـ:

- الرسومات Models.
- خامة افتراضية Stock Model.

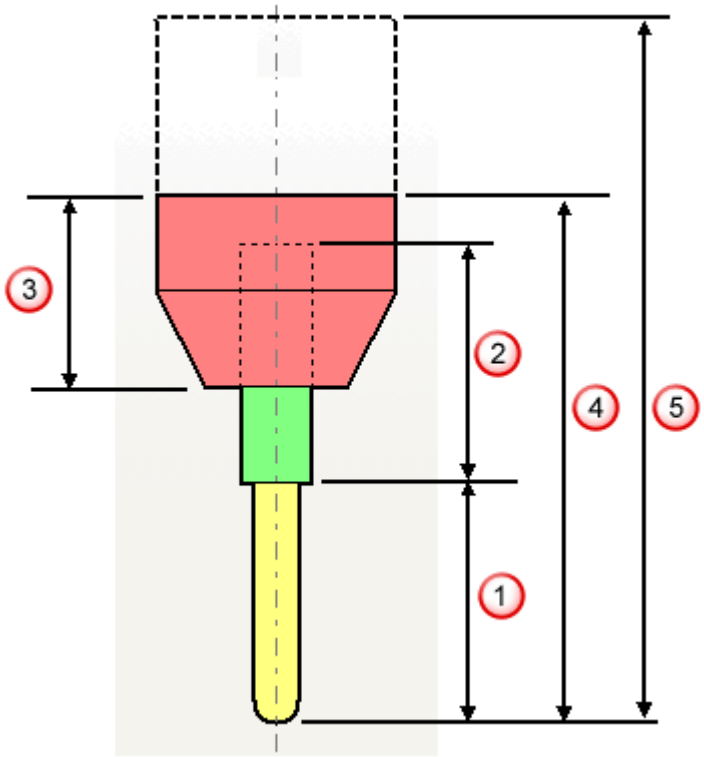
ولك أن تفحص في المسار:

- كله All.
- نقلات القطع Cutting Moves.
- الوصلات كلها Connection Moves.
- البدايات والنهايات Leads.
- النقلات Links.

في الحالة العامة عند فحص المسارات تجزأ إلى نقلات آمنة وأخرى غير آمنة، مع إمكانية إعادة ترتيب المسار بعد تجزأته. لكن في كثير من الأحيان نريد فحص المسار دون المساس به، عندها نلغي **خيار التجزأة Split Toolpath**.

كذلك إن كان جسم الأداة معرّفًا (كما في **فقرة استبدال أداة القطع**) يمكن حساب ارتفاع التصادمات إن وجدت، واستبدال الأداة تلقائيًا. مرة أخرى: نريد المسار كما هو، لذا نلغي **خيار الاستبدال Tool Adjust**، مع الإبقاء على **خيار حساب عمق التصادمات Calculate Collision Depth**. وهذه فائدة تعريف أجسام أدوات القطع.

أنشئ كل الأدوات التي تستخدمها إما في قاعدة بيانات أدوات القطع وإما بتسجيل أوامر Macro، تستدعيه عند كل مشروع. هذا يعفيك من ناحية من عناء إضافتها عند الحاجة إليها، ويزيد التشاركية في المشروع من ناحية أخرى (بجعل المسارات تستخدم نفس الأدوات إن كانت بنفس الأقطار).



انظر كيف يرى الباورميل الأداة وحاملها:

1. طول الحد القاطع Cutting Length.[1]
2. طول جسم الأداة Shank Length.
3. طول الحامل Holder Length.
4. ارتفاع رأس الآلة Head Clearance.
5. إن كان ارتفاع رأس الآلة أكبر من الأداة وحاملها عندها يضاف جزء يمثل الفارق.

نقطة أخيرة: في الحالة العامة يكون أمام المسار الرمز ✓ للدلالة على أن المسار محسوب ومفحوص من حيث الحد القاطع (وذلك عندما يكون **خيار Gouge Check** مفعل في المسار، وهو في الحالة العامة كذلك). فإن فُحص بأمر فحص المسارات فإنه إن كان فيه تصادمات كان أمامه الرمز ❗، وإلا كان أمامه الرمز ✓.

[1] تقنيًا، بالنسبة للباورميل، هو طول أداة القطع Tool Length. يعني الباورميل لا يرى من الأداة إلا حدودها القاطعة، الجزء الأصفر منها. جسمها وحاملها أشياء أخرى مستقلة عن الأداة. هذا الكلام يسري على الباورميل فقط. في الواقع فإن الأداة مكونة من الحد القاطع ومن جسمها، يعني من الجزء الأصفر والأجزاء الخضراء.

معلومات عن بعض الكائنات

الفقرات التالية فيها ما يساعدك في الحصول على معلومات عن بعض الكائنات وفي ضبطها في بعضها.

أبعاد الكائن Properties

لا نقصد بالأبعاد الطول والعرض وإنما نقصد النقاط الحدية للكائن؛ أبعد نقاط يصلها. معظم الكائنات تشترك بهذا الأمر. وأكثر ما يُستفاد منها هو معرفة أقصى عمق يصل إليه الكائن. ومع هذا فإن أقصى بعد في الاتجاهات الأخرى مهم أيضًا.

قديمًا كنا نعتمد على هذا الأمر بالدرجة الأولى لضبط صفر المشغولة، حيث كنا في النسخ القديمة لا نستخدم غير جملة الإحداثيات القياسية، فننقل الرسمة وندورها بحيث تكون الجملة في أعلى منتصفها.

سجل التغييرات History

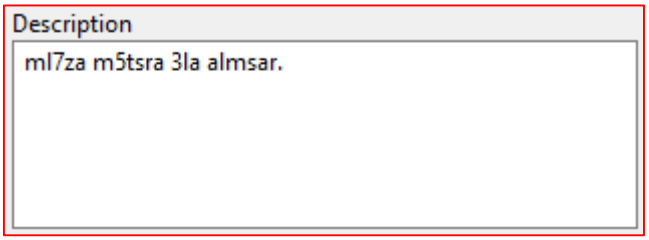
في كل مرة يُحسب مسار التشغيل فيها يزداد رقم المراجعة فيه، ويضاف تاريخ ووقت الحساب، واسم الكمبيوتر المستخدم. مفيد هذا السجل في تتبع التغييرات التي طرأت على المسار من حيث متى حُسِب ومن حسبه.

في حدود التشغيل سجل تغييرات أيضًا، مفصل أكثر من سجل تغييرات المسارات. انظر **فقرة سجل تغييرات الحدود** للمزيد.

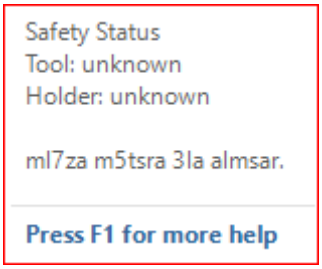
الملاحظات Notes & Descriptions

إن أردت ترك ملاحظة على مسار التشغيل فاتركها هنا. المشكلة عندنا أنها لا تقبل العربية، ومع ذلك فلا تزال مفيدة. وهي مفيدة إن أردت تركها لغيرك أو لنفسك.

أما الوصف فهو ملاحظة مختصرة، يتميز عن الملاحظات العادية في كونه يظهر في تلميح المسار إن أوقفت المؤشر عليه في المستعرض. لنقل أنك كتبت هذا:



عندها فإن هذا ما سيكون تلميحًا على المسار:



الملاحظات وسجل التغييرات لا تؤثر في المسار؛ لهذا يمكن تغييرها دون الحاجة لتعديل المسار وإعادة حسابه، ولهذا أيضًا لا تتأثر برامج التشغيل عند تغيير ملاحظات وسجلات تغيير مساراتها.

عود نفسك أن تراجع ملاحظات المسارات في كل مرة تفتح المشروع فيها لتعدله وفي كل مرة تنهي المشروع فيها وتجهز برامج التشغيل لتخرجها، إن كنت تترك ملاحظات فيها عادةً.
الملاحظات المختصرة سطرية في طبيعتها. لكن يمكن برمجيًا إما بتسجيلات أوامر Macros أو بإضافة Plugin كتابتها متعددة الأسطر، تمامًا كما هم كتبوا الأسطر الثلاثة التي تحدد حالة الأمان (أحيانًا تكون أربعة).

زمن عملية التشغيل Statistics

بعد حساب المسار يمكن معرفة زمنه بالتفصيل. ويمكن ذلك للمسارات ويمكن ذلك للبرامج.

واعلم أن زمن المسار متعلق بسرعة التغذية، وطول المسار. سرعة التغذية أنت من يتحكم بها. أما طول المسار فالباورميل هو من يحدده. واعلم أنه زمن نظري إن صح التعبير، ففي الواقع يكون زمن التشغيل أكبر من الزمن الذي يحسبه الباورميل؛ لوجود ضياعات متعلقة بتسارعات الآلة.

وجدتْ بمتوسط 665 برنامجًا مما برمجت وشغلت على فترة تسعة شهور أن الوقت الذي يحسبه **السيمكو CIMCO** يزيد بنسبة 10% عن الوقت الذي يحسبه الباورميل، حيث كانت كلها برامج مضمومة (فيها مسارات تشغيل عديدة، قد تتجاوز العشرين). ووجدت أنه كلما كانت نقلات المسارات أكبر كانت النسبة أكبر، والعكس صحيح. إستراتيجيات الهد نقلاتها كثيرة، لهذا نسبة الزيادة فيها أعلى، قد تصل ل20%، على عكس عامة إستراتيجيات الإنهاء، التي قد تكون نسبة الزيادة معدومة تقريبًا. إستراتيجيات التثقيب كان زمنها يزيد حتى 50%.

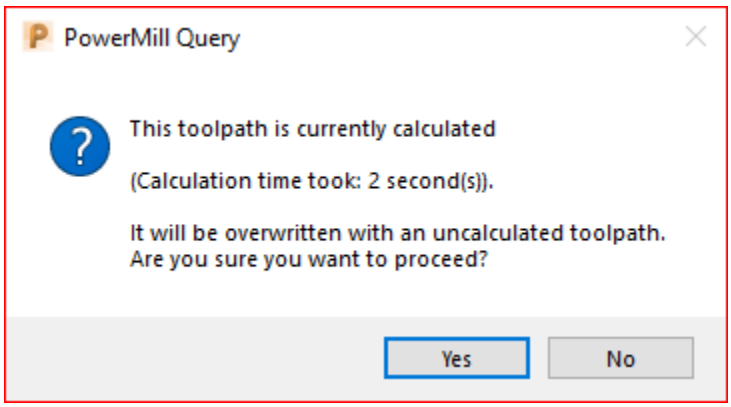
زمن حساب مسار التشغيل History Cost

هذا الأمر غير متاح ضمن الأوامر العادية في الباورميل، وإنما موجود في البنية التحتية فيه، أي أنه موجه للمطورين. وللوصول إليه أرسل الأمر التالي في نافذة الأوامر:

```
print = toolpath.History.Cost
```

ولا يفيد هذا الأمر إلا مع مسارات التشغيل التي كان لها سابق حساب. أي إن أعيد المشروع بمساراته على رسومات مختلفة (كبرمجة مقاسات من رسم معين، أو برمجة قطعة مختلفة من حيث الشكل لكنها متشابهة مع التي قبلها من حيث التفاصيل والعمليات المطلوبة لتشغيلها)، أو إن عُطّل مسار التشغيل، لأي سبب من الأسباب، وأريد حسابه مجدّدًا، أو إن كان محسوبًا، وأريد معرفة كلفة وقت حسابه.

الباورميل نفسه يعتمد على هذه الخاصية ليعطيك رسالة بوقت مسار التشغيل إن أردت تعطيله، كهذه:



نقطة أخيرة مهمة: بعض مسارات التشغيل عند حسابها ثم تعطيلها لا تمحى بياناتها نهائيًا، وإنما يحتفظ البرنامج بها في مكان ما، فإن حسبت مرة أخرى في نفس الجلسة اعتُمد على تلك البيانات وحسبت المسارات بوقت أقل.

معرفة زمن مجموعة من مسارات التشغيل

أسهل طريقة في الباورميل ضم المسارات في برنامج واحد ومعرفة وقته. ويمكن أيضًا ذلك بكتابة تسجيل أوامر يجمعها ويرسلها برسالة.

إنشاء برامج التشغيل Creating NC Programs

آخر مرحلة في الشغل هي إنشاء برامج التشغيل. هي في أول المستعرض، نعم، لكنها آخر ما نعمل به. وهذا –وجود نتيجة الشغل في أعلى القائمة الرئيسية في البرنامج– عرفٌ في البرامج الهندسية.

قد نضم أكثر مسار في البرنامج، وقد لا يكون فيه إلا مسارًا واحدًا. إن كان في البرنامج أكثر من أداة قطع لا بد من ضبط أرقامها، ليحمّلها مبدل الأدوات عند تشغيلها. وإن لم يكن في البرنامج إلا أداةً واحدة فإن العادة أن تكون بالرقم 1.

إليك الإعدادات التي ينصح بضبطها قبل إنشاء برامج التشغيل:

- تفعيل **الخيار Use toolpath workplane for output**
- عدم تفعيل **الخيار Allow duplicate toolpaths**
- عدم تفعيل **الخيار Automatically append toolpaths to active NC program**

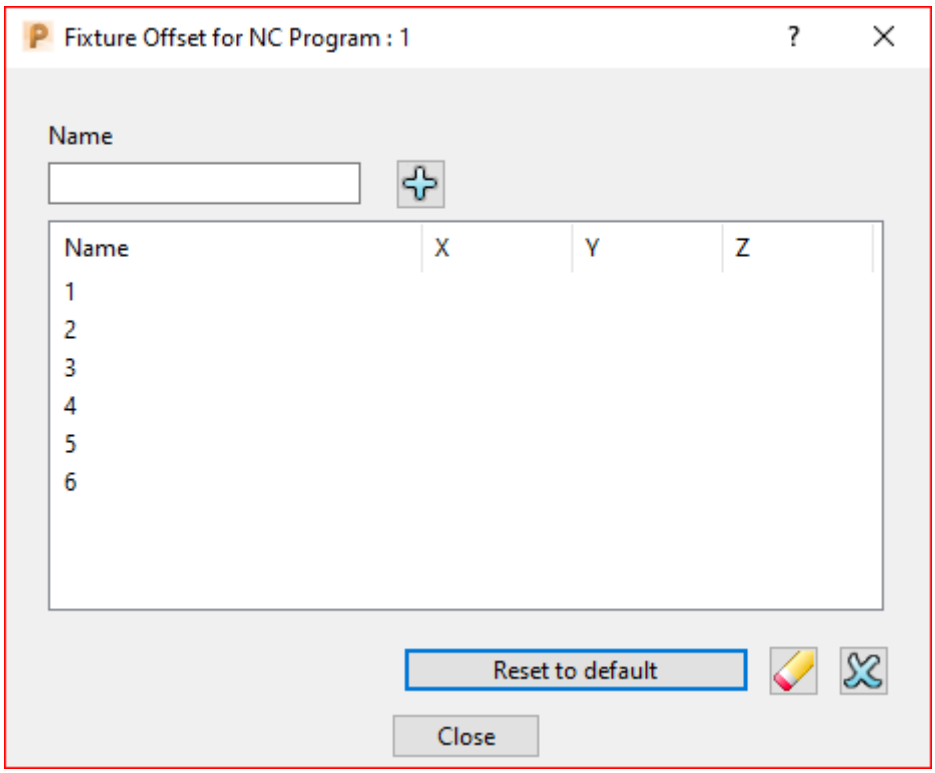
ضبط جملة إحداثيات برنامج التشغيل، G54 أو غيرها...

في الحالة العامة هي G54، حددت أم لم تحدد؛ فالمترجم Post Processor مبرمج على أن يجعلها G54 إن لم تضبط جملة الإحداثيات في برنامج التشغيل. كانت نيتي تخصيص فصل يسرد المترجم، ولكن الوقت لم يسعفني، فربما أفعل ذلك في النسخ القادمة. لكني حتى وقتها أريد أن أستبق الأحداث وأخبرك أنهم كتبوا شيئًا كهذا:

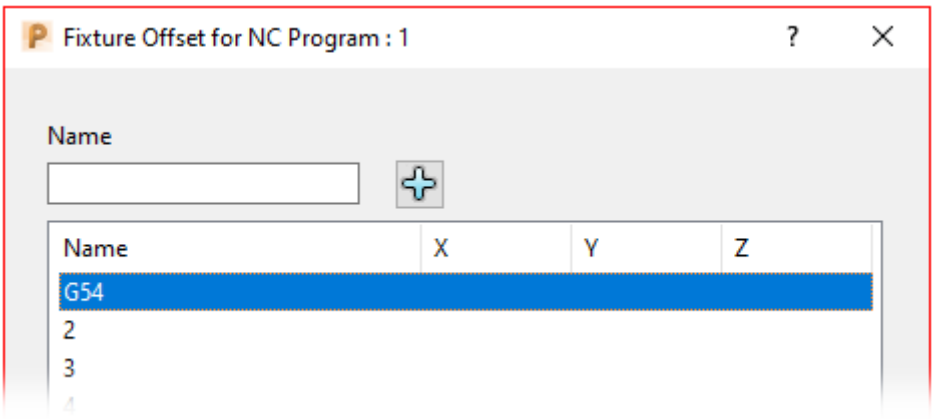
```
if (%p(Fixture Offset Type)%==""||%p(Fixture Offset Type)%.toUpperCase()=="NONE")
    'G54'
else
    Fixture Offset Type
end if
```

وهذا ترجمة الكلام: إن لم يكن تعويض التثبيت محددًا أو كان "NONE" فإنه يكتب في الكود G54، وإلا: يكتب في الكود التعويض المستخدم في البرنامج.

نضبط جملة الإحداثيات من **الأمر Fixture Offset List** ، والذي يحوي النافذة التالية:



في هذه النافذة ستة جمل إخداثيات كما ترى. لك أن تضيف غيرها، ولك أن تعدلها فتسميها بالاسم الذي تريد:



في الواقع ما ستكتبه هنا من أسماء ما هو في الواقع إلا قيم نصية لا يفهمها الباورميل، فتكتب في الأكواد كما تسميها هنا تمامًا. لهذا فاحذر وأنت تتعامل معها. واقرأ الأسطر البرمجية في أول الفقرة، وانظر كيف يتعامل معها المترجم برمجيًا على أنها قيم نصية.

في العادة لا نحتاج ضبط جملة الإحداثيات، وتكفينا الجملة الافتراضية في عامة أعمالنا التشغيلية؛ أي: نترك تعويض التثبيت خاليًا، فتكتب برامجنا بجملة الإحداثيات G54.

كما يشيع بين المبرمجين والمشغلين تعديل ملفات التشغيل يدويًا، فيكتبون جمل الإحداثيات التي يريدون. وهذا أفضل.

كتابة معلومات عن مسار التشغيل في تعليقات برنامج التشغيل

ثمة حقول هي متغيرات برمجية تشير إلى معلومات عن المسارات كسجل التغييرات فيه وملاحظاته وعدد مراجعاته. اكتبها في تعليقات برنامج التشغيل هكذا لتكتب معه في الملف:

```
%[notes]
%[description]
%[toolpath_type]
%[edit_history]
%[revision]
```

ضم مسارات التشغيل في برنامج واحد

نضم المسارات في برنامج واحد بتفعيله وإرسال **الأمر NC Program > Add To > Toolpaths**، أو ببساطة بسحبها وإلقائها فيه دون الضغط على المفتاح {CTRL}.

إذا كان في برنامج التشغيل مسار تشغيل واحد، وبالتالي أداة قطع واحدة؛ كان رقمها 1 ابتداءً. ولك أن تغيره إن شئت. وكذا: إذا كان فيه أكثر من مسار تشغيل، وكلها تستخدم نفس الأداة. وإذا كان فيه أكثر من مسار تشغيل بأدوات قطع مختلفة، كان رقم أول أداة 1، ابتداءً أيضًا، وباقي الأدوات بلا أرقام.

وإذا كان في برنامج التشغيل أدوات قطع مختلفة (أكثر من رقم) أدى البرنامج إلى تغيير الأدوات في آلة التشغيل، وهنا لا بدّ للآلة أن تدعم مبدّل الأدوات Tool Changer.

وهنا ستلاحظ ما يلي:

- إذا كانت أداة القطع مثل ما قبلها، وبالتالي لن يكون هناك تبديل للأدوات؛ كتب رقمها محاطًا بقوسين، هكذا: (1).
- وإذا كانت مستقلة عما قبلها، وبالتالي سيكون هناك تبديل للأدوات في آلة التشغيل، سبق رقمها بنجمة، هكذا: 1*.
- وإذا كانت غير محددة كان رقمها إشارة استفهام، هكذا: ?. [1]

لا يمكنك كتابة برامج التشغيل إلا إن حددت أرقام كل أدوات القطع فيها.

لا يمكنك إعطاء أكثر من أداة نفس الرقم. في النسخ الحديثة من الباورميل يمكنك ذلك وسيكتب برنامج التشغيل لكنك ستحصل على تنبيه بلون أحمر غامق.

الخيار الابتدائي في ترقيم أدوات القطع هو: As Specified، وهو أفضل خيار. يوجد خيار آخر لترقيم الأدوات تصاعديًا، وهو Automatic.

إليك ما يحويه برنامج التشغيل من أكواد

البرامج التي أكتبها موجهة إلى الآلات التي تعمل بنظام التحكم Mitsubishi. قد تجد اختلافًا عما عندك، ولكن المبدأ نفسه في أي نظام تحكم.

ستجد البرامج مؤلفة من:

- سطور، نسميها بنى Blocks (ج. بنية Block)، مرقمة بالأمر N
- الأوامر الرئيسية G
- الأوامر المساعدة M
- التعليقات، وهي كل ما يحاط بقوسين

انظر مثلًا برنامجًا يحوي مسارًا واحدًا:

```
N100 ( PROGRAM NAME   : 1-E10)
N101 ( PART NAME      : 1-E10)
N102 ( PROGRAM DATE   : 2024-11-12 - 12:29:19 PM)
N103 ( PROGRAMMED BY  : Eng27)
```

[1] برمجيًا تقابل الرقم 2-.

```
N104 ( POWERMILL CB  : 2021009.0)
N105 ( POST VER      : 2021.0.0.5113)
N106 ( OPTION FILE   : MITSUBISHI - ENG27)
N107 ( OUTPUT WORKPLANE : WORLD)
N108 (  )
N109 ( TOOLPATHS )
N110 (-----------------------------------------)
N111 (   T | TOOL |  DIA | TIP | MIN Z | DURATION )
N112 (-----------------------------------------)
N113 (   1 | E10  | 10.0 | 0.0 |  -9.9 |   0:7:31 )
N114 (-----------------------------------------)
N115 (     |      |      |     |       |   0:7:31 )
N116 (-----------------------------------------)
N117 (  )
N118 ( COUNT: 1.0 )
N119 (  )
N120 G00 G21 G80 G40 G17
N121 G90
N122 G54
N123 G53 Z0.0
N124 (---------------)
N125 ( START TOOLPATH : 1-E10 )
N126 ( Z MIN          : -9.9)
N127 (---------------)
N128 ( TOOL NO.    :1)
N129 ( TOOL TYPE   : ENDMILL)
N130 ( TOOL ID     : E10)
N131 ( TOOL DIA    : 10.0 LENGTH 50.0)
N132 T1M6
N133 S4000 M03
N134 G00 G90 X0.0 Y0.0
N135 G43 Z10.0 H1
N136 M08
N137 G61.1
N138 G05 P2
N139 X4.7475 Y-55.275
N140 Z0.25
N141 G01 Z-0.9091 F100.0
N142 Y-54.7475 F2000.0
…
N1349 G00 Z10.0
N1350 G05 P0
N1351 G64
N1352 (---------------)
N1353 ( END TOOLPATH : 1-E10 )
N1354 (---------------)
N1355 M09
N1356 M05
N1357 G53 Z0.0
N1358 M30
%
```

ستجد في البداية تعليقات على البرنامج، تفيد المشغل في معرفة من برمجه وعلى ماذا برمجه، ومعلومات أساسية عنه (اسم البرنامج وجملة إحداثياته). قد تكون هذه المعلومات مفيدة للمبرمجين أكثر منها للمشغلين، خصوصًا عند مراجعة البرامج على الطاير.

ثم ستجد معلومات عن أدوات القطع في البرنامج، أرقامها وأقطارها وأطوالها. أنا عدّلت **المترجم Post Processor** ليعرض معلومات عن المسارات بما فيها من أدوات.

ثم ستجد أوامر تضبط بيئة العمل، وهي كما يلي:

- G00 الحركة السريعة، هذا الأمر متعدّ (يسمى Modal Code)؛ كل الأسطر التالية ستتحرك بحركة سريعة إلى أن يكتب أمر حركة آخر.
- G21 الأبعاد الدولية (الواحدات المترية).
- G80 إلغاء أي دارات كانت قبل تشغيل البرنامج (أمر احتياطي).
- G40 إلغاء تعويض نصف قطر الأداة (أمر احتياطي).
- G17 العمل في المستوي XY.
- G90 الإحداثيات المطلقة.
- G54 ضبط جملة الإحداثيات المخزنة في الآلة في الرقم 1.[1]
- G53 إعدادات نظام إحداثيات الآلة.

> تكتب الأوامر الاحتياطية تحسبًا لوجود أمر نافذ كان مرسلًا قبل تشغيل البرنامج. بعض الأوامر متعدية Modal Codes؛ يبقى تأثيرها إلى أن يكتب غيرها. وأوامر الدارات وأوامر التعويضيات أوامر متعدية؛ لذا إن كانت مكتوبة قبل تشغيل البرنامج ولم تلغى فإنها ستؤثر على هذا البرنامج. لهذا فإننا نلغيها احتياطًا. حتى G90 أمر احتياطي بهذا المعنى.
> للمزيد انظر **فصل الأساسيات** فيه تفصيل أوامر الآلات المبرمجة.

ثم ثمة تعليقات أكثر تفصيلًا عن المسار الذي سيعمل؛ مفيدة هذه التعليقات أكثر إن كان في البرنامج أكثر من مسار، لتعلم في أي مسار أنت.

ثم ستجد أوامر ضبط أداة القطع:

- T1 ضبط الأداة المخزنة في حامل الأدوات في الرقم 1 على أنها أداة القطع المستخدمة.
- M6 لتغيير الأداة.[2]
- S4000 ضبط سرعة دوران عمود الدوران على 4000 دورة في الدقيقة.

[1] في الحالة العامة يخرج الباورميل برامجه كلها في G54. إن أردت تغييرها عدل المترجم. ولكنها نوعًا ما عرف. عادة ما نغيرها يدويًا فقط.

[2] في الأصل تكتب بسطر منفصل، لكن كان عندنا مشكلة عند تبديل الأدوات كانت الآلة تتوقف عن العمل وترسل رسالة خطأ؛ فكان الحل بحسب فنيي الصيانة كتابة الأمر M6 في نفس سطر الأمر T1. فعدّلت المترجم ليكتبها في نفس السطر (وكما ترى فإني نسيت أن أضع فراغًا بين الأمرين، ولا مشكلة في ذلك فالفراغات لتوضيح القراءة ليس إلا، أما الآلة فتقرأ الأسطر متصلة عادي). في الواقع حلت المشكلة، ولو أن الحل ليس معقولًا 😕.

- M03 لتشغيل عمود الدوران.
- G00 G90 X0.0 Y0.0 للانتقال إلى نقطة البداية، بحركة سريعة، بالإحداثيات المطلقة.[1]
- G43 تعويض ارتفاع الأداة، المكتوب في الأمر H.
- Z10.0 للانتقال إلى ارتفاع الأمان (نفسه في نقط البداية).
- H1 المكان المخزن فيه تعويض ارتفاع الأداة في الآلة.[2]
- M08 لتشغيل التبريد.

ثم ستجد أمرًا للانتقال إلى أول نقطة (أول خط Segment في المسار)، ثم أمرًا للانتقال إلى ارتفاع الدخول (Plunge Height)، ثم أمرًا للدخول في المسار بسرعة محددة (بفعل الأمر G01، وهو أمر متعدّ بالمناسبة؛ كل الأسطر التالية ستتحرك به إلى أن يغيَّر).

في النهاية ستجد أمرًا للانتقال بحركة سريعة إلى نقطة النهاية (وهي في الحالة العامة تكون في المشاريع في الباورميل Last Safe Point)، ثم تعليقات تشير إلى انتهاء المسار، ثم الأوامر:

- M09 لإيقاف التبريد.
- M05 لإيقاف عمود الدوران.

ثم في النهاية: M30 لإنهاء البرنامج والخروج منه. وهنا نقطة مهمة: في أي مكان وجد فيه هذا الأمر خرجت الآلة من البرنامج، حتى لو كان بعده سطور. (مهم)

انظر الآن إلى برنامج يحوي أكثر من مسار:

```
N100 ( PROGRAM NAME   : TOOLPATHCUTTING)
N101 ( PART NAME      : 1)
N102 ( PROGRAM DATE   : 2024-11-12 - 12:29:26 PM)
N103 ( PROGRAMMED BY  : Eng27)
N104 ( POWERMILL CB   : 2021009.0)
N105 ( POST VER       : 2021.0.0.5113)
N106 ( OPTION FILE    : MITSUBISHI - ENG27)
N107 ( OUTPUT WORKPLANE : WORLD)
N108 (  )
N109 ( TOOLPATHS )
N110 (-------------------------------------------)
N111 (   T | TOOL |  DIA | TIP | MIN Z | DURATION )
N112 (-------------------------------------------)
N113 (   5 | E10  | 10.0 | 0.0 |  -9.9 |   0:7:31 )
N114 (   5 | E10  | 10.0 | 0.0 | -9.97 |   0:1:18 )
N115 (   6 | E10  | 10.0 | 0.0 | -10.0 |   0:1:26 )
N116 (-------------------------------------------)
N117 (     |      |      |     |       |  0:10:16 )
N118 (-------------------------------------------)
N119 (  )
N120 ( COUNT: 3.0 )
N121 ( MIN Z: -10.0 )
```

[1] تتحكم بها في الباورميل من الوصلات في **الصفحة Start and End Point.**
[2] لا يلزم أن يكون نفسه رقم الأداة، ولكنه عرف.

```
N122 (  )
N123 G00 G21 G80 G40 G17
N124 G90
N125 G54
N126 G53 Z0.0
N127 (---------------)
N128 ( START TOOLPATH : 1-E10 )
N129 ( Z MIN          : -9.9)
N130 (---------------)
N131 ( TOOL NO.     :5)
N132 ( TOOL TYPE    : ENDMILL)
N133 ( TOOL ID      : E10)
N134 ( TOOL DIA     : 10.0 LENGTH 50.0)
N135 T5M6
N136 S4000 M03
N137 G00 G90 X0.0 Y0.0
N138 G43 Z10.0 H5
N139 M08
N140 G61.1
N141 G05 P2
N142 X4.7475 Y-55.275
N143 Z0.25
N144 G01 Z-0.9091 F100.0
N145 Y-54.7475 F2000.0
…
N1352 G00 Z10.0
N1353 G05 P0
N1354 G64
N1355 (---------------)
N1356 ( END TOOLPATH : 1-E10 )
N1357 (---------------)
N1358 ( START TOOLPATH : 2-E10-FN )
N1359 ( Z MIN          : -9.97)
N1360 (---------------)
N1361 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0
N1362 G61.1
N1363 G05 P2
N1364 X28.1951 Y-28.8458
N1365 Z0.25
N1366 G01 Z-1.0 F100.0
N1367 X27.4387 Y-29.3648 F2000.0
…
N1719 G00 Z10.0
N1720 G05 P0
N1721 G64
N1722 (---------------)
N1723 ( END TOOLPATH : 2-E10-FN )
N1724 (---------------)
N1725 M09
N1726 M05
N1727 G53 Z0.0
N1728 (---------------)
N1729 ( START TOOLPATH : 3-E10-FLAT )
N1730 ( Z MIN          : -10.0)
```

```
N1731 (---------------)
N1732 ( TOOL NO.    :6)
N1733 ( TOOL TYPE   : ENDMILL)
N1734 ( TOOL ID     : E10)
N1735 ( TOOL DIA    : 10.0 LENGTH 50.0)
N1736 T6M6
N1737 S4000 M03
N1738 G00 G90 X0.0 Y0.0
N1739 G43 Z10.0 H6
N1740 M08
N1741 G61.1
N1742 G05 P2
N1743 X-54.7773 Y-50.9519
N1744 Z0.25
N1745 G01 Z-10.0 F100.0
N1746 X54.7773 F2000.0
…
N1886 G00 Z10.0
N1887 G05 P0
N1888 G64
N1889 (---------------)
N1890 ( END TOOLPATH : 3-E10-FLAT )
N1891 (---------------)
N1892 M09
N1893 M05
N1894 G53 Z0.0
N1895 M30
%
```

وكما ترى فإن الأمر M30 لا يوجد إلا في آخر البرنامج. (مهم)

التعديل على برنامج التشغيل يدويًا

في الحالة العامة لا حاجة لك بتعديل ملفات برامج التشغيل. قد تضطر لتعديلها أحيانًا. فإن تكرر التعديل مرارًا الأفضل عندها أن تعدل المترجم. فإن كان التعديل يكون أحيانًا ولا يكون أحيانًا أخرى فأنشئ أكثر من نسخة للمترجم.

إليك أشهر الحالات التي تحتاج تعديل ملفات برامج التشغيل يدويًا فيها:

- تعديل رقم الأداة T. لا بدّ من تعديل تعويض الارتفاع H معها. في الحالة العامة T = H. (مهم)
- قد تضطر لتعديل تعويض الارتفاع H دون تعديل رقم الأداة T أو بغير رقمها.
- تعديل جملة الإحداثيات، في الحالة العامة هي G54.
- تعديل سرعة الدوران S، أو سرعة التغذية F. في أغلب الأحيان سرعة التغذية متغيرة بسبب وجود دخول في المسار، لهذا لا يمكن التعديل دائمًا. أما سرعة الدوران فثابتة خلال عمل المسار.

وقد تعدل بداية الملف أو نهايته إن أردت ضم المسارات أو البرامج فيه، وهذا موضوع الفقرة التالية.

ضم برامج التشغيل في برنامج واحد يدويًا

تشترك البرامج بالبداية نفسها، الأوامر التي تهيئ بيئة العمل؛ لهذا يكفيك أن تكتبها مرة واحدة إن ضممتها في ملف واحد. وستجد الباورميل يفعل هذا عند ضمها من خلاله.

ومع هذا، لا مشكلة إن أبقيتها. أهم ما يجب تعديله: أن تحذف أمر الخروج من البرنامج M30 من كل البرامج التي تريد ضمها إلا آخر برنامج. انظر **فقرة ما يحويه برنامج التشغيل من أكواد** فيها برنامج من تخريج الباورميل، لاحظ كيف أنه كتب الأوامر التي تهيئ بيئة العمل في بداية الملف ولم يكررها، وأن أمر الخروج من البرنامج M30 موجود مرة واحدة. (مهم)

تشغيل أكثر من مشغولة في نفس البرنامج (أكثر من جملة إحداثيات)

وجود أكثر من مشغولة في التشغيل الواحد يعني وجود أكثر من برنامج أي أكثر من جملة إحداثيات واحدة، في نفس التشغيل. وهنا الضم يدوي؛ نبرمج كل شغل لوحده، في نفس المشروع أو في أكثر من مشروع، ثم نضم برامج كل الأشغال في ملف واحد كما سبق مع تغيير جملة الإحداثيات وأحيانًا أرقام الأدوات وتعويضات ارتفاعاتها، أو تعويضات ارتفاعاتها فقط.

إليك أشهر الحالات التي نشغل فيها أكثر من شغل في التشغيل الواحد:

- تشغيل مشغولات مختلفة، قد تشترك بالأدوات وقد لا تشترك.
- تشغيل نفس الشغل مكرّرًا.

وهذه أهم ما يجب أخذه بعين الاعتبار:

- حذف أمر M30 من كل البرامج إلا البرنامج الأخير.
- ضبط جمل الإحداثيات G54 وG55 و... إلخ.
- أن تكون الجملة G54 لمشغولة سطحها الصفري موجود؛ لتصفير كل الأداوت عليه.
- أن يكون المستوي الصفري واحد فيها ما أمكن، سواء كان ثمة سطح في المشغولة أو لا (عدم وجود سطح صفري يعني أن أعلى نقطة ليست z = 0، ويكون هذا لغايات تشغيلية وأحيانًا برمجية).
- قد تشترك البرامج بأدوات القطع. لا بدّ عندها أن تكون بنفس الأرقام T (مهم).
- في الحالة العامة تشترك الأدوات بنفس تعويض الارتفاع H مع اختلاف جمل الإحداثيات التي تعمل بها. أي الأداة T1 لها تعويض الارتفاع H1، والأداة T10 لها التعويض H10، وهكذا. قد تستخدم نفس الأداة في مشغولات مستواها الصفري ليس واحدًا؛ عندها نسجل في الآلة تعويض الارتفاع ونكتب في الملف رقم التعويض. مثلًا: لنقل إنك تشغل مشغولتين بالجملتين G54 وG55، ولكل مشغولة مستوي صفري مختلف عن الأخرى (مثلًا الأولى مثبتة على مغناطيس والثانية مثبتة بقوامط على الفرش، أو ما شابه ذلك)؛ فإن كان في التشغيل أداة مشتركة ولتكن T1؛ كان تعويض ارتفاعها في برامج الجملة الأولى H1، وفي برامج الجملة الثانية H11 مثلًا أو أي تعويض غير مستخدم في الشغل.

- ضم البرامج التي فيها الأدوات الأكبر خصوصًا الحوامل في البداية، فإن كان ثمة برامج قد تؤدي إلى كوارث ضمها في البداية ليتابعها المشغل أولًا، حتى لو كلف الأمر قطعها من برامجها الأصلية وضمها منفصلة في البداية، ثم ضم برامجها الأصلية دونها.
- على المشغل أن يشّغل قبل الشغل برامج الاختبار، وبرامج تسوية الوجوه، وأية برامج تهيئ الخامة أو المشغولة.
- ترتيب البرامج بالأولوليات التالية:

1. البرامج التي تهيئ المشغولات، كبرامج الإطار الخارجي (الـ Contour) وبرامج تسوية الوجوه [1] وما إلى ذلك.
2. الأدوات الحوامل، حتى لو لم تكن في برامج بالجملة الأولى G54. وإن كنت مضطرًا – بسبب الأولوية التالية– اقطعها من البرنامج المضموم وضمها لوحدها في بداية الملف.
3. المشغولات ذات الأسطح المطلوب فيها نعومة أعلى، إن كان في البرامج أدوات مشتركة، حتى تبدأ التشغيل فيها فلا تتآكل قبل أن تصل إليها.

بعض الآلات لا تنتهي برامجها بـ M30، وإنما M02 أو M99.

الشغل الإنتاجي

في الشغل الإنتاجي غالبًا ما يكون التركيز على شغل واحد، في المسكة الواحدة، على عكس ما تناولناه في الفقرة السابقة، حيث شغِّل أكثر من شغل في البرنامج نفسه.

في الشغل الإنتاجي يجهَّز الشغل بالمثبتات والدلائل وتهيأ الآلة لتستقبل الشغل بحيث يوفَّر وقت التجهيز. تجهَّز المثبتات كلها أو ما يمكن منها، وتُضبط جملة إحداثيات لكل مسكة، وتنسب الجمل إلى المثبتات لا إلى المشغولات [2]. ثم عند التشغيل: يثبت المشغل المشغولات في المثبتات، ويشغّلها إما على التفرّع (نفس المسكة لكل المشغولات) وإما على التسلسل (كل مسكات كل مشغولة)؛ وذلك بحسب خطة التشغيل الموضوع من قبل مهندس الإنتاج، والتي تضمن أقل زمن تشغيل ممكن.

قطع برامج التشغيل

لا تجري الأمور كما نخطط لها دائمًا. عند الحديث عن المشاكل التشغيلية في آلات التشغيل المبرمجة فإننا نتحدث عن أزمة. الأمر المبهج: حل الأزمة في معظم الأحيان سهل ويسير. الأمر المحبط: غالبًا لا يستطيع أن يحل المشكلة إلا المبرمج. هذا يعني أنه على المبرمج أن يلازم المشغل دائمًا.

ونحن هنا لا نتحدث عن مشاكل سببها الشغل نفسه دائمًا، كغلطات برمجية أو تشغيلية. قد تحدث، واردة. ولكن قد تحدث مشاكل طارئة، لا يمكن التنبؤ بها ولا تفاديها بمراجعة الشغل والتأكد منه،

[1] على المشغّل أن يضمن أنها عندما تعمل في البرنامج المضموم ستسوي السطوح تمامًا.
[2] تصمم المثبتات بحيث يكون فيها تفاصيل المشغولات؛ أي أن ضبط جمل الإحداثيات بالنسبة للمثبتات يكافئ ضبطها بالنسبة للمشغولات.

كمشاكل في الكهرباء، أو في تجهيز الآلة، من تبريد وضغط هواء وما شابه ذلك، أو في الأدوات، ككسرها أو حدوث تآكل فيها.

المهم: في هذه الفقرة حلول لمشاكل قد تواجهك أثناء العمل. هذه الحلول في معظمها هي تعديل على البرامج والمسارات، أو الملفات التي تحويها. سترى في الفقرات القادمة أننا قد نقطع المسارات والبرامج في الباورميل وقد نقطعها يدويًا. القطع في الباورميل أفضل؛ فهو يعيد ترتيب الأسطر، ويحسب وقت المسارات المتبقية في البرنامج، والأهم: يضمن أمان المسارات.

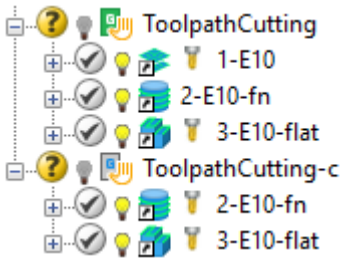
وقد ترى أنت أو المشغل بحسب ظروف العمل أن الأفضل إعادة تشغيل البرنامج من أوله، خصوصًا في عمليات الإنهاء.

يفضّل أن تراجع البرامج التي تقطعها في **برنامج السيمكو**، خصوصًا تلك التي قطعتها يدويًا.

قطع البرامج المضمومة بمعرفة المسارات المنتهية

وهذا أسهل الحلول. ويكون في البرامج المضمومة بمعرفة البرامج التي انتهت ويراد حذفها من البرنامج المضموم. واحذر هنا فالباورميل قد يغير رقم بعض الأدوات، فراجع أرقام الأدوات قبل تشغيل البرنامج بعد قطعه.

في الصورة المجاورة برنامج مضموم فيه مسارات، مرقمة كما في الصور التالية. لنقل أني حذفت المسار الأول. أداة المسار الثاني هي نفسها أداة المسار الأول؛ حذف المسار الأول يؤدي إلى فقدان أرقام أدوات المسارات التي لها نفس أداته (مهم). لا بدّ من التأكد من أرقام الأدوات قبل التخريج. ويحسن بك ألا تحذف البرامج المضمومة التي قطعتها؛ قد تغلط في قطعها، وقد تحتاجها مرة أخرى لقطعها من مكان آخر، وقد تحتاج تشغيلها من بدايتها، وقد وقد ... إلخ. أنا لا أتحدث هنا عن البرنامج المضموم الأول الذي قطعته، وإنما أي برنامج مضمومًا كان أو غير مضموم، مقطوعًا كان أو غير مقطوع؛ احتفظ بسجل برامجك وخزنها حتى لو رأيت أنك لن تشغلها لاحقًا. (هذا الكلام على ما تعتمده من برامج فقط، أما ما تضعه لأغراض برمجية تجريبية فلا يعنيه هذا الكلام بطبيعة الحال).



هذه مسارات البرنامج الأول:

Toolpath	Num...	Diame...	Tip	Gauge	Overha...	Tolerance	Thickn...	Axial Thick
1-E10	*5	10		50		0.1	0.2	0.1
2-E10-fn	(5)	10		50		0.1	0	
3-E10-flat	*6	10		50		0.1	0	

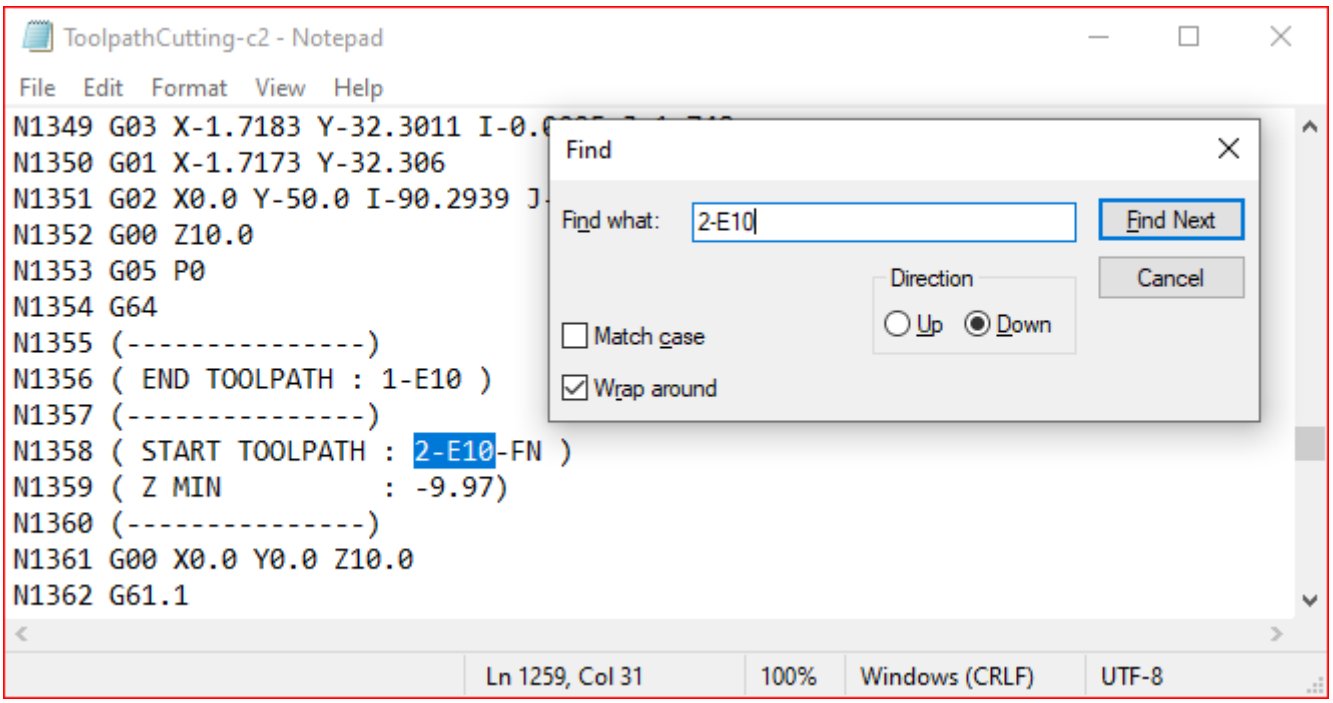
لاحظ أن المسار الثاني أداته غير مميزة بنجمة؛ ما يعني أنها مثل ما قبله، إن غيرته طالها التغيير. وهذه مسارات البرنامج الثاني:

Toolpath	Num...	Diame...	Tip	Gauge	Overha...	Tolerance	Thickn...	Axial Thick
2-E10-fn	*1	10		50		0.1	0	
3-E10-flat	*6	10		50		0.1	0	

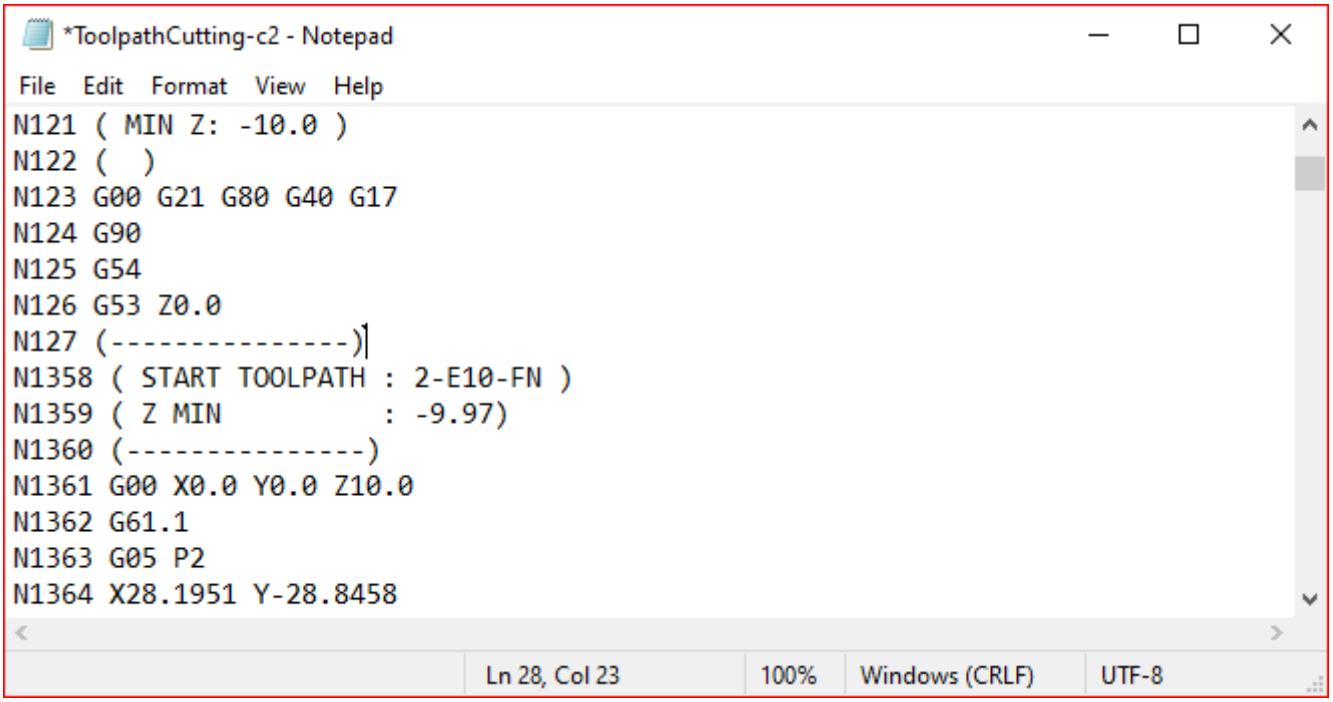
انظر كيف أصبح رقم الأداة الأولى 1، وكيف ميّزت بنجمة. غيرها إلى 5 واكتب البرنامج.

هذا إن قطعنا البرنامج في الباورميل. انظر كيف نقطع البرنامج يدويًا:

انسخ البرنامج وافتحه ثم ابحث عن آخر المسار الأول، أو أول المسار الثاني:



حدد ما قبل المسار المطلوب إلى ما قبل المسار الأول، واحذف كل السطور التي حددتها:



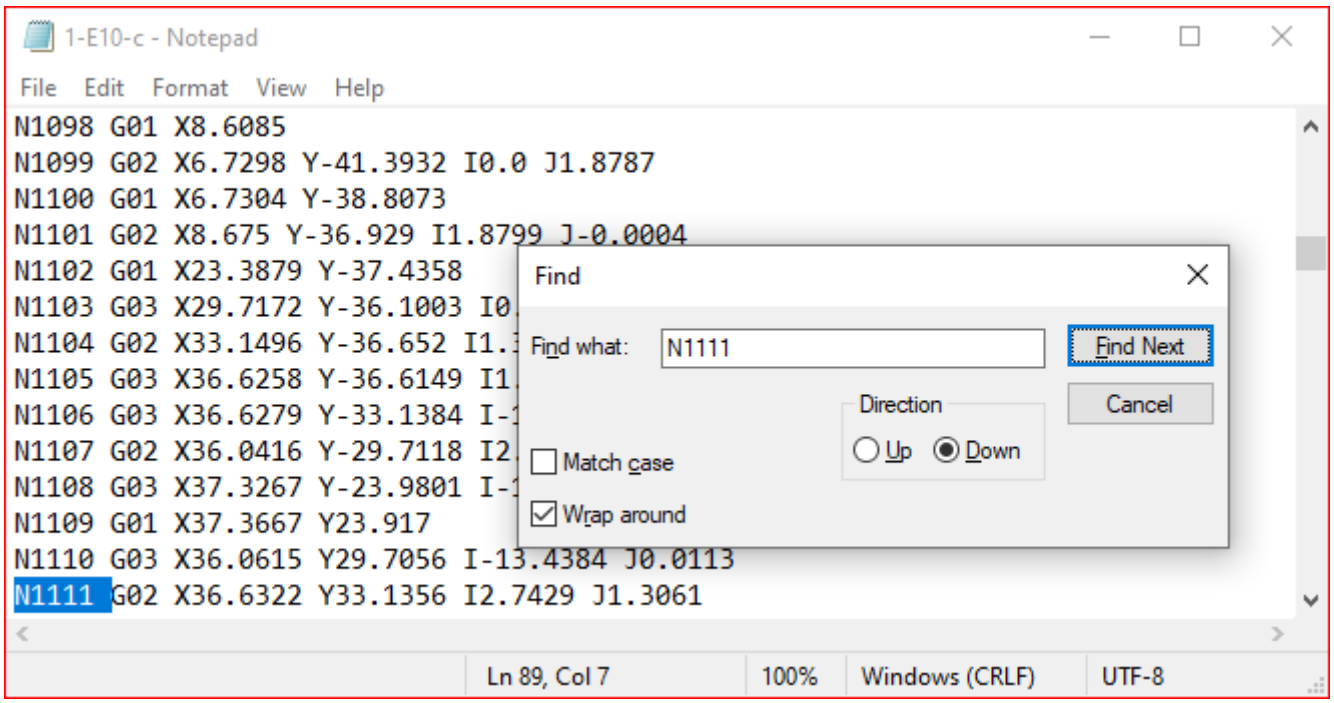
لاحظ أرقام الأسطر N127 وN1358. هنا لا تحتاج تغيير أرقام الأدوات وتعويضات ارتفاعاتها، ولكنك ما زلت تحتاج ضبط جملة الإحداثيات إن كنت تقطع برنامجًا يضم أكثر من شغل.

يعني باختصار: اجعل بداية المسار المطلوب في بداية البرنامج المضموم. يعني خلي تعليق بداية المسار المطلوب الذي يحوي الكلمة START TOOLPATH في حالتنا أو ما يكافئها عندك خليها مكان تعليق بداية المسار الأول، بحذف كل ما قبلها حتى التعليق الأول.

ولكن احذر: التعديل اليدوي خطير، والغلطات فيه قد تؤدي إلى كوارث. انسخ البرنامج الذي تريد قطعه واحتفظ بالأصل دائمًا، حتى لو كنت تقطع برنامجًا مقطوعًا. (مهم)

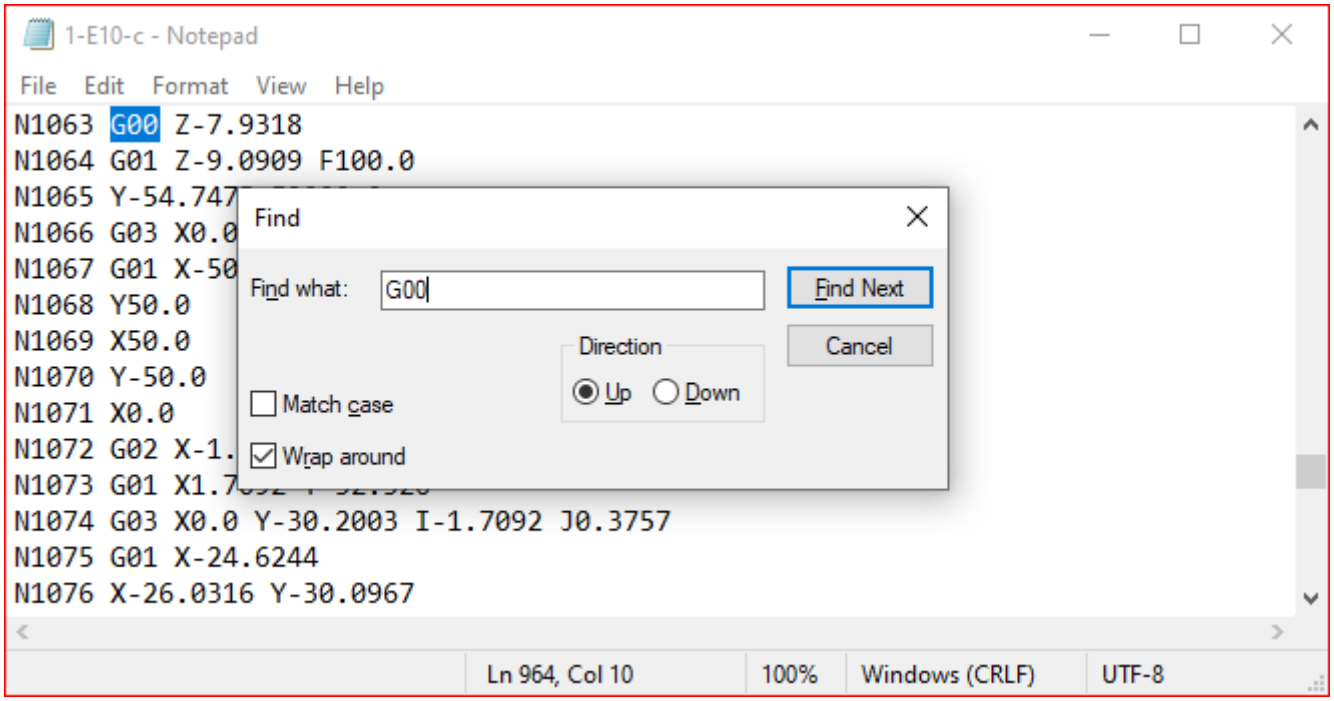
قطع المسارات بمعرفة رقم السطر (قطع يدوي)

لنقل إن المشكلة حصلت في السطر N1111، عندها نفتح النسخة التي نريد أن نقطعها، ونبحث عنها:



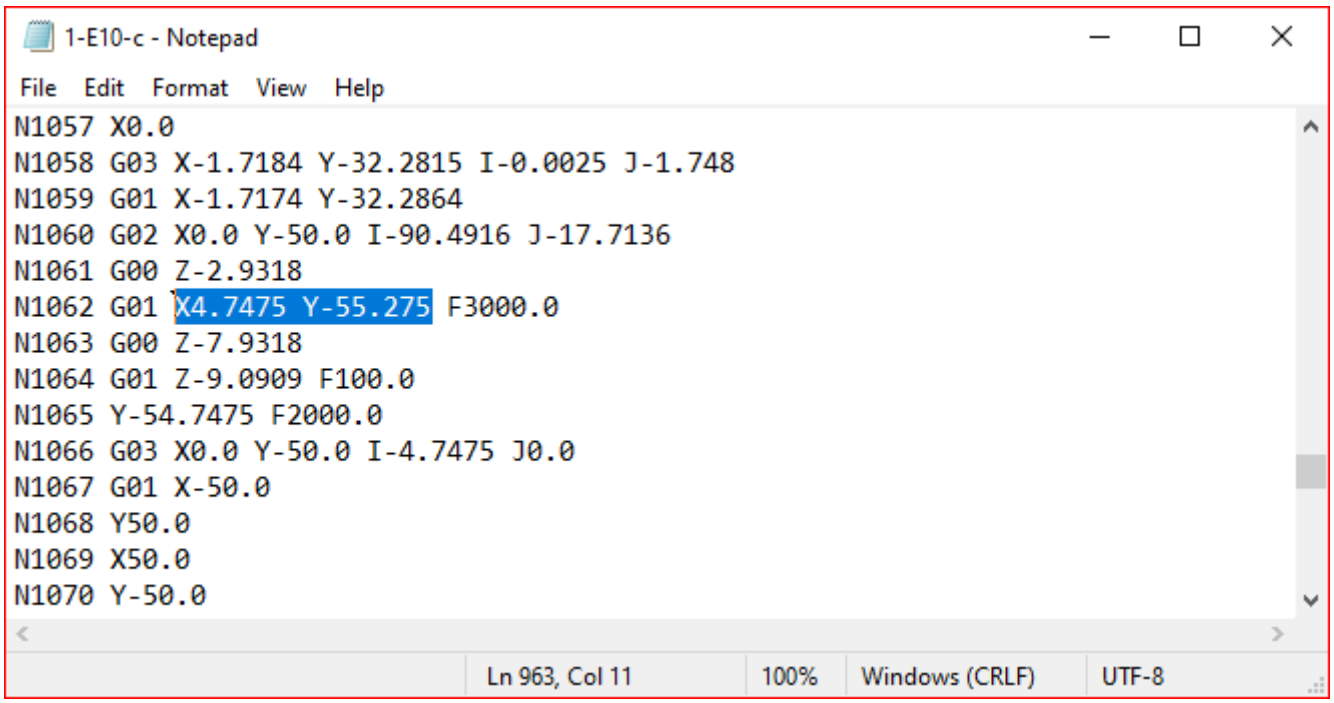
تأكد من أنك فعلًا في السطر المطلوب، فقد تبحث عن 1234، فتجد 12345، و12340، و11234، وغيرها.
الأسلم أن تبحث عن: " N1234"، بوجود فراغ بعد الكلمة التي تريد.

المهم: بعدها ابحث عن أقرب نقلة سريعة. النقلات السريعة دائمًا نقلات أمان؛ لهذا هي أضمن مكان نقطع فيه. وانتبه وأنت تبحث أن تبحث لأعلى لا لأسفل (مهم):

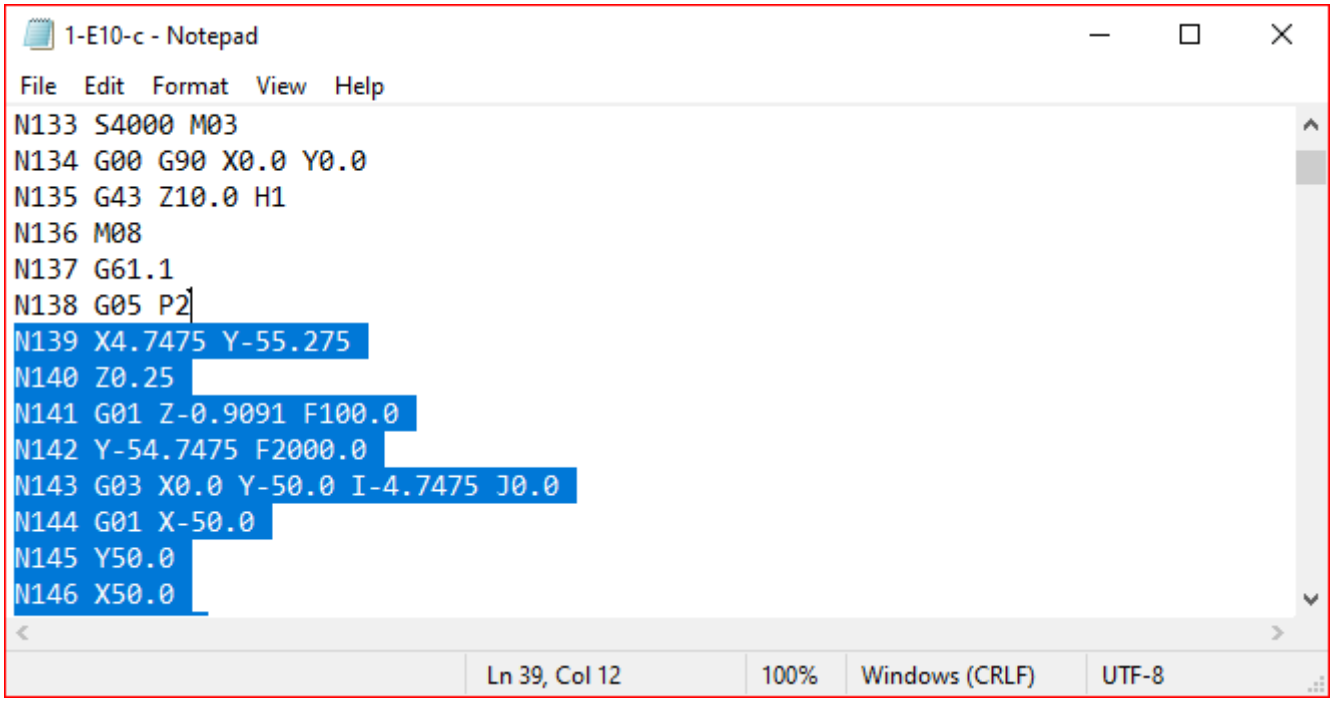


ركز على Up. أكرر : ركز على Up.

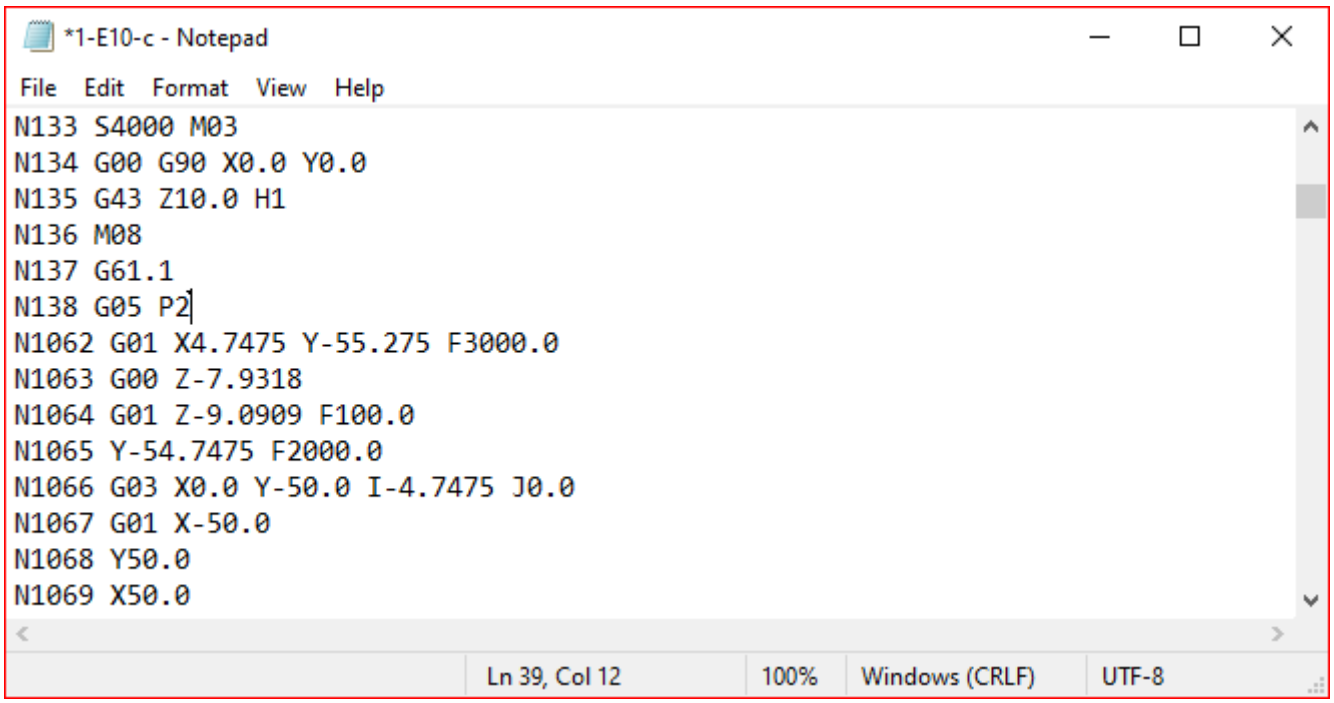
ارجع إلى السطر الذي يحدد موقع النقطة في هذه النقلة:



احذف كل ما قبلها إلى أن تصل إلى الأمر G05 P2 في بداية البرنامج:



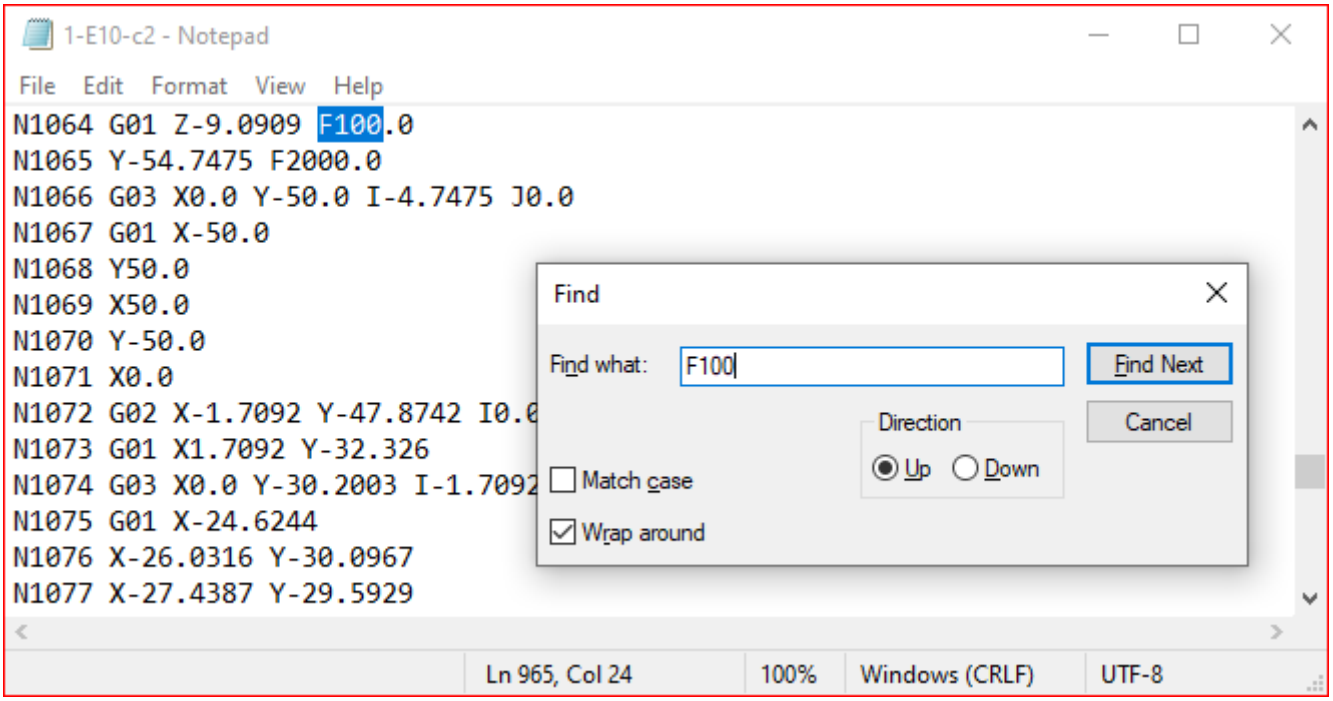
هذا ما تبقى:



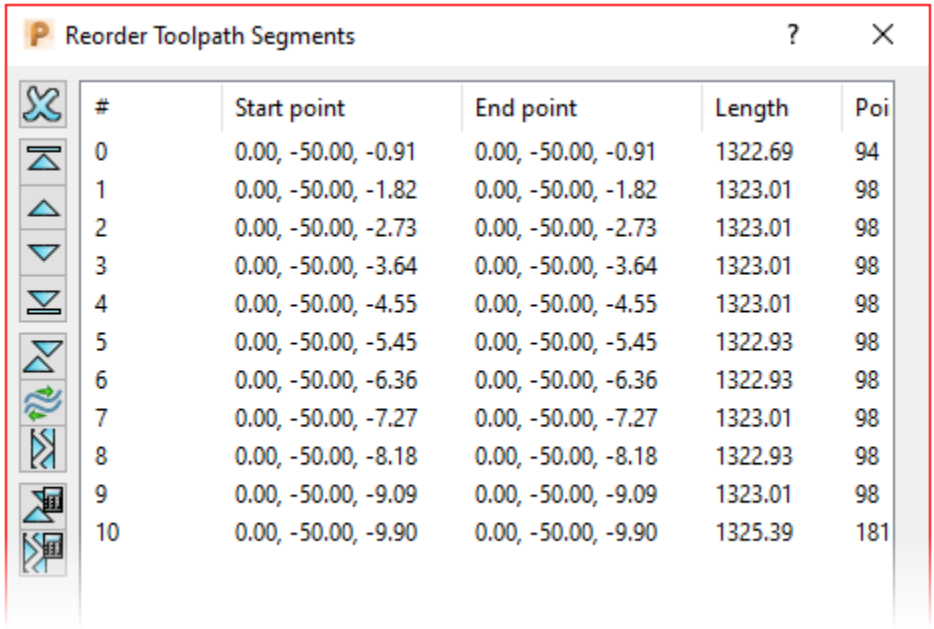
عدل رقم الأداة T، وتعويض ارتفاعها H، وجملة إحداثيات البرنامج G54؛ بحسب ما عندك في الشغل.
ثم افتح البرنامج في **السيمكو** لتتأكد من النتيجة، وتعرف الوقت المتبقي بعد القطع.

قطع المسارات بمعرفة أقرب دخول (قطع في الباورميل)

أما إذا أردت أن تقطع المسار في الباورميل، وهذا أأمن بالمناسبة، فستعتمد على رقم السطر كما في الفقرة السابقة لتعرف أقرب دخول؛ وأقرب دخول هو عند F100؛ سرعة الدخول في المسار. هذا لأنه لا سطور في الباورميل، وإنما خطوط؛ فما يكتب السطور هو **المترجم Post Processor** . هنا أيضًا ستنسخ المسار ولن تعدل على الأصل، ليس فقط لاحتمالية وجود مسارات متبقية معتمدة عليه، وإنما تحسبًا للغلطات، ولاحتمال حاجتنا إليه. انظر:



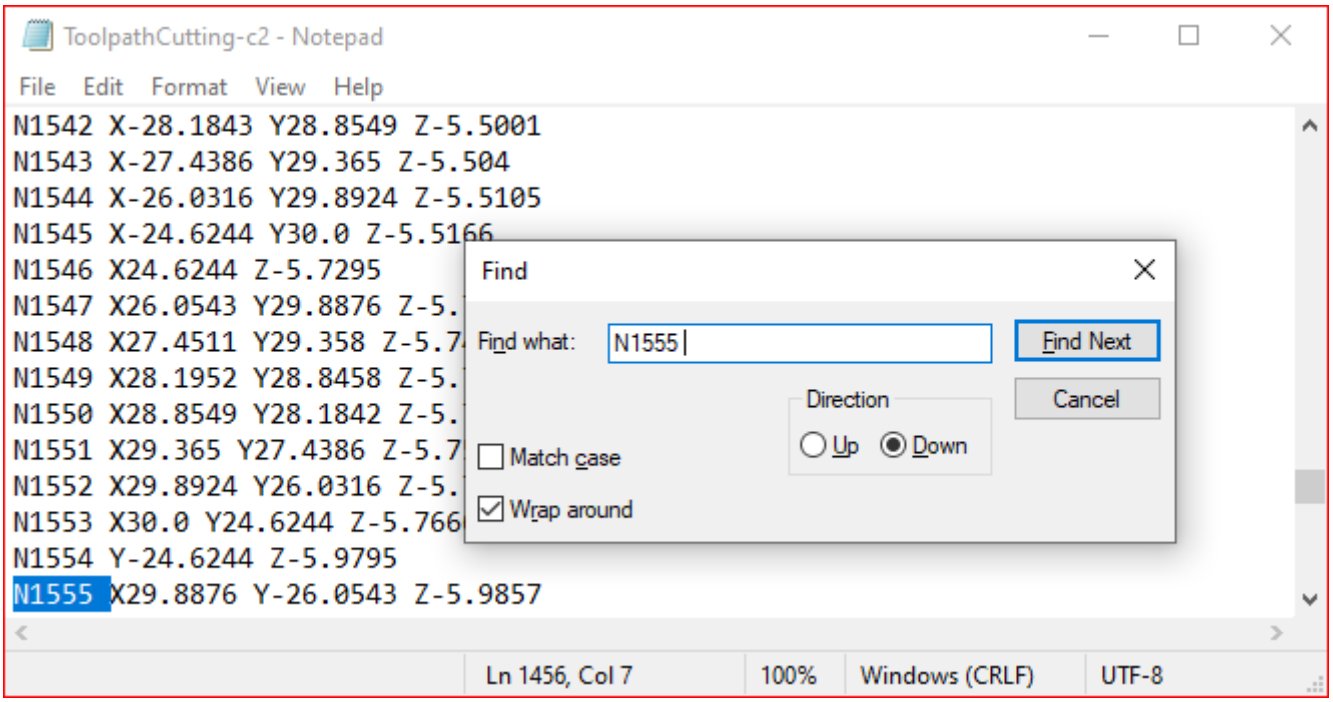
بعد أن بحثت عن " N1111" بحثت باتجاه **الأعلى** عن سرعة الدخول التي أريد، نقطة بداية الخط الذي أريد قطعه بعد أمر سرعة الدخول مباشرة، وبالتحديد مع سرعة التغذية، أي في حالتنا F2000. الآن إما ابحث عنها في نافذة الرسومات بالاعتماد على شريط الحالة بعد تحريك مؤشر الفأرة، وحدد الخط الذي بدايته النقطة المطلوبة، ثم باستخدام **أداة ترتيب خطوط المسار** حدد كل الخطوط التي قبله واحذفها، وإما ببساطة افتح **أداة ترتيب الخطوط** وانظر في الخط الذي بدايته توافق النقطة التي نريد:



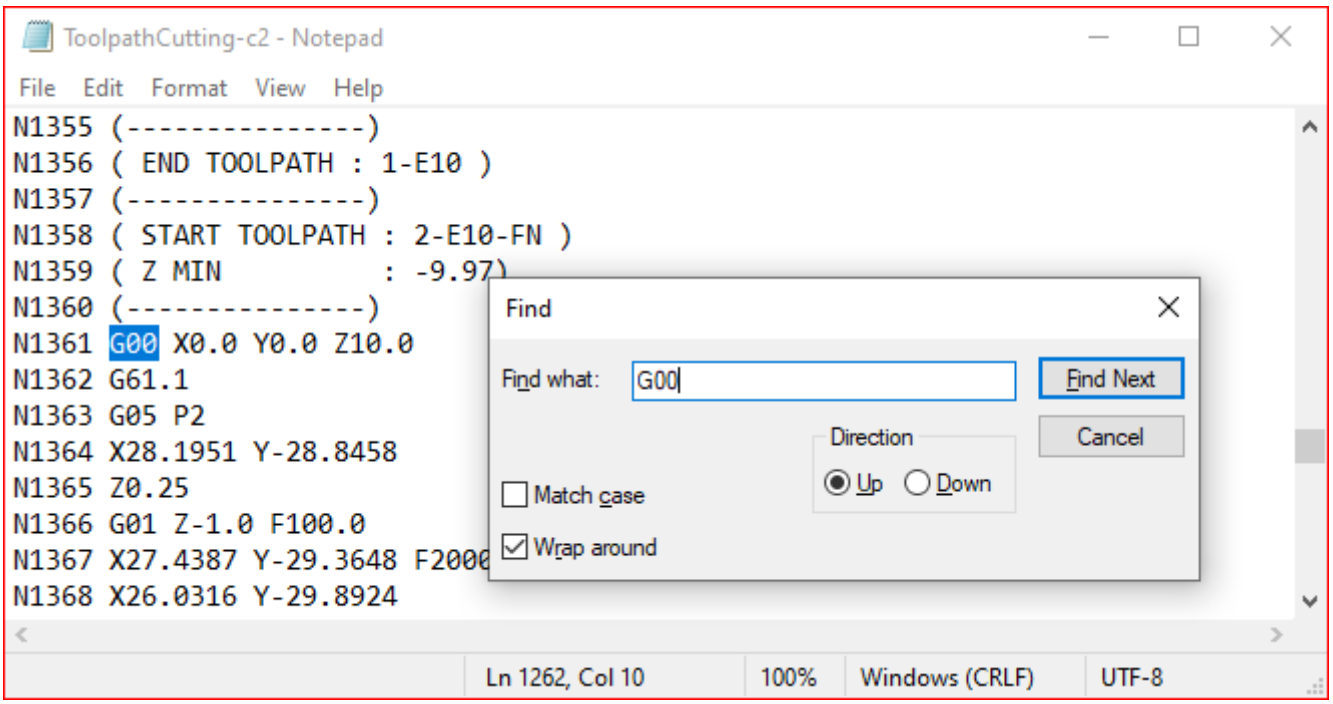
في مثالنا نريد النقطة قبل الأخيرة، تبدأ بالإحداثيات (0.00, -50.00, -9.09)، وهي نفسها التي وجدناها في ملف البرنامج. ربما أربكك السطر N1065، فلا نقطة تقابله في **أداة تحديد الخطوط**، وإنما هي في الواقع دخول خارج الخامة، نقلة يضيفها الباورميل إلى المسار بفعل تفعيل **الخاصية Add approaches from outside**، في **الصفحة Approach**.

قطع البرنامج المضموم بمعرفة رقم السطر (قطع وضم يدوي)

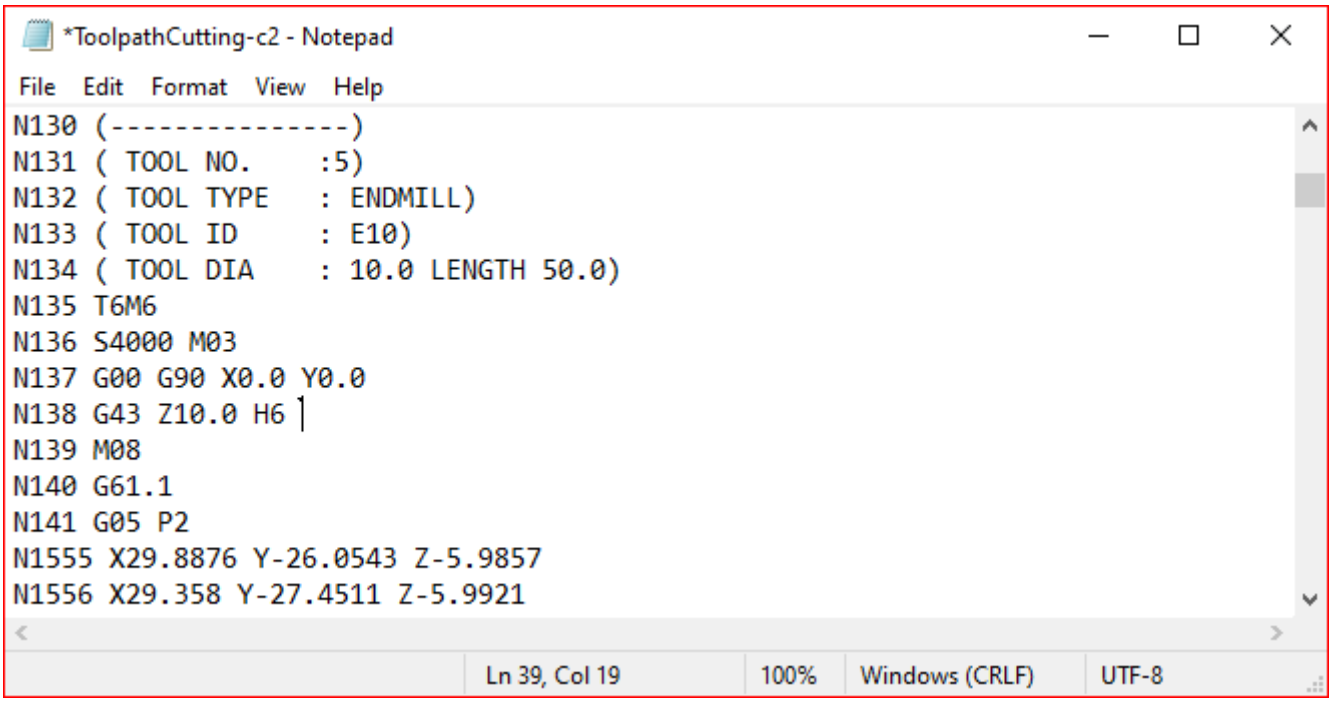
المسألة هنا أعقد قليلًا، وهي أشبه بضم البرامج يدويًا. لنقل إننا نريد أن نقطع برنامجًا يضم ثلاثة مسارات في السطر N1555:



فإذا بحثت عن أقرب حركة بنقلة أمان قبل السطر المطلوب:



أجد أنها في بداية المسار. وهذا سببه أن المسار هو **Constant Z Finishing** بخطوط لولبية Spiral. في حالة كهذه ننظر هل تتحمل المشغولة أن تنهى ببرنامج مقطوع أو لا. إن كان كذلك قطعنا في نفس السطر أو قبله بسطور، وإلا قطعناه من أوله. وقطعه من أوله في الباورميل أفضل، كما في **فقرة قطع البرامج المضمومة بمعرفة المسارات المنتهية**. لنقل أننا نريد أن نقطع في نفس السطر:

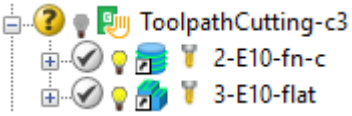


ما فعلته هنا: حذفت كل السطور التي تسبق السطر الذي أريد، إلى أول سطر فيه G05 P2، وغيرت رقم الأداة T6، وتعويض ارتفاعها H6، وسرعاتها، وما إلى ذلك. وربما غيرت جملة الإحداثيات إن كنت قد ضممت أكثر من شغل في البرنامج، أي G54 وG55 وما إلى ذلك.

قطع البرنامج المضموم بمعرفة أقرب دخول (قطع وضم في الباورميل)

كقطع المسارات الإفرادية بمعرفة أقرب دخول فيها تمامًا:

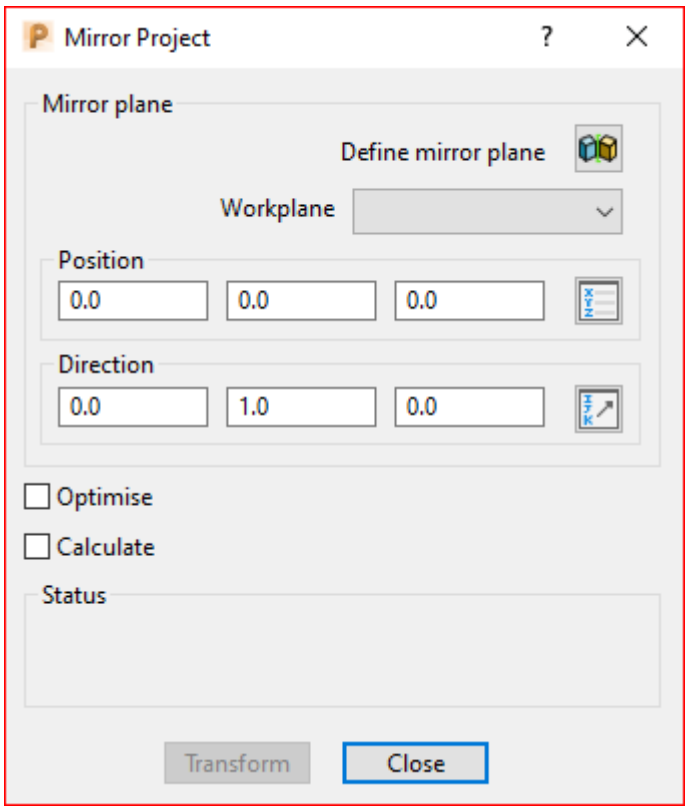
1. انسخ البرنامج الذي تريد، واحذف المسارات المنتهية كلها بما في ذلك المسار الذي ستقطعه.
2. انسخ المسار الذي ستقطعه، واحذف الخطوط قبل نقطة الدخول.
3. ضم المسار إلى بداية البرنامج (مهم)، واضبط رقم أداته (مهم).



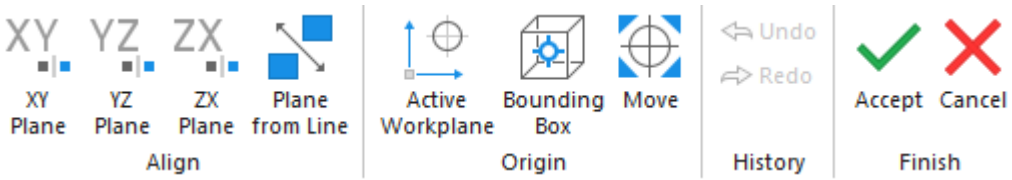
نسخ المشروع بالتناظر Mirror Project

من ألطف مزايا النسخ الحديثة في الباورميل النسخ بالتناظر. مشروع كلفك العمل عليه ساعات إن كان يمكن نسخه بالتناظر فلن يكلفك أكثر من ساعة.

قد يكون المشروع منسوخًا بالتناظر بأكمله، لكننا في الحالة العامة ننسخه بالتناظر ونستبدل الرسمة.



مستوي التناظر نعرّفه **بالأمر Define Mirror Plane** ، ويكون موازيًا لمستوي تناظر الرسم:



ويمكن إزاحته أو تدويره بالنافذة Mirror Project.

ولنسخ أسرع لا تفعّل **الخيار Optimise** ولا **الخيار Calculate**.

بعض ظروف التشغيل التجريبية

أردت أن أختم الفصل بمخططات تجريبية، جربتها لفترة طويلة، على أدوات القطع الرخيصة، المتواجدة في الأسواق، والتي لا جداول تحدد ظروف تشغيلها، من أعماق قطع وتغذيات وسرعات، مع تعدد الشركات التي نشتري منها، بحيث أنها تعطي أفضل أداء دون أن تنكسر مع قيم هذه المخططات. وما

ستجده في هذه المخططات صالح في الحالة العامة. لكنه ليس كذلك دائمًا، بل قد يغيرها المشغل بحسب حالة الأداة وبحسب حالة الخامة وبحسب ما يراه من أداء. ومع ذلك فهي صالحة في أغلب الأحيان. اعتبرها قيمًا للاستئناس، وليست قيمًا معتمدة، قيمًا ابتدائية تبدأ بها شغلك. جربها عندك، وانظر هل هي صالحة لأدواتك أو لا. وهذا ما دفعني أن أضعها في مخططات لا في جداول، حتى لا تأخذها كما هي، وإنما تأخذها باعتبارها مجالًا من القيم.

واعلم أنها قيم وسطية، أي أن القيم الفعلية ±. اعتبرها قيمًا ابتدائية، واضبط شغلك على أساسها، ثم اجمع بيانات خلال فترة شغلك واعتمدها. وإن شئت زودني بها لعلّي أحدث هذه الفقرة في القادم من النسخ من هذا الكتاب.

ستجد المخططات تتبع قطر الأداة، وخامة المشغولة. وعامة الخامات التي نشغلها كانت إما طرية (كالألمنيوم غالبًا، والنحاس أحيانًا)، وإما قاسية (كالفولاذ الطري). وأحيانًا كنا نشغل خامات قاسية جدًا (كالفولاذ المقسّى، والستانلس ستيل، وبعض خامات الفولاذ الموصّفة)، ونادرًا ما شغلنا خامات طرية جدًا، كالبلاستيك (وبالتحديد: الأرتيلون).

ولمن أراد الاعتماد على المخططات في عمله فليطبع الصفحات التي تحويها على ورق A3 لتكون أوضح. ولكن لا تعتمد عليها على أنها قيم مرجعية محلوف عليها، بل قيم ابتدائية تجريبية قد تصلح في مكان عملك وفي ظروف عملك وبأدواتك وعلى خاماتك، وقد لا تصلح.

ومع أنها ليست من الظروف التشغيلية إلا أن هذا أنسب مكان في هذا الفصل لتفصيلها، وهي تسامحات يشيع ضبطها في الخامات المتروكة في الحالة العامة:

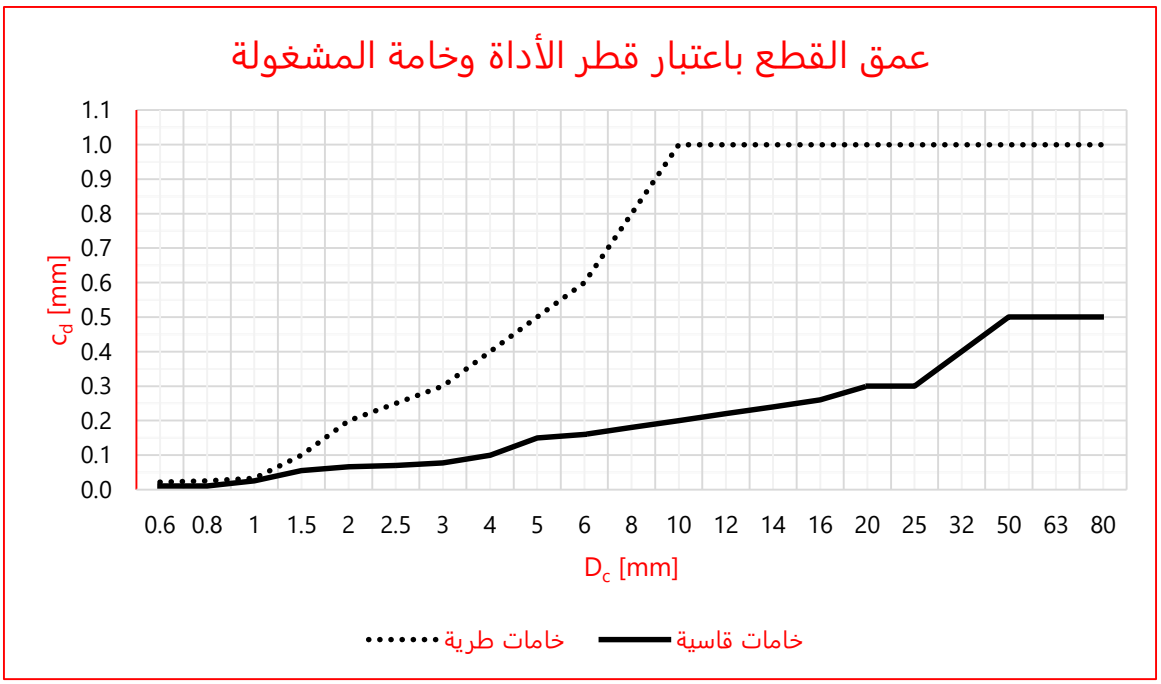
- إن لم تكن الدقة العالية من متطلبات المشغولة، لوظيفتها أو مادتها؛ لم نترك خامة. وقد ننهي المشغولة بنفس برامج الهد (قد يكون الهد ببعض إستراتيجيات الإنهاء، **كالإستراتيجية Constant Z Finishing** 🛢️، أو كبعض إستراتيجيات الأنماط).
- في الحالة العامة نترك خامة في الأرضيات تتراوح بين 0.05 مم و0.15 مم بحسب أدوات القطع المستخدمة في الهد، والأدوات التي ستستخدم في إنهاء الأرضيات، ومادة الخامة. المهم أن تتحمل أداة إنهاء الأرضيات الخامة المتروكة.
- نترك خامة بتسامح كبير في الجدران عند استخدام أدوات حوامل، بحدود 1 مم. (مهم)
- نترك بين 0.1 مم و0.25 مم في الجدران في الخامات الطرية، وبين 0.05 مم و0.15 مم في الخامات القاسية، وذلك بحسب الأدوات المستخدمة، وأدوات الإنهاء.
- نترك 0.1 مم في أسطح الفصل اتقاء كسر الحواف القاطعة. [1]

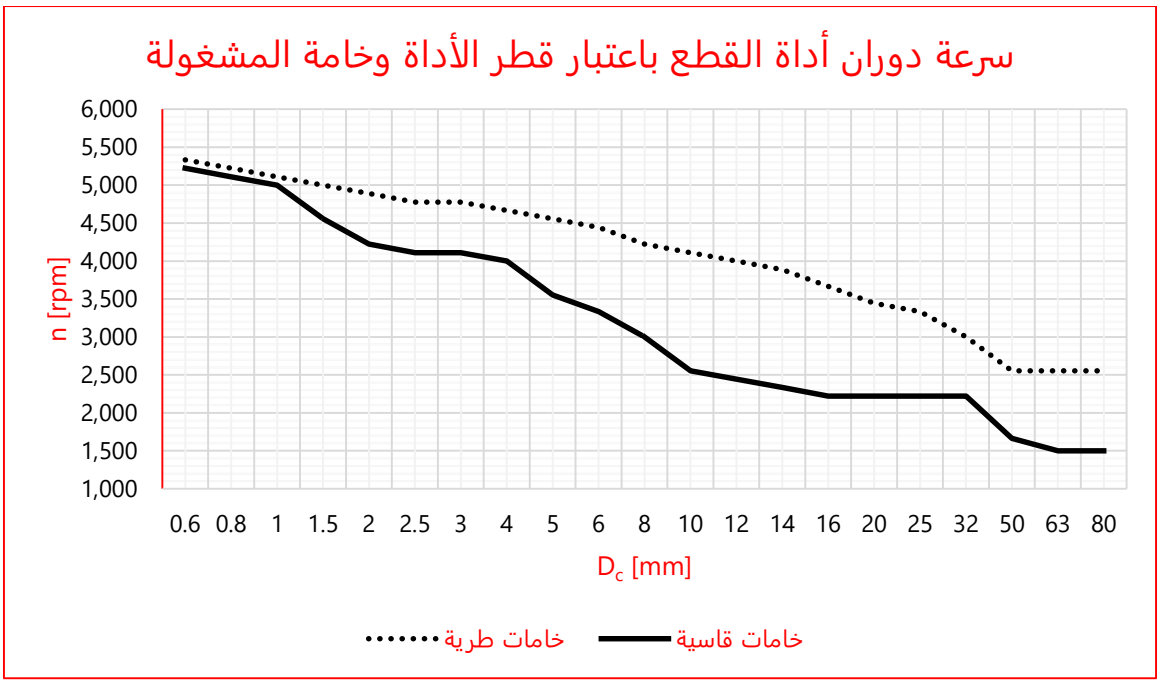
هذه القيم صالحة في الحالة العامة، والمعيار هنا أن تتجاوز الخامة المتروكة الأخطاء الحاصلة في الشغل (انظر **فقرة الأخطاء** في أول الفصل فيها المزيد).

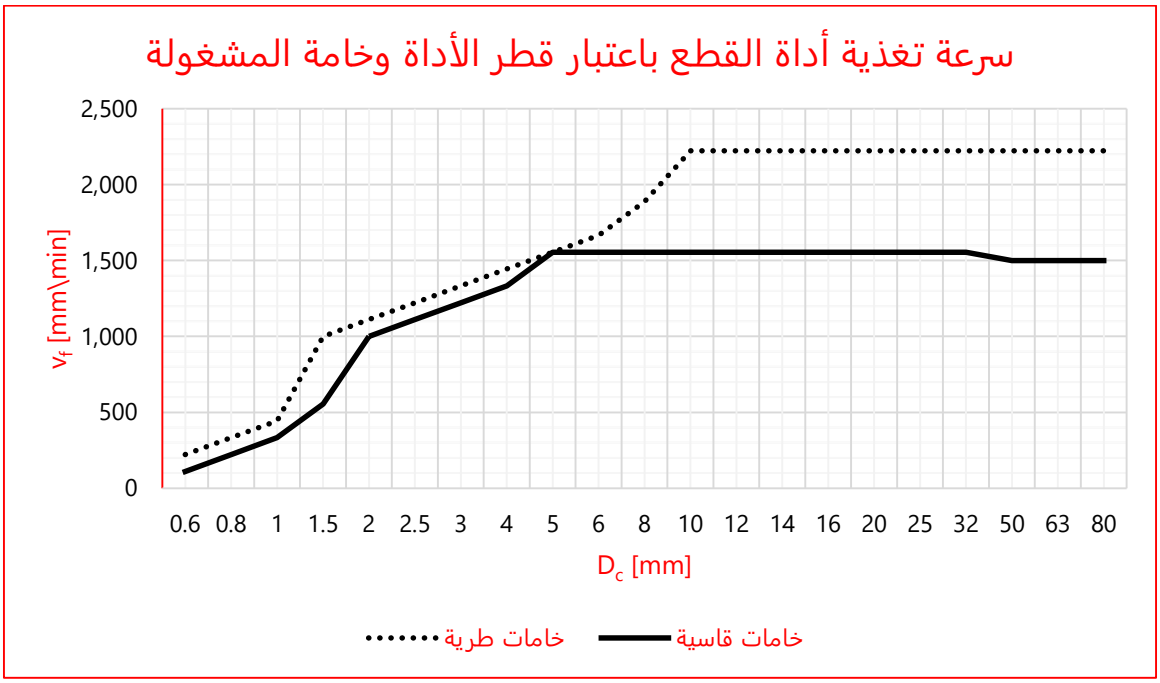
[1] يشيع عند المبرمجين رفع أسطح الفصل بدل ترك خامة فيها، ولكن ترك الخامة فيها أفضل، ويؤدي الغاية المطلوبة. للمزيد انظر **فقرة الخامة المتروكة في أسطح بعينها**.

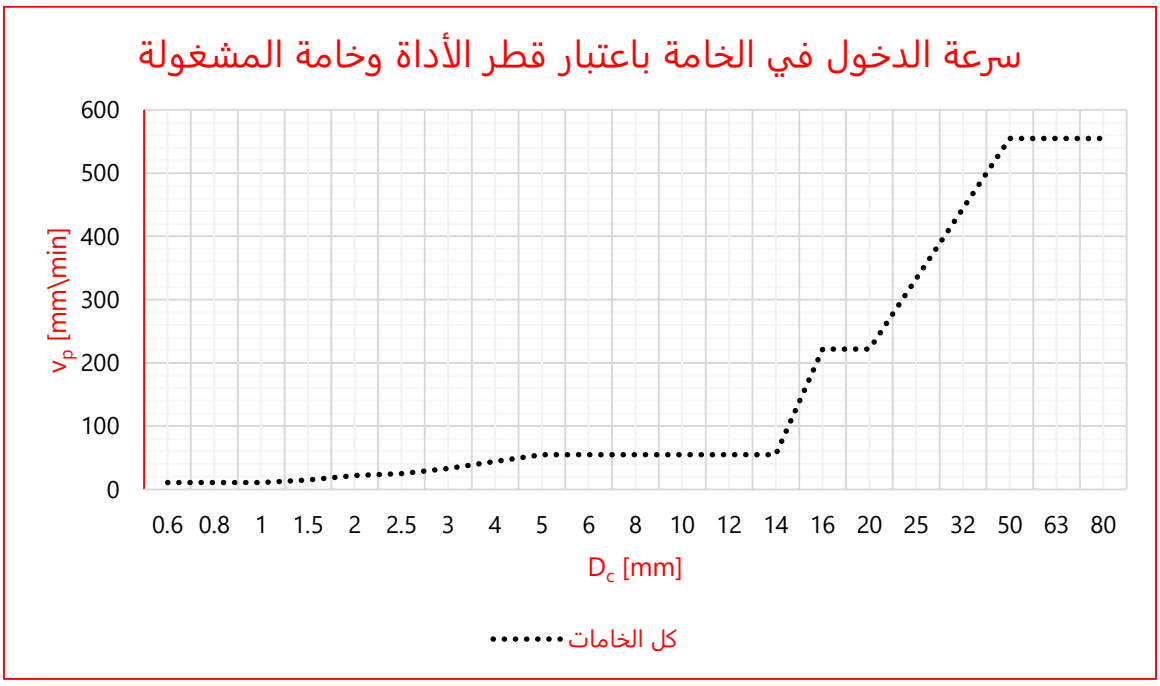
انظر **المعيار ISO 2768** فيه ما يجوز تركه من تفاوتات في المنتج تصميميًا وتصنيعيًا. ستجد فيه تسامحات ناعمة Fine Tolerances (يمكن اعتبارها دقة التشغيل) وتسامحات خشنة Coarse Tolerances وخشنة جدًّا Very Coarse Tolerances (يمكن اعتبارها ما يجب تركه للأدوات من خامة Thickness).

إليك المخططات التجريبية التي تلخص شغلنا:









افترضت هنا أن الأدوات ذوات الأقطار 16 مم وما فوق حوامل، كما كانت عندي. وعندها فإنها تدخل الخامة بنزلة مائلة Ramp. وفي هذه النزلة يجب أن تكون السرعة عالية. وإلا، إن كانت أدوات عادية EndMill، فاجعل سرعة دخولها كالأدوات ذوات الأقطار الأصغر منها.

يجب أن يبدأ الدخول قبل الخامة، أي يجب أن تتحرك الأداة بسرعة الدخول وهي في الهواء، ثم تدخل بهذه السرعة في الخامة، ثم تتحرك بسرعة التغذية بعد أن تنزل لعمق القطع المطلوب.

> دخول الأدوات في الخامة بغير سرعة الدخول قد يؤدي إلى كسرها وقد يؤدي إلى إخلال في تثبيت المشغولة إن كانت الأدوات بقطر كبير.

جربت أيضًا بعض هذه الأدوات مع غير هذه القيم وكانت صالحة، لكن التجارب كانت محدودة وغير مستقرة دائمًا. أما ما عرضته في الجداول فإن القيم كانت صالحة في عامة الظروف، خصوصًا عمليات الهد، وكنا نترك آلة التشغيل وحدها في أحيان كثيرة عليها (وهذا بالمناسبة غير آمن، ولكنه سوق العمل العربي 🤷‍♂️). وهي صالحة أيضًا في عمليات الإنهاء. لكن أحيانًا كنا نرفع سرعة الدوران، ونقلل سرعة التغذية. وأحيانًا نرفع السرعتين، وهذا متعلق بمتابعتنا للبرامج وأداءها. فإن تركنا الآلة اعتمدنا هذه القيم دون زيادة ولا نقصان. وفي برامج الأرضية كنا نقلل سرعة التغذية للنصف، في الخامات القاسية، لتعطي أفضل أداء.

هذا باعتبار تسامح الإنهاء Finish Stock Allowance (ذكرناه في **فصل الأساسيات** في **فقرة ما تحتاجه أدوات القطع من خامة لتعطي الإنهاء المطلوب**). فإن تجاوزته الخامة المتروكة بالنسبة لبرامج الإنهاء اعتمدنا نصف القيم التجريبية، خصوصًا مع الأدوات الصغيرة، وفي الخامات القاسية.

بالنسبة للخامات القاسية جدًا فلم تكن تتحمل أكثر من 0.1 مم في عمق القطع، ولا أكثر من ثلث سرعة التغذية، خصوصًا الأدوات ذوات الأقطار الأكبر من 5 مم. لكن ما كانت تجربتنا على هذه الخامات كثيرة.

وأما بالنسبة للتثقيب فما كنا نجري عمليات تثقيب كثيرة، وهذه خلاصة تجاربي فيها:

- سرعة التغذية 100 مم/د في الخامات الطرية، و20 مم/د في الخامات القاسية.
- عمق القطع 1 مم في كل الخامات، ومع كل الأقطار. وفي المركزة Center Drilling (السنترة) 2 مم بخطوة واحدة.

هذا الكلام مجرب على إستراتيجية تثقيب بوضعية Deep Drilling، حيث تخرج أداة التثقيب إلى خارج الثقب في كل خطوة (تنزل إلى عمق -1، ثم +0.25، ثم -2، ثم +0.25، ثم -3، ثم +0.25، وهكذا إلى العمق المطلوب، بفرض أن أعلى نقطة في الثقب ارتفاعها 0).

حساب قيم السرعات بالتناسب مع غيرها

وهذه معادلة وضعتها لأحسب سرعات أدوات قطع بأقطار معينة بمعرفة سرعات أدوات ذات أقطار أكبر منها أو أصغر منها أو كليهما:

$$v_2(D_3 - D_1) = v_1(D_3 - D_2) + v_3(D_2 - D_1)$$

أي:

$$v_1 = \frac{v_2(D_3 - D_1) - v_3(D_2 - D_1)}{D_3 - D_2}$$
$$v_2 = \frac{v_1(D_3 - D_2) + v_3(D_2 - D_1)}{D_3 - D_1}$$
$$v_3 = \frac{v_2(D_3 - D_1) - v_1(D_3 - D_2)}{D_2 - D_1}$$

حيث

1	القيم الصغرى.
2	القيم الوسطى.
3	القيم الكبرى.

وهذا بالمناسبة لكل السرعات: الدوران، والقطع، والدخول في الخامة؛ إذ هي مسألة تناسب.

الفصل الخامس – أشهر الإستراتيجيات

نسمي طريقة رسم مسار التشغيل (ويمكن أن نقول: طريقة حركة أداة القطع) في الباورميل إستراتيجية. وكلما كان ما تعرفه من إستراتيجيات أكثر كانت حلولك البرمجية –والتشغيلية– أكثر وأفضل وأصح. جمعت هنا أشهر ما تحتاجه من إستراتيجيات في الباورميل.

قد تجد بعض التفصيل النظري هنا، ولكنه ليس هذا مكانه، وإنما ستجد هنا التفصيل العملي. فإن أردت تفصيل المفاهيم التي ستجدها هنا، نظريًا، فارجع إلى ما يقابلها في الفصول السابقة، وخصوصًا **فصل المفاهيم الأساسية**. بالمقابل، أنصحك بالرجوع إلى الفقرات النظرية المقابلة لفقرات هذا الفصل، في كل مرة تقرأها، خصوصًا إن أشرت إليها لتراجع، ففي ذلك فائدة كبيرة.

لكن قبل أن نبدأ لننظر في تصنيف الباورميل للإستراتيجيات:

- إستراتيجيات الهد ثلاثي الأبعاد 3D Area Clearance
  - Corner Clearance
  - Model Area Clearance

- Model Profile
- Model Rest Area Clearance
- Model Rest Profile
- Plunge Milling
- Slice Area Clearance
- Slice Profile

- إستراتيجيات التشغيل ثنائي الأبعاد Curve Machining
  - 2D Curve Area Clearance
  - 2D Curve Profile
  - Chamfer Milling
  - Face Milling
- إستراتيجيات التشغيل بالسمات Feature Machining
  - Feature Area Clearance
  - Feature Chamfer Milling
  - Feature External Thread
  - Feature Face Milling
  - Feature Finishing
  - Feature Pocket Area Clearance
  - Feature Pocket Profile
  - Feature Pocket Rest Area Clearance
  - Feature Pocket Rest Profile
  - Feature Profile
  - Feature Rest Area Clearance
  - Feature Rest Profile
  - Feature Slot Machining
  - Feature Top Fillet Milling
- إستراتيجيات الإنهاء Finishing
  - 3D Offset Finishing
  - Constant Z Finishing
  - Corner Finishing
  - Corner Multi-Pencil Finishing
  - Corner Pencil Finishing
  - Disc Profile Finishing
  - Embedded Pattern Finishing
  - Flowline Finishing

- Offset Flat Finishing
- Optimized Constant Z Finishing
- Parametric Offset Finishing
- Parametric Spiral Finishing
- Pattern Finishing
- Profile Finishing
- Projection Curve Finishing
- Projection Line Finishing
- Projection Plane Finishing
- Projection Point Finishing
- Projection Surface Finishing
- Radial Finishing
- Raster Finishing
- Raster Flat Finishing
- Rotary Finishing
- Spiral Finishing
- Steep and Shallow Finishing
- Surface Finishing
- Swarf Finishing
- Wireframe Profile Finishing
- Wireframe Swarf Finishing

○ إستراتيجيات التثقيب Drilling Strategy

- Break Chip Drilling
- Deep Drilling
- Drilling
- Counter Bore
- Fine Boring
- Helical Drilling
- Profile Drilling
- Ream
- Rigid Tapping
- Single Peck Drilling
- Tapping
- Thread Milling

وغيرها من الإستراتيجيات مما هو خارج نطاق البحث. لن تجد كل هذه الإستراتيجيات في هذا الفصل ولا في الكتاب طبعًا، وإنما سأضع أكثر الإستراتيجيات شيوعًا بين المبرمجين، بحيث يكفيك هذا الفصل في احتياجاتك الأساسية في سوق العمل. وربما أضع غيرها أو أضيف عليها في القادم من النسخ إن شاء الله.

في **فصل المفاهيم** فقرة عن كيفية اختيار الإستراتيجية الأفضل، فارجع إليها.

هذا، وترتيبي للإستراتيجيات في فقرات الفصل ليس كتصنيف الباورميل لها. فهو يصنفها نوعًا ثم أبجديًا. وإنما رتبتها بحسب أسبقية استخدامها في الحالة العامة؛ أي أنك ستجدني أسوق الإستراتيجيات بهذا الترتيب:

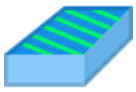
1. إستراتيجية تسوية السطوح
2. إستراتيجية الهد
3. إستراتيجيات الإنهاء
4. إستراتيجيات الأنماط

ثم أنهيت الفصل بعمليات تشغيل مساعدة، ما هي بإستراتيجيات، ولكنها تطبيق عليها، بهذا الترتيب:

5. برامج كسر الحواف
6. برامج التشغيل المخفي
7. برامج اختبار الشغل

وأنصحك بقراءة الفصل بترتيب فقراته، مع أنه ككل فصول الكتاب يمكن أن يقرأ بترتيبه ويمكن أن يقرأ انتقائيًا، لكن ترابط الفقرات هنا أكبر.

Face Milling



لا بدّ قبل تشغيل الخامات من استواء أوجهها. عامة الخامات متوازية مستطيلات؛ أي بستة أوجه، وقد تكون أسطوانية؛ بوجهين وسطح أسطواني، وقد تكون غير ذلك لكنها حالات ليست شائعة.
في كل الأحوال: لا بد من استواء الوجهين العلوي والسفلي، وتوازيهما مع مستوي العمل. وهذا مهم لأنه يحدد أعلى نقطة، أو بكلام أوضح: يحدد المستوي Z Datum، أو ما نسميه المستوي الصفري، أو المستوي المرجعي.

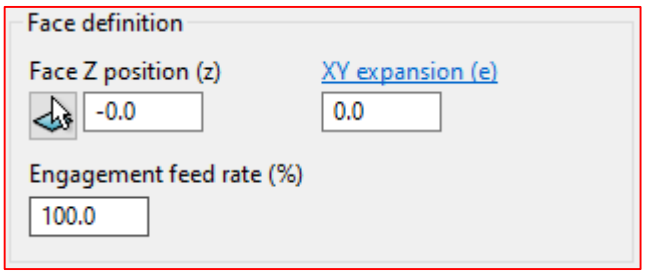
هذه الإستراتيجية هي ما تسوي السطوح.

قد تستخدم أحيانًا إستراتيجيات مسح الأرضية. ولكن هذه فيها تفصيل أكبر فيما يتعلق بتسوية السطوح. ستجد فقرة تفصّل متى نعتمد هذه الإستراتيجية ومتى نعتمد إستراتيجيات مسح الأرضية بعد صفحتين. وستجد تفصيلًا آخر في فقرات تلك الإستراتيجيات خلال الفصل.

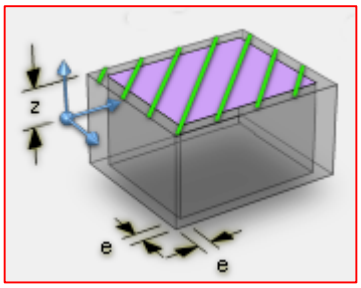
انظر **المعيار ISO 8688-1** فيه تفصيل تسوية السطوح.

تعريف الوجه المراد تسويته Face Definition

تتعامل هذه الإستراتيجية في الحالة العامة مع الخامات، لا الرسومات؛ لهذا فإن فحص السطوح Model Gouge Check ملغي فيها أصلًا (لك أن تفعّله إن أردت، لكن معناها عندما تكون الرسومات خارج الحسبة متحقق أكثر). ولهذا أيضًا لم يضعوا إعدادات الخامة المتروكة في الصفحة الرئيسية في المسار، وإنما نقلوها إلى صفحة فحص السطوح؛ فهي ثانوية هنا ولا تستخدم إلا عند الاضطرار.



نعرّف الوجه بتحديد:



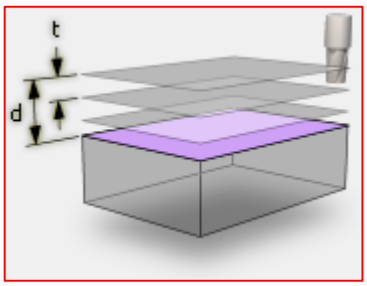
1. موقعه (z)، ولك أن تحدده على الطاير .
2. ومقدار تمديد الخامة في مستوي العمل (e)، وهذا مفيد إن لم تكن الخامة الحقيقية بحجم الخامة المحسوبة، والتي عادة ما نحسبها على أساس الرسومات. أما الخامة الحقيقية فتكون أكبر حتى ننهيها لتكون أسطحها أسطحًا مرجعية.
3. ومعامل سرعة الدخول في المسار. وهو نسبة من سرعة التغذية لا تزيد عنه، أي لا يجوز أن يكون المعامل أكبر من 100%.

كما نحدد أسلوب المسار، وهو في الحالة العامة بالاتجاهين Two Way. ولكن لأسباب تشغيلية قد نجعله باتجاه واحد، أو بأسلوب آخر. ونحدد كذلك اتجاه الخطوط إن كانت متوازية Raster.

ولا يمكن تقييد المسار بحدود؛ فهي متعلقة بسطوح الرسومات، ومسارات هذه الإستراتيجية معنية بالخامات لا الرسومات.

تسوية الوجوه على مراحل Cut Distances

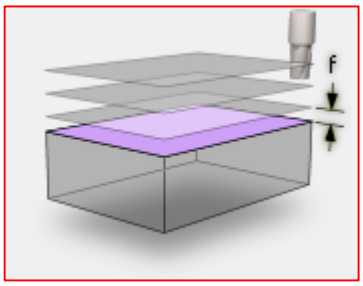
وقد لا تكون الخامة نظيفة، فلا يمكن تسوية أوجهها بباص واحد، وإنما بباصات عديدة. أو قد نرغب بتخفيض سماكة البلاطة، عندها نسوي أوجهها بباصات عديدة أيضًا (وقد نخفضها ببرامج هد، بتشغيل منطقة وهمية بحجم المنطقة المراد تخفيضها، خصوصًا إن أردنا تقييد المسار بحدود).



لتحديد المراحل نحدد:

- عمق الخامة Stock Depth، وهي السماكة المطلوب تخفيضها. هي فوق الوجه المراد تسويته. في الحالة العامة هي 0.0.
- وعمق القطع Stepdown.

باص التنعيم Floor Finishing



فإن أردت إضافة باص تنعيم بخطوة مختلفة ففعل هذا الخيار. في الواقع لا نسوي الوجوه بهذه الطريقة، هذا إن سويناها على الآلة. يشيع تسوية وجوه الخامات على غير الآلات المبرمجة، توفيرًا للوقت؛ فيقشطونها بالمقشطة بما يقابل الهد عندنا ويجلخونها بالمجلخة بما يقابل الإنهاء عندنا. وقد تجد بعض الورش تسويها هذًا وتنعيمًا على الآلات المبرمجة، خصوصًا في الأوقات التي يقل الشغل فيها.

المهم: هذا الخيار يقابل خيار إضافة باص أخير في إستراتيجيات إنهاء الأرضيات، وهو موجود لغرض التنعيم. كما قدمنا لا نتبع هذه الطريقة في العادة، وإنما إن أردنا تسوية الوجوه على الآلة خصصنا أداة قطع للهد، هي أداة حامل بالمناسبة، في الواقع تكون أكبر حامل متاح، وأداة قطع أخرى للإنهاء، هي الأخرى أداة حامل؛ فنهد الخامة ببرنامج من هذه الإستراتيجية بأكبر خطوة ممكنة بالحامل الأول، وربما شغلناها على مراحل كما في الفقرة السابقة، ثم ننعمها بإزالة طبقة صغيرة جدا قد لا تتجاوز السنتييمات بالحامل الثاني.

متى تستخدم هذه الإستراتيجية ومتى تستخدم إستراتيجيات إنهاء الأرضيات؟

لا تقبل هذه الإستراتيجية الحدود. وبكلام أشمل: لا تعمل هذه الإستراتيجية على أساس الرسومات. يمكن تفعيل خيار لفحص الرسومات، نعم، لكنها في الأصل تعمل على أساس الخامات لا الرسومات. لهذا: تريد تسوية وجوه خامة دون تقييد المسار؟ تريد أن تعمل على مراحل؟ عليك بهذه الإستراتيجية. تريد تسوية منطقة معينة، محددة بحدود، أو مرتبطة برسمة؟ عليك بإستراتيجيات إنهاء الأرضيات.

معيار آخر: المشغولة مثبتة بمثبتات لا يمكن أن تعيق طريق الأداة؟ هذه الإستراتيجية أولى. يمكن أن تعيقها؟ تلك الإستراتيجيات أولى؛ حتى تقيد المسار بحدود أو رسومات. انظر **فقرة الخامة الحقيقية** في **فصل المفاهيم** فيها تفصيل مهم.

إن Ramp المائلة التغذية حتى. المباشرة التغذية تجنب. الخامة خارجها. من في دائمًا ادخل
استطعت أن تستبدلها بتغذية من خارج الخامة فلا تقصّر. هذا الكلام يسري على أي إستراتيجية، وإستراتيجيات إنهاء الأرضيات وتسوية الوجوه ليست استثناءً. لهذا إن رأيت أن استخدام إستراتيجيات إنهاء الأرضيات أفضل من إستراتيجية تسوية الوجوه فلا تقيدها بحدود واجعل المسار يخرج خارج الخامة إن استطعت.

ماذا لو كانت الخامة الحقيقية أعلى في الارتفاع من المشغولة؟

عندنا في هذه الحالة ثلاثة مسالك:

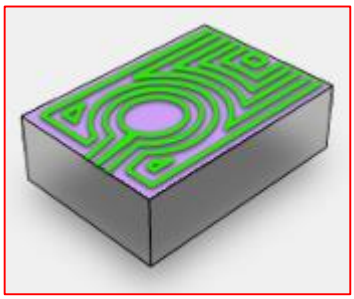
1. أن نضع مع البرامج برنامج تسوية وجوه (هذه الإستراتيجية)، فيشغله المشغل على مراحل. وبرنامجًا آخر نحدد فيه المراحل، كما بيّنا في الفقرات السابقة.
2. أن نضع مع البرامج برنامج هد (الإستراتيجية التالية). خصوصًا إن كانت الزيادة كبيرة، وكان فرق الوقت كبير بين برنامج التسوية وبرنامج الهد.
3. أن نجعل جملة الإحداثيات أعلى من المشغولة، بحيث يكون من أعلى نقطة فيها إلى أدنى نقطة في الخامة نفسه ارتفاع المشغولة. في هذه الحالة لا سطحًا صفريًا في المشغولة. أي أن المستوي الصفري ليس فيه أي سطح من سطوح المشغولة؛ فكل أسطحها أدنى منه.

وقد نترك أحيانًا الزيادة في الخامة في أسفلها، فنصفيها في مرحلة لاحقة، إما على الآلة أو خارجها.

وهنا نقطة مهمة: احسب حساب ارتفاع الحامل Holder بحيث لا يصطدم بالخامة أو المثبتات، في هذه الحالة بالذات؛ فقد يربط المشغل الأدوات بالحوامل بحيث يكون ارتفاعها زيادة عن ارتفاع المشغولة، ولكنها لا تكفي ارتفاع الخامة في هذه الحالة. (مهم)

Area Clearance

يهمنا –كما تقدم مرارًا في الفصول السابقة– عند هد الخامات للحصول على المشغولات أقل وقت تشغيل. لهذا فإننا في الهد نستخدم أكبر أداة قطع ممكنة. وفي كثير من الأحيان لا يمكن إتمام الهد بأداة واحدة، لذا فإننا نستخدم سلسلة من الأدوات؛ بحيث يكون فيها أقل وقت تشغيل ممكن. وقد تقدم تفصيل هذا في **فقرة اختيار أداة القطع**، في **فصل المفاهيم الأساسية**.



يحوي الباورميل إستراتيجية هد وحيدة، ولكنها تعمل بمبادئ مختلفة. وقد تقدم تفصيل التصنيف الذي يعتمده الباورميل في اسرتاتيجياته. أكثر إستراتيجية هد شيوعًا: Model Area Clearance، بالأسلوب Offset All. هذه الإستراتيجية التي سأعتمدها على امتداد فصول الكتاب.

في ما يلي من فقرات أهم ما تحتاج معرفته، وضبطه، وأنت تهد الخامات.

دقة التشغيل Tolerance

في الحالة العامة لا نحتاج دقة عالية في عمليات الهد. دقة مقدارها 0.1 مم تكفي وزيادة. ولكن ومع صغر قطر الأداة لا تكفي هذه الدقة. [1]

أيضًا: في الحالة العامة نجعل دقة سلسلة برامج الهد واحدة، ما أمكن، حتى ترى كلها نفس الخامة. وبالتالي لا تشغل الأدوات الأصغر أماكن كان يفترض من الأدوات الأكبر أن تشغلها، ولكنها لم تراها، ورأتها الأدوات الأصغر، لأن دقتها أعلى. مرة أخرى: قد لا نلتزم بهذا الأمر إن لم تكف الدقة الأدوات الأصغر. وبالمناسبة: لا نعني أن الأماكن أصغر من أن تدخل فيها الأدوات الكبيرة، بل قد تكون تفاصيل خارجية، تصل إليها الأدوات الكبيرة والأدوات الصغيرة، ولكنها تراها أو لا تراها بحسب دقتها.

وقد لا يرى مسار التشغيل الخامة التي تركها المسار السابق، حتى لو جعلت الخامة المتروكة أقل مما كانت عليه؛ أي إن كان المسار الأول قد ترك 1 مم مثلًا، والثاني 0.9. أو إن ترك الأول 0.15، والثاني 0.1، كما يشيع كثيرًا في برامج الهد. وهذا سببه ما يمكن لمسار التشغيل أن يراه من خامة، والذي تحدده الخاصية: "رؤية الكتلة الأسمك من قيمة معينة" Detect material thicker than، وذلك من **الصفحة Rest**، والتي لا تظهر إلا في مسارات التشغيل المتبقي. مع أنها تحسب تلقائيًا، على أساس الدقة والخامة المتروكة، ولكن لك إن أردت أن تغيرها يدويًا.

إليك مثالًا:

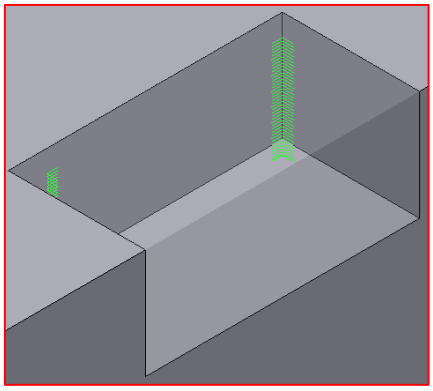
لنفترض أننا تركنا في مسار التشغيل الأول 1.0 مم من الخامة، بأداة قطع قطرها 10 مم. إن كانت دقة المسار التالي 0.1 مم، بأداة قطر قطرها 5 مم، فإنه:

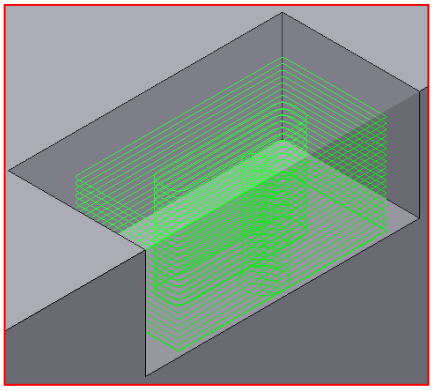
- إن ترك 1.0؛ لن يرى شيئًا؛ كون ما ترك له من الخامة أقل مما يمكنه أن يراه.
- وإن ترك 0.9؛ لن يرى شيئًا كذلك؛ كون ما يمكن أن يراه يزيد عن فرق الخامات المتروكة.
- وكذا: إن ترك 0.8.
- وكذا: إن ترك 0.7.
- فإن ترك 0.6؛ فإنه يرى ما تركه المسار الأول وسيشغله.

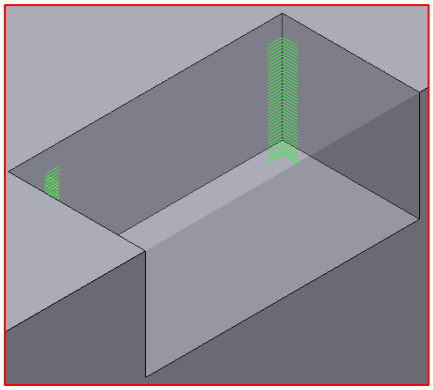
هذا، وفي كل الحالات سيرى ما تركه المسار الأول لا إراديًا؛ كونها تفاصيل لا يمكنه الوصول إليها، والخامة فيها عدا ما تركه المسار الثاني أكبر مما يمكنه أن يراه (القيمة التي تحددها خاصية Detect material thicker than).

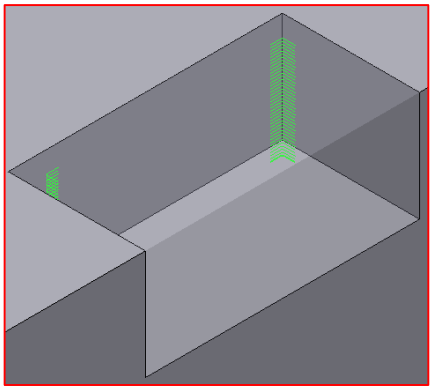
[1] يفصّل **المعيار ISO 2768** التسامحات بالنسبة للأبعاد، فارجع إليه لتعرف تفصيل الأمر.

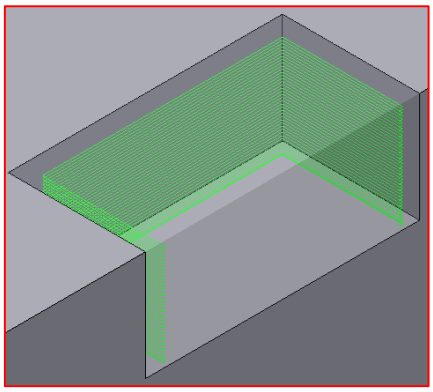
انظر (من اليمين إلى اليسار):

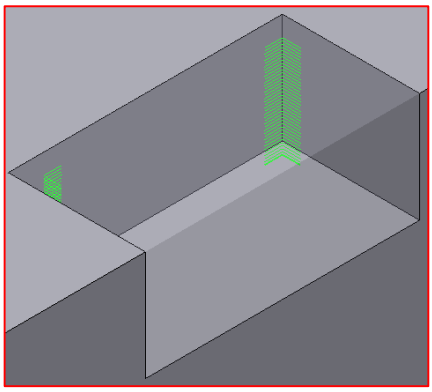

E5 Tolerance 0.1 Thickness 1.0


E10 Tolerance 0.1 Thickness 1.0


E5 Tolerance 0.1 Thickness 0.8


E5 Tolerance 0.1 Thickness 0.9


E5 Tolerance 0.1 Thickness 0.6


E5 Tolerance 0.1 Thickness 0.7

لاحظ كيف تزداد أطوال خطوط مسار التشغيل مع تخفيض الخامة المتروكة (هذا لأن ما يراه مسار التشغيل يزداد). لاحظ أيضًا أن مسار التشغيل عندما ترك خامة أكبر من 0.6 مم كان يشغل الزوايا فقط. في حالة كهذه شغلها باتجاه قطع معاكس في المقاطع. هذا موضوع الفقرة التالية.

فقرة: كيف تؤثر الدقة في مسارات التشغيل؟ وفقرة: رؤية الكتلة الأسمك من قيمة معينة في **فصل المفاهيم الأساسية** فيهما تفصيل أكبر، فلتراجعان.

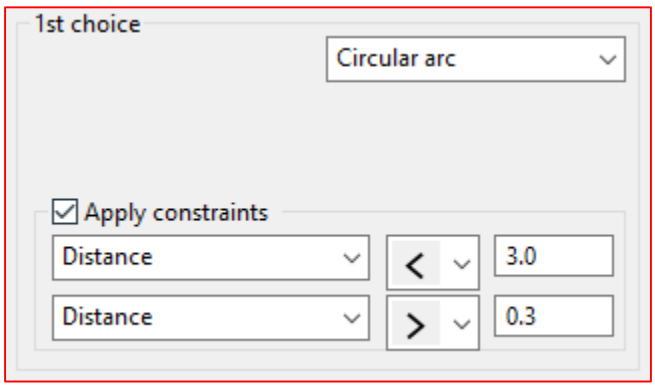
اتجاه القطع Cut Direction

مع الأدوات الحوامل اتجاه القطع معاكس Climb دائمًا. مع غيرها من أدوات القطع اتجاه القطع في أي اتجاه Any إن لم يكن للمسار سلف (لم يكن Rest). فإن كان كذلك يكون معاكسًا في المقاطع وفي أي اتجاه في المساحات، مع نقلة أولى قوس دائري Circular Arc. والأخيرة ليست قاعدة. أي:

أداة القطع		المقاطع Profiles	المساحات Areas
الأدوات الحوامل Cutting Holders (ذوات اللقم Inserts)		معاكس Climb	معاكس Climb
باقي الأدوات	في المسارات التي لا تكمل بعد غيرها	أي اتجاه Any	أي اتجاه Any
	في المسارات التي تكمل بعد غيرها [1]	معاكس Climb	أي اتجاه Any

وهنا أمر مهم: اجعل النقلة الأولى قوسًا بشرط: ألا تزيد المسافة عن ضعفي القطر، ولا تقل عن ضعف خطوة التشغيل إلى خمسة أضعافها. وهذه قيم تجريبية، أي اضبطها وانظر في خطوط المسار ونقلاته.

وهذا مثال على أداة قطع قطرها 1.5 مم:

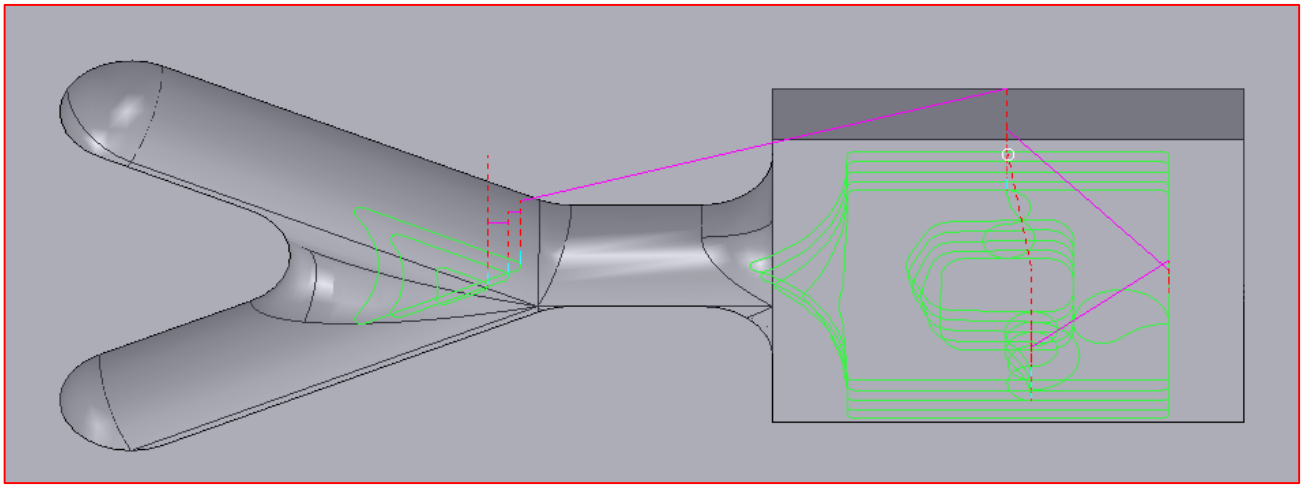


هذا الأسلوب مفيد بالدرجة الأولى إن كان مسار التشغيل يترك نفس الخامة التي تركها المسار الذي قبله. وقد يفيد في غير ذلك، فالأمر تجريبي. انظر:

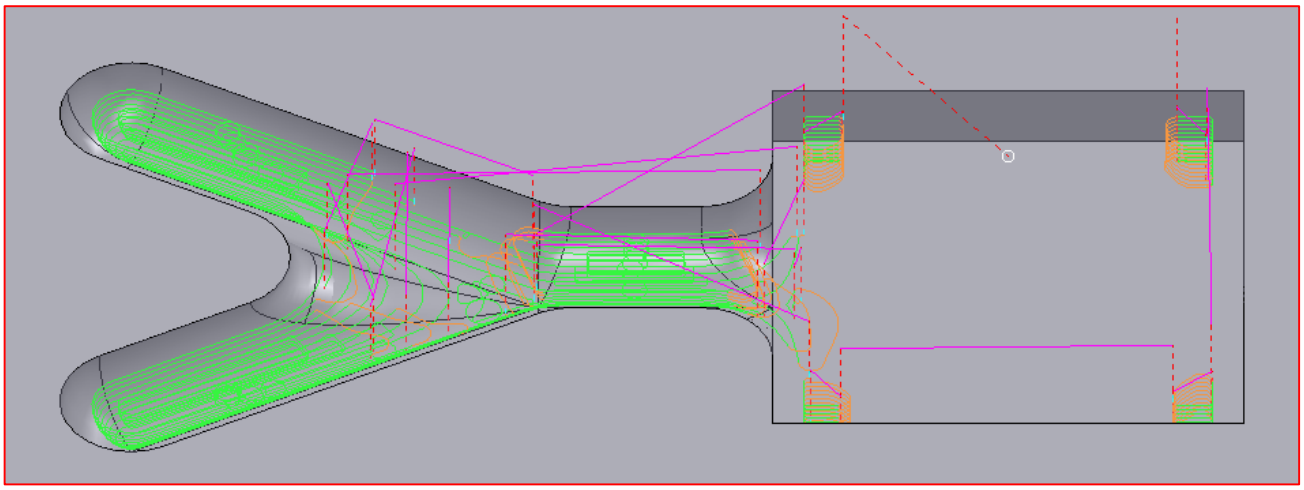
- في ما يلي الصورة الأولى هي نتيجة هد التفاصيل بأداة E10.
- الصورة الثانية هي نتيجة هد ما تبقى من الخامة، مع ترك نفس الخامة، بنفس الدقة، باتجاه قطع معاكس Climb، مع نقلة بأقواس دائرية، بشرط ألا تزيد المسافة بين الخطوط عن 8 مم (ضعف القطر) ولا تقل عن 0.8 مم (ضعف الخطوة، ويمكن أن تجعلها أكثر بحسب ما تراه من انسيابية الخطوط وسلاستها).
- الصورة الثالثة لنفس مسار التشغيل إن لم نتبع هذا الأسلوب؛ أي ألا نجعل اتجاه القطع معاكسًا، ولا نضع شرطًا لأقل مسافة بين الخطوط.

[1] في الحالة العامة هذا هو الأسلوب الأفضل. قد لا تجد فيه فائدة بحسب ما تشغله من تفاصيل، عندها اعتمد أسلوب المسارات التي لا تكمل بعد غيرها.

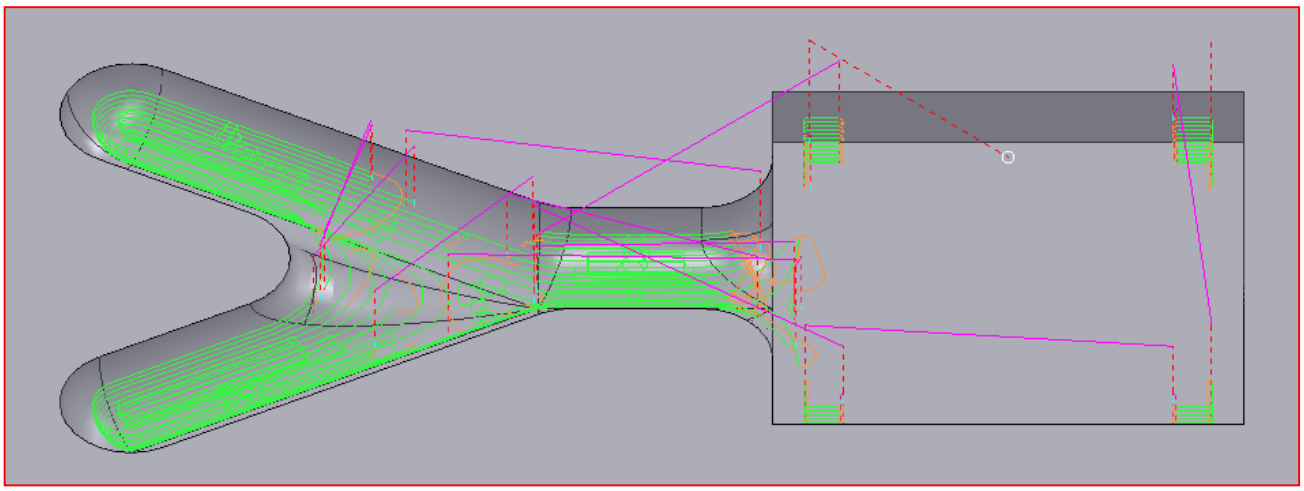
الهد بأداة E10:



الهد بأداة E4 بالأسلوب الذي قدمناه:



نفس المسار ولكن دون اتباع هذا الأسلوب:



في هذه النقلات مشكلتين:

1. خطرة على أداة القطع؛ إذ إنها قد تغذي في الخامة بسرعة التغذية Feed Rate لا سرعة الدخول Plunge Rate؛ ما قد يؤدي إلى كسرها (وقد تغذي خارج الخامة بطبيعة الحال، بعد أن تكون قد أزيلت من منطقة النقلة).
2. غير مريحة للآلة على المدى البعيد؛ إذ إن الحركة يتغير اتجاهها بشكل مفاجئ بسبب أن القطع في أي اتجاه Any. بينما لو كان في الاتجاه المعاكس لكانت سلسة أكثر.

فإن كنت لا بدّ مستخدمًا القطع بأي اتجاه، فاجعل النقلات في مستوي الأمان النسبي Skim، لا أقواسًا دائرية Circular Arc؛ تمامًا كما في أول صورة.

لا تستخدم النقلات المباشرة Straight في برامج الهد.

الخامة المتروكة Thickness

بما أن تفاصيل المشغولة غير مهمة في عملية الهد، على اعتبار أن العامل الأساسي هنا هو وقت التشغيل؛ فإننا نترك خامة بسيطة لعمليات الإنهاء، لتعطي التفاصيل المطلوبة. هذه الخامة المتروكة لا بد أن تزيد عن أخطاء أداة القطع، وبالتحديد أخطاء الميلان وأخطاء التصفير لأداة الهد، وأخطاء التآكل وأخطاء التصفير لأداة الإنهاء، وألا تزيد عما تحتاجه أداة الإنهاء لإعطاء الإنهاء المطلوب، والأهم: أن لا تقل عن دقة المسار (مهم) [1].

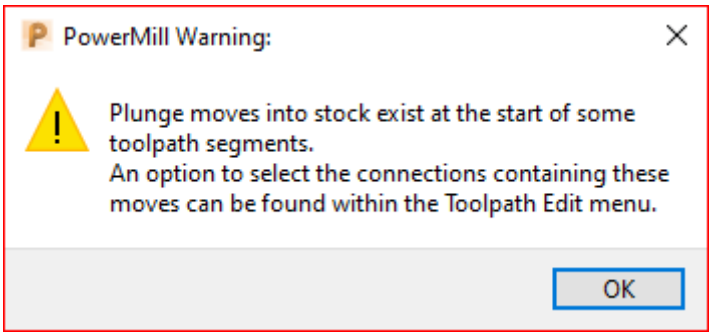
هذا، وقد تحتاج إلى ترك خامة في سطوح معينة دون أخرى، وهو ما فصلناه في **فقرة الخامة المتروكة في سطوح بعينها** في **فصل المفاهيم الأساسية**.

وقد لا نترك خامة في برامج الهد إن كان الإنهاء في المشغولة يتحمل ذلك (كبعض القوالب التي لا إنحناءات في أسطحها ولا ميول فيها (جدرانها شاقولية)، والتي لا تتطلب نعومة عالية، كبعض القطع ذات الخامات من معادن طرية، كقوالب مكابس الأقمشة، وبعض قطع الغيار، وما شابه ذلك).

التغذية خارج الخامة Plunging From Outside

الدخول المباشر في الخامة كما أشرنا خطير، خصوصًا على الأدوات الحوامل؛ وذلك لأن أدوات التفريز، الحوامل وغير الحوامل، غير مصممة على التغذية المحورية (التغذية الشاقولية، في اتجاه z)، وإنما التغذية القطرية (التغذية في مستوي العمل، في حالتنا: المستوي XY)، والتغذية المائلة Ramp، ولكن بسرعات غير صغيرة نسبيًا. وستجد الباورميل ينبهك في كل مرة تغذي فيها في الخامة بهذا التنبيه:

[1] إن كانت الخامة المتروكة أقل من دقة المسار فإن هذا قد يؤدي إلى إزالة خامة أكثر من المطلوب؛ أي إلى إزالة طبقة من المشغولة.

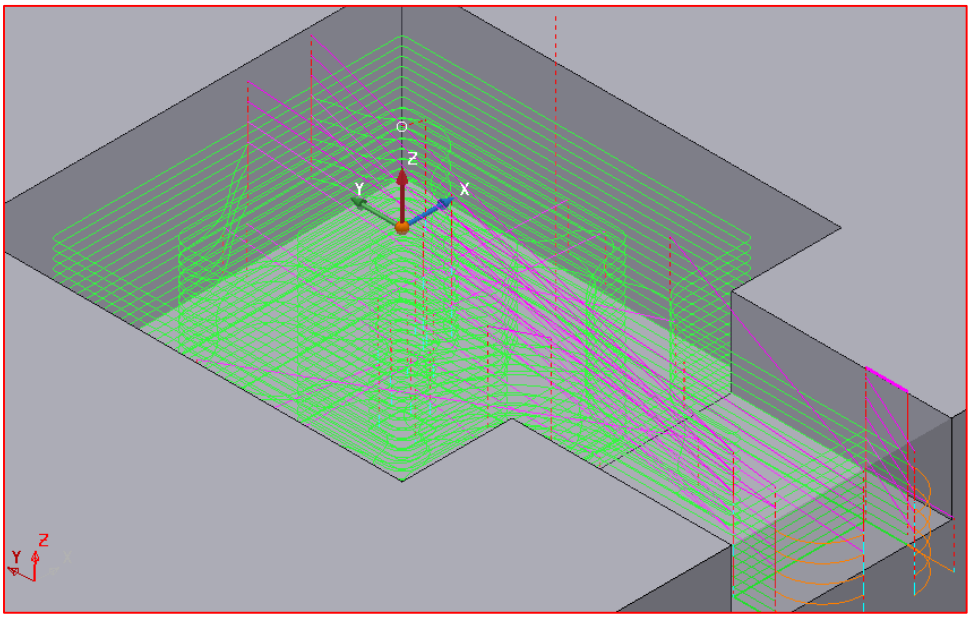


وكما يقول المثل: الباب الذي تأتي منه الريح، سده واستريح؛ فإن عندنا طريقة لتفادي التغذيات في الخامة، وذلك بالتغذية خارجها، وذلك كما يلي:

- من **صفحة Offset**: إلغاء **الخيار Maintain cut direction**، وجعل الاتجاه Outside in.
- من **صفحة Limit**: تقييد مركز الأداة بحدود الخامة ، وعدم تقييد المسار بحدود في المنطقة المراد التغذية من خارجها [1].
- من **صفحة Approach**: تفعيل **الخيار Add approaches from outside** (في الحالة العامة مفعل).

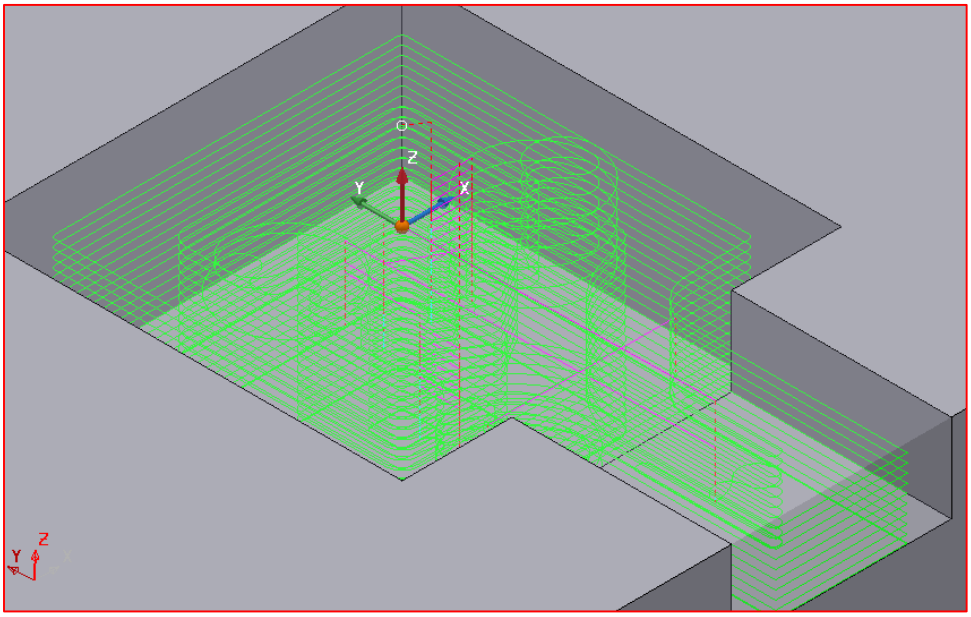
هذا إن كان في المشغولة إمكانية للتغذية من خارج الخامة، وذلك بحسب تصميمها وبحسب تفاصيلها.

إن كان **الخيار Maintain cut direction** مفعلًا:

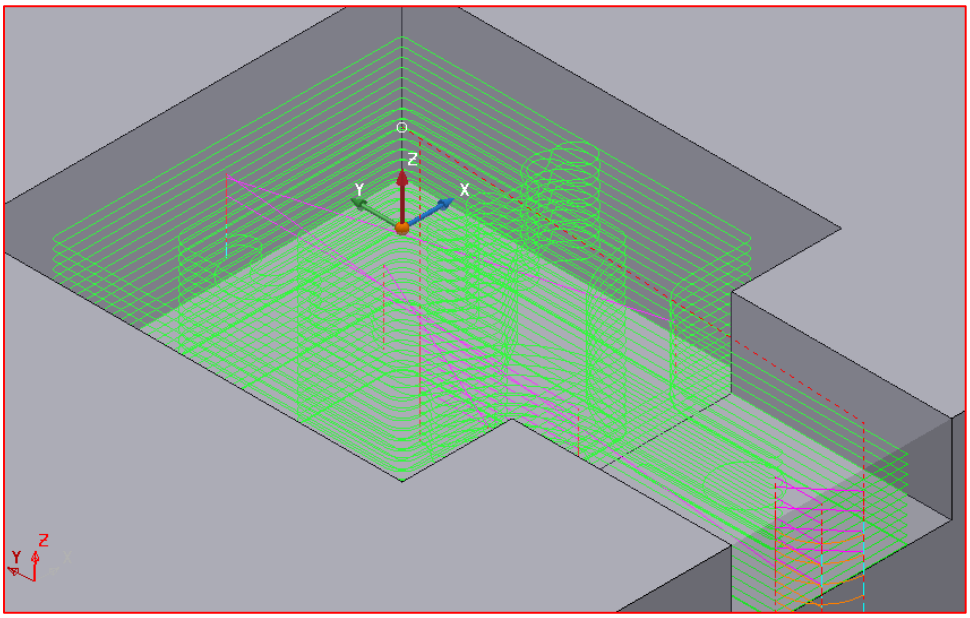


[1] إن أردت تقييد المسار بحدود تشغيل عندها ارسمها بحيث تحوي مناطق لا خامة فيها تزيد عن قطر أداة القطع. للمزيد انظر **فقرة تحديد مسار التشغيل بالخامة** في **فصل المفاهيم**.

إن لم تفعله، ولكن تركت اتجاه الإزاحة تلقائيًا Auto:



فإن جعلت الاتجاه من الخارج إلى الداخل Outside in:



لاحظ كيف تخرج الأداة مسافة تزيد عن نصف قطرها. لاحظ أيضًا وجود تغذيات في الخامة، في الأعماق التي لا منفذ لأداة القطع لتغذي خارجها.

لو لم يكن **الخيار Add approach from outside** مفعلًا لما خرجت أداة القطع نصف قطرها وزيادة خارج الخامة، بل ستجد التغذية على حدودها.

في المشغولات التي لا منفذ في أي عمق فيها، أي التي لا سبيل للتغذية خارج الخامة؛ اجعل اتجاه الإزاحة فيها من الداخل إلى الخارج Inside out.

التغذية في نقاط نختارها

يؤدي **الخيار Maintain cut direction** إلى زيادة النقلات وبعثرة نقاط الدخول في الخامة بغية تحسين اتجاه القطع. ولكننا في الحالة العامة نلغيه؛ إذ ما يهمنا هو زمن عملية التشغيل في برامج الهد في الدرجة الأولى. يؤدي إلغاء تفعيله إلى تقليل النقلات بشكل كبير –وبالتالي تقليل زمن التشغيل– وتركيز نقاط الدخول في الخامة في نقاط معينة، وأحيانًا: في نقطة واحدة.

قد ترغب بتحديد هذه النقطة، أو بتحديد عدة نقاط يكون الدخول منها. ويمكن ذلك من **صفحة الاقتراب Approach**.

ومبدأ هذه النقاط هو تثقيب ثقوب افتراضية في الخامة، بحيث يفترض مسار التشغيل أن في الخامة ثقوب قبل تشغيل المسار، بقطر معين، فيبدأ التشغيل منها. ومع هذا، لا يتعامل المسار معها على أنها ثقوب حقيقية، فيتحرك داخلها باعتبارها خالية من الكتلة، وإنما يجعل بداية خطوط المسار منها.

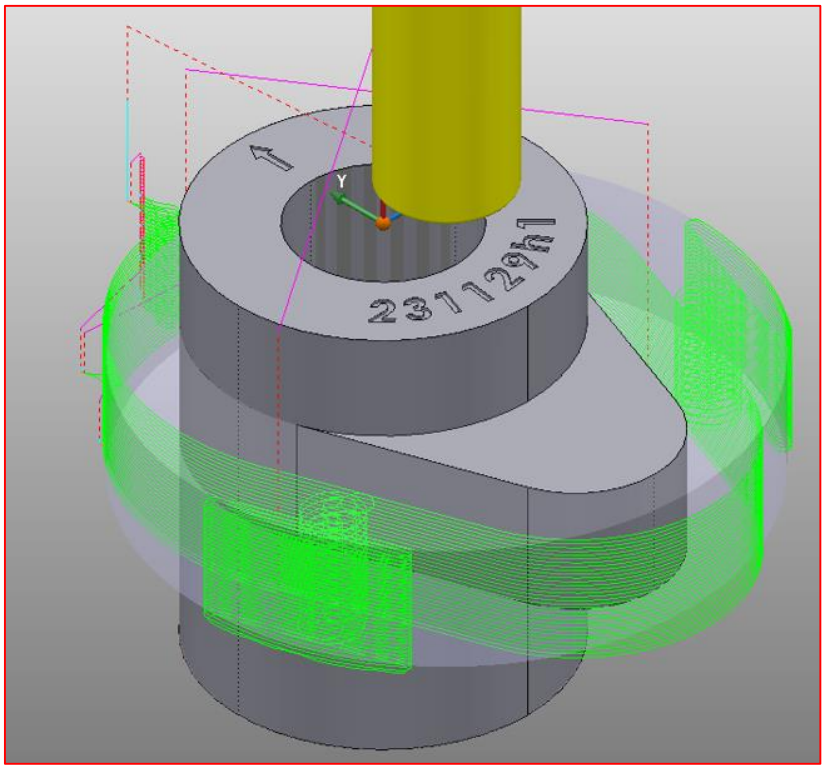
ولكن احذر: مسار التشغيل لن يغذي إلا في هذه النقاط، لهذا عليك أن تضمن أنها تكفي لكل المناطق التي يمكن أن تصل إليها أداة القطع.

تحتاج إلى تفعيل **خيار Drilling holes**، وتحديد نقاط أنماط اختيارية للدخول في الخامة، وأخرى اختيارية أيضًا للخروج منها، وثقوب مع تحديد قطرها، وهي إجبارية لا بد من تحديدها. والطريف فيها أنها تصبح مقفولة، تمامًا كباقي الكائنات، فلا تستطيع حذفها إلا إن ألغيت اعتماد المسارات عليها.

نقطة أخيرة: تختلف النقاط التي نحددها هنا عن نقطتي البداية والنهاية، فهذه النقاط تحدد بداية خطوط المسار (بداية الـ Segments، الخطوط الخضراء)، أما النقطتان فتحددان مواقع أول نقلة وآخر نقلة يتحرك فيهما مسار التشغيل.

هد المشغولات ذات الخامات المعرفة برسمة (Triangle Block)

في الصورة التالية الخامة أصلها ملف رسم، نسميها خامة شبكية Triangle Block. رسمت مع المشغولة في برنامج الرسم، فيها نفس تفاصيل المشغولة إلا مكان الكامة فيها أسطوانة. وهي مثال واقعي حيث شُغِّلت المشغولة على مخرطة مثلًا (شغل يدوي منخفض التكاليف)، وبقي تشغيل الكامة على الآلة المبرمجة (شغل آلي مرتفع التكاليف)، فأردت أن يحسب المسار حساب المشغولة ليهد ما يمكنه أن يرى من خامة، فمثّلتها برسمة.



انظر السطوح الداخلية في الرسمة. الخامة مرسومة بحيث تكون مثقوبة بنفس ثقب المشغولة؛ فلا يراها مسار الهد ولا يشغلها.

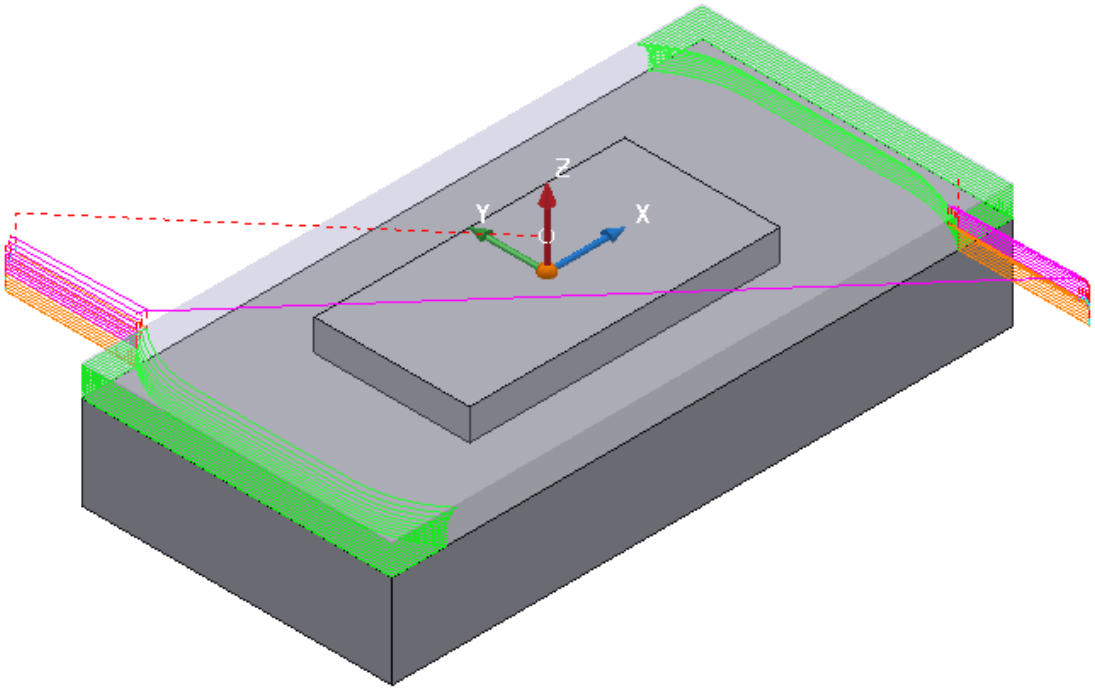
هد المناطق الضيقة

قدمت مفهوم المناطق الضيقة في **فقرة الإستراتيجية Constant Z Finishing**، فانظر ما فيها. إن كانت التفاصيل التي تريد هدها ينطبق عليها مفهوم المناطق الضيقة فلا تهدها ببرامج هد، وإنما ببرامج إنهاء تتحرك من الأعلى للأسفل.

هذا لا يعني طبعًا أن هدها ببرامج هد خطأ، وإنما ليس أفضل الحلول.

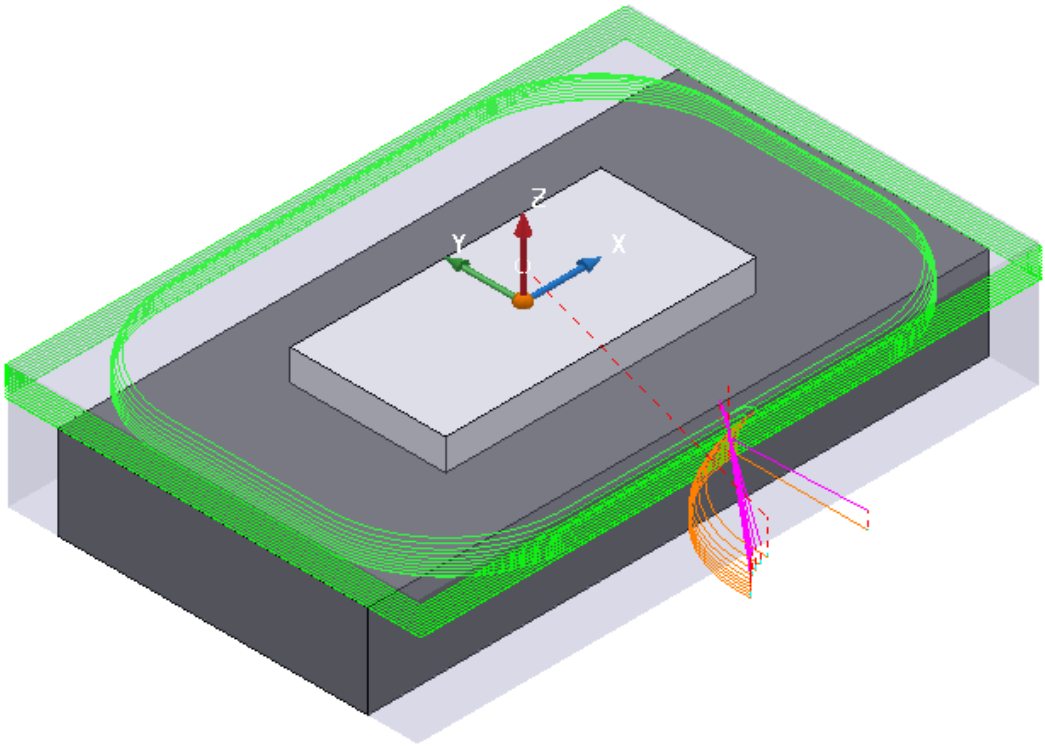
هد المناطق المفتوحة الأصغر من أنصاف أقطار الأدوات الحوامل

لا نسمح للأداة بأن تخرج أكثر من نصف قطرها خارج الخامة في الحالة العامة . فإن كان ثمة تفاصيل من المشغولة مفتوحة ولكن لا يمكن لأداة القطع أن تصل إليها لمنعنا إياها من الحركة خارج الخامة عندها ستجد المسار هكذا:



في هذا المسار خسرنا الفائدة من أداة القطع (نظريًا: هي أكبر أداة قطع ممكنة)، وبالتالي خسرنا وقتًا كان يمكن توفيره بها، وحمّلنا شغلًا أكبر على الأدوات التي تليها؛ وفي هذا تكلفة في الوقت أكبر، واستهلاك من أعمار الأدوات.

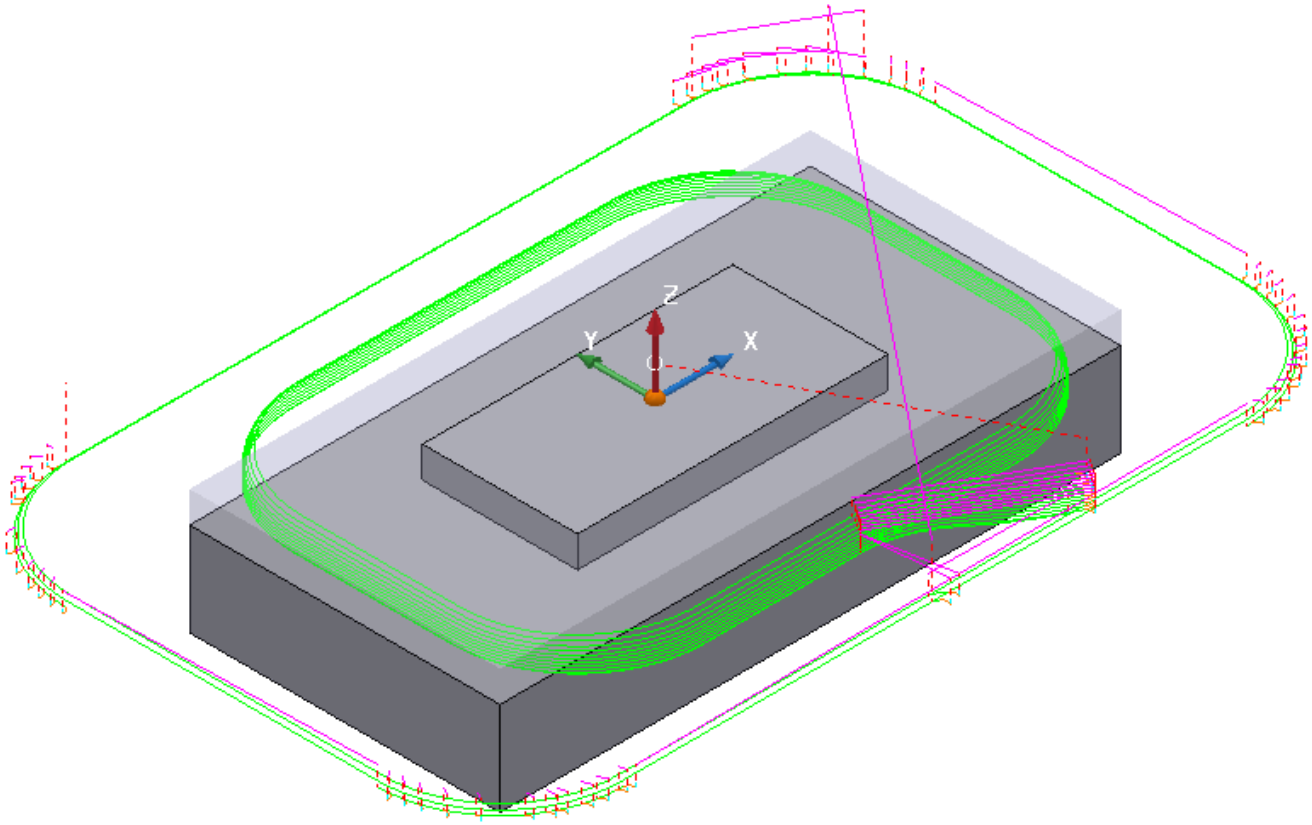
الأفضل: كبّر البلاطة، لتستوعب مركز الأداة، وبالتحديد اجعلها تزيد عن البارز من المشغولة في مستوي العمل –أي في المستوي XY فقط– مسافة تزيد عن نصف قطر الأداة والخامة المتروكة:



في مثالي هذا جعلت الزيادة في الاتجاه y فقط؛ فالمسافة في الاتجاه x تكفي وزيادة.

أرأيت كيف أن الخامة في الباورميل ما هي إلا مكان لحركة الأداة ولا تمثل الخامة الحقيقية تمامًا؟

أما لماذا لا نسمح للأداة أن تتحرك بمركزها خارج الخامة في مثل هذه البرامج:



Constant Z Finishing

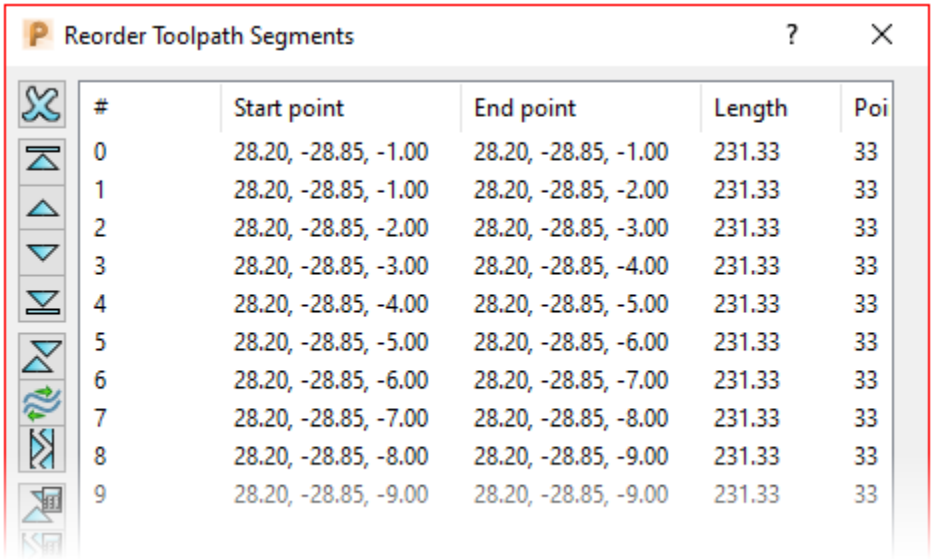
هذه أشهر إستراتيجية في الإنهاء، وأهمها. في الواقع: هي إستراتيجية إنهاء، وإستراتيجية نصف إنهاء، وإستراتيجية هد. هي إستراتيجية المبتدئين، وإستراتيجية المحترفين. يحبها الكبار ويحبها الصغار. هي أولى اختياراتنا دائمًا. إذا كانت مناسبة هي وغيرها لعملية تشغيل، حتى لو كانت المقارنة بينها وبين إستراتيجية هد، فإننا نختارها. من حيث المبدأ: هي مناسبة لتشغيل الجدران. وكلما كانت الجدران أقرب للشاقولية كانت أنسب لتشغيلها. والعكس صحيح: كلما كانت الجدران أقرب للأفقية ما كانت مناسبة لتشغيلها.

نقطة مهمة خذها بعين الاعتبار: تبدأ مسارات هذه الإستراتيجية من عمق هو نفسه عمق القطع، وتنتهي في عمق قريب جدًا من عمق الخامة. قد ترغب بجعلها تبدأ من عمق معين، لنقل مثلًا أن تبدأ من العمق 10- مم، عندها لا تجعل أعلى نقطة في الخامة بهذا العمق، وإنما ترتفع عنها بمقدار عمق القطع. أي إن كان عمق القطع 0.2 مم مثلًا فاجعل أعلى نقطة في الخامة 9.8 مم، ليبدأ المسار من العمق 10- مم. وهذا كما ترى مما يجعل الخامة لا تمثل الخامة الحقيقية بالدرجة الأولى، وإنما المكان الذي يمكن لأداة القطع أن تتحرك فيه (للمزيد عما يتعلق بمعنى الخامة انظر **فقرة الخامة** في **فصل المفاهيم**).

أمر آخر: هذه هي الإستراتيجية الوحيدة التي تتحرك في الاتجاه z لولبيًا. صحيح أنها ليست الوحيدة التي تأخذ الخطوة اللولبية Spiral ولكنها الوحيدة التي تأخذها في الاتجاه z على طول مسارها. قد تجد غيرها تتحرك لولبيًا في الاتجاه z، ولكن ذلك صدفة، بحكم الظروف (الحدود والأنماط). أما هذه الإستراتيجية فمساراتها لولبية 100% في الاتجاه z.

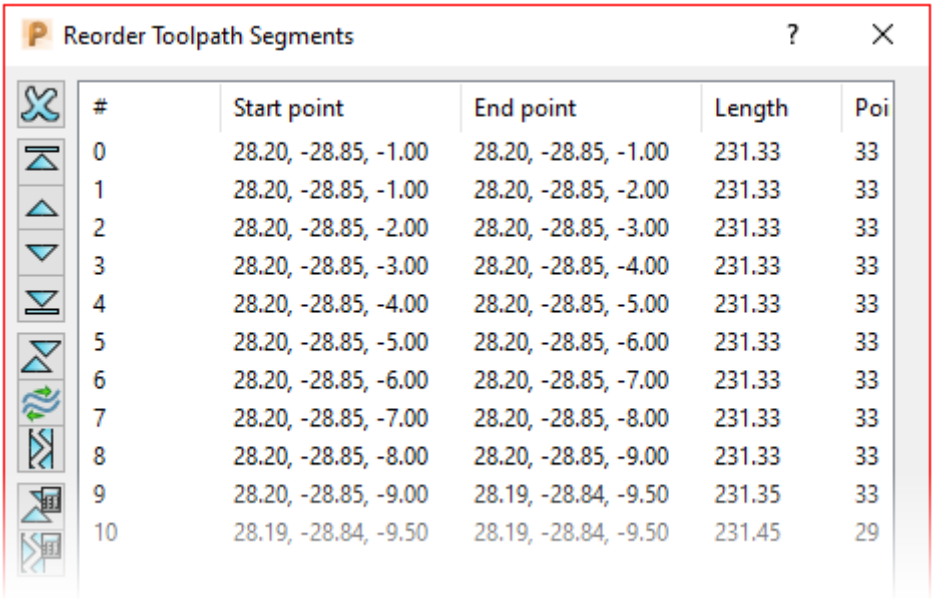
خطوة التشغيل المثالية التي تجعل هذا البرنامج يحقق العمق المطلوب

تعمل هذه الإستراتيجية بخطوط ثابتة في الاتجاه z. وهذه ميزتها، ومن هنا جاء اسمها. قد تصبح هذه الميزة سلبية إن لم يكن العمق المطلوب تشغيله قابلًا للقسمة على خطوة التشغيل. لنقل أن العمق المراد تشغيله 9.5 مم، وأن خطوة المسار 1.0 مم. عندها إن حسبت المسار فهذا ما ستجده:



في الإستراتيجية **الخاصية Machine Down to Flats** والتي تجبر المسار على تحقيق العمق المطلوب:

انظر ماذا سيحدث إن فعلتها:



#	Start point	End point	Length	Poi
0	28.20, -28.85, -1.00	28.20, -28.85, -1.00	231.33	33
1	28.20, -28.85, -1.00	28.20, -28.85, -2.00	231.33	33
2	28.20, -28.85, -2.00	28.20, -28.85, -3.00	231.33	33
3	28.20, -28.85, -3.00	28.20, -28.85, -4.00	231.33	33
4	28.20, -28.85, -4.00	28.20, -28.85, -5.00	231.33	33
5	28.20, -28.85, -5.00	28.20, -28.85, -6.00	231.33	33
6	28.20, -28.85, -6.00	28.20, -28.85, -7.00	231.33	33
7	28.20, -28.85, -7.00	28.20, -28.85, -8.00	231.33	33
8	28.20, -28.85, -8.00	28.20, -28.85, -9.00	231.33	33
9	28.20, -28.85, -9.00	28.19, -28.84, -9.50	231.35	33
10	28.19, -28.84, -9.50	28.19, -28.84, -9.50	231.45	29

وقد تؤدي هذه الخاصية إلى مشاكل في المسار، خصوصًا مع الدقة الضعيفة. عندها احسب خطوة التشغيل المثالية التي إن تحرك مسار التشغيل بها حقق العمق المطلوب. والخطوة المثالية هي أقرب خطوة إلى الخطوة المطلوبة بحيث تقبل القسمة على العمق المراد تشغيله. أي:

$$dz = \begin{cases} \dfrac{H}{Ceil(H/dz)} \\ \dfrac{H}{Floor(H/dz)} \end{cases}$$

حيث

dz	عمق القطع.
H	العمق المطلوب تشغيله.
$Ceil()$	تابع رياضي يقرب الأعداد إلى أقرب عدد صحيح أصغر منها.
$Floor()$	تابع رياضي يقرب الأعداد إلى أقرب عدد صحيح أكبر منها.

أي في حالتنا:

$$dz = \begin{cases} \dfrac{9.5}{9} = 1.056 \\ \dfrac{9.5}{10} = 0.950 \end{cases}$$

الدقة الضعيفة قد تفسدك سلوك البرنامج

إن استخدمت هذه الإستراتيجية لوضع مسارات هد فإنك غالبًا ستقلل الدقة، عندها قد تواجه إحدى مشكلتين:

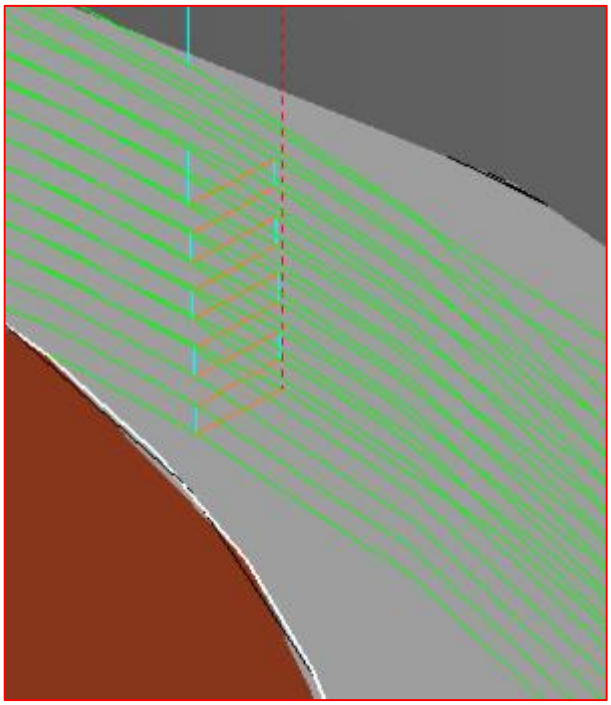
- أن يتصل المسار ببعضه في المناطق المفتوحة المتقابلة، فيما يشبه تشغيل المناطق الضيقة إن وصلت بنقلة مستقيمة Straight (موضوع الفقرة التالية)، ولكن الاتصال هنا لا يكون نقلات (خطوطًا برتقالية)، وإنما خطوط مسار حقيقية (خطوطًا خضراء). مشكلة هذا السلوك أنه حرمنا من استغلال المنطقة المفتوحة حيث نريد للمسار أن يخرج خارج المشغولة وينقل نقلة خطوية Stepdown إن كان باتجاه واحد أو نقلة بقوس Circular Arc إن كان باتجاهين. هذا يعني أنه لا تطبق البدايات والنهايات على هذه الخطوط؛ فهي غير منتهية وإنما متصلة ببعضها كما قدمنا منذ سطور.
- أن تنحرف بعض خطوط المسار في آخرها، ليتضاعف الانحراف مع البدايات والنهايات الامتدادية Extended Move.

وقد لا تظهر أي من المشكلتين بطبيعة الحال. وربما ظهرت المشكلة الثانية حتى مع الدقة العالية، وسببها بتقديري متعلق بخطوة المسار، فإن غيرتها أصبحت الخطوط مظبوطة. وربما حلت المشكلة هذه بتفعيل **الخاصية Machine Down to Flats**.

الخامة الإضافية Additional Stock

في الحالة العامة تحسب مسارات الإنهاء بافتراض وجود خامة بسيطة –أو لنقل: مناسبة– متروكة في المشغولة، بفعل مسارات الهد ومسارات نصف الإنهاء. انظر **فقرة ما تحتاجه أدوات القطع من الخامة لتعطي الإنهاء المطلوب** في **فصل الأساسيات**، ففيها تفصيل. حتى مسارات نصف الإنهاء هي بطبيعتها مسارات إنهاء، ولكن كونها تستخدم بنية أخرى غير الإنهاء فإنه يكون أمامها في كثير من الأحيان خامة أكبر مما يناسب مسارات الإنهاء. بل إنها قد تستخدم بنية الهد كما رأيت في أكثر من موضع.

المهم: أحيانًا يكون في المشغولة تفاصيل تستعصي على ما قبل مسارات هذه الإستراتيجية، فتبقى دون هد؛ وحركة أداة القطع في هذه المناطق خطر عليها إن تحركت بطبيعتها؛ من الأعلى للأسفل في كل جدار بجداره، وإنما الأأمن أن تتحرك بخط على كل جدار؛ بحيث لا تنهى الجدران على التسلسل، وإنما على التفرّع، إن صح التعبير. نسمي هذه المناطق حيث التفاصيل المستعصية على الهد المناطق الضيقة. لحل هذه الأزمة نجعل الأداة تتحرك خطوة في كل جدار، على التفرّع كما ذكرنا، وهذا ما تفعله **الخاصية Additional Stock**.



أشهر مثال عليها تشغيل ما يسمى في سوق العمل مجاري سيليه، وتسمى مجاري OLC. وهي مجار توجد في القوالب التي فيها تجاويف تبريد، توضع فيها قطع بلاستيكية "جوان"، تمنع التسرب.

انظر كيف تتحرك الأداة في المسار في الصورة المجاورة. ستتحرك في خط من ناحية الجدار الأول ثم في خط من ناحية الجدار الثاني، وكل هذا بعمق واحد. ثم ستنزل إلى العمق الذي يليه، وتكرر العملية إلى أن تصل إلى نهاية المنطقة الضيقة.

وعلى فكرة: هم سموها كذلك بهذا المعنى الذي نشير إليه: تعمل مسارات الإنهاء بفرض وجود خامة مناسبة للإنهاء، فإن لم يكن هذا الفرض صحيحًا عوضنا الخامة الإضافية بهذه القيمة.

وحساب الخامة الإضافية بسيط:

الخامة الإضافية = المسافة الضيقة – الخامة المتروكة الكلية – قطر الأداة

بمعنى: إن كانت المسافة بين جدارين 3 مم مثلًا، وأردت تشغيلها بأداة قطرها 2 مم مثلًا، وأن تترك 0.1 مم في كل جدار؛ فالخامة الإضافية هي 3 – 2 – 0.2 = 0.8 مم (العملية الحسابية من اليمين إلى اليسار هنا، معلش). نقصد بالمسافة الضيقة أكبر مسافة تستعصي على أدوات الهد وأدوات نصف الإنهاء في المناطق الضيقة (هذا يعني أن المناطق الضيقة قد تكون قد شغّلت جزئيًا).

قد لا تكون المناطق الضيقة مشكلة حقيقية إن كانت تشكلها جدران شاقولية، بل قد تسبب أزمة جديدة وهي هدر وقت التشغيل بنقلات أنت بغنى عنها. بل وقد يصل البل إلى ذقن المنتج فيكون الإنهاء سيء؛ عندها لا حاجة لك بالخامة الإضافية. أما إن كانت جدرانًا مائلة فلا يجوز تشغيلها إلا بوجود الخامة الإضافية. (مهم)

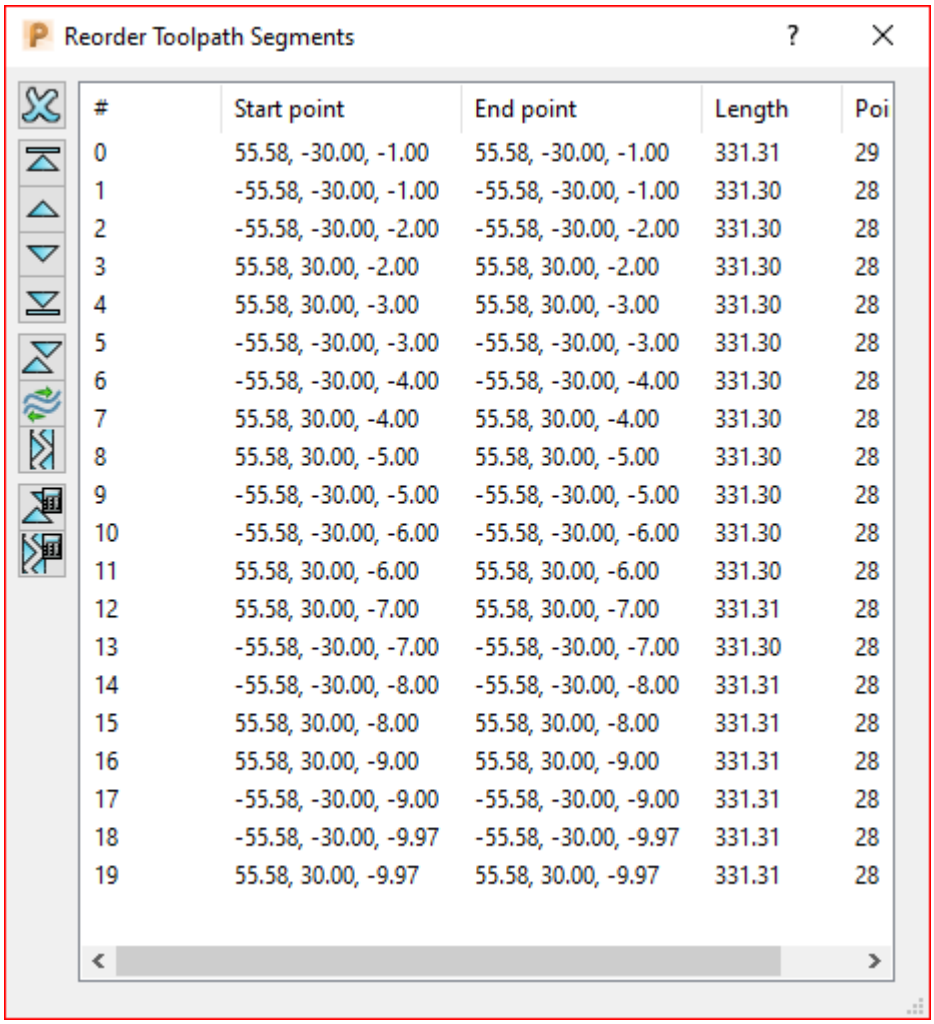
في الواقع لا تكون الجدران الشاقولية في المناطق الضيقة مشكلة إلا في الأدوات ذوات الأقطار الصغيرة (كمجاري السيليه OLC المذكورة منذ سطور)، أو إن كانت الخامات قاسية جدا، أو إن كانت الأعماق كبيرة. وانتبه وأنت تشغل جدرانًا شاقولية بأدوات إما ذات حدود قاطعة بأنصاف أقطار وإما بأدوات كروية، فإنها لا تتحرك شاقوليًا كما الجدران التي تشغلها، وإنما تتحرك بحيث تحافظ الأدوات على تماسها مع السطوح، في كل المجال الذي تراها فيه، وذلك تبعًا لنصف قطر حدها القاطع. (مهم)

مثلًا: عند رص القطع في قطع الغيار وما شابه ذلك نترك مسافة بينها تزيد عن قطر الأداة التي ستفصلها عن الخامة بمقدار بسيط يشيع أن يكون 0.5 مم أو 1.0 مم.[1]

يحسب الباورميل في الحالة العامة الخامة الإضافية المطلوبة تلقائيًا تبعًا لقطر الأداة بالعلاقة:

$$Additional\ Stock = \frac{D_C}{20}$$

في النسخ الحديثة من الباورميل هذه القيمة دائمًا فعالة، وإن كانت 0.0 اعتبرها الباورميل بالقيمة التي تحسب تلقائيًا من العلاقة الأخيرة (عشر نصف القطر). في النسخ القديمة كان يمكن تفعيلها أو عدمه، وإن كانت 0.0 كانت فعلًا 0.0.

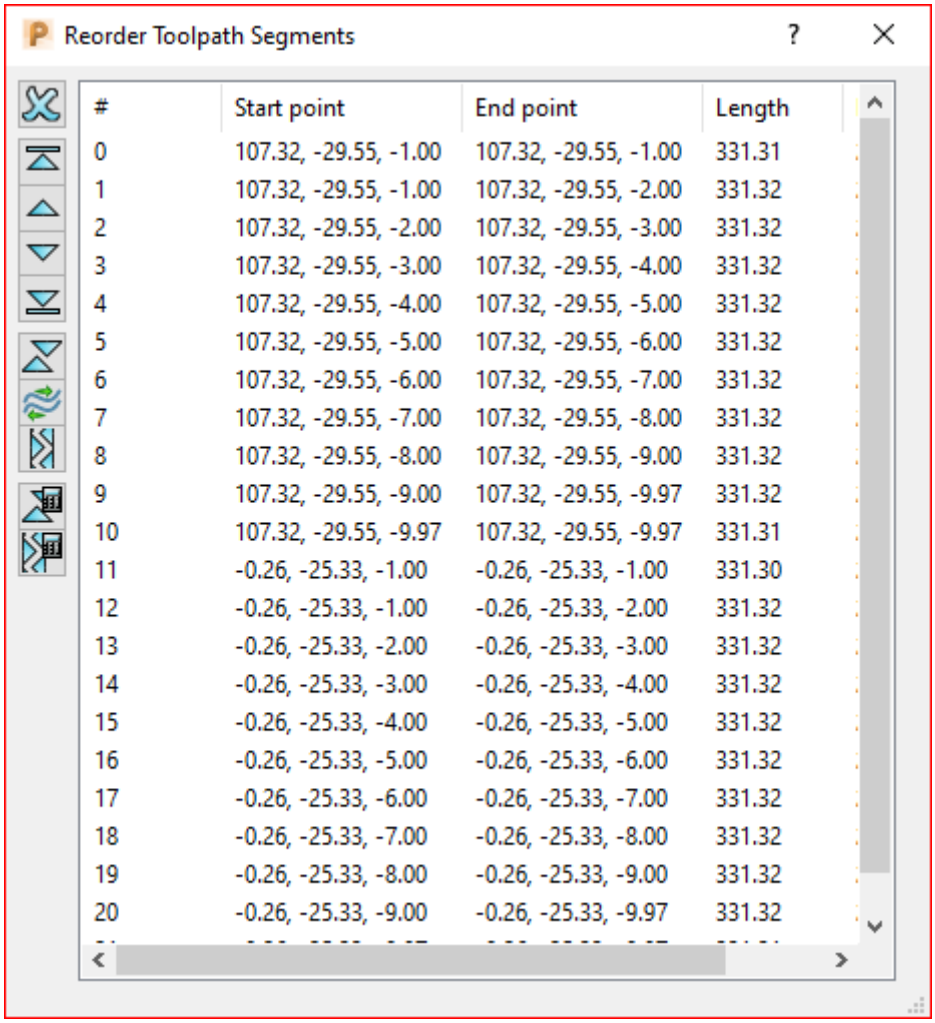


فإن كانت المسافة بين القطع أقل من الخامة الإضافية + قطر أداة القطع عندها ترتب خطوط المسار بحيث يشغل خط من كل جدار، أي في حالة إن كانت الأداة 10 مم والمسافة بين القطع 10.5، والباورميل افترض أن الخامة الإضافية 0.5، عندها ستكون خطوط المسار كما في الصورة.

لاحظ في الصورة المجاورة أن الخطوط تبدأ وتنتهي في نفس الارتفاع. هذا يعني أنه ليس لولبيًا (ليس Spiral)، حتى لو كان خيار لولبية المسار مفعّلًا، على الأقل في المناطق الضيقة. كما أنها مشتتة، انظر إلى نقاط البداية والنهاية وكيف أنها مرة في نقطة ومرة في نقطة أخرى.

[1] لا ينصح ترك أقل من 0.5 مم من الخامة في أسفلها ولا أكثر من 1.0 مم؛ فالسماكة الصغيرة جدًا قد تؤدي إلى انفصال بعض القطع خصوصًا إن كانت كثيرة أو كانت الخامة طويلة وغير مثبتة جيدًا، والسماكة الكبيرة جدًا قد تؤدي إلى صعوبة فصلها يدويًا بعد فك المشغولة عن الآلة. انفصال القطع قد يؤدي إلى اصطدامها بأداة القطع، وكسرها، فتقذف عشوائيًا، وقد تقتل المشغل! بالمقابل صعوبة فصل القطع قد تجعل الفني الذي يفصلها يشوه المشغولة بغير قصد.

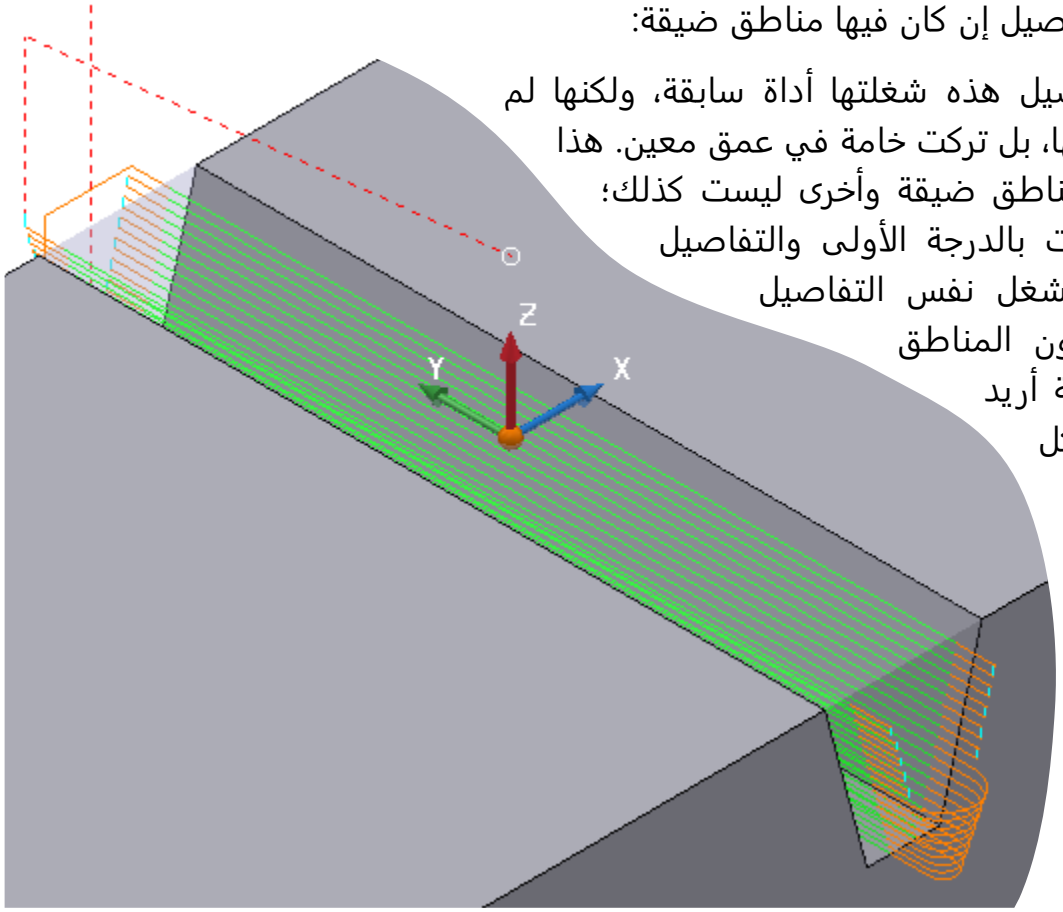
انظر كيف تكون الخطوط إن كان المسار لولبيًا، أي بجعل الخامة الإضافية أقل من المسافة بين القطع وقطر الأداة:



#	Start point	End point	Length
0	107.32, -29.55, -1.00	107.32, -29.55, -1.00	331.31
1	107.32, -29.55, -1.00	107.32, -29.55, -2.00	331.32
2	107.32, -29.55, -2.00	107.32, -29.55, -3.00	331.32
3	107.32, -29.55, -3.00	107.32, -29.55, -4.00	331.32
4	107.32, -29.55, -4.00	107.32, -29.55, -5.00	331.32
5	107.32, -29.55, -5.00	107.32, -29.55, -6.00	331.32
6	107.32, -29.55, -6.00	107.32, -29.55, -7.00	331.32
7	107.32, -29.55, -7.00	107.32, -29.55, -8.00	331.32
8	107.32, -29.55, -8.00	107.32, -29.55, -9.00	331.32
9	107.32, -29.55, -9.00	107.32, -29.55, -9.97	331.32
10	107.32, -29.55, -9.97	107.32, -29.55, -9.97	331.31
11	-0.26, -25.33, -1.00	-0.26, -25.33, -1.00	331.30
12	-0.26, -25.33, -1.00	-0.26, -25.33, -2.00	331.32
13	-0.26, -25.33, -2.00	-0.26, -25.33, -3.00	331.32
14	-0.26, -25.33, -3.00	-0.26, -25.33, -4.00	331.32
15	-0.26, -25.33, -4.00	-0.26, -25.33, -5.00	331.32
16	-0.26, -25.33, -5.00	-0.26, -25.33, -6.00	331.32
17	-0.26, -25.33, -6.00	-0.26, -25.33, -7.00	331.32
18	-0.26, -25.33, -7.00	-0.26, -25.33, -8.00	331.32
19	-0.26, -25.33, -8.00	-0.26, -25.33, -9.00	331.32
20	-0.26, -25.33, -9.00	-0.26, -25.33, -9.97	331.32

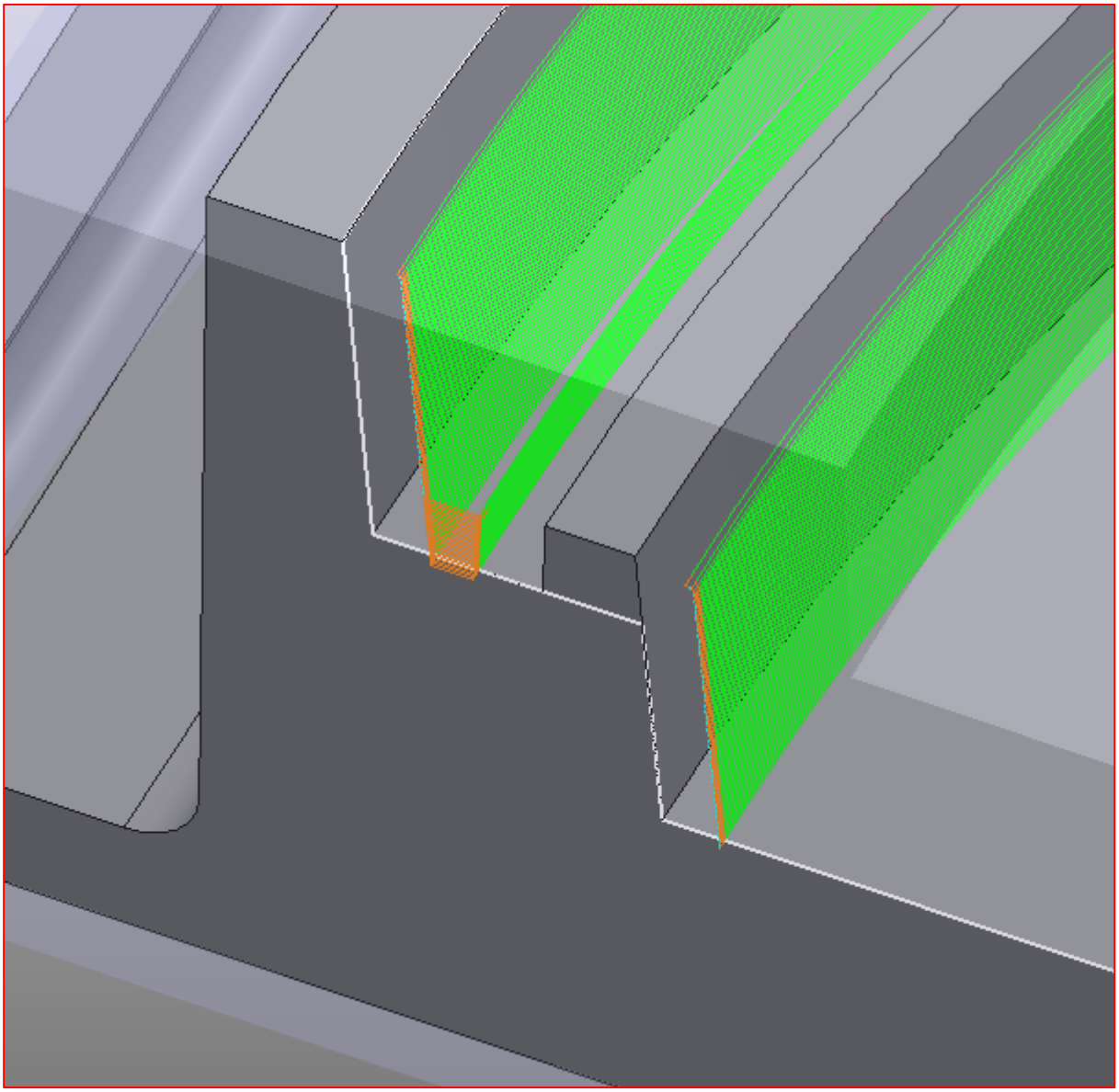
لاحظ كيف تتبع الخطوط بعضها، بحيث يبدأ كل خط من حيث انتهى ما سبقه. وكيف أنها تبدأ كلها في نفس النقطة وتنتهي كلها في نفس النقطة.

انظر كيف نشغّل التفاصيل إن كان فيها مناطق ضيقة:



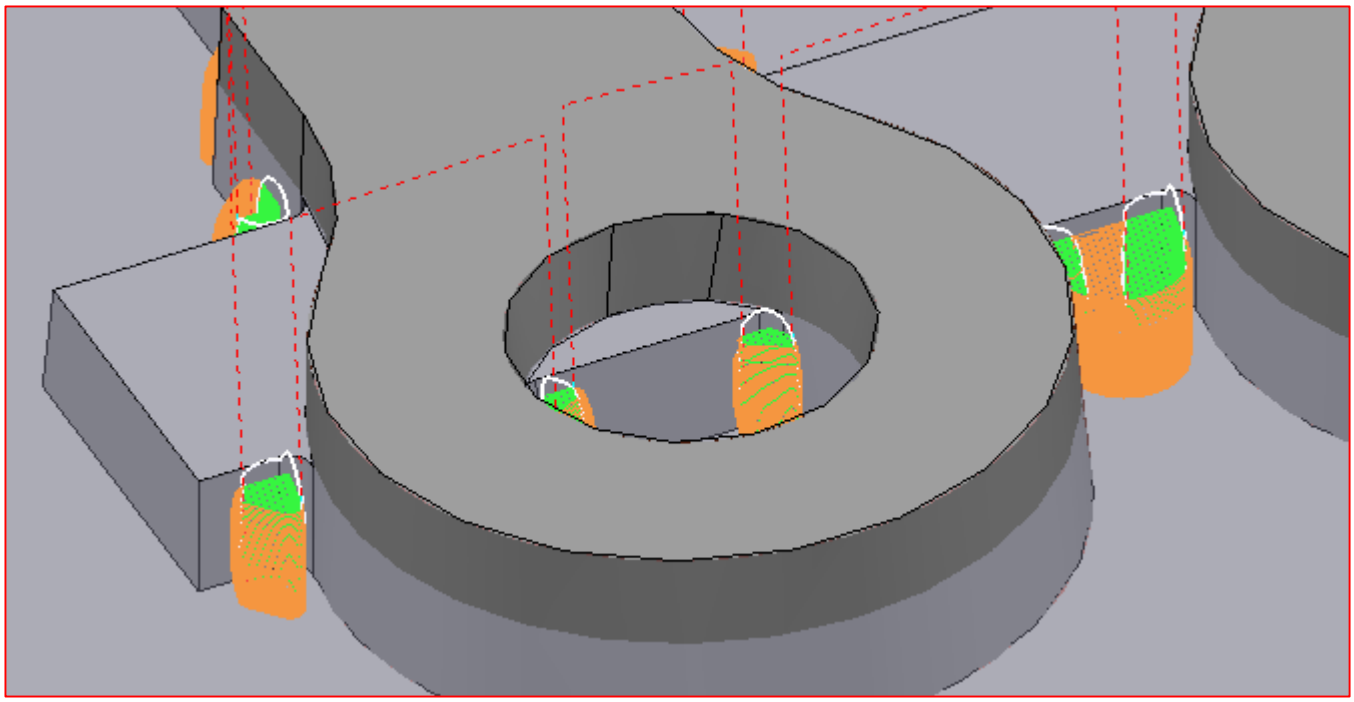
هنا أفترض أن التفاصيل هذه شغلتها أداة سابقة، ولكنها لم تستطع أن تشغلها كلها، بل تركت خامة في عمق معين. هذا يعني أنه عندنا هنا مناطق ضيقة وأخرى ليست كذلك؛ فالأمر متعلق بالأدوات بالدرجة الأولى والتفاصيل بالدرجة الثانية. قد تشغل نفس التفاصيل بأدوات أخرى فلا تكون المناطق ضيقة. في هذه الحالة أريد المسار أن يرسم على كل جدار بجداره في المناطق غير الضيقة، كما في أي مسار طبيعي من مسارات هذه الإستراتيجية، وأن يرسم بحيث يشغل الجدارين في كل عمق في المناطق الضيقة. نتحكم بهذا بضبط الخامة الإضافية Additional Stock. إن كانت المنطقة مفتوحة من الناحيتين كما في مثالنا فأفضل اتجاه يتحرك فيه المسار هو الاتجاه المعاكس Climb. (مهم)

مثال آخر:



والأمر في الواقع متعلق بخطوط المسار لا الرسمة. صحيح أن الرسمة هي ما تجعل المسار يسلك هذا السلوك، لكنه هو –المسار شخصيًا– السبب في هذا.

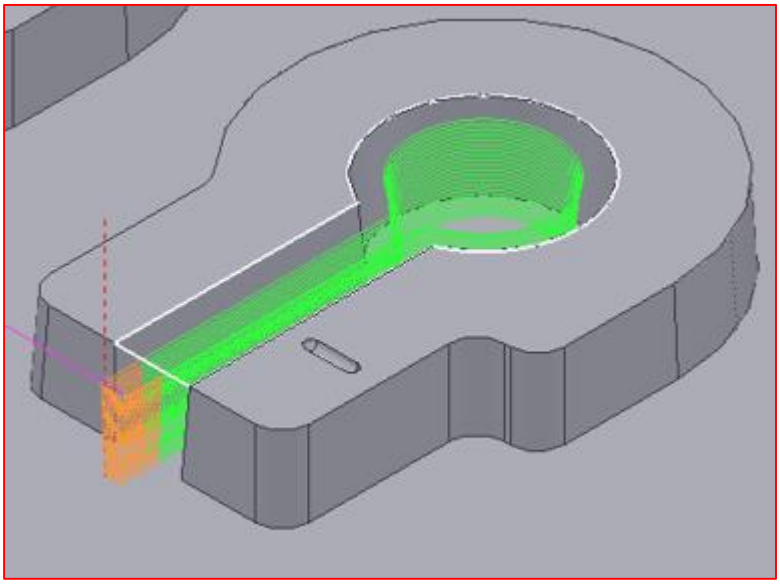
هنا خطوط المسار ليست بين سطحين يضيقان عليها المكان بحيث نقول أنها في منطقة ضيقة، ولكن نقاط بداية الخطوط الأولى قريبة من نقاط نهاية الخطوط الثانية، مسافة أقل من القيمة Additional Stock:



عند النقل إلى أسفل يفضل الحركة بنقلة خطوية Stepdown Link. وعند النقل في مستوي العمل أو ما يميل عنه ميلًا بسيطًا يفضل الحركة بنقلة بقوس Circular Arc. **فقرة تعديل نقلات وبدايات ونهايات بعينها** في **فصل المفاهيم** فيه تفصيل عن كيفية جعل بعض خطوط المسار تنقل بنقلة معينة وبعضها بنقلة غيرها. ولكن مختصر الكلام: حدد النقلات التي تريد، وغيرها، أو حدد النقلات التي لا تريدها أن تتغير، واقفلها، ثم غير النقلات دون تحديد خطوط.

واعلم أن تشغيل المناطق الضيقة يلغي لولبية المسار (لا يكون Spiral)؛ فإن كان مغلقًا ويشغل مناطق بعضها ضيقة وبعضها ليست كذلك، فإنه سيكون ثنائي الأبعاد في المناطق الضيقة (ليس Spiral) وثلاثي الأبعاد في غيرها من المناطق (يكون Spiral).

ولا تعتبر المنطقة ضيقة إلا بين أكثر من خط. المسار التالي مثلًا فيه خط واحد في كل عمق:



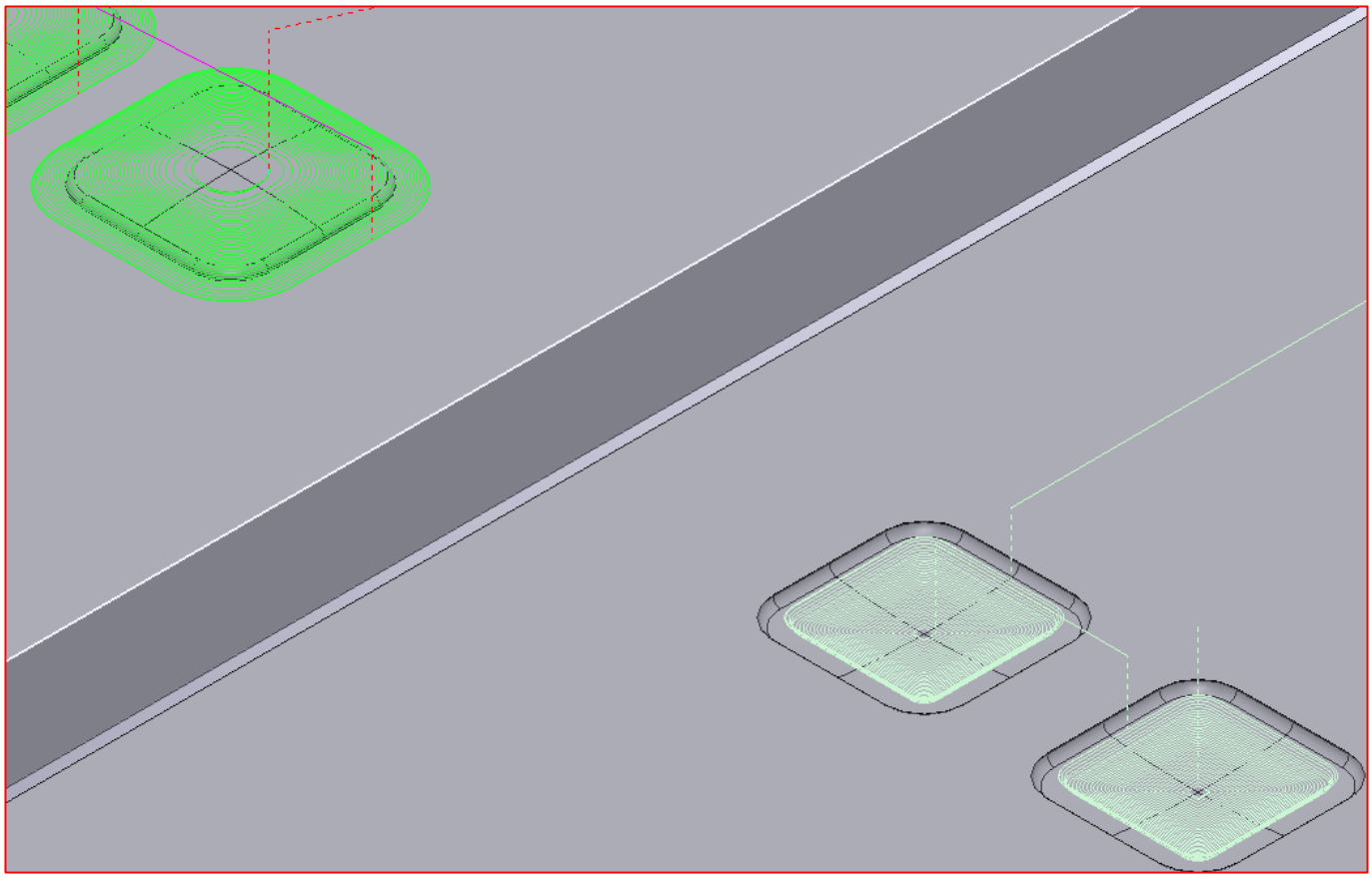
الخطوة المتغيرة Calculate Using Cusp

تتميز هذه الإستراتيجية بأن خطوة مساراتها ثابتة في الاتجاه z، لهذا سموها بهذا الاسم. قد تحتاج أن تجعلها متغيرة الخطوة، وذلك بحسب ميلان السطوح.

قد لا تكون هذه مشكلة كبيرة في المسارات ثنائية الأبعاد ونصف 2.5D (ما ليست لولبية)، ولكنها كذلك في المسارات ثلاثية الأبعاد (إن كانت لولبية Sprial). في المسارات ثنائية الأبعاد ونصف 2.5D يمكنك تجزأتها ببساطة على أكثر من مسار؛ فالخطوط مستقلة عن بعضها، لهذا فإن الوصل بينها يكون بالنقلات. أما المسارات ثلاثية الأبعاد فلا وصلات بينها، وإنما ترسم بحيث تبدأ خطوطها من حيث انتهى ما قبلها من خطوط، وأول خط وآخر خط فيها يكون ثنائي الأبعاد. فإن جزأتها أدت إلى نتائج تشغيلية غير مرغوب فيها في كثير من الأحيان (سترى خطوطًا في المشغولة هي أثر تجزأة المسارات).

المهم: إن أردت جعل الخطوة متغيرة فاربطها بارتفاع النتوءات التي قد تتركها الأداة. وعلى عكس عامة الإستراتيجيات التي تعتمد على ارتفاع النتوءات فإن هذه الإستراتيجية لا تحسبها؛ كونهم يربطونها مع عرض القطع Stepover لا عمق القطع Stepdown. فإن أردت أن تحسبها، إما اعتمد على المعادلات التي قدمناها في **فصل المفاهيم** في **فقرة ارتفاع النتوءات**، وإما ببساطة أنشئ مسارًا وهميًا من أي إستراتيجية تعتمد على ارتفاع النتوءات واضبط نفس ظروف التشغيل وخذ قيمة الارتفاع منها، وصلّ الله وبارك.

وهذه نقطة مهمة: لا تشغل التفاصيل البارزة مع التفاصيل الغاطسة في نفس المسار متغير الخطوة؛ شغل كل تفاصيل بمسار، ثم ضمهم في برنامج واحد أو أضفهم إلى مسار واحد، والضم أولى وأنظف. انظر:



فصل المشغولات من الخامات

أكثر إستراتيجية تناسب فصل المشغولات من الخامات هي هذه الإستراتيجية؛ كونها الوحيدة التي يمكن أن تتحرك بخطوة لولبية Spiral في العمق (بالاتجاه z) [1]. ويشيع هذا في المشغولات المرصوصة. وهنا نقطة مهمة: على الرسام أن يترك مسافة بين المشغولات تزيد عن قطر الأداة بمقدار بسيط. قد نريد هذا لغايات تشغيلية تتعلق بنعومة السطوح، وقد نريده لأجل أن ترى الأداة مكانًا فحسب فتتحرك بين المشغولات فيه. قدمنا تفصيل هذا الأمر في **فقرة الخامة الإضافية** قبل فقرتين. ويشيع بين المبرمجين حل هذه الأزمة –أزمة عدم وجود مكان تتحرك فيه الأداة، وتحدث عندما تكون المسافة بين المشغولات

[1] يمكن اعتبار **الإستراتيجية Parametric Spiral Finishing** إستراتيجية تتحرك مساراتها بخطوة لولبية في الاتجاه z أيضًا، ولكن هذا ليس المقصد الأساسي منها. المقصد الأساسي أن تكون خطوطها لولبية، سواءً كانت تتحرك في العرض أو كانت تتحرك في العمق. أما **الإستراتيجية Constant Z Finishing** فالغاية الأساسية منها الحركة بالاتجاه z، أي في العمق.

تساوي قطر الأداة– إما بتصغير قطر الأداة مقدارًا بسيطًا (من مرتبة السنتييمات) وإما بترك خامة سلبية بنفس المقدار؛ وذلك إن كانت المشغولة تتحمل هذه التجاوزات.[1]

قد تواجهك أزمة جديدة هنا: يحسب الباورميل في النسخ الحديثة الخامة الإضافية Additional Stock تلقائيًا، وتساوي عُشر نصف قطر الأداة، كما تقدم منذ فقرتين. أي إن كانت الأداة بقطر 10 مم كانت الخامة الإضافية 0.5 مم تلقائيًا. عندها إن رصصت المشغولات بحيث يكون بينها وبين بعضها مسافة 10.5 مم أو أقل فإن المسار لن يكون لولبيًا، وإنما سيرسم كما يرسم في الأماكن الضيقة؛ باص في كل جدار. حل هذه الأزمة يكون إما بتصغير الخامة الإضافية وإما بتكبير المسافة بين المشغولات، وبس.

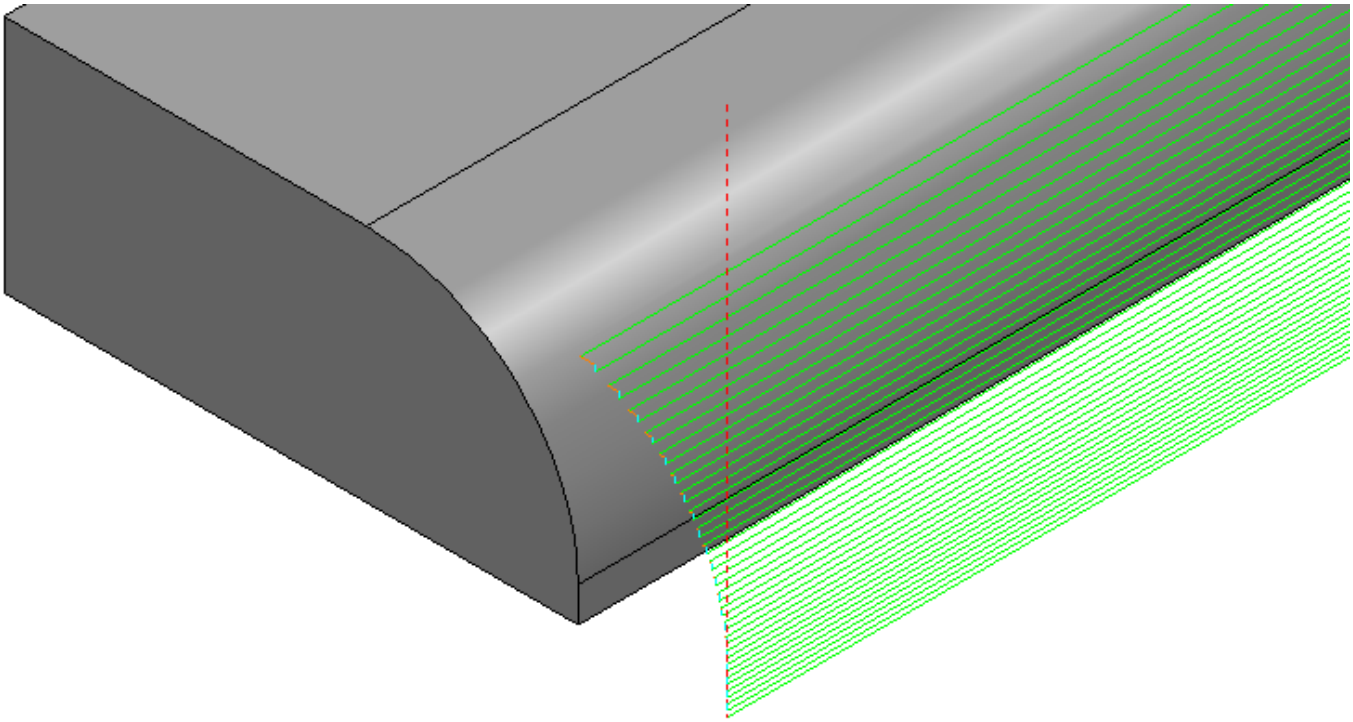
وهنا نقطة مهمة: عند فصل الخامات نترك خامة بسيطة في الأسفل بين الخامة وبين ما تحتها حتى لا نمس ما نثبتها عليه، كفرش الآلة أو المغناطيس أو الملزمة، أو غير ذلك، حوالي 0.5 مم أو 1.0 مم بحسب الخامة ومادتها وسماكتها، وبحسب المشغولة. إلا إن كان التثبيت على خامة أخرى. ولا ينصح – إن أريد فصل الخامات– بالتثبيت على قطعة وتثبيت القطعة على الفرش أو المغناطيس أو ما شابه ذلك. (مهم)

نقطة أخرى مهمة: لا ننزل إلى آخر عمق إلا في برنامج فصل المشغولات من الخامة، أما ما قبله من برامج، هد كانت أو إنهاء، أو غير ذلك، نترك خامة أكبر، حتى لا تنفصل المشغولات من الخامة، إلا إن كانت تعمل في مناطق محدودة لا تؤدي إلا الفصل.

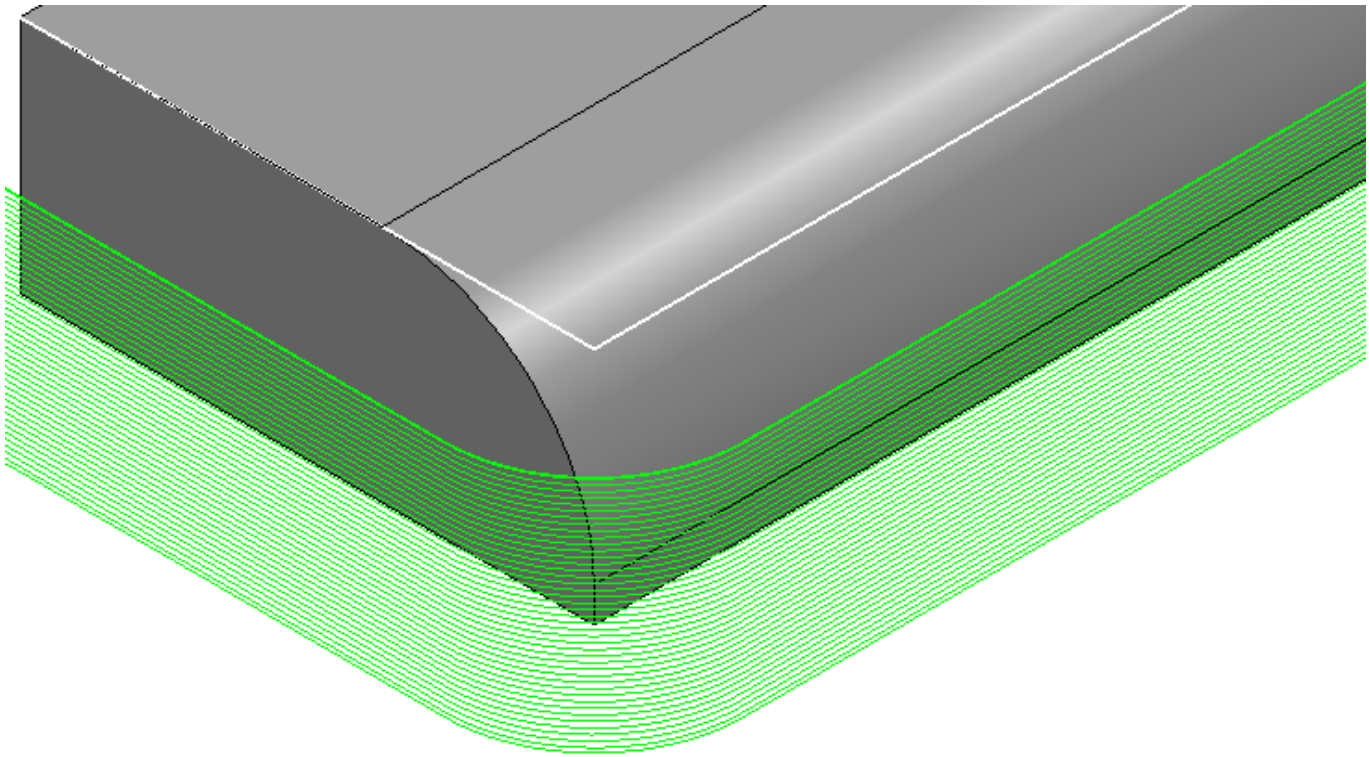
وبالمناسبة: قد نهد المشغولات وننهيها ونفصلها من الخامة بهذه الإستراتيجية، مع فرق أدوات القطع وظروف تشغيل كل منها. أهم ما يجب أخذه بعين الاعتبار عند الهد بهذه الإستراتيجية ألا تزيد الخامة التي تقطعها الأداة ما تتحمله الأداة في العادة (70% من قطر الأداة)، أو في أسوأ الأحوال ألا يزيد ما تقطعه من الخامة عن قطرها. (مهم)

[1] إن كانت الجدران شاقولية، في فصل المشغولات وفي غير فصلها، انسحب من المسار بعيدًا عن المشغولة ما أمكنك؛ وذلك بإضافة نهاية Lead Out للمسار، ولو 0.5 مم أو حتى أقل من ذلك (أي مقدار يزيد عن الأخطاء المحتملة في الأداة وحاملها). (مهم)

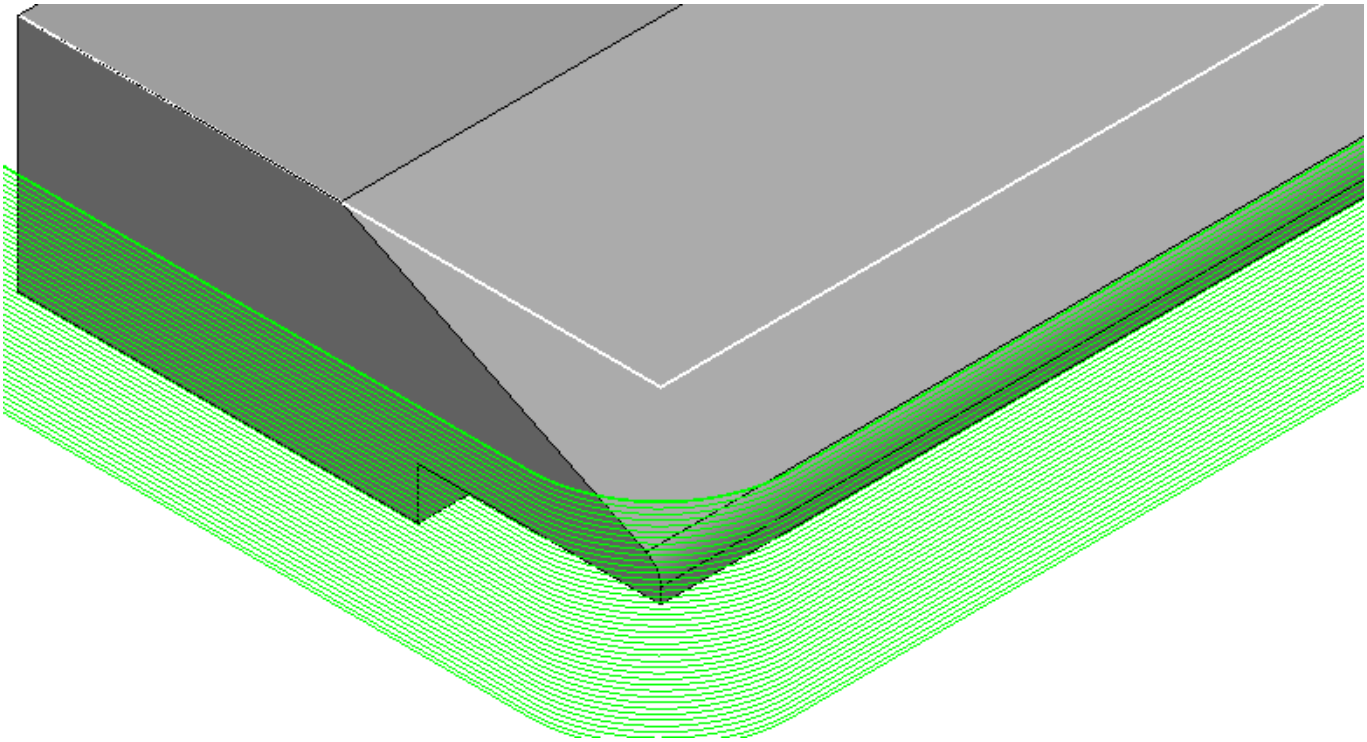
انظر:

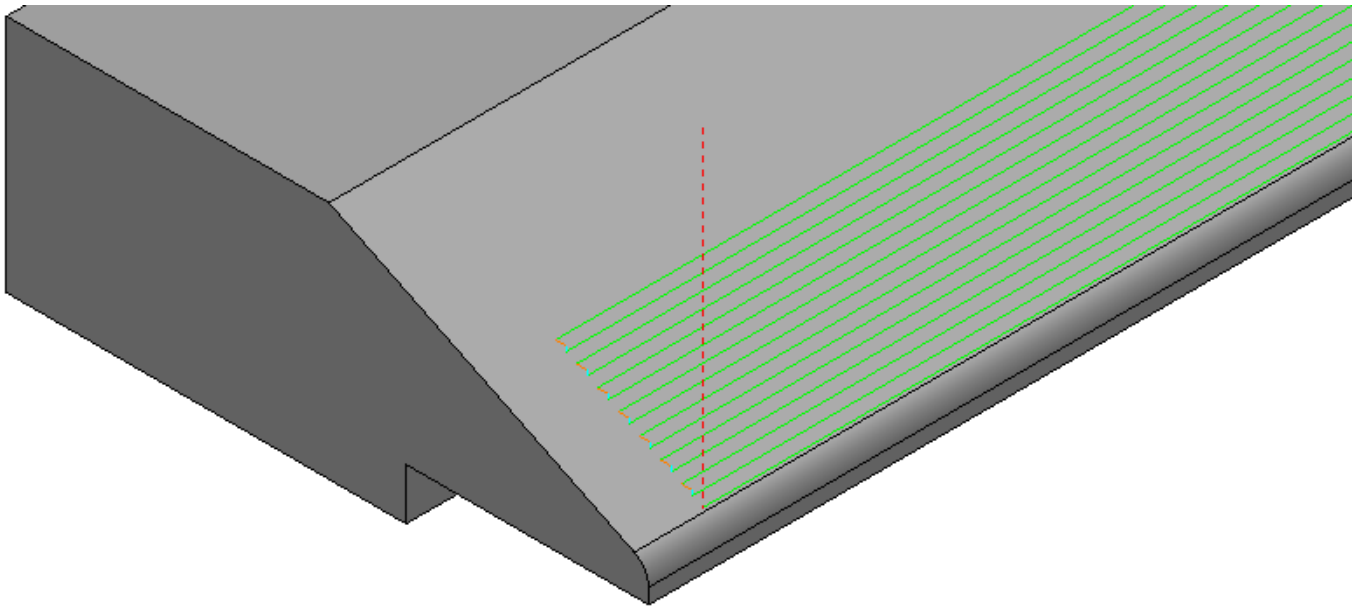


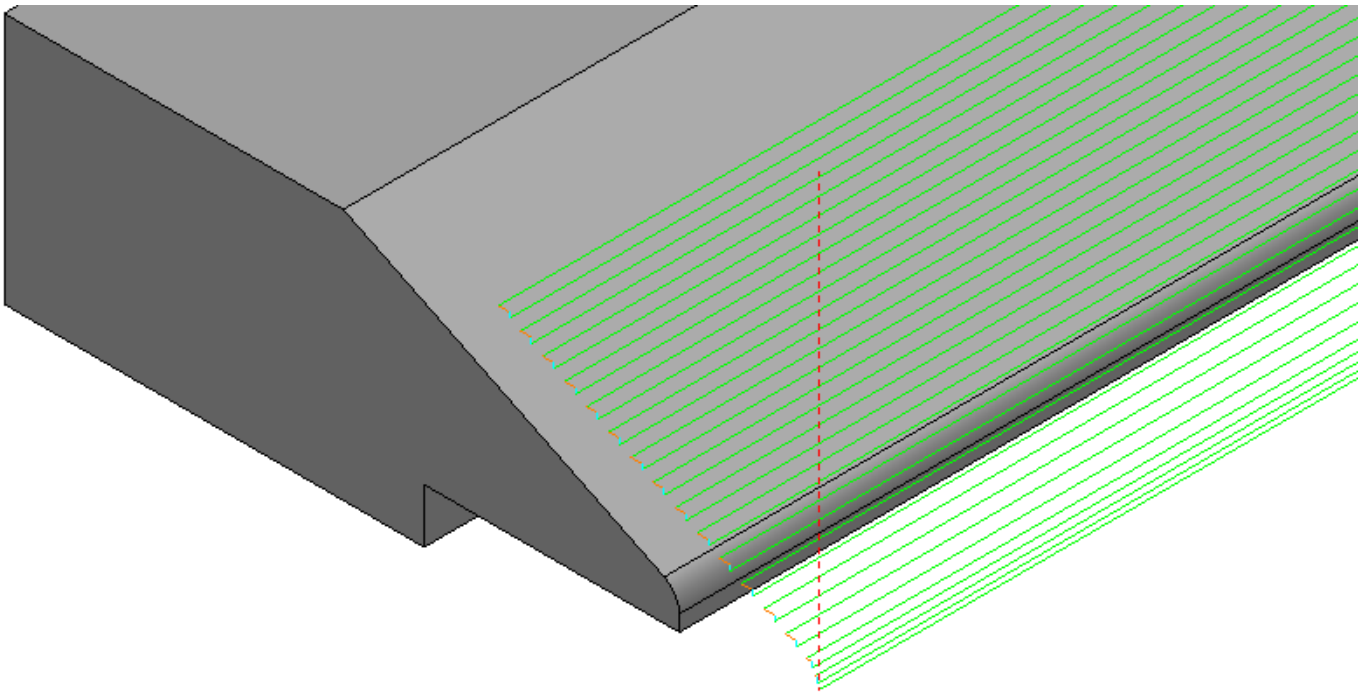
لا يجوز تشغيل هذا البرنامج إذا لم تكن المنطقة مهدودة؛ لا بد هنا من تشغيل برنامج يهد قبله:



وربما احتجت إلى التشغيل على مراحل:







المسارات الثلاثة الأخيرة تُضم في برنامج تشغيل واحد وتشغّل على أنها برنامج واحد. وإلا: كان يجب الهد ببرنامج هد. الفقرة التالية فيها المزيد.

هد المشغولات بهذه الإستراتيجية

يهمنا في الهد أقل وقت تشغيل ممكن، وهذه الإستراتيجية قد تحقق ذلك أكثر من إستراتيجيات الهد. ميزتها –وميزة عامة إستراتيجيات الإنهاء– أنها ترسم على أساس الرسمة لا الخامة، صحيح أن لها دور في تحديد هل سيرسم المسار أم لا؛ كونها –وأدوات القطع– شرط للمسارات، لكن كيفية رسم المسار متعلقة بالرسمة.

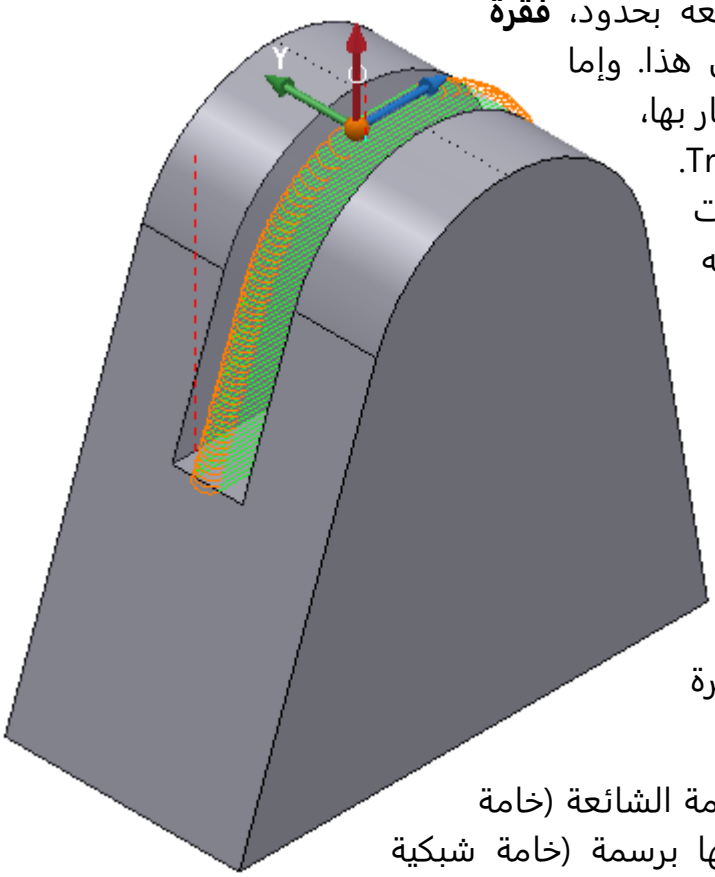
تصلح هذه الإستراتيجية في الهد بشرط:

- ألا تزيد منطقة التشغيل عن قطرها. وهذه الحالة الحرجة.
- فإن شغلت بها منطقة لا تزيد عن 70% من قطرها (عرض الباص في برامج الهد) فأحسن.

طيب .. ماذا لو كانت منطقة التشغيل أوسع من قطر الأداة ولكنك تريد تشغيلها بها؟ عندها شغلها على مراحل، بأن تترك خامة في المشغولة بحيث يرسم المسار بالشرط الذي ذكرناه. واحذر من الأسطح ذات الميلان، ومن المناطق الضيقة (التي نشغلها بخامة إضافية Additional Stock).

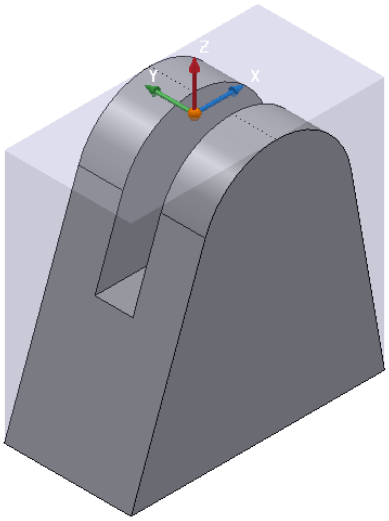
تشغيل منطقة جدرانها بحواف علوية غير أفقية

كثيرًا ما يكون عندنا مشغولات مثل هذه. انظر كيف تتحرك الأداة في المنطقة المراد تشغيلها دون غيرها. لتصل إلى هذه النتيجة إما ارسم أسطحًا وهمية تمنع الأداة من الالتفاف حول الحواف واحسب المسار واقطعه بحدود، **فقرة قطع المسار** في **فصل المفاهيم** فيها تفصيل هذا. وإما ارسم المشغولة قبل تشغيلها وعرّف خامة المسار بها، أي اجعل خامة المسار شبكية Triangle Block. ويحسن بك أن تمدد المسار بأن تجعل له بدايات ونهايات، ويحسن بك ذلك في أي شغل فيه حواف.

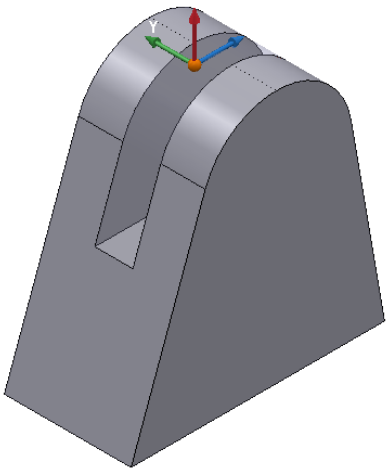


لاحظ أني ضبطت خامة إضافية في المسار؛ حتى يشغّل الجدارين المتقابلين في الوقت نفسه. في حالة كهذه أفضل النقلات نقلات الأقواس Circular Arc Links، فإن أردت تشغيل كل جدار بجداره، أو أردت تشغيل المنطقة بخط واحد (بالأنماط)، عندها تكون النقلات الخطوية Stepdown Links أفضل. مرة أخرى: مدد الخطوط بحيث تتجاوز الحواف.

في ما يلي صور توضح الخامة إن عرّفتها بالخامة الشائعة (خامة متوازية المستطيلات Box Block) وإن عرّفتها برسمة (خامة شبكية Triangle Block):

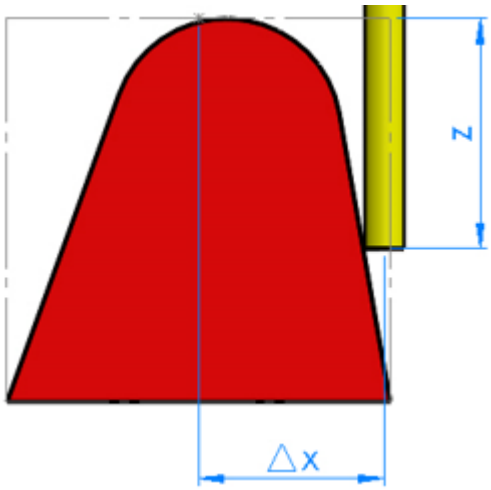


خامة متوازية مستطيلات Box Block



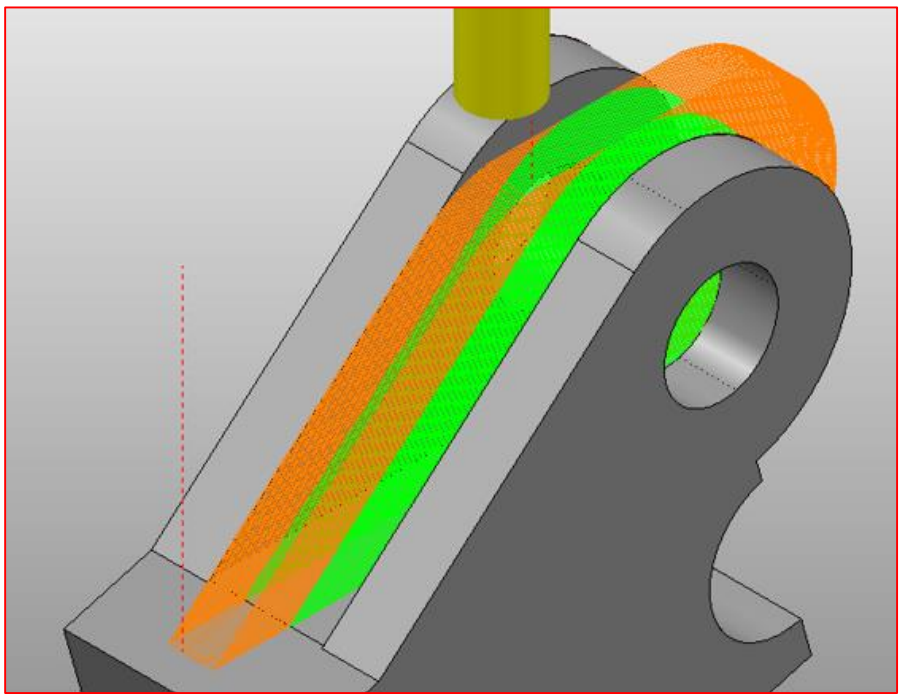
خامة شبكية Triangle Block

وإن كنت تتساءل عن كيفية ضبط جملة الإحداثيات في مشغولة كهذه، فإننا إما أن نعتمد على الحواف السفلية لضبط الجملة في الاتجاه x، وإما أن نختار عمقًا ونمس المشغولة منه ونعوّض موقع الأداة التي نضبط الجملة بها بالنسبة لجملة الإحداثيات، هكذا:



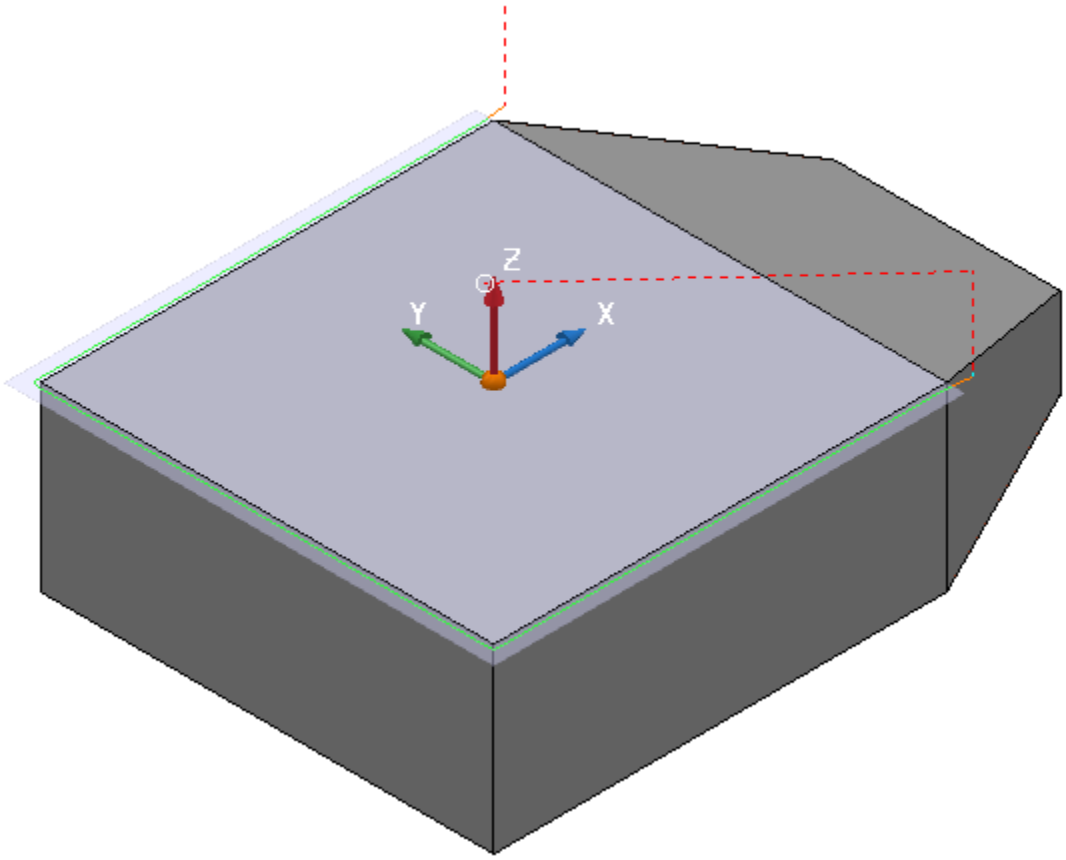
في **فقرة كيف تضبَط جمل الإحداثيات في آلة التشغيل** في **فصل المفاهيم** مزيد من التفصيل.

إليك مثالًا آخر:



كسر الحواف

في الباورميل إستراتيجية مخصصة لكسر الحواف هي **الإستراتيجية Chamfer Milling**، ولكن يشيع استخدام هذه الإستراتيجية بدلًا عنها. فإن أردت ذلك كان عليك تشغيل كل حواف عمق معين بمسار، وضبط الخامة بحيث يحقق المسار عمق الكسر المطلوب:



لاحظ كيف أنه لا يمكن لهذه الإستراتيجية كسر غير الحواف الأفقية. لاحظ أيضًا أنه لا بد من ضبط الخامة بحيث لا يرى المسار غير العمق الذي نريد. ويمكن هذا بالمناسبة من إعدادات الحدود في المسار من **الخاصية Z Limits**.

3D Offset Finishing

وهذه ثاني إستراتيجيات الإنهاء شهرة. وفيها ترسم المسارات بإزاحة عن الحدود التي تحدها. والإزاحة هنا ثابتة، "تقريبًا"؛ فقد تزيد وتنقص أحيانًا بحسب الحدود وبحسب تفاصيل الرسمة، وبحسب ما تقيدها به من أنماط. وعلى عكس ما يظنه كثير من المبرمجين هي آخر اختياراتها، هي الحل الاحتياطي إن نفدت منا الحلول. ومع أن الأصل استخدام الإستراتيجية لرسم مسارات على أسطح منحنية ومعقدة، إلا أني سأرسمها في الأمثلة على سطح مستوٍ، وسآتي بصور للأمثلة من مستوي العمل؛ فلا تختلف نتيجتها في مستوي العمل مهما كان السطح منحنيًا

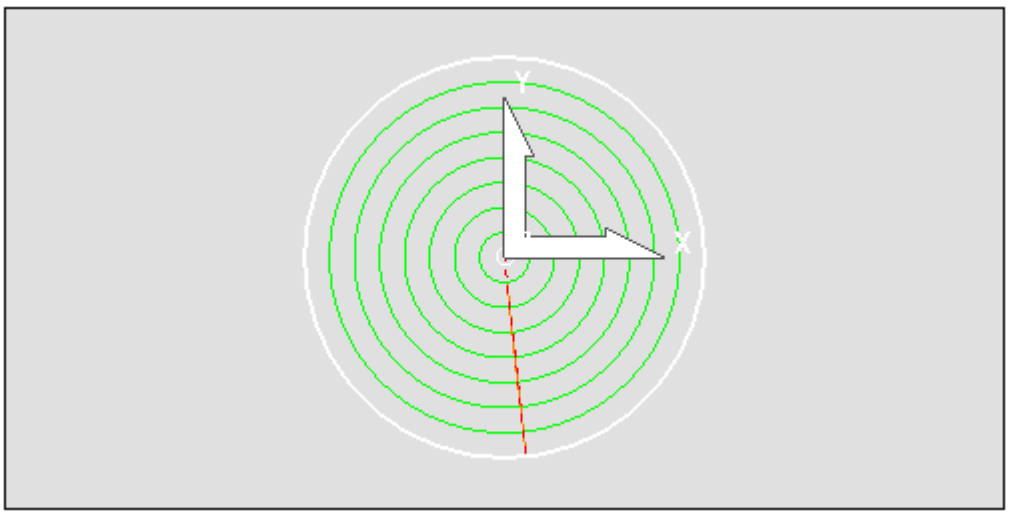
ومعقدًا أو مستويًا وبسيطًا. الأمر متعلق بالحدود بالدرجة الأولى؛ كلما كانت منحنية أكثر كانت نتيجتها أفضل. وأفضل مساراتها ما كانت محدودة بدائرة. وأسوأ مساراتها ما كانت محدودة بمضلعات. وكونها ترسم على أساس الحدود المحدودة بها؛ فإنها إذا كانت محدودة بحدود غير متداخلة رسمت باتجاه واحد، من خطوط الحدود إلى داخلها أو إلى خارجها، وإذا كانت محدود بحدود متداخلة رسمت باتجاهين، من خطوط الحدود من كل ناحية إلى ما بينها أو إلى ما سواها، إلا إن قيدت بأنماط كما سنرى.

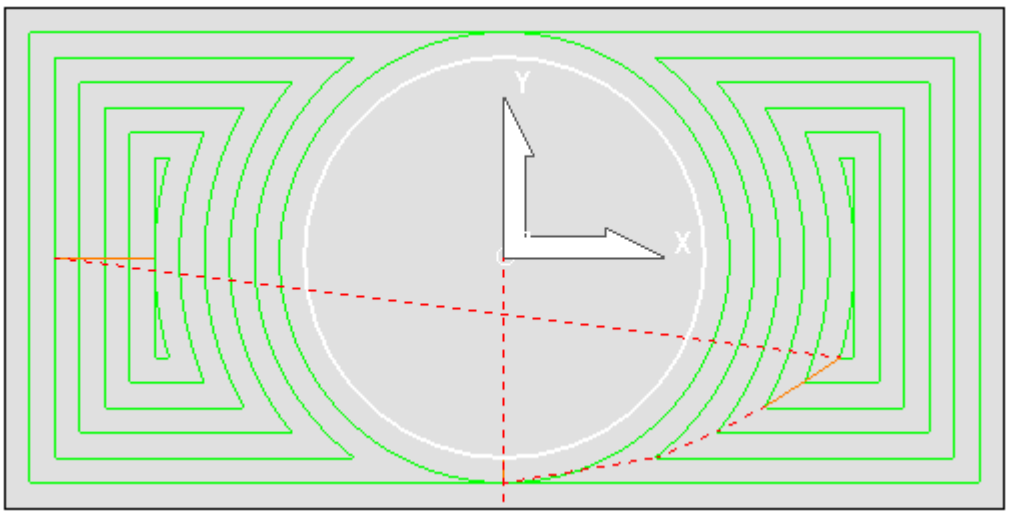
ماذا لو لم يقيَّد المسار بحدود؟

عندها يفترض الباورميل حدودًا وهمية، لا يرسمها، يفترضها فقط، ويحسب المسار مزاحًا عنها من حدود الخامة نحو الداخل؛ فلا بدّ من الحدود في هذه الإستراتيجية. وهي –الحدود التي يفترضها الباورميل– ليست حدودًا خاصة Private Boundary بالمناسبة.

سلوك المسار مع حدود بسيطة

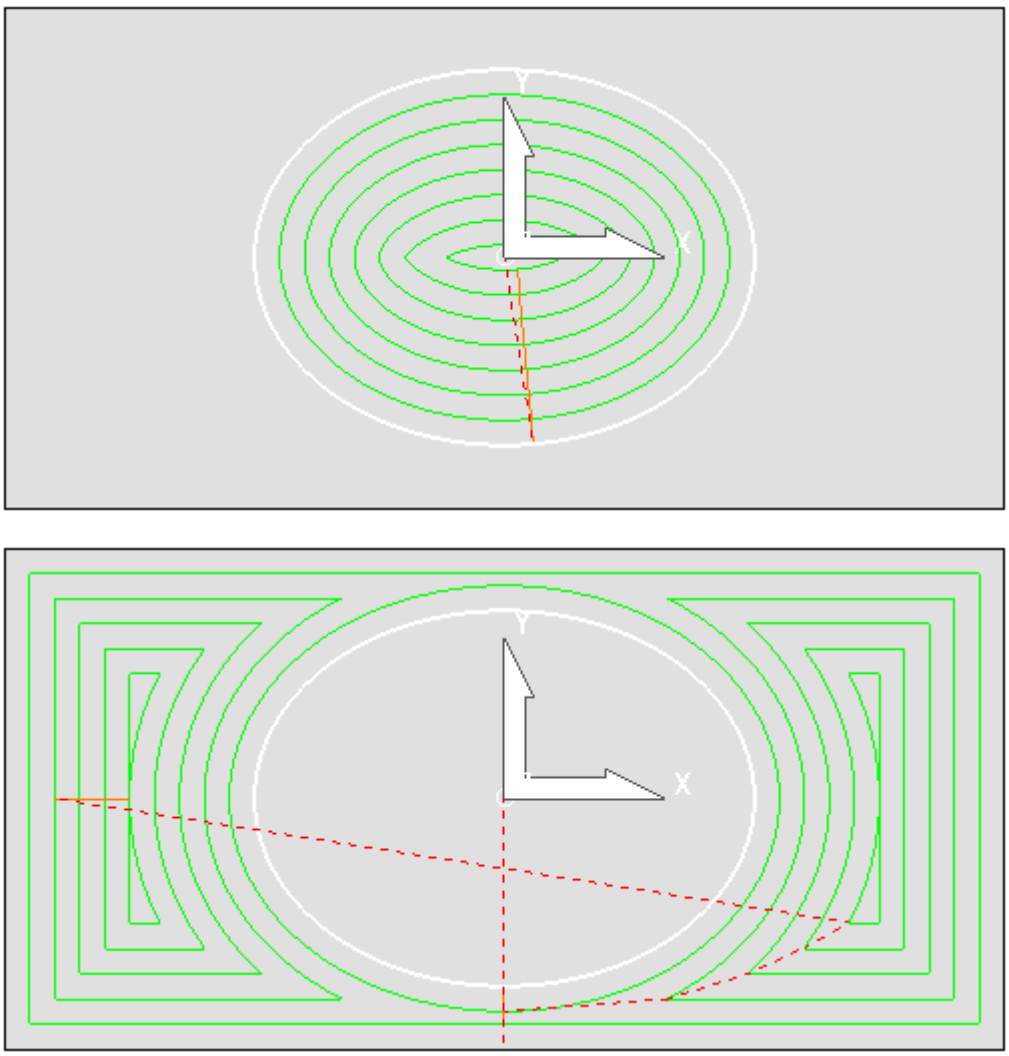
أحسن سلوك لمسارات هذه الإستراتيجية كما تقدم يكون مع الحدود الدائرية:



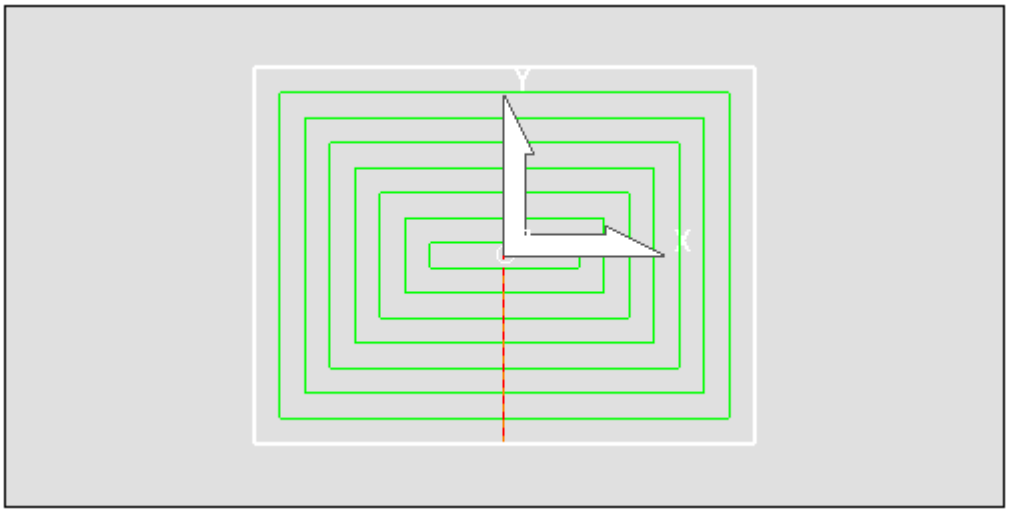


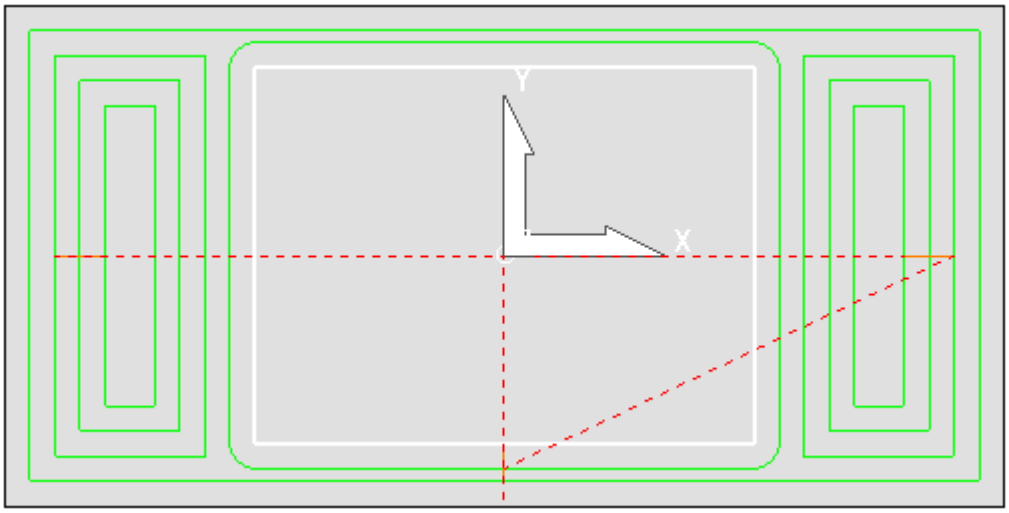
إذا لم يقيَّد المسار بحدود افترض الباورميل وجودها ورسمه كأنها موجودة. تقييد المسار بحدود غير متداخلة نحو الخارج (يعني Keep Outside) يكافئ تقييده بحدود متداخله، خطوطها الخارجية هي أطراف الخامة. انظر كيف تبهدل المسار عندما قيّد بما يكافئ الحدود المتداخلة (بحيث يرسم المسار بين خطوطها). ولكن مع ذلك، قد نعتمد هذا المسار المتبهدل إن لم يبق أمامنا غيره، بعد تجربة كل الإستراتيجيات المتاحة والتي تستخدم في العادة لهذا النمط من التفاصيل؛ لهذا قلنا أنها آخر اختيارتنا.

يقل حسن السلوك إن مطت الدائرة، فأصبحت شكلًا بيضويًا، أو أي منحن آخر:



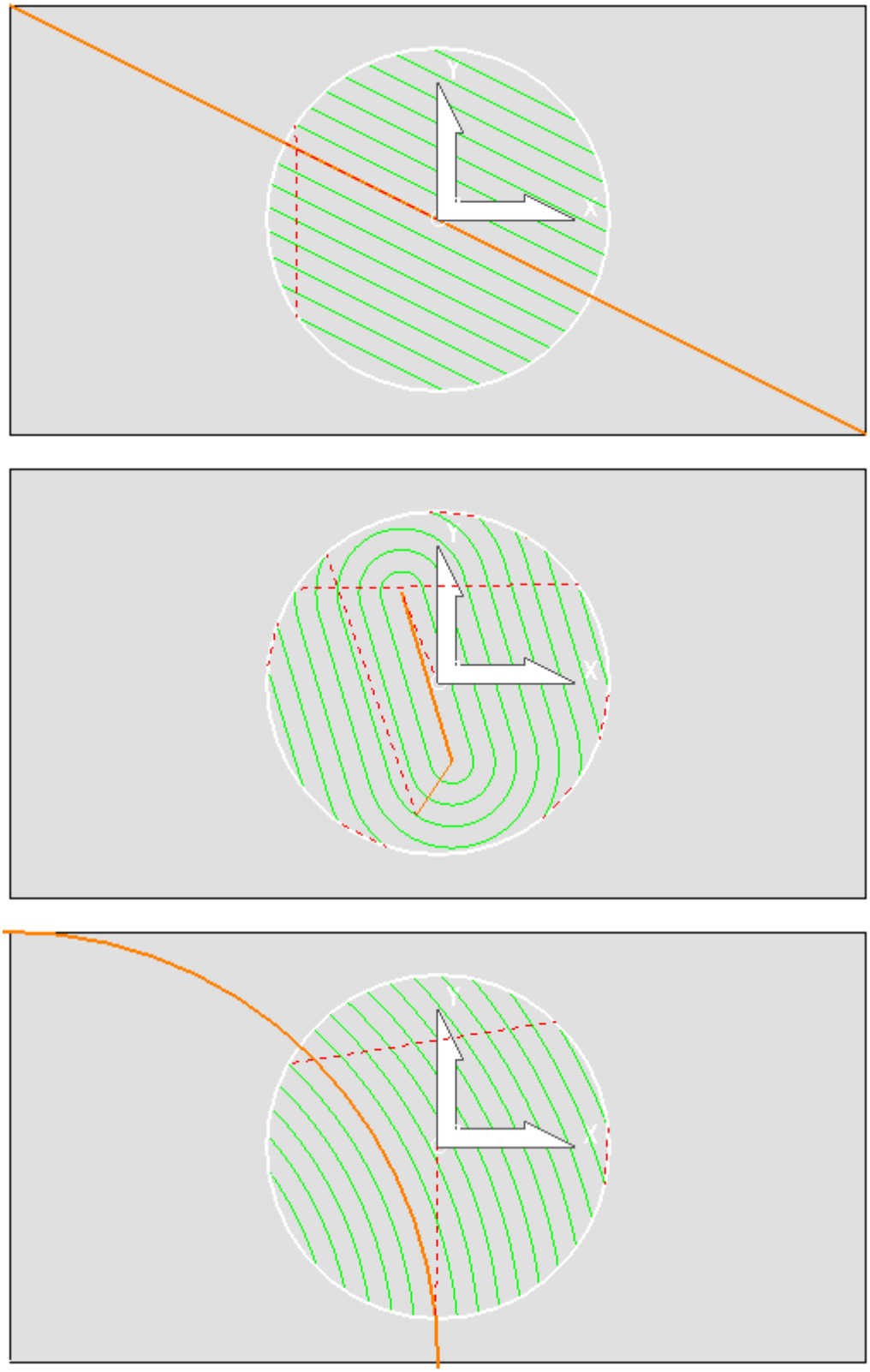
وأسوأ سلوك لها مع المضلعات:





تقييد المسار بنمط

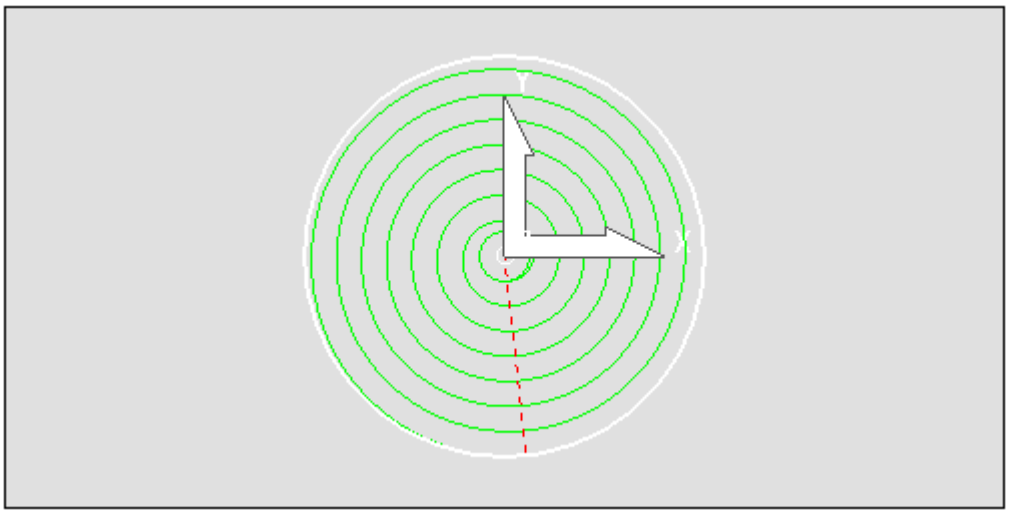
في الحالة العامة ترسم خطوط المسار على أساس الحدود، مزاحة عنها يعني. أي أن الحدود هنا مقيدة للمسار وموجهة له. قد ترغب بتقييد المسار بالحدود دون توجيهه بها، عندها وجهه بنمط. وعندها يسلك المسار سلوك مسارات الإستراتيجيات التي تعمل من الأعلى إلى الأسفل مع الحدود؛ كأنها تقطها. انظر:

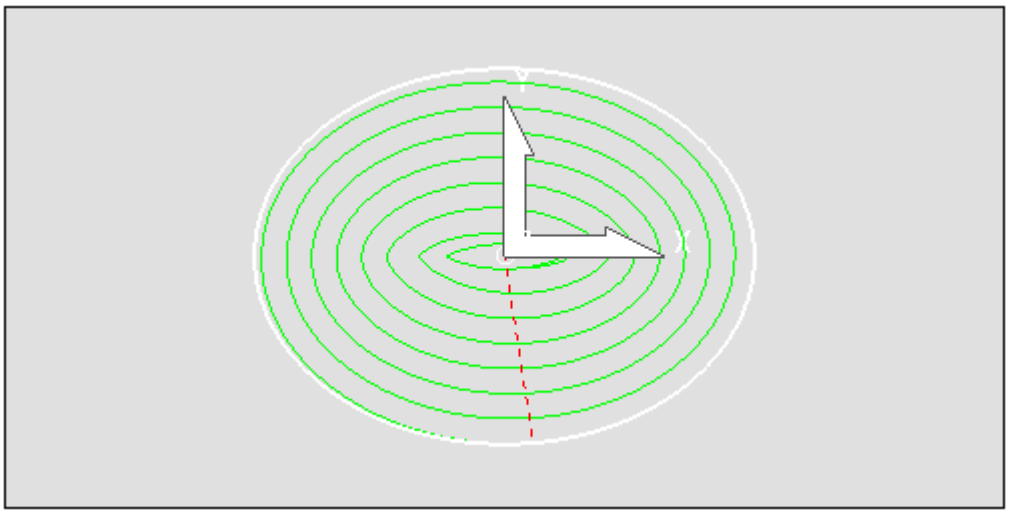


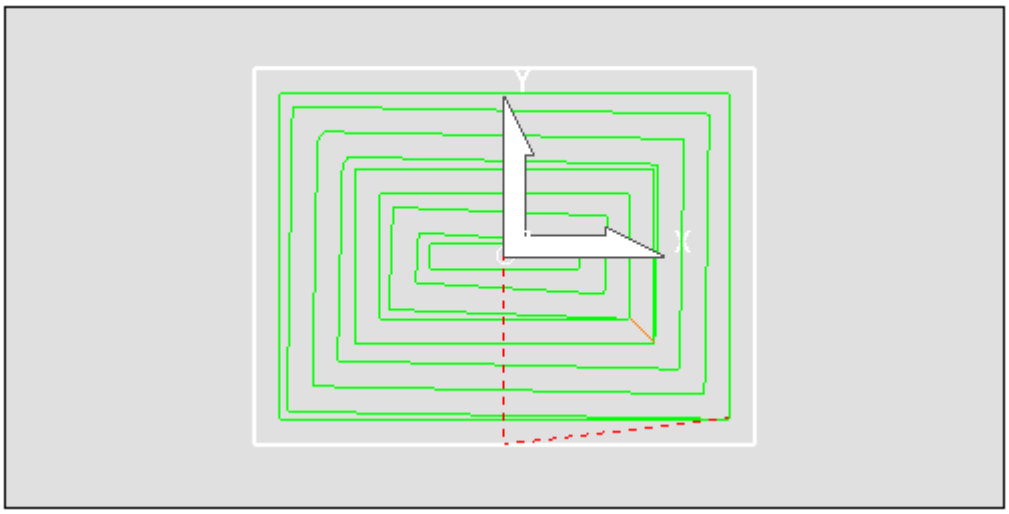
والأنماط بالمناسبة حل لسلوك مسارات هذه الإستراتيجية السيء الذي يكون في الحدود المتداخلة.

المسار اللولبي Spiral

ميزة الحركة اللولبية (ويمكن أن نقول: الحلزونية) نقلات أقل وتنعيم أفضل، ليس في هذه الإستراتيجية فقط وإنما في أي استراتيجية تدعم هذه الحركة. انظر:



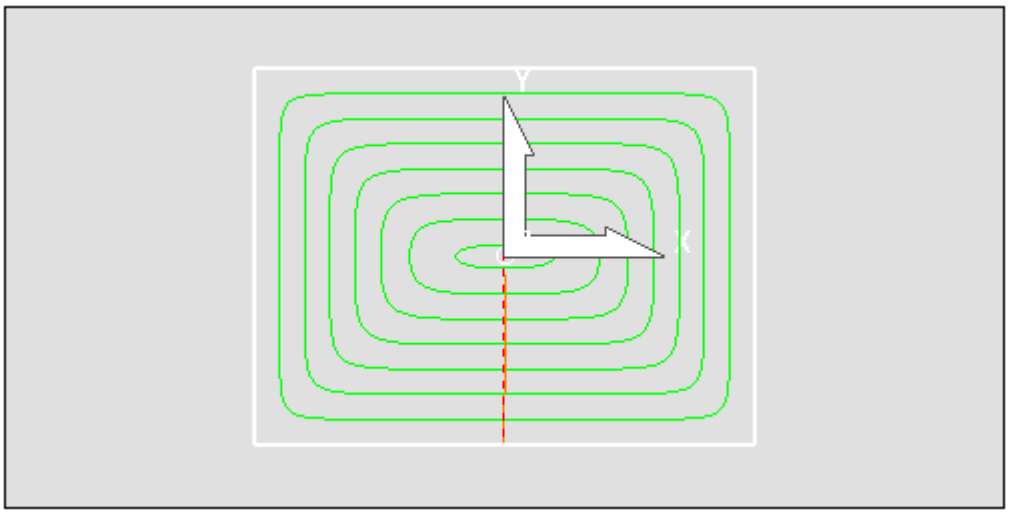




انظر النقلات في هذه المسارات، وانظر ما يقابلها في الفقرات السابقة.

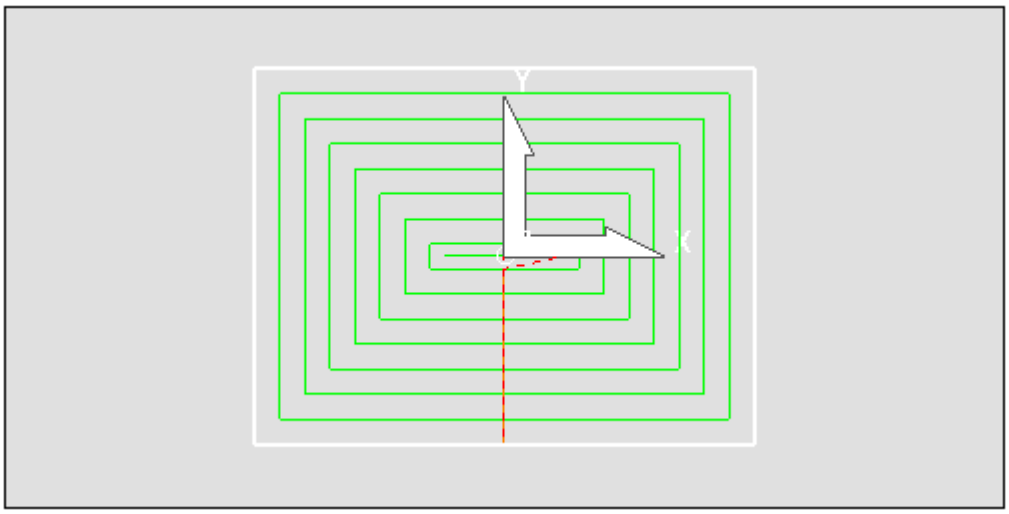
المسار الناعم Smoothing

الزوايا الحادة في المسارات لا تعطي الأداء الأفضل تشغيليًا؛ فهي مجهدة فيزيائيًا (نتيجة التغير المفاجئ في الاتجاه)، ومهدرة في الوقت (ولو أنه هدر غير محسوس في الواقع). يعمل هذا الإعداد بمبدأ High Speed في برامج الهد وغيرها مما تحوي هذه الخاصية، والتي تدوّر خطوط المسار في الزوايا، لكن هنا لا تدوّرها وإنما تحنيها بما يتناسب مع اتجاه التشغيل:



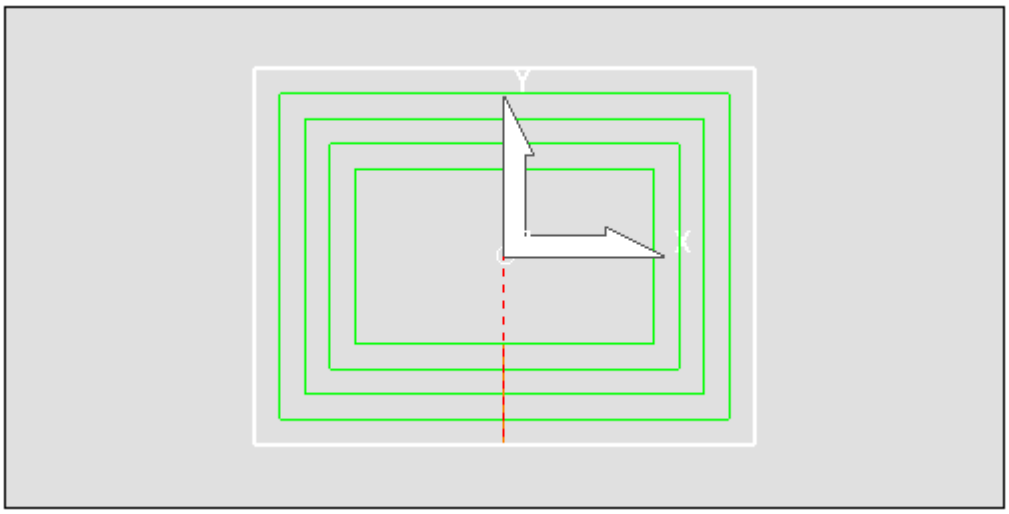
إضافة خطوط في مركز التشغيل Centerline

وقد ترغب بإضافة خط أخير في المسار في مركزه المتعلق باتجاه الإزاحة. انظر الخط الذي في المنتصف، وانظر الفقرات السابقة المشغلة بنفس الحدود:



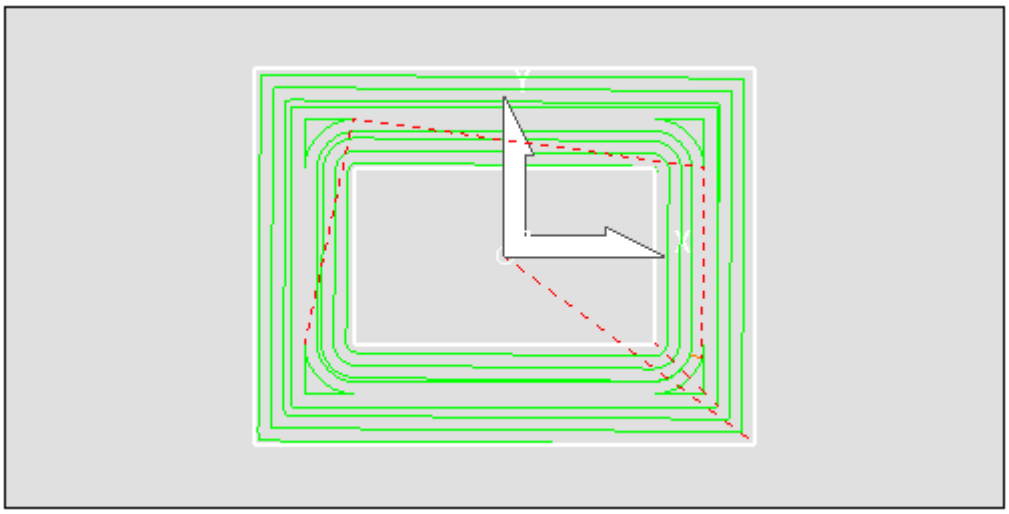
تحديد عدد الباصات Maximum Offsets

وهذه ميزة لطيفة، ستحتاجها بين الحين والآخر، وقد تحتاجها في هذا المسار مع مسار آخر من إستراتيجية أخرى لإعطاء إنهاء معين؛ كأن تشغل جدران منطقة معقدة السطوح بهذه الإستراتيجية، بعدد معين من الباصات، ثم تشغل ما تبقى من المنطقة من جدران وأسطح أقرب منها للأرضيات وأرضيات بمسار من إستراتيجية تعمل بمبدأ التوازي أو ما شابه ذلك:



وهي أفضل من تشغيل منطقة بحدود متداخلة؛ لأنها في الحدود المتداخلة إن رُسم المسار في داخلها (Keep Inside يعني) رسمت أجزاء من خطوط المسار من الخطوط الخارجية في الحدود أو الداخلية منها، بحسب اتجاه الإزاحة، أمن الخارج إلى الداخل Outside In أم من الداخل إلى الخارج Inside Out

هي، ثم رسمت باقي الأجزاء من الناحية الأخرى؛ ليتشكل أثر لرسم المسار في التشغيل، وبالتالي في المشغولة. انظر:



صغّرت الخطوة هنا بالنسبة للفقرات السابقة وجعلتها لولبية لتكون أوضح.

انظر **فقرة أثر التشغيل** في **فصل عمليات التشغيل حاسوبيًا** لمزيد من التفصيل عن أثر التشغيل.

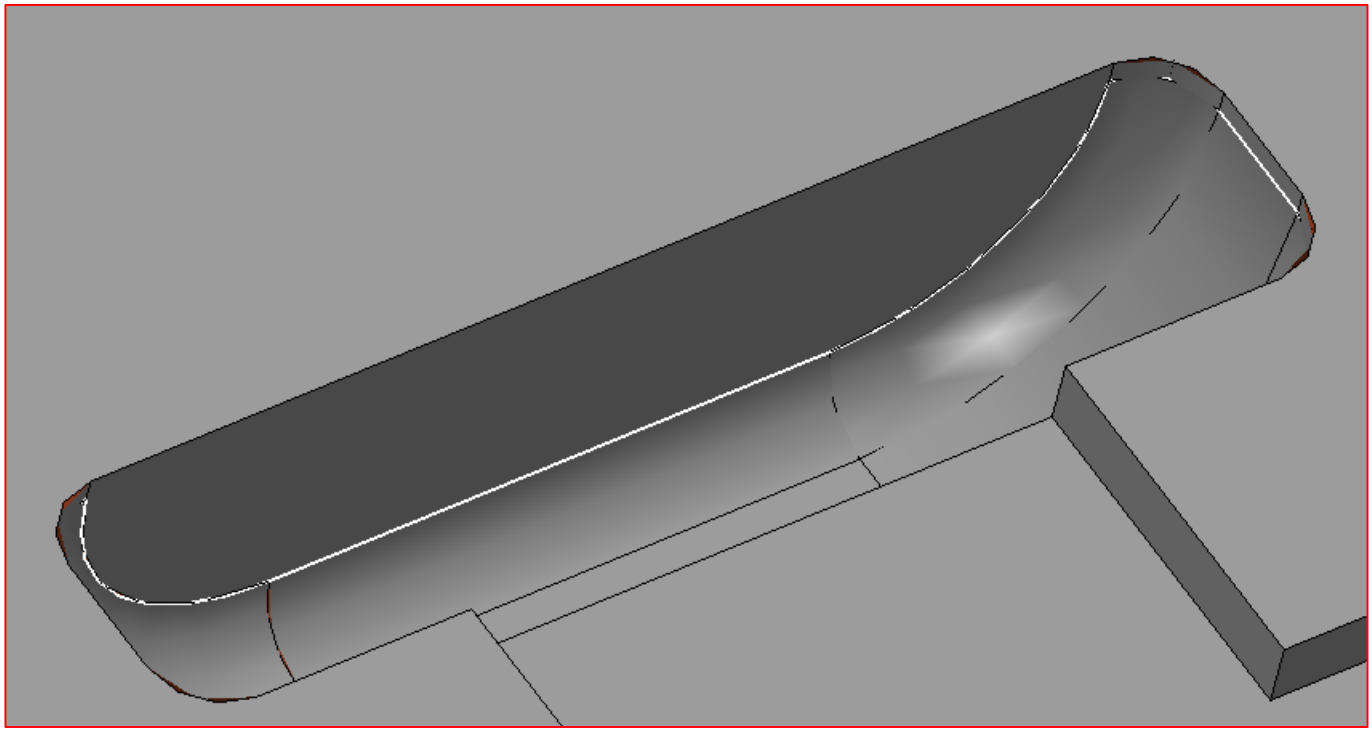
قيادة المسار بنمط تحل هذه الأزمة.

Optimized Constant Z Finishing

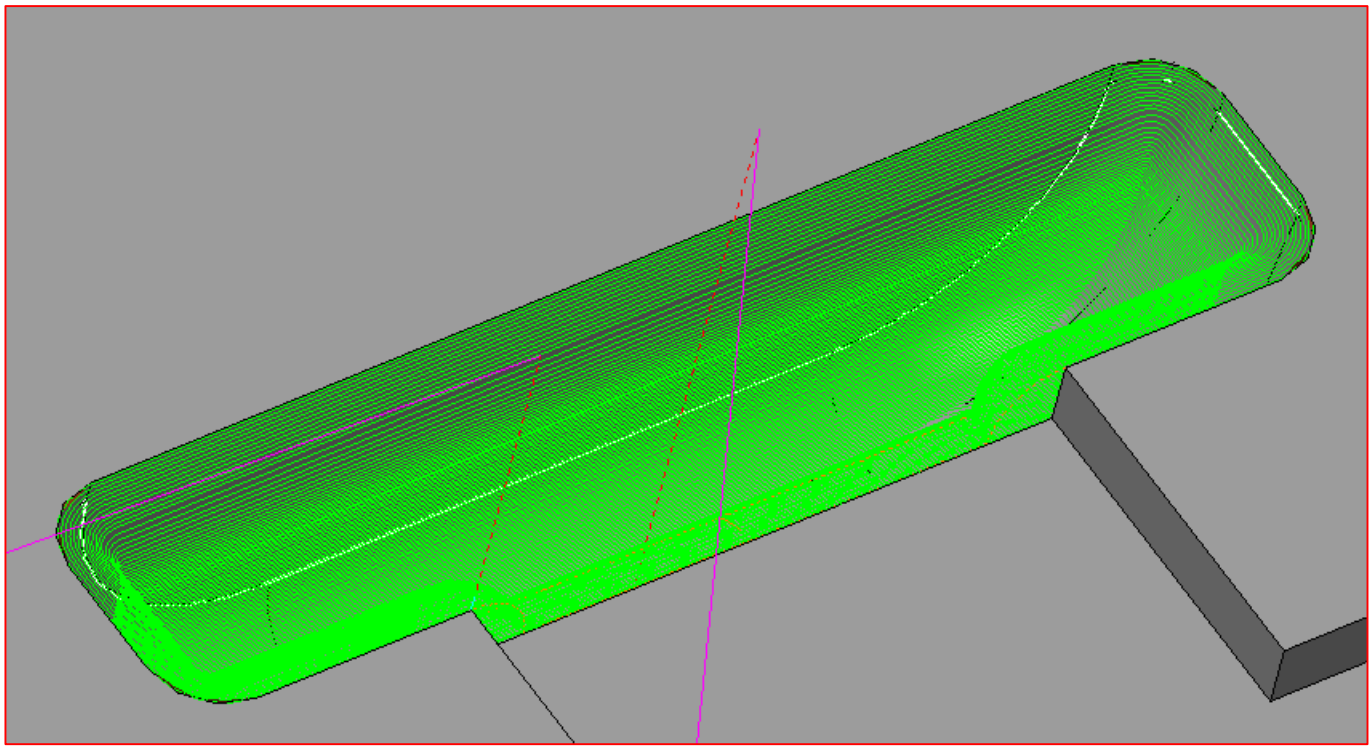
عندك تفاصيل عميقة (يعني جدران)؟ عليك بـ **Constant Z Finishing**. عندك تفاصيل معقدة (أقرب للأرضيات، لكنها منحنية أي ليست مستوية)؟ عليك بـ **3D Offset Finishing**. طيب تفاصيل عميقة ومعقدة (جدران وسطوح منحنية هي أقرب للأرضيات)؟ طبعًا **Optimized Constant Z Finishing**. هذا بفرض أنك جربت إستراتيجية التفاصيل المعقدة ولم تنفع، بعد أن جربت غيرها ولم تنفع؛ فهي كما قدّمنا في فقرتها آخر اختياراتنا (وبطبيعة الحال هذه الإستراتيجية ما بعد آخر اختياراتنا، إن لم تخطر على بالنا قبلها).

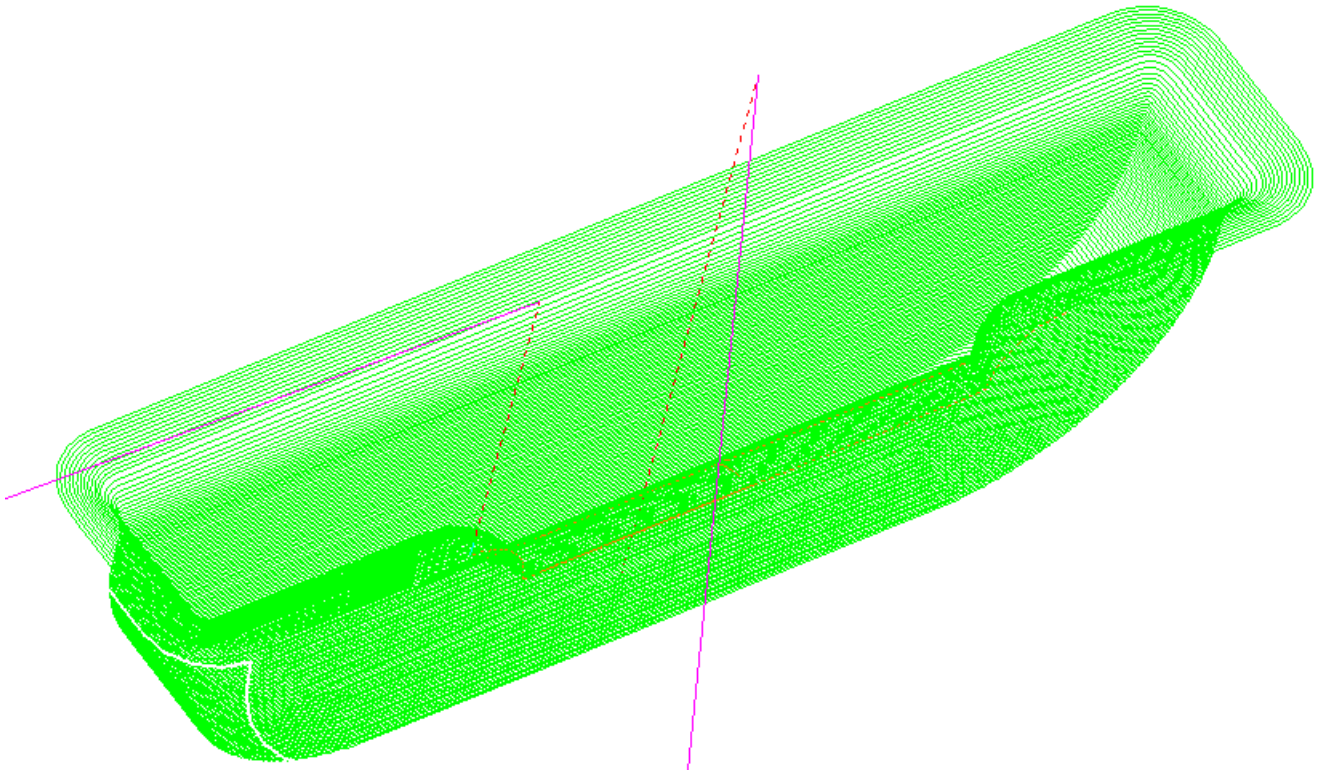
حتى لو كان في الكلام تلميح إلى قاعدة ما، حتى لو كان ذلك صريحًا، في هذا الكتاب وفي غيره، وفي غير الكتب؛ لا تأخذ الكلام في مهنتنا على أنه من المسلّمات إلا في ما هو معلوم من المهنة بالضرورة أنه من المسلمات. تعامل المبتدئين مع الباورميل بهذا الأسلوب (حفظ القواعد، وإذا رأيت التفصيلة الفلانية فحتمًا الإستراتيجية الفلانية) هو ما يعيقهم في تخطي كونهم مبتدئين.

انظر هذه المنطقة:

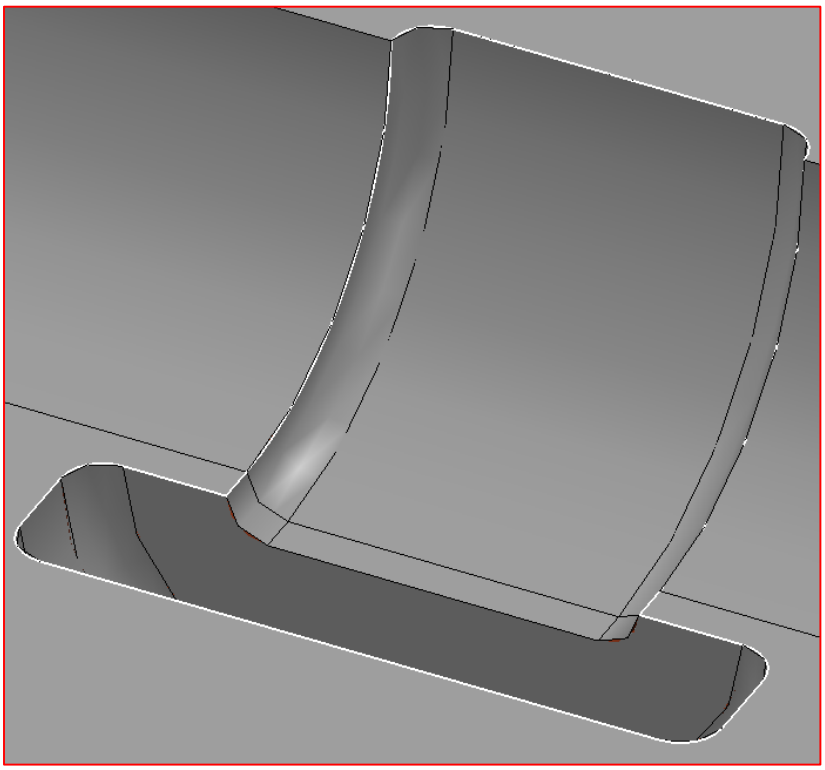


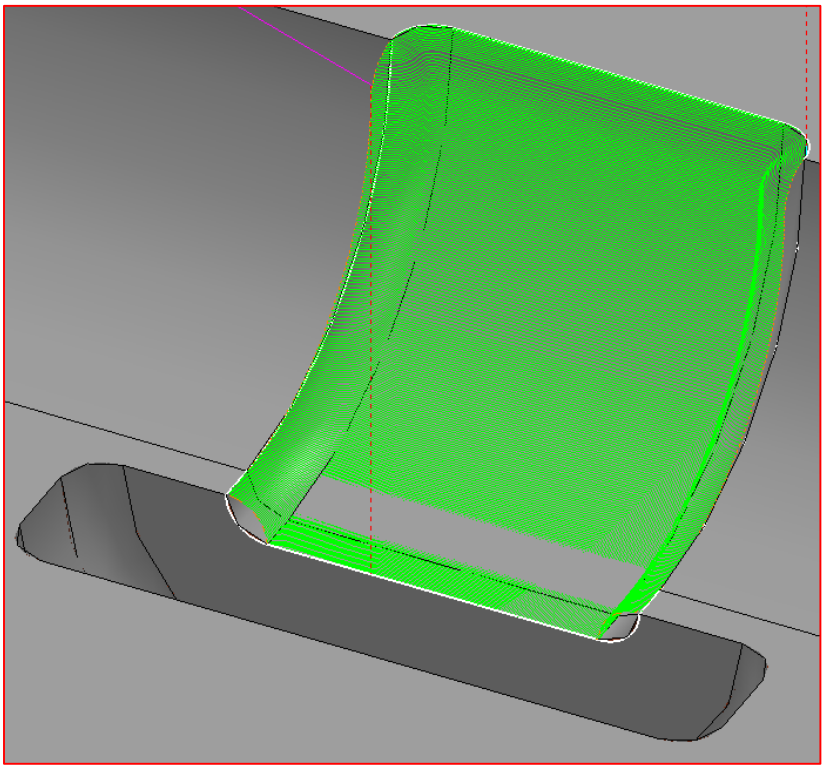
انظر المسار كيف يجمع بين المناطق العميقة والمناطق السهلة:

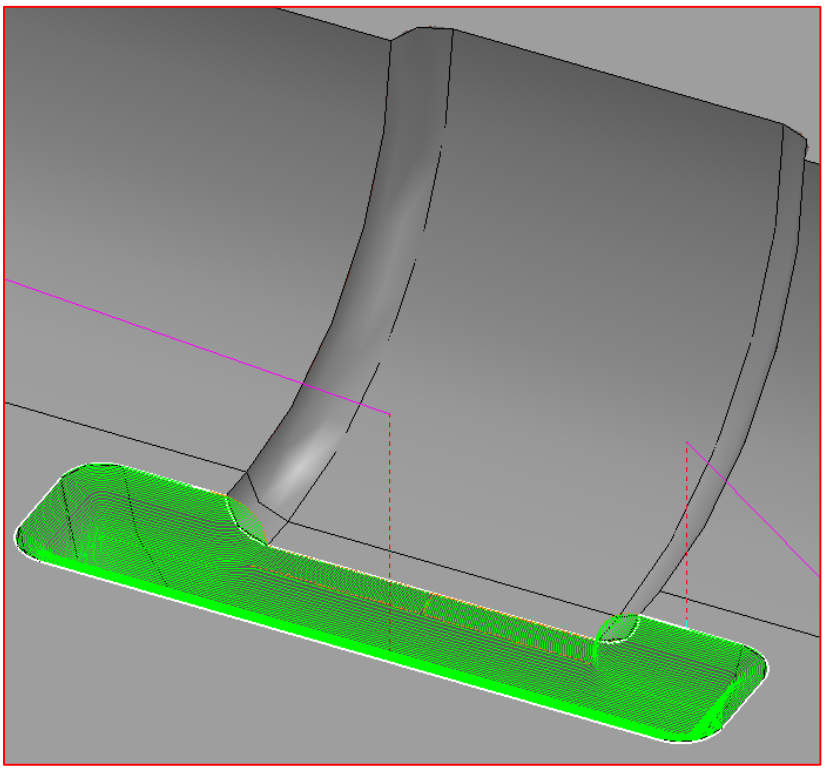




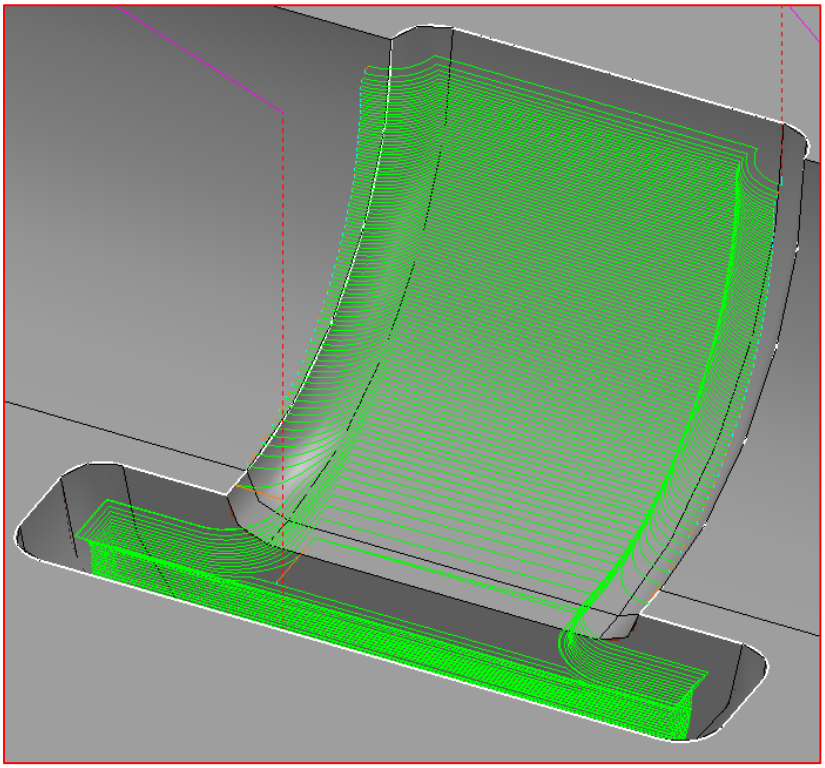
وربما اضطررت إلى تجزئة المسار إلى مسارين إن لم يكن أداء المسار مرضيًا؛ كأن لا يشغل التفاصيل من الأعلى للأسفل:







انظر إلى المسار لو كان **بإستراتيجية Constant Z Finishing**:



نقطة مهمة: في الواقع هذا المسار **بأداة تفريز بحواف مدورة** لا **أداة كروية**. ولكن حتى لو كان بها ستجد الخطوط شبيهة لما في الصورة. **فقرة اختيار أداة القطع** في **فصل المفاهيم** فيها تفصيل أكبر.

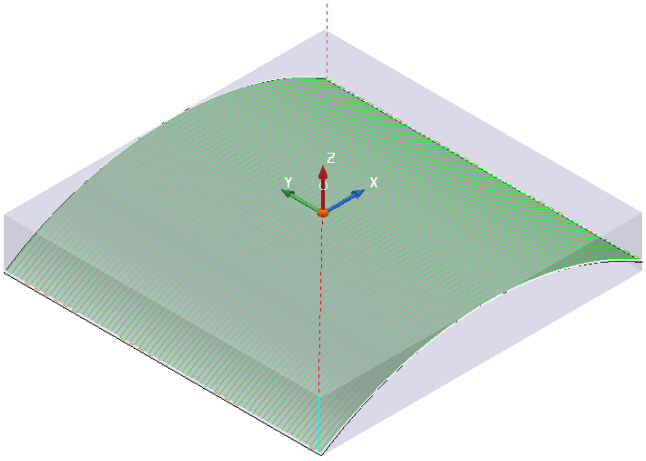
وبالمناسبة: هذا المسار الذي أمامك هو الأنسب لهد هذه المنطقة قبل إنهاءها، أي أنه أفضل من إستراتيجيات الهد، على الأقل في المنطقة في الأسفل.

Raster Finishing

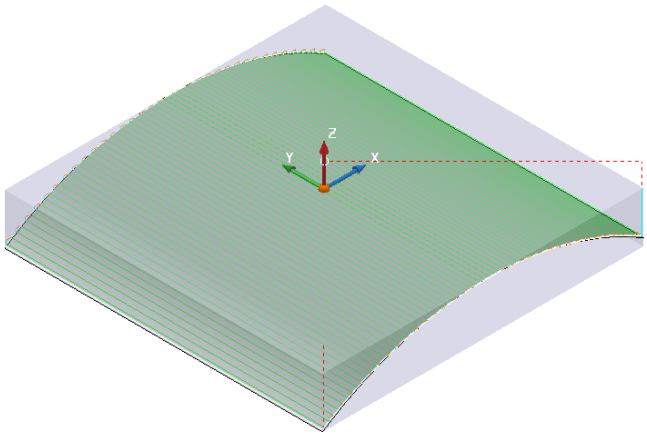
ترسم مسارات هذه الإستراتيجية بخطوط متوازية، موجهة بزاوية معينة. وهي مناسبة للأسطح المستوية المائلة، والأسطح المنحنية باتجاه واحد، كأجزاء الأسطوانات (أشهر مثال عليها إنهاء أسطح عبوات المياه وما شابه ذلك، في قوالب النفخ). وقد ترغب برسم خطوط متوازية ولكنها منحنية (أو بكلام أدق: منحنية باتجاه واحد)، أي غير موجهة بمستقيم؛ عندها عليك **بالإستراتيجية Parametric Offset Finishing**.

وقد يكون السطح مناسبًا لهذه الإستراتيجية في معظمه، إلا على أطرافه، وعندها نجزء التشغيل على أكثر من إستراتيجية بنفس ظروف التشغيل، بحيث تنهى أطراف السطح بإستراتيجية تتحرك بشكل إزاحي، **كـ 3D Offset Finishing** أو **Parametric Offset Finishing**، ثم ينهى ما يناسب هذه الإستراتيجية في السطح بها، بوجود تداخل بين المسارات لإزالة أثر التشغيل. (مهم)

السطح التالي منحن باتجاه واحد (جزء من أسطوانة)، أنهيته بهذه الإستراتيجية بخطوة كبيرة حتى تتضح المسألة، مرة بالاتجاه القطري ومرة بالاتجاه المحوري:



مسار بالاتجاه القطري



مسار بالاتجاه المحوري

وكما ترى فإن الاتجاه الصحيح لمسارات هذه الإستراتيجية هو الاتجاه القطري. وتفسير ذلك أن خطوة المسار واحدة في كل التشغيل، وبالتالي يتعرّض السطح لنفس الدرجة من الإنهاء –نظريًا– على امتداد المسار. صحيح أن الخطوة ثابتة بالنسبة للمسار في الحالة العامة، مهما كان الاتجاه، لكنها ليست كذلك بالنسبة للمشغولة.

Offset Flat Finishing

ذكرنا في **فصل المدخل** أن السطوح بطبيعتها قد تكون شاقولية تمامًا وقد تكون أفقية تمامًا وقد تكون منحنية أو مائلة، وقلنا إننا نسمي السطوح الأفقية تمامًا أرضيات. هذه الإستراتيجية والتي تليها هي ما ننهي بها الأرضيات. ذكرنا أيضًا في بداية هذا الفصل أننا قد نسوي السطوح بإستراتيجيات إنهاء الأرضيات، أي هذه الإستراتيجية والتي تليها، وذلك إن أردنا تقييد منطقة التشغيل بحدود.

لا تختلف هذه الإستراتيجية عن التي تليها إلا في مبدأ الحركة: الإزاحة Offset والتوازي Raster. لهذا سأتناولهما معًا.

Raster Flat Finishing +

أنصح دائمًا بإستراتيجيات الحركة المتوازية، في غير الأرضيات وفي الأرضيات، وفي الأرضيات أكثر؛ لانسيابية أثر التشغيل فيها مقارنة بالإستراتيجيات الأخرى. النعومة واحدة، نعم، قد تختلف فتكون في هذه الإستراتيجيات أفضل ولكنها في الحالة العامة واحدة. ولكنها مايكرويًا مختلفة مما يجعلها تبدو تشغيليًا أكثر انسيابية من غيرها. للمزيد انظر **فقرة أثر التشغيل** في **فصل عمليات التشغيل حاسوبيًا**.

هذا، وإن أردت تسوية السطوح، فالأولى استخدام إستراتيجية تسوية السطوح في الباورميل (أول إستراتيجية في هذا الفصل). فإن لم تصلح تعال إلى هنا.

اتجاه المسار Fixed Direction

إذا كنت تعمل بإستراتيجية التوازي فيمكنك ضبط اتجاه المسار بهذه الخاصية إن أردت. يفضل دائمًا أن يكون اتجاه الخطوط باتجاه طول التفاصيل المشغلة، بالاتجاه الطويل فيها، إن كانت مستطيلًا أو ما يشبهه، أي لم تكن متساوية الأبعاد في الاتجاهين كالمربع. فإن كان في المشغولة تفاصيل بعضها الاتجاه الطويل فيها في اتجاه وبعضها الاتجاه الطويل فيها في اتجاه آخر فتجزأ العملية إلى أكثر من مسار. فإن صعب ذلك لا تفعّل هذه الخاصية وتترك المهمة للباورميل ويُنظر إن كان المسار مناسبًا.

تجاهل الثقوب Ignore Holes

لعلك لاحظت أني لا أتناول كل تفصيلة بتفصيلتها في هذا الفصل خصوصًا وفي أرجاء الكتاب عمومًا. مع أنها تعجبني هذه الحركة، لكني أريد أن أنتهي قبل أن ينقرض البرنامج من سوق العمل. هذه الفقرة كانت من التفصيلات التي يغلب علي أن لا أتناولها إلا تلميحًا في أي مكان تأتي سيرتها؛ لأنها واضحة، وينطبق عليها مقولة المكتوب واضح من عنوانه. ولكني وضعتها لأقول لك: **احذر وأنت تتجاهل الثقوب ألا يكون تحتها سطح إما هو من أصل الرسمة وإما أنك نقلته لأغراض برمجية، فإن كان ثمة خامة سيرسم المسار هناك!** [1]

ونعم: تجاهل الثقوب أينما وجدتها.

الباص الأخير Final Stepdown

تحتاج الأرضيات عناية خاصة لإنهاءها. الخامة المتروكة فيها لا بدّ أن تكون قليلة نسبيًا مقارنة بما يترك في الجدران. قد يكون –لسبب أو لآخر– كثير على أداة القطع أن تزيل الخامة المتروكة بباص واحد، إما لأنها قد لا تستحملها، وإما لأنها لن تعطي الإنهاء المطلوب، وإما لأسباب أخرى كثيرة. في هذه الحالة نفعّل هذا الخيار فيرسم المسار مرتين: مرة وكأنه يترك خامة في الأرضية، ومرة ينهيها.

Pattern Finishing

كل الإستراتيجيات التي تدعم الأنماط تقود مساراتها بها قيادةً ليس إلا. توجهها بها إن صح التعبير، إلا هذه الإستراتيجية فهي ترسم المسارات بها حرفيًا. هي بالنسبة لغيرها من الإستراتيجيات كنظام اللينوكس بالنسبة لغيره من أنظمة التشغيل. هي معجونة / صلصال ترسم مساراتها كما تشاء أنت. عجينة بين يديك، تشكلها بالشكل الذي تريد. وهي في الواقع بدايتك نحو

[1] ما زلت أذكر أيامي عند المعلم أسعد في بداياتي، حيث كنت أنقل السطوح التي أستخدمها أثناء الشغل مسافة ثابتة، 100-، و200-، وما إلى ذلك، كما علمونا قديمًا. كنت قد نقلت أسطحًا تقفل ثقوب الدلائل مسافة للأسفل، وأردت إنهاء سطح الفصل قبل تشغيل الثقوب، ففعّلت خاصية تجاهل الثقوب هذه. وفعلًا: رسم المسار وكأنه لا ثقوب في طريقها. ولكن رسمت نقلة لم أنتبه لها في منتصف الثقب –الذي لم يشغّل بعد– إلى الأسفل لتشغيل ما تستطيع الأداة تشغيله من السطح المنقول. أترك لك تخيل ما حدث!

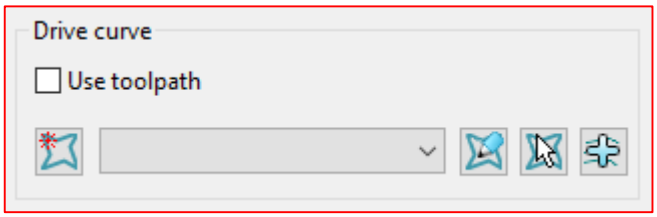
سائر الإستراتيجيات التي تعمل بالأنماط. ويحسن بك أن تتعلمها قبل غيرها؛ لتفهمها وتستوعبها فتكون جاهزًا للعمل بغيرها.

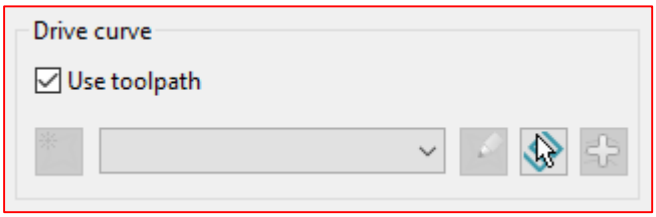
معظم إعدادات هذه الإستراتيجية مشتركة مع غيرها من إستراتيجيات الأنماط. ستجدني أفضّلها هنا بالتفصيل الممل، ولن أعيد التفصيل في غير هذا الموضع. لهذا –بالمناسبة– قدمتها على غيرها من إستراتيجيات الأنماط.

وعلى فكرة: هذه الإستراتيجية ما هي إلا البداية مع إستراتيجيات الأنماط. إذا جربتها ستكثر منها في برامجك، حتى مع ما يمكن تشغيله بغيرها. ستظن أنك لن تستخدم سواها طالما تعطيك ما تريد، ثم ما تلبث أن تجرب غيرها مما هو مخصص أكثر منها فتظن أنك لن تستخدمها مرة أخرى لأنك وجدت ما هو أكثر تفصيلًا (وهذا غير دقيق 100%، فهناك أمور لا يمكن الوصول إليها إلا بإستراتيجيات بعينها).

منحني قيادة المسار Drive Curve

في الحالة العامة تقاد مسارات هذه الإستراتيجية بالأنماط. ولك أن تعتمد على المسارات إذا أردت، ولكنه ليس شائعًا.



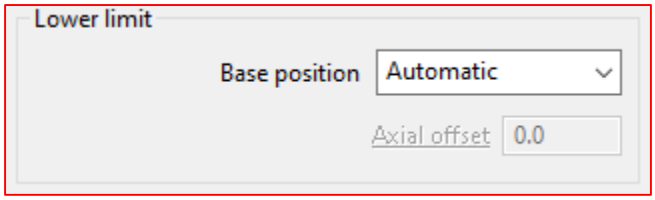


وكما ترى لا يمكن إنشاء المسارات هنا. فهذه قصة لوحدها كما تعلم. وإنما نختارها من القائمة أو من أمر اختيار كائن من نافذة الرسومات (وهذا مما تتميز به هذه الإستراتيجية).

أدنى نقطة Lower Limit

نرسم مسارات الأنماط بتحديد الارتفاع الأساس، والذي يكون واحدًا مما يلي:

- تلقائي Automatic
- مسقط على سطوح الرسمة Drop
- مقاد بالمنحني Drive Curve



في الحالة العامة نجعل أدنى نقطة معرّفة بالمنحني أي Base Position = Drive Curve، ثم نحدد الإزاحة المحورية Axial Offset، وهي العمق تحت خطوط النمط المطلوب تشغيله. نحدد عمق القطع في **صفحة Multiple Cuts**.

وإذا عرّفت أدنى نقطة تلقائيًا فإن خطوط المسار تكون مسقط خطوط النمط على سطوح الرسمة، باعتبار الخامة المتروكة، والشكل الهندسي للأداة. في هذه الحالة لا عمق قطع في المسألة، ولا تأكل الأداة من المشغولة؛ وإنما يتلاعب المشغل بصفر الأداة إما مرة واحدة وإما على مراحل ليحقق العمق الذي يريد. لكننا في الحالة العامة نعرّف أدنى نقطة بمنحني. (مهم)

لا يمكن تعريف أعلى نقطة في المسار إن لم تكن أدنى نقطة فيه مقادة بمنحني. مزيد من التفصيل بعد فقرتين.

أيضًا: لا يمكن إلغاء فحص خطوط المسار إن لم تكن كذلك (إن لم تكن مقادة بمنحني).

تفادي التصادمات Gouge Avoidance

تدعم كل الإستراتيجيات إمكانية فحص الوصلات لتتفادى الاصطدام في المشغولة، فتجد فيها **الخاصية Gouge Check**. ولكن بعضها تدعم ما هو أكثر من ذلك: إمكانية فحص خطوط المسار، كهذه الإستراتيجية. ترسم مسارات عامة الإستراتيجيات على أساس الرسمة، أما هذه الإستراتيجية –وما يشبهها– فإنها ترسم على أساس الأنماط بالدرجة الأولى، وعلى أساس الرسمة بالدرجة الثانية؛ إن لم يفعّل خيار الفحص.

ترتيب خطوط المسار Ordering

في الحالة العامة هي مرتبة بحسب ترتيب خطوط الأنماط. لك أن تجعلها بترتيب مختلف. الأفضل أن ترتب خطوط الأنماط قبل إنشاء مسارات منها. فإن لم يكن ذلك مجديًا اجعل ترتيب خطوط المسار بغير ترتيب خطوط الأنماط (أي لا تجعل الخاصية Ordering = Pattern). ولكن في الحالة العامة اتركها كذلك ورتب خطوط الأنماط فغالبًا ما تؤدي إلى نتائج أفضل.

ضبط بيئة الشغل أفضل من ضبط الشغل؛ لا تلجأ إلى تعديل الرسومات وتعديل المسارات إلا عند الاضطرار، فـ "تظبيط الشغل أهم من الشغل".

أعلى نقطة Upper Limit

إن عرّفت المسار بمنحن لك أن تجعل الخطوط ترسم من الأعلى إلى الأسفل أو من الأسفل إلى الأعلى. في الحالة العامة نجعلها من الأعلى إلى الأسفل، أي بالنمط Mode = Offset Down. عندها يمكن ضبط أعلى نقطة، وهي بالنسبة لخطوط المنحني، كما أدنى نقطة Lower Limit.

ولك إن أردت أن تحدد عدد الباصات.

سلوك المسارات إن كانت خطوط الأنماط خارج الخامة

نعلم أن المسارات لا ترسم إلا بحيث تتحرك أدوات القطع فيها في الخامة، أو في جزء منها؛ فهي شرط لها. مسارات الأنماط ليست استثناءً، لكنها تسلك سلوكًا خاصًا إن كانت الأنماط أعلى من الخامة أو أدنى منها، حيث ترسم وكأن خطوط الأنماط أسقطت بحيث تستوعبها الخامة. أما في الأصل فلا بدّ أن تكون في الخامة. وهذه في الواقع ثغرة في البرنامج، ولن يؤدي إلى مسارات تشغيل مناسبة.

المسارات التي تبدأ بمستو وتنتهي بما لا يوازيه

في الحالة العامة ترسم خطوط مسارات الأنماط وكأنها منسوخة في الاتجاه z، مستوية كانت أم منحنية. في أغلب الأحيان هذا السلوك الذي نريد. لكن في حالات خاصة قد نريد أن تبدأ المسارات بمقطع أو مستو معين، وتنتهي بغيرهما. عندنا أحد أسلوبين:

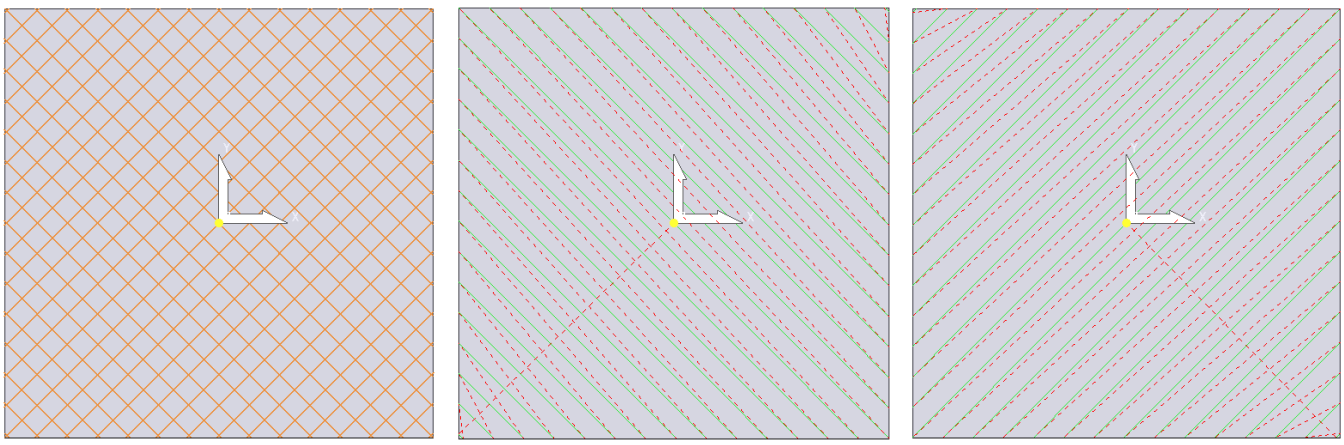
- قطع المسار بحدود. قدّمنا فكرة شبيهة بها في **فقرة تشغيل الجدران ذات الحواف غير الأفقية**.
- رسم خامة خاصة وتعريف خامة المسار بها، فلا يرى شيئًا خارجها ولا يمكن لأداته أن تتحرك خارجها. يدخل في هذا إجراء المحاكاة وحفظ نتيجتها في ملف على شكل رسمة شبكية، واستيرادها كخامة. ولكن هذا يستهلك حجمًا كبيرًا (مئات الميغابايتات)؛ فالخامات إن حفظتها في ملفات كتبها الباورميل كما تكتب الرسومات الشبكية Mesh Files.

مسارات نرسم منها الأنماط، ثم نشغل الأنماط بهذه الإستراتيجية

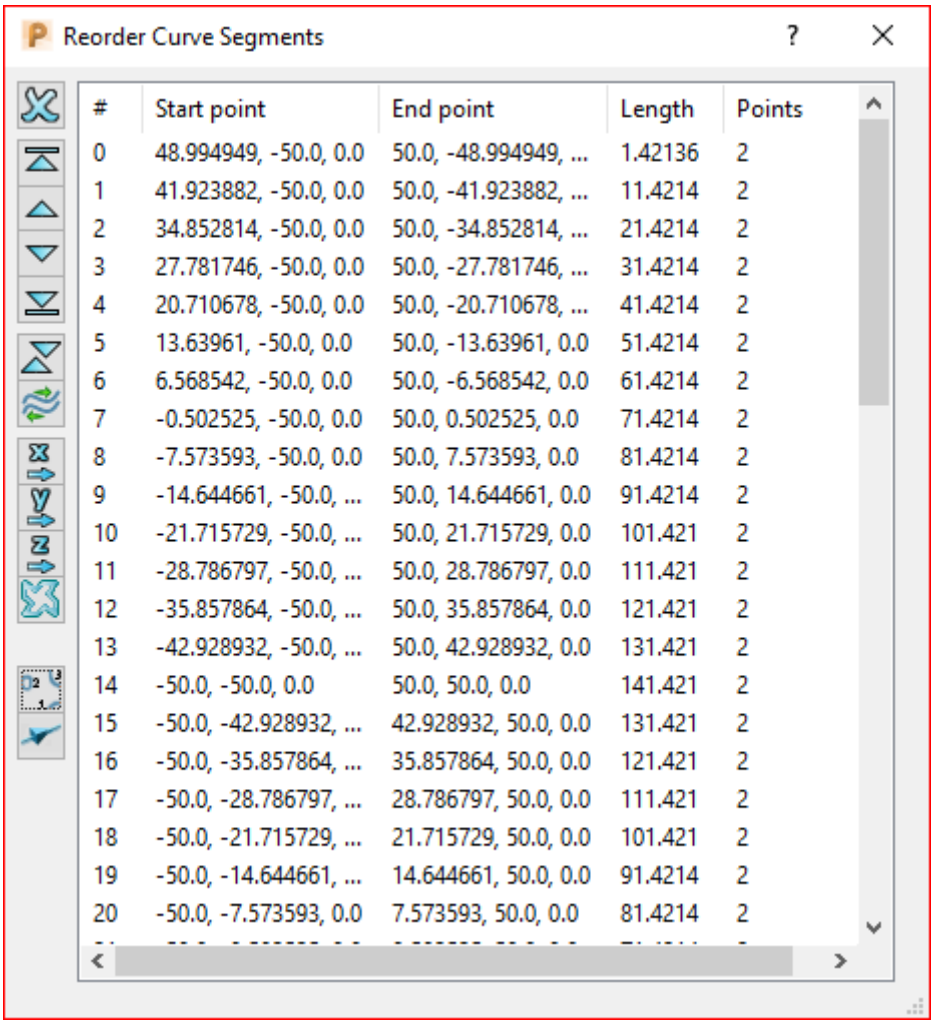
+ رسم النقشات وتشغيلها

قد نرسم المسارات بالأنماط كما هو معلوم، بهذه الإستراتيجية وغيرها. بالمثل: قد نرسم الأنماط بالمسارات. في الحالة العامة نأتي بالرسومات جاهزة، من برامج الرسم. بعض برامج الرسم تدعم تصدير الخطوط Wireframes، كالباورشيب، وبعضها لا تدعمها أو تدعمها جزئيًا. بكل الأحوال، كان الأمر متاحًا، أو لم يكن، أو كان سهلًا، أو كان صعبًا، وجدنا حاجتنا للأنماط أثناء البرمجة، أو بعدها؛ بكل الأحوال عندنا طريقة لرسم الأنماط في الباورميل من مسارات معينة، كالنقشات، وبرامج الاختبار Test، وغيرها الكثير.

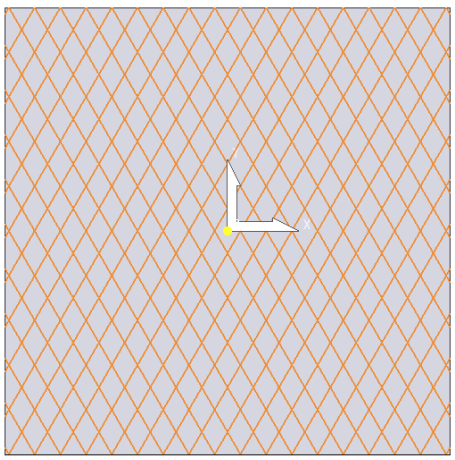
انظر مثلًا: أنشأت مسارين، وأضفتهما إلى نمط (الصور من اليمين إلى اليسار):



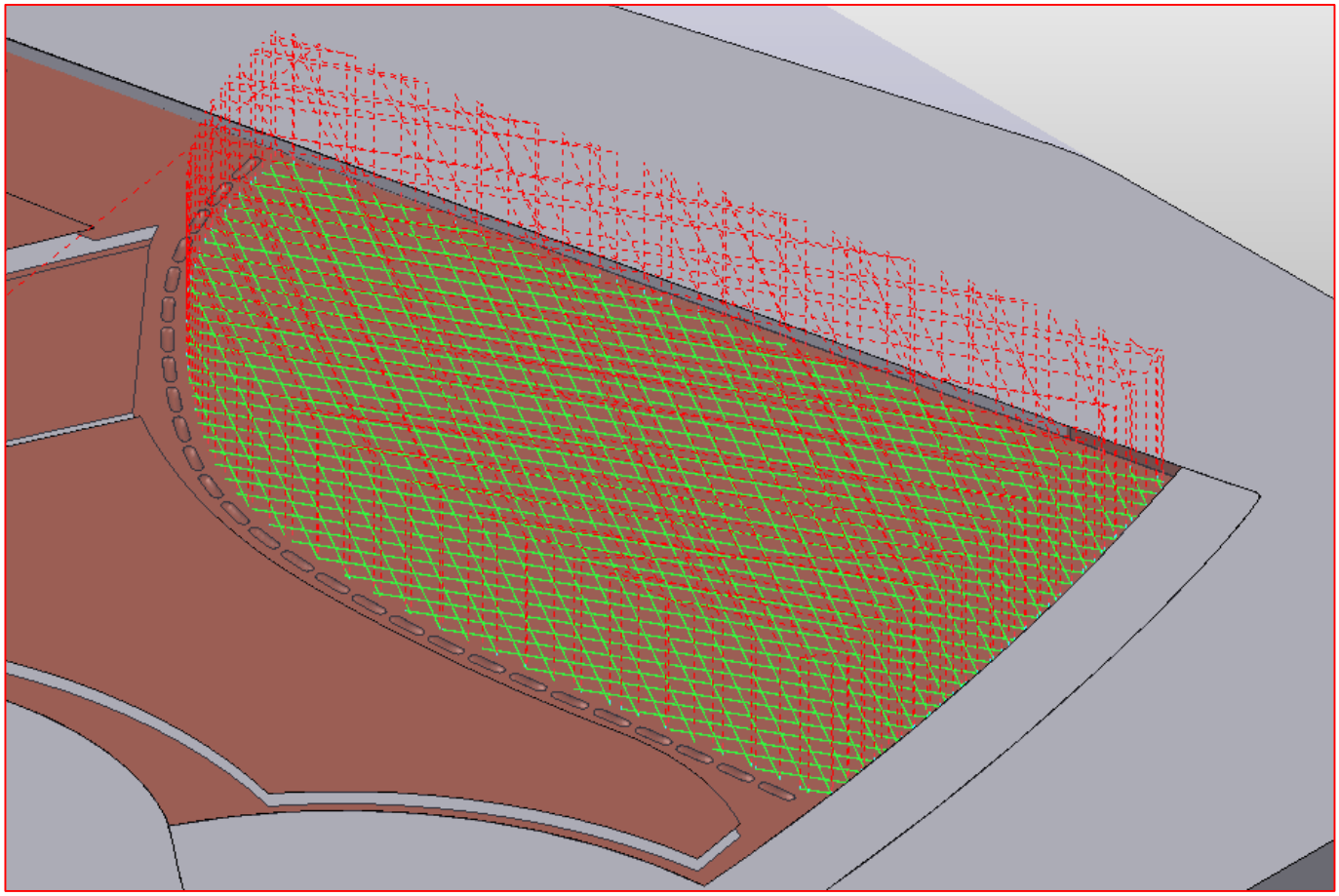
هذه المسارات الوهمية كما ترى نضعها لنضيفها إلى الأنماط، خطوتها بخطوة الرسم المطلوبة. وهنا لترتيب أفضل لخطوط النمط قد تترك اتجاه خطوط المسار باتجاه واحد وقد تجعله باتجاهين؛ وذلك بحسب عدد الباصات في مسارات الأنماط. انظر كيف تبدأ الخطوط كلها من ناحية واحدة.



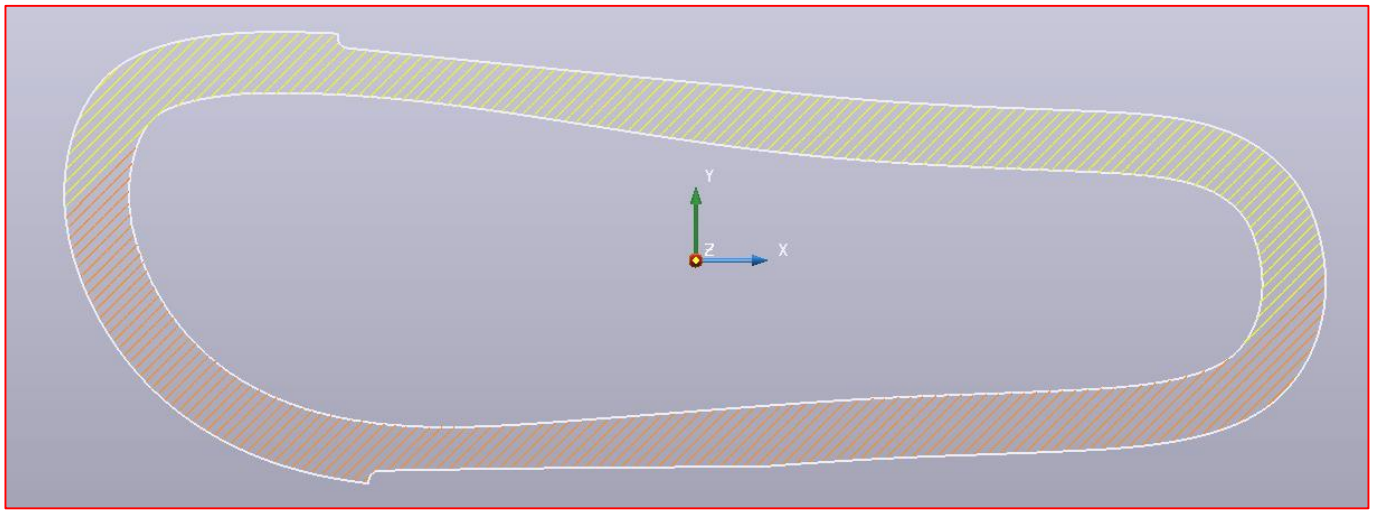
هذا مثال آخر:



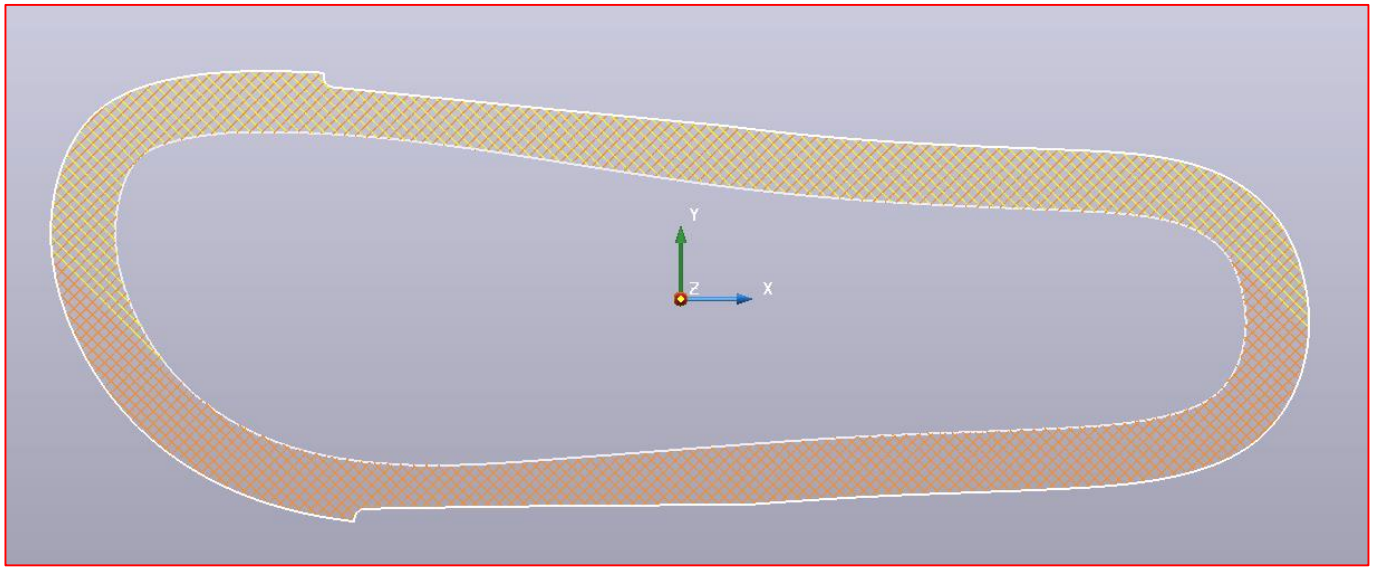
مثال واقعي:



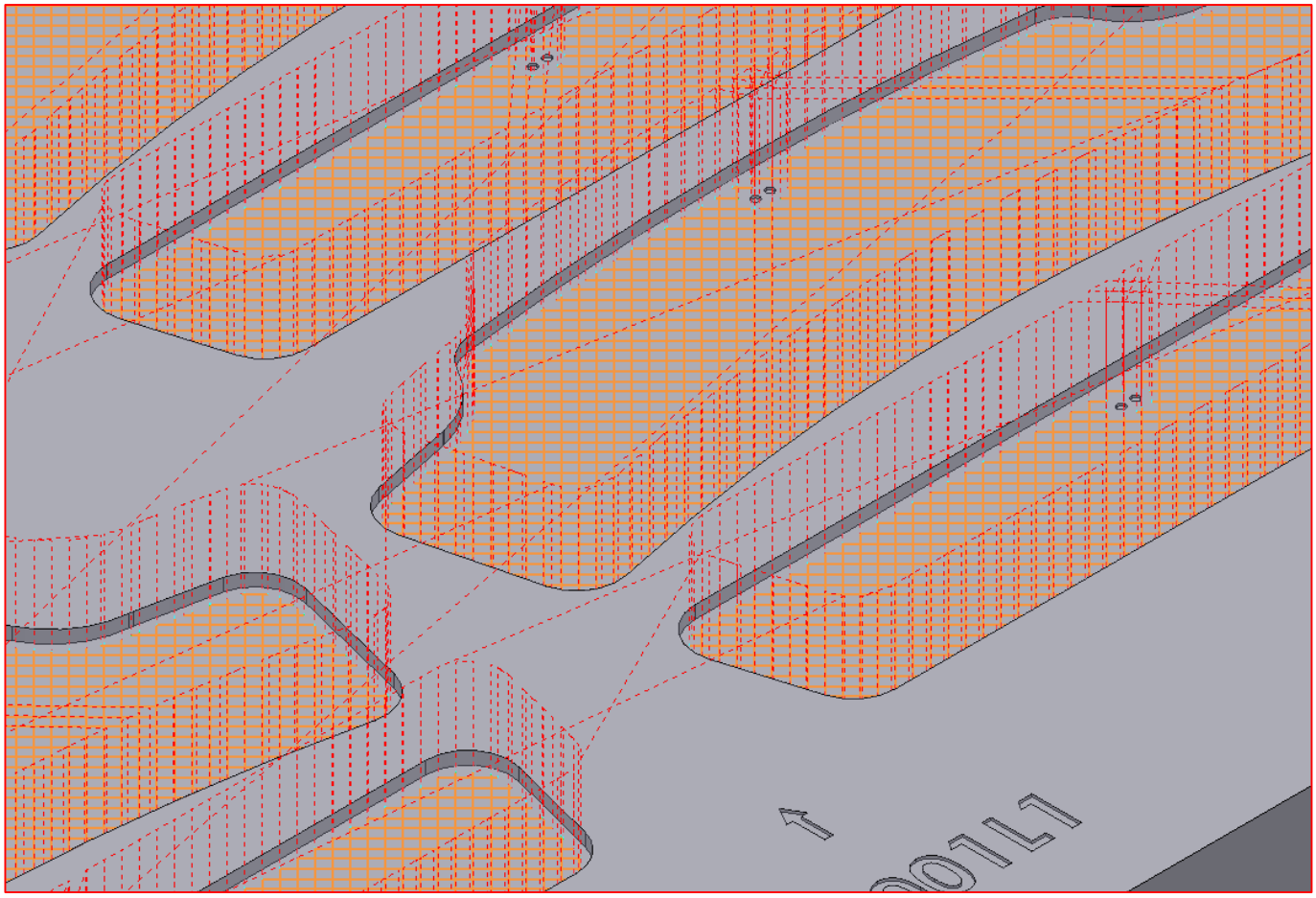
لاحظ أن النقلات عشوائية جدًا، تشبه أسلاك الكهرباء في الحارات الشعبية. في هذه الحالة لا بد من تعديل الخطوط يدويًا، خطوط النمط أقصد لا خطوط المسار (إلا إن اضطررت). والأفضل ترتيبها عند إضافة كل مسار بمساره. انظر كيف رتبت الخطوط هنا بتحديد بعضها:



ثم عند إضافة المسار التالي:



انظر إلى النقلات إن كانت الخطوط مرتبة:



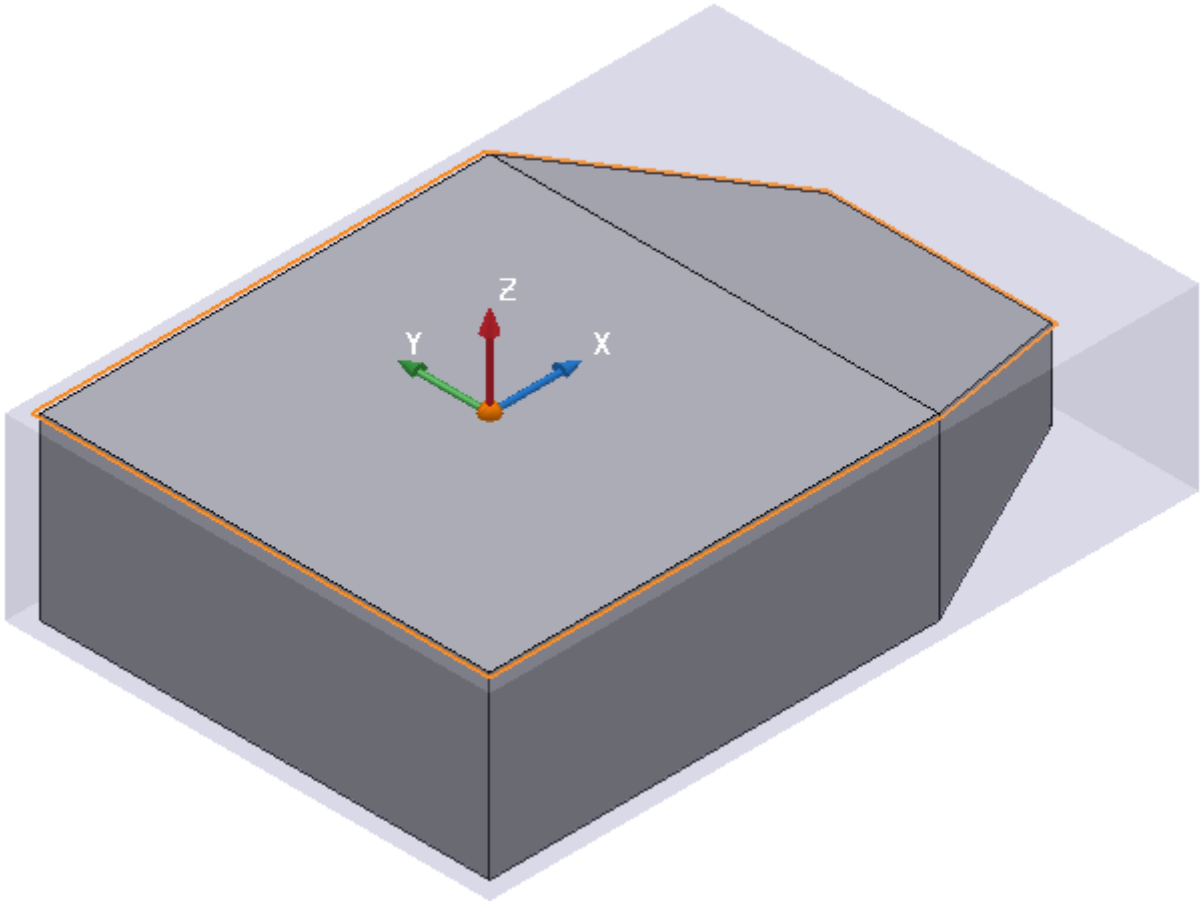
أصبحت كالأسلاك في الأحياء الراقية.

ولا يقتصر الأمر في الواقع على النقشات البسيطة؛ قد ترسم خطوطًا هنا أو في برامج الرسم وتكررها بأوامر التحريك، ولكن هذا ليس موضعها. انظر **فقرة التحريك** في **فصل المفاهيم** لمزيد من التفصيل.

كسر الحواف ثلاثية الأبعاد

قدمنا في **فقرة كسر الحواف** في **فقرة الإستراتيجية Constant Z Finishing** طريقة لكسر الحواف، وقلنا أنها ليست الطريقة الرسمية في الباورميل، وإنما عندنا إستراتيجية مخصصة لذلك هي **الإستراتيجية Chamfer Milling**. ولكن مع ذلك قد نكسر الحواف بغير الإستراتيجية المخصصة لها، وذلك كما في هذه الفقرة وكما في الفقرة المذكورة.

المهم: لا يمكن كسر غير الحواف ثنائية الأبعاد في **الإستراتيجية Constant Z Finishing**، فإن أردت ذلك فاعتمد على الأنماط. انظر:



Wireframe Profile Machining

إن أردت تشغيل أنماط تحتاج إزاحتها بحسب أداة القطع –بمقدار نصف قطرها– فلا تستخدم **الإستراتيجية Pattern Finishing** وإنما استخدم هذه الإستراتيجية. هي لا تحسب حساب الأداة فقط وإنما تعكس اتجاه الخطوط أيضًا، وهذا ألطف ما فيها. بشكل عام يمكنك أن تقول إنها أنسب بديل عن إستراتيجية إنهاء الجدران وإستراتيجية الأنماط عند تشغيل الجدران الشاقولية المفتوحة.

واقرأ أيضًا: **فقرة التشغيل المخفي**، فيها أمثلة استخدمت فيها هذه الإستراتيجية (لا أعني هنا بطبيعة الحال أن الاستخدام الحصري لهذه الإستراتيجية هو التشغيل المخفي، بل على العكس للتشغيل المخفي إستراتيجيات أولى من هذه هي إستراتيجيات الإسقاط Projection).

اتجاه الخطوط Curve Side

أهم ما يجب ضبطه هنا هو اتجاه خطوط المسار، وهو إما على يمين خطوط النمط وإما على يسارها. نحددها بحسب اتجاه خطوط النمط. وقد نعكس بعضها لتكون كلها صالحة للتشغيل بمسار واحد. (مهم)

الخامة المتروكة باعتبار المنحني Curve Thickness

في الواقع هذه الخاصية هي أقرب إلى تعويض قطر أداة القطع منها إلى الخامة المتروكة. ثمة خاصية لتحديد الخامة المتروكة Thickness في الإستراتيجية هنا كسائر الإستراتيجيات.

وهذه حالة شائعة: قد ترسم المسارات متقطعة في أماكن معينة بحسب دقة الخطوط وبحسب دقة المسار. عندها تفيدك هذه الخاصية في حل الأزمة بترك خامة صغيرة باعتبار المنحني لا تكاد تذكر من مرتبة السنتييمات. (مهم)

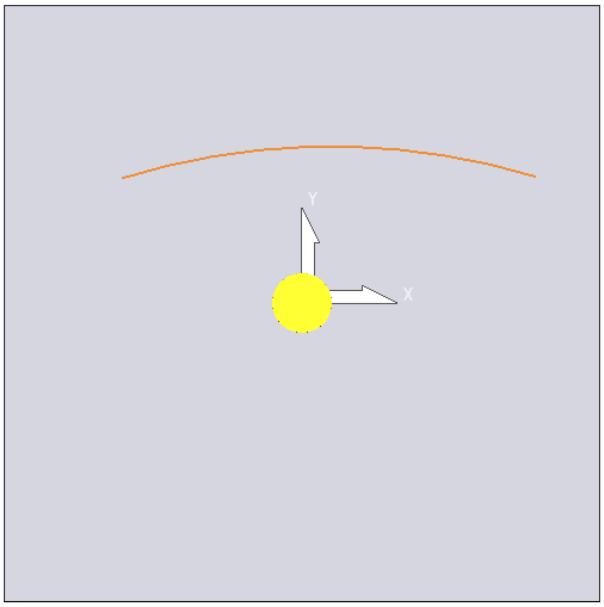
Parametric Offset Finishing

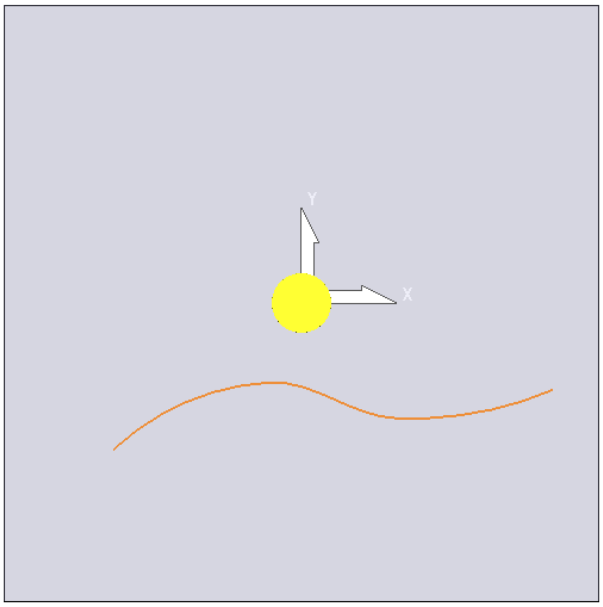
ترسم مسارات عامة الإستراتيجيات بخطوة ثابتة، مهما كانت طريقة حركتها، إن كانت خطوة ثابتة في العمق أو خطوة ثابتة في العرض. هذه الإستراتيجية فريدة وتتحرك بخطوة متغيرة بحسب نمطين تعرّف بهما. يمكن أن يكون النمطان مفتوحين ويمكن أن يكونا مغلقين. الفقرة التالية فيها إستراتيجية تتحرك بنفس المبدأ، بخطوة متغيرة، ولكن لولبية، وتعرّف بحدود تشغيل ونمط تشغيل.

... إليك أهم ما يجب أن تأخذه بعين الاعتبار عند إنشاء مسارات هذه الإستراتيجية:

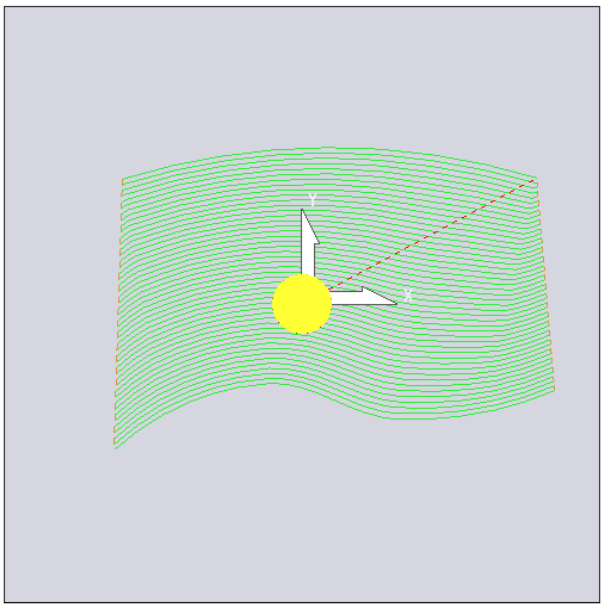
- لا بد للأنماط من أن تكون باتجاه واحد. (مهم)
- إن كانت الأنماط مفتوحة كان اتجاه المسار في أي اتجاه Any، وإن كانت مغلقة كان اتجاهه معاكسًا Climb (يمكن أن يكون في أي اتجاه لكن بالاتجاه المعاكس أفضل).
- أفضل نقلة بين الخطوط هي النقلة المنحنية On Surface.

انظر هذين النمطين:



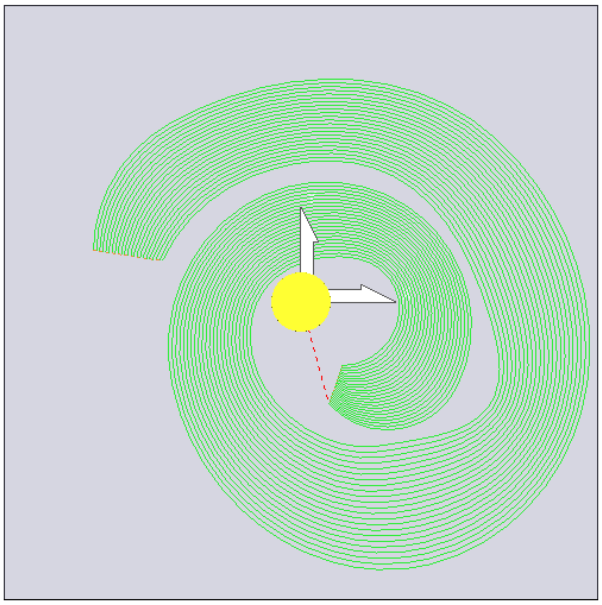


انظر مسار هذه الإستراتيجية عند تعريفه بهذين النمطين:



وكما ترى فإنها أشبه بمسارات **الإستراتيجية Raster Finishing** مع أنها تعمل بمبدأ الإزاحة Offset أصلًا. هنا منطقة التشغيل مفتوحة. إن كانت مغلقة جرب قبلها الإستراتيجية اللولبية (الفقرة التالية)، فإن لم تنفع جرب هذه الإستراتيجية عندها.

طيب انظر هذا:



انظر كيف تتحرك خطوط المسار بانسياب.

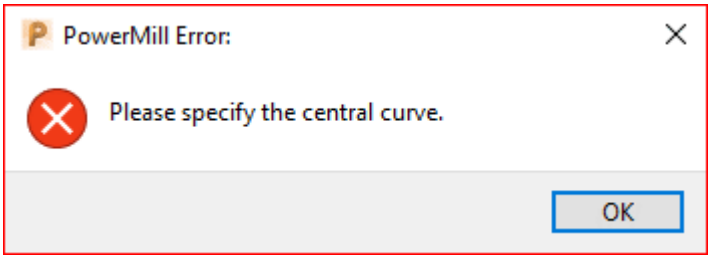
اقرأ فقرة الإستراتيجية التالية فإنها إن كانت تبدو أنها صالحة في سياق تصلح فيه هذه الإستراتيجية فإنها مقدمة عليها. كما أن أمثلة الإستراتيجية التالية تصلح مع هذه الإستراتيجية.

وهنا نقطة مهمة: ما تصلح من أجله الإستراتيجية التالية تصلح من أجله هذه الإستراتيجية، والعكس غير صحيح.

Parametric Spiral Finishing

يمكنك أن تقول إن مسارات هذه الإستراتيجية هي نسخة مطورة من مسارات الإستراتيجية التي قبلها، ويمكنك أن تقول أيضًا إنها خليط بين **الإستراتيجية Constant Z Finishing** و**الإستراتيجية 3D Offset Finishing**، ويمكن أن تقول إنها فريدة لا مثيل لها لا في الباورميل ولا في غيره. أشهر مثال عليها: دورانات الحواف Fillets غير المتناظرة، أي غير الدائرية، وإنما البيضوية.

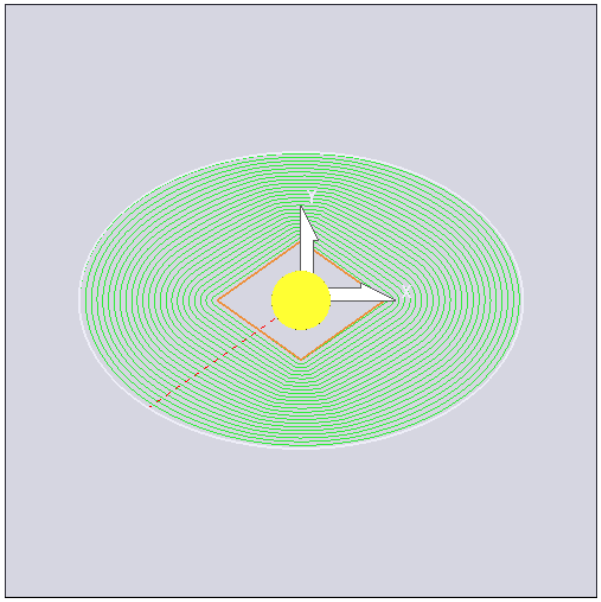
والنمط هنا شرط للمسار؛ فلا بدّ من تحديد نمط المسار، وإلا أرسل الباورميل رسالة الخطأ هذه عند حساب المسار:



لنبدأ بمثال، ولنقارن المسار فيه مع مسارات من إستراتيجيات أخرى:

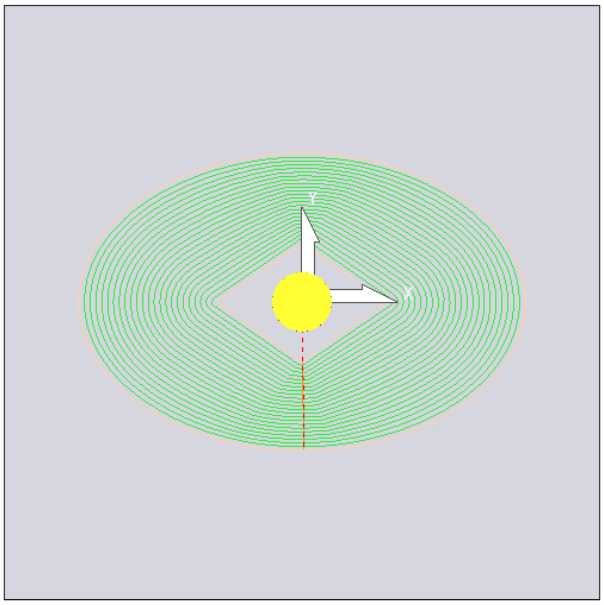
لنقل إننا نريد إنهاء منطقة يحدها من الخارج قطع ناقص ومن الداخل معين:

- Parametric Spiral
  - Direction: Toward Center.



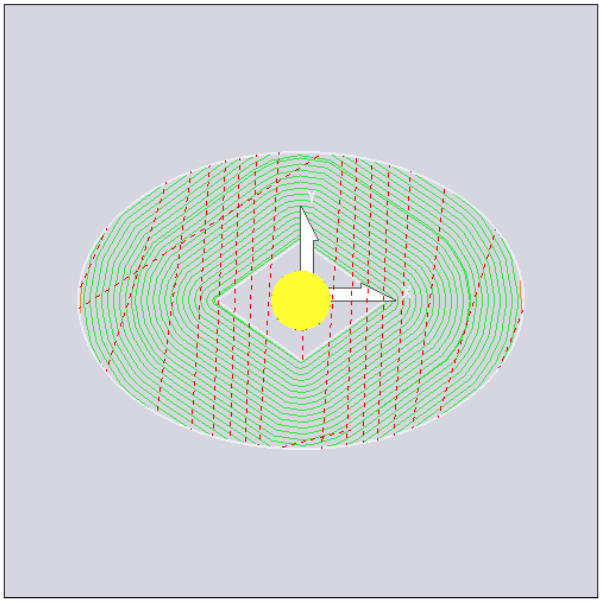
هنا حددت المسار بحدود على شكل قطع ناقص، وقدته بنمط على شكل معين.

انظر المسار إن أردناه **بإستراتيجية Parametric Offset Finishing**:



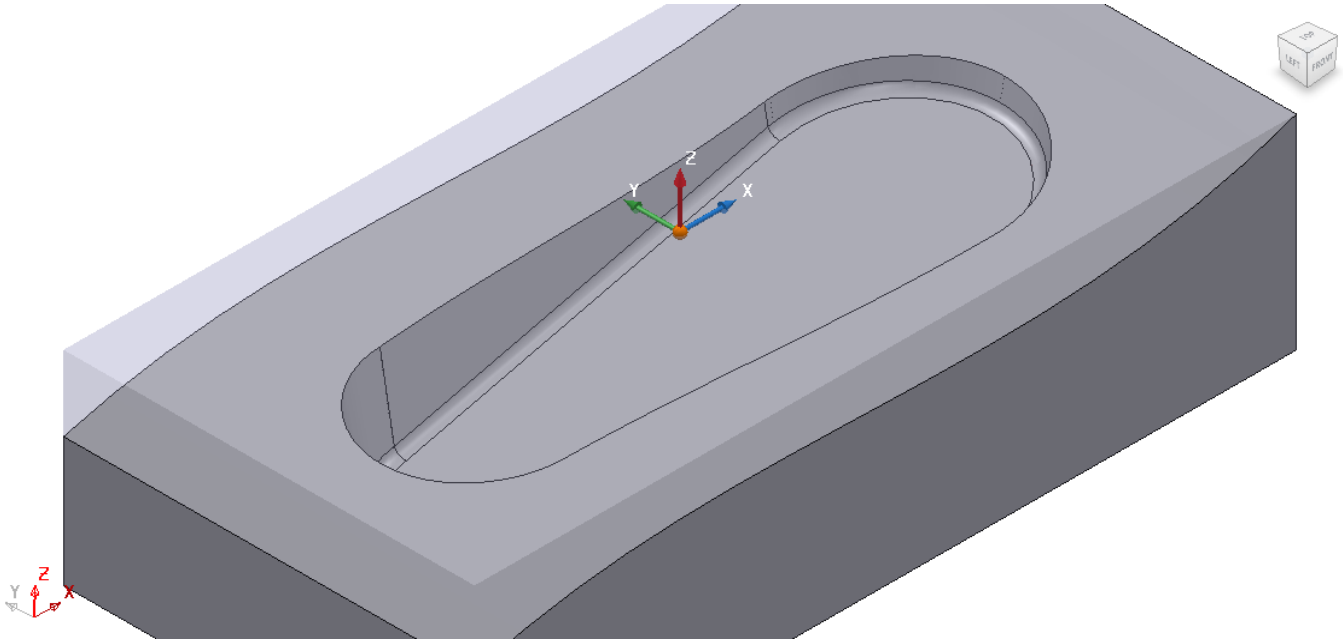
هنا لا بدّ من قيادة المسار بنمطين. انظر كيف ينتقل المسار من خط لآخر بوصلة.

أما إن أردنا المسار **بالإستراتيجية 3D Offset Finishing**:

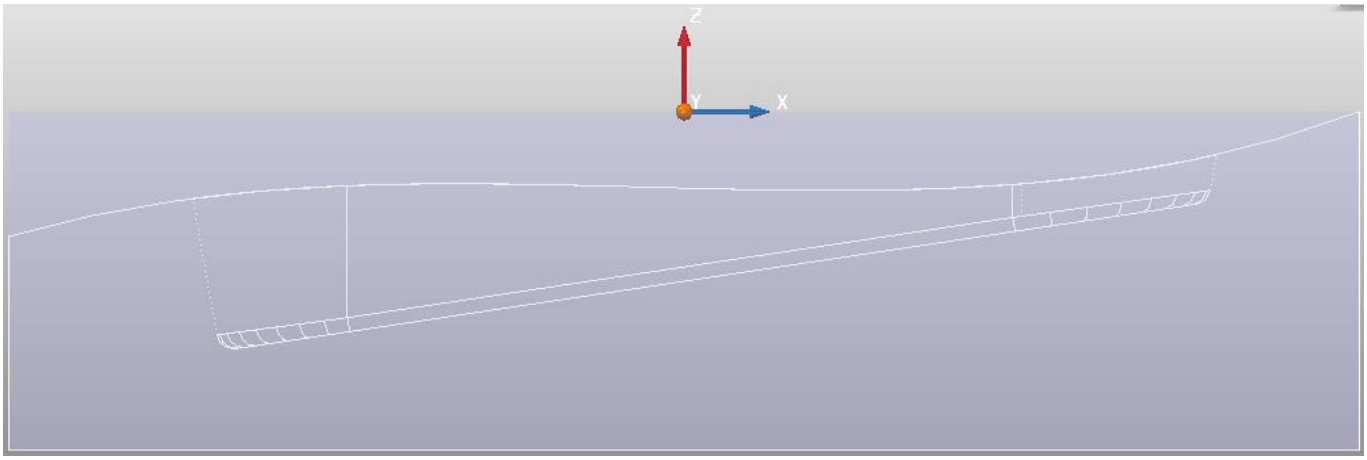


في أحيان كثيرة تكون النتيجة متقاربة، وفي أحيان أخرى –كثيرة أيضًا– لا نحصل على النتيجة التي نريد إلا بمسارات من إستراتيجية معينة.

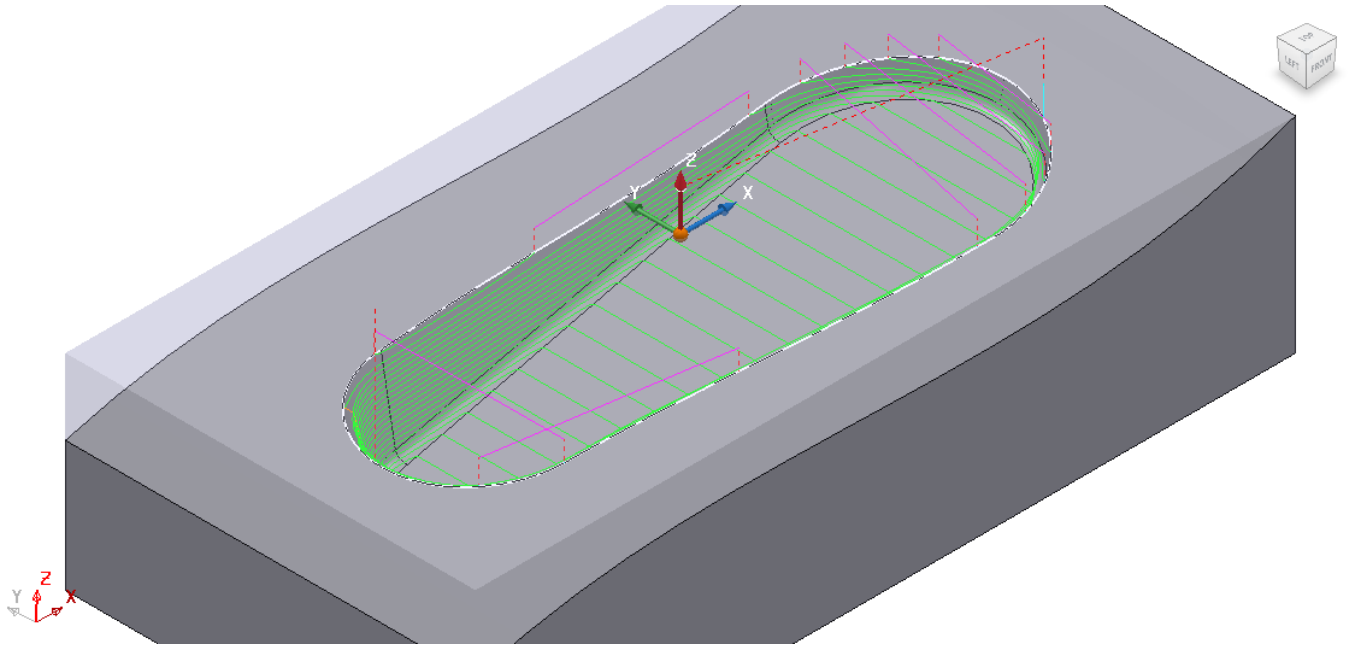
إليك هذا المثال:



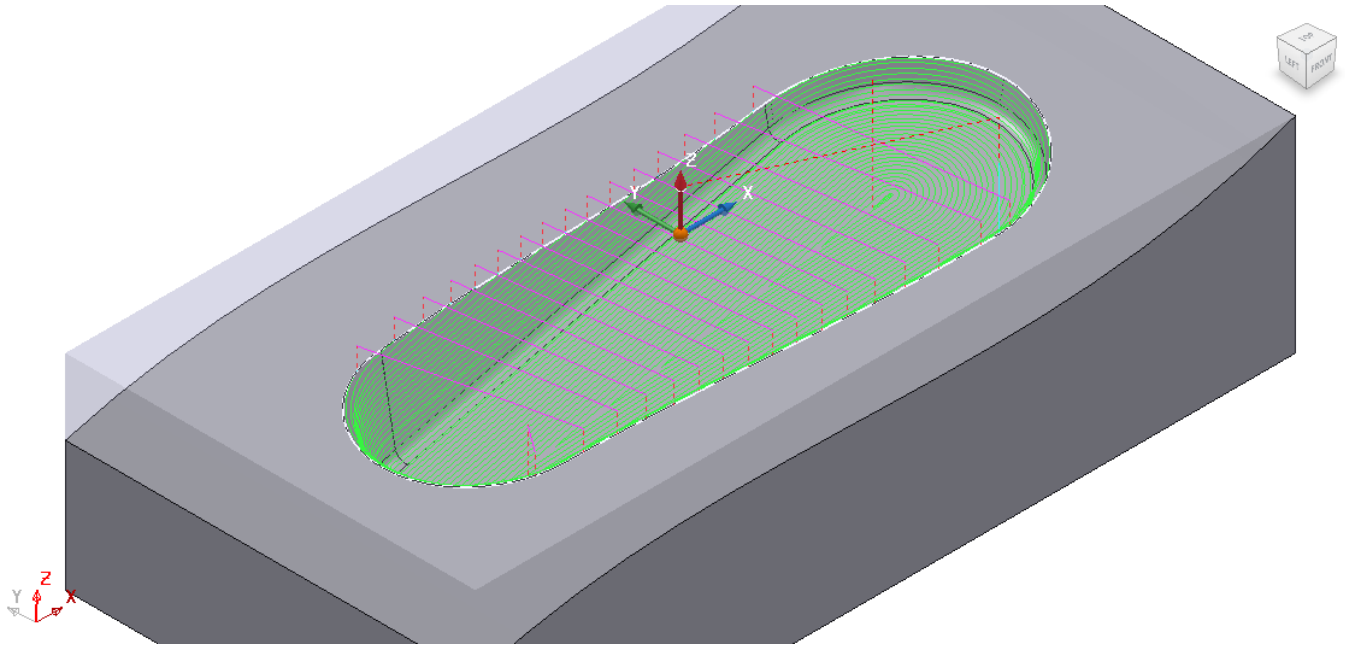
التفاصيل منحنية في كل اتجاهتها؛ فوق وتحت وعلى اليمين وعلى اليسار، وفي الأمام وفي الخلف:

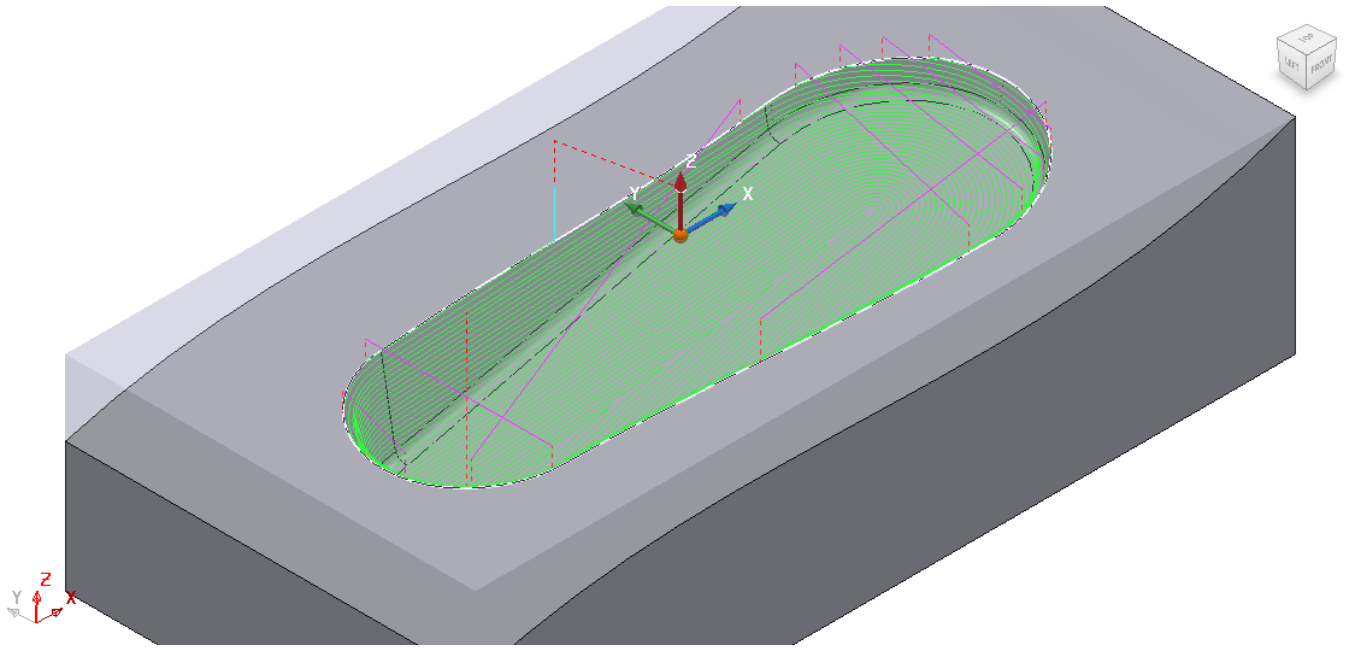


أسوأ خيار هنا **الإستراتيجية Constant Z Finishing** ؛ فلا تبدأ جدرانها بحواف أفقية (قدّمنا فقرة فيها كيفية التعامل مع هذا الأمر)، ولا تنتهي بحواف أفقية، بل فيها ميلان كبير:

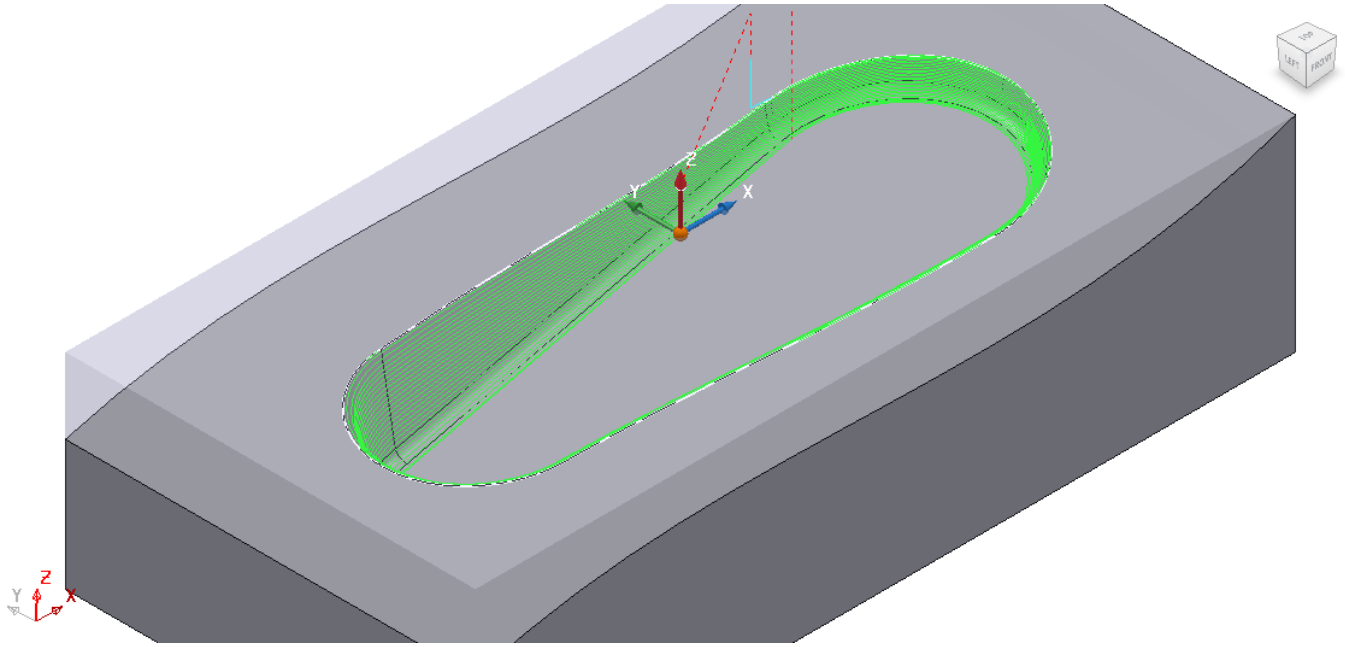


وقد تكون **الإستراتيجية 3D Offset Finishing** أو **الإستراتيجية Optimized Constant Z Finishing** طرق تشغيل مقبولة:

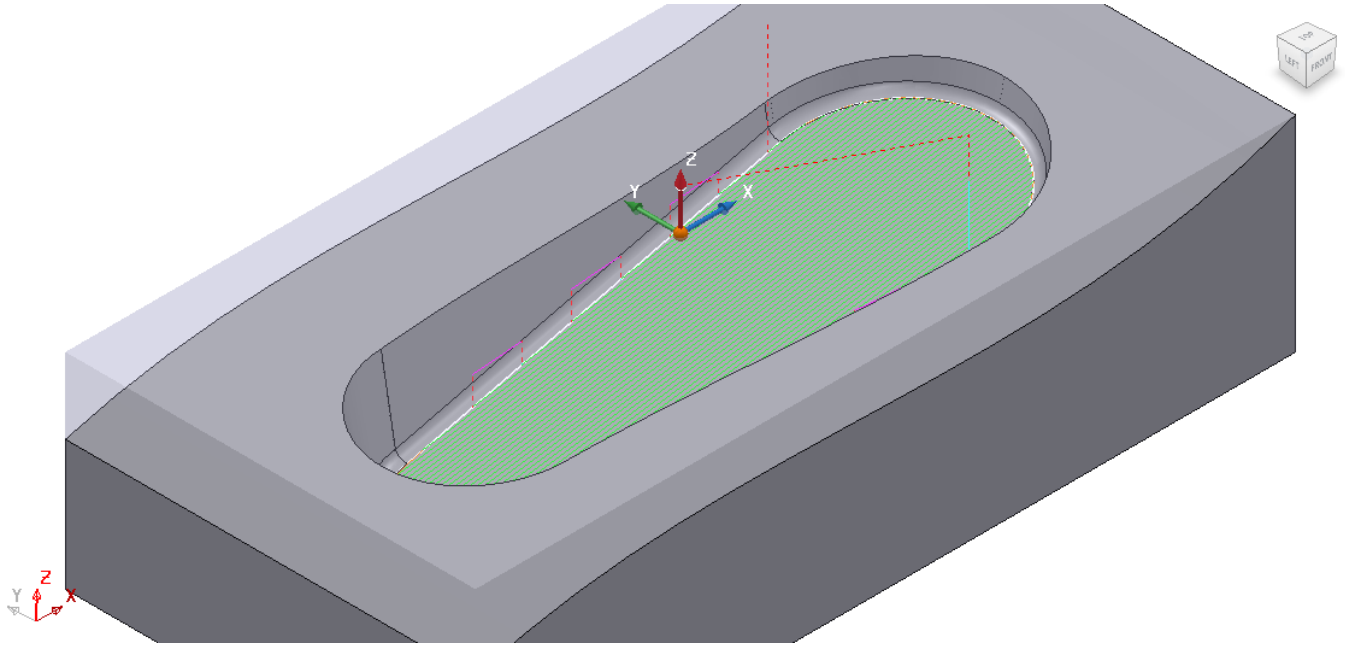




أما إذا أردت الفن الأصيل:

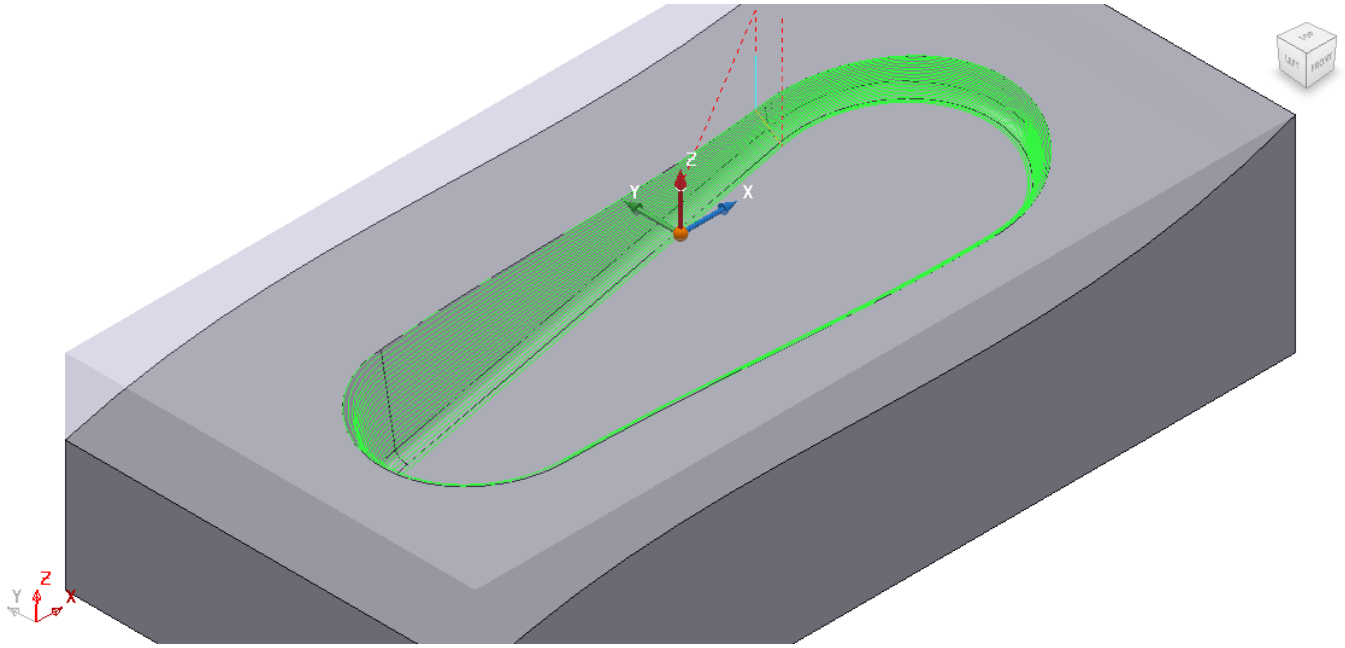


ثم أتبعه بمسار من **الإستراتيجية Raster Finishing**:

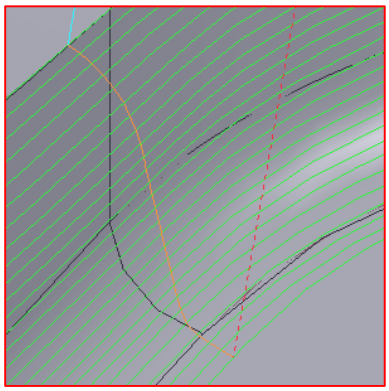


المهم أن تجعل بين المسارين تداخل، والأفضل أن يكون بنفس الأداة، وأن يكون **بأداة كروية**.

ولا بأس أن تختار **الإستراتيجية Parametric Offset Finishing**، ولكن هذه الإستراتيجية أفضل؛ فمساراتها لولبية، ولا أثر للنقلات:



لاحظ النقلات:



Profile Finishing

لطيفة هذه الإستراتيجية في كونها تنشئ مساراتها على الطاير. لا تحتاج إنشاء الأنماط. حدد الأسطح التي تريد وسيعرّف المسار بحوافها كما لو أنك أضفتها إلى أنماط. هل تذكر عندما قلنا أن السطوح تعامل معاملة الخطوط في الباورميل، والعكس ليس صحيحًا؟ هذا تطبيق عملي عليها. يراها الباورميل –في هذه الإستراتيجية– خطوطًا، فينشئ المسارات بناءً عليها باعتبارها خطوطًا بمبدأ إستراتيجيات الأنماط لا باعتبارها جدرانًا بمبدأ إستراتيجيات الجدران.

وهنا نقطة مهمة: تناسب هذه الإستراتيجية السطوح الأفقية، أما غيرها فلا تناسبها، خصوصًا الشاقولية منها. إن كان السطح شاقوليًا رسم المسار هنا مرتين: مرة باعتبار الخطوط العلوية للسطح ومرة باعتبار الخطوط السفلية له.

ليس هذا فقط: إن عُدلت الرسمة فحذف بعض منها، أو أعيد استيرادها، أو حُذفت وجيء بغيرها؛ إن عُدلت فُقدت الأسطح التي تعرّف المسار، فإن فُتحت إعداداته لن تُرى السطوح المعرفة للمسار، ولا يمكن إعادة حسابه ما لم يحدَّد غيرها. الأمر شبيه بالخامة المتروكة في سطوح بعينها. للمزيد اقرأ **فقرة إعدادات المسار** في **فصل المفاهيم**.

Chamfer Milling

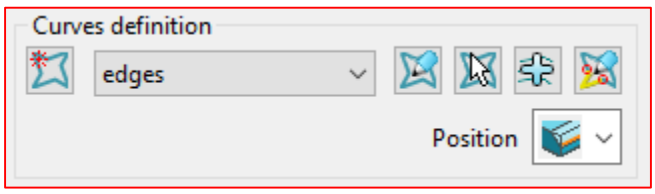
قدمنا أمثلة عن كسر الحواف في بعض الإستراتيجيات السابقة، وأشرنا أن الإستراتيجية الأصلية لكسر الحواف هي هذه الإستراتيجية. مشكلتها فقط أنها ثنائية الأبعاد حصرًا، فلا تكسر غير الحواف الأفقية (لا بد أن توازي مستوي العمل). إن أردت كسر حواف ثلاثية الأبعاد فعليك **بالإستراتيجية Pattern Finishing**، وقد قدمنا مثالًا هناك في **فقرة كسر الحواف ثلاثية الأبعاد**، فارجع إليها لمزيد من الفائدة، وبالمرة: ارجع إلى **فقرة كسر الحواف** في **فقرة الإستراتيجية Constant Z Finishing**، لتكتمل الصورة عندك.

تعامل عمليات تدوير الحواف معاملة عمليات كسر الحواف.

نحدد على المخططات التنفيذية رموزًا لتشغيل الحواف، وفقًا **للمعيار 13715**. وضعت في الملحقات تفصيل ترميز تشغيل الحواف، فراجعه.

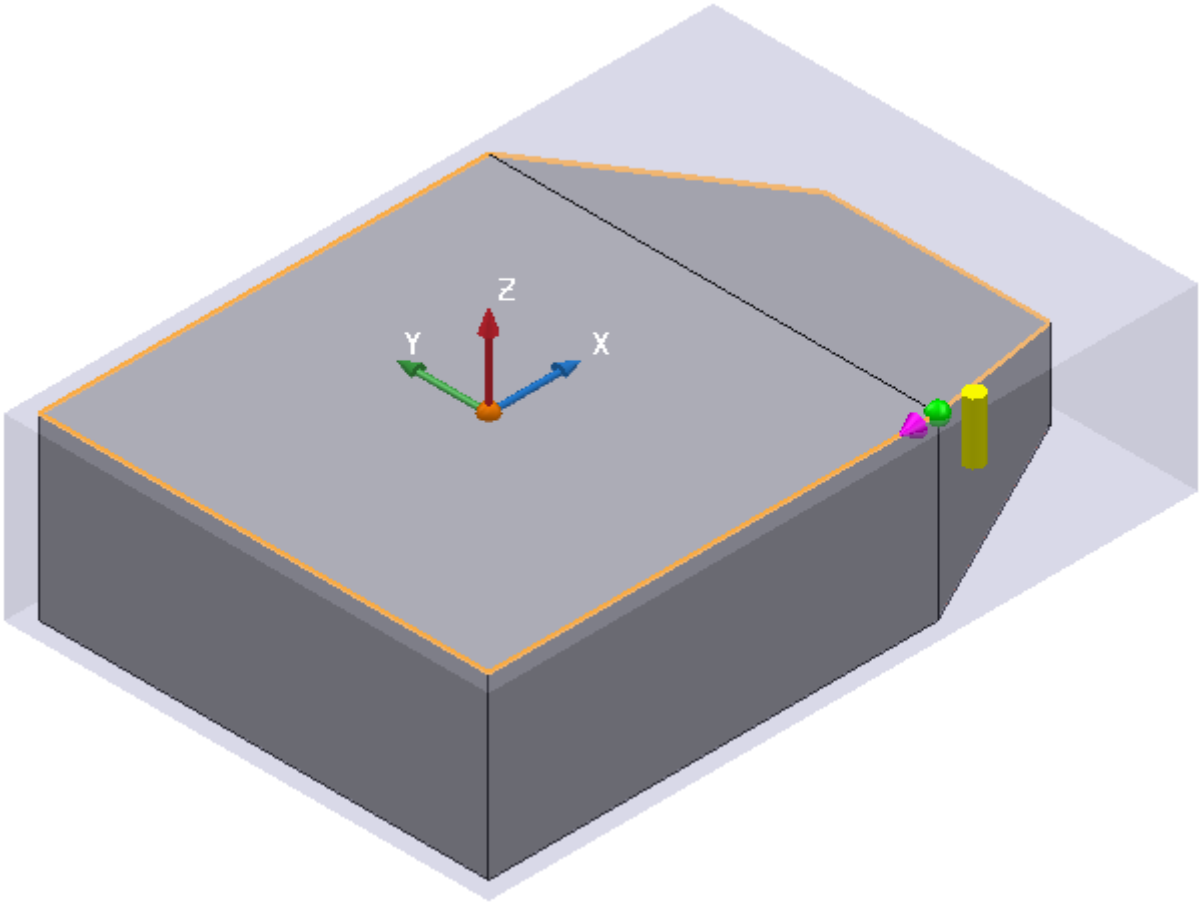
قد لا نكسر الحواف على آلة التشغيل، وإنما في مرحلة لاحقة، على آلة أخرى أو بكسرها يدويًا. في كل الأحوال حدد على المخططات التنفيذية رموز تشغيل كل الحواف التي ينبغي على المشغل أو الفني أو المعني بالأمر أن يشغلها وفقها.

في البداية نختار أداة القطع، وهي **أداة مشطوفة بزاوية 45°**. ثم نحدد النمط الذي يمثل الحواف:



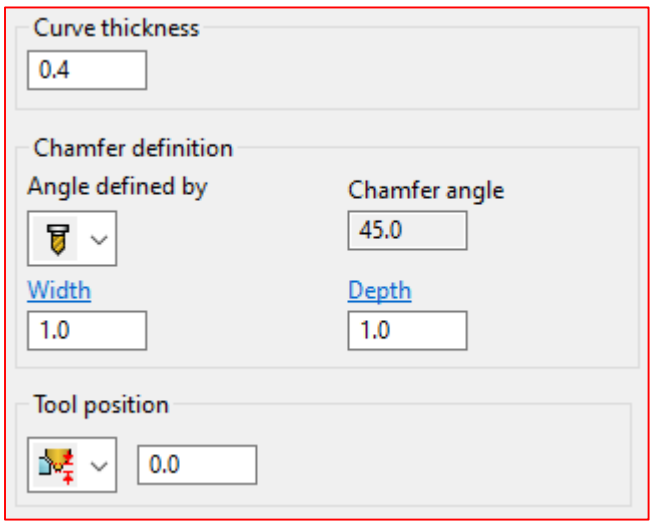
في الحالة العامة لا نرسم الحواف مكسورة في المشغولة، حتى لو أردناها كذلك، وإنما نكتبها في المخططات التصميمية وحسب. بل إنها إن رسمت مكسورة فإننا نعدل الرسم لنلغيها، حتى لا تتعبنا في البرمجة في غير مسارات كسر الحواف (لن تسبب مشكلة في إستراتيجية كسر الحواف، ولكنها ستسبب مشكلة في غيرها، بل قد تؤدي إلى أزمة).

ثم من **أمر Edit Machining Section** نضبط الإستراتيجية:

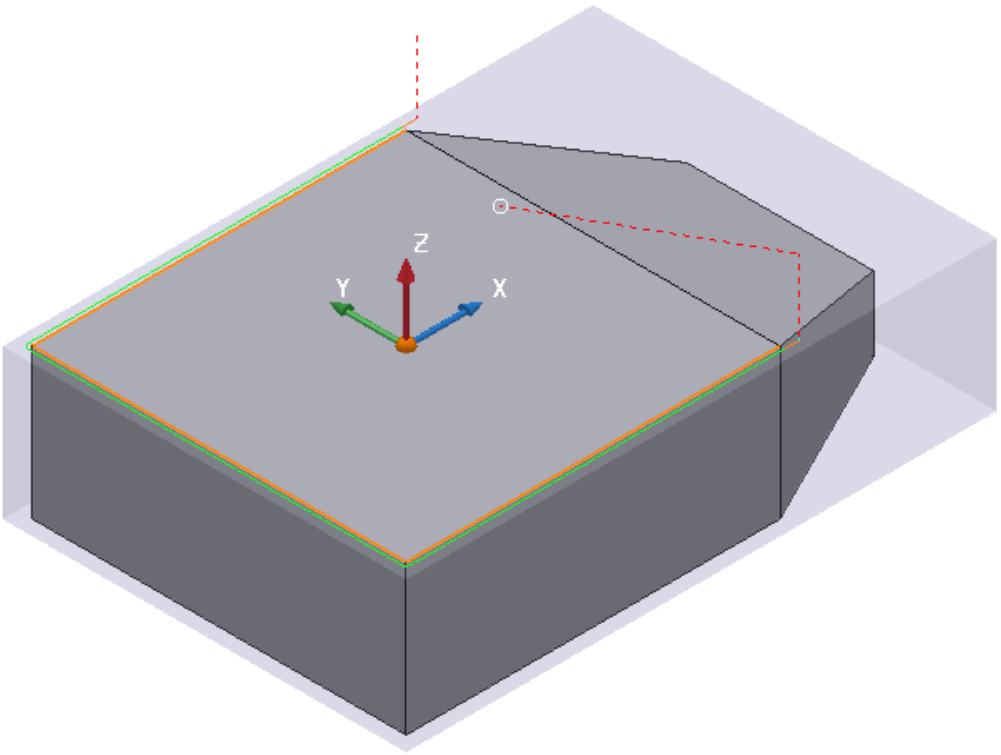


أهم ما في الأمر أن يضبط الاتجاه بحيث تكون أداة كسر الحواف خارج المشغولة. وربما احتجنا تعديل اتجاهات بعض الخطوط إن في النمط أكثر من خط.

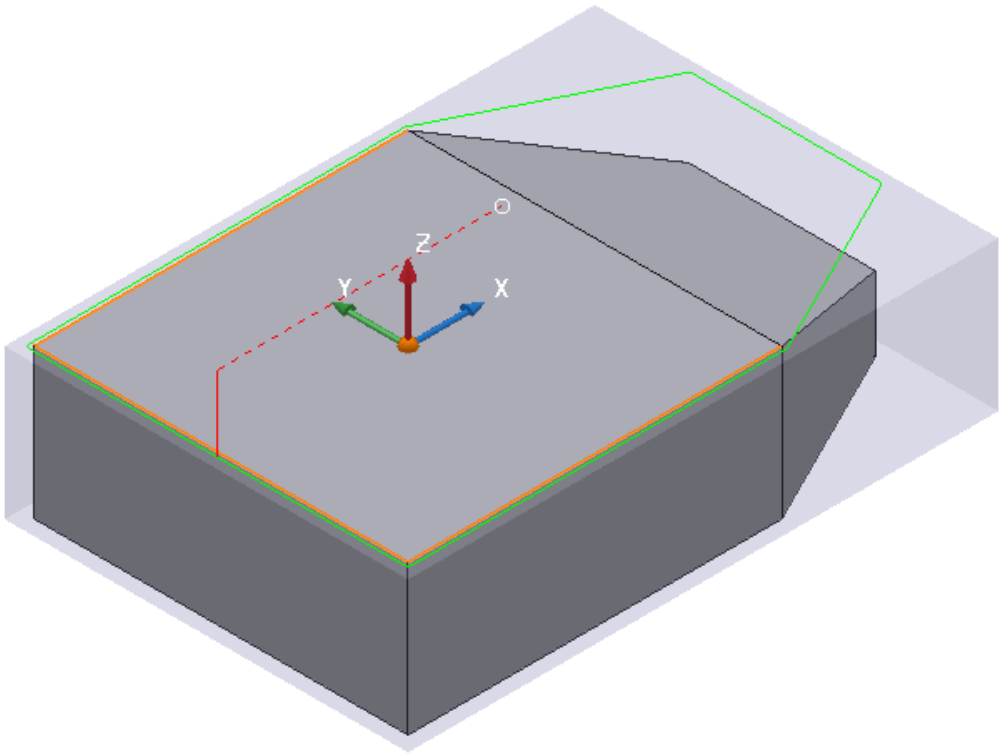
ثم تحدَّد الإعدادات التي نريد بحسب ظروفنا التشغيلية. في الحالة العامة نضبط الخامة المتروكة باعتبار المنحني Curve Thickness وموقع الأداة Tool Position، ونترك باقي الإعدادات كما هي.



انظر:



وكما أشرنا لا تكسر مسارات هذه الإستراتيجية غير الحواف ثنائية الأبعاد، وإلا:



تحل المشكلة بتغيير أبعاد الخامة بحيث لا يرسم المسار في المكان في الاتجاه x+ أو بتعديل خطوط النمط وحذف الأجزاء التي في ذلك المكان.

برامج التشغيل المخفي Undercut Machining

نسمي المناطق التي لا يمكن أن نراها من مستوي العمل مناطق مخفية. هذه المناطق لا يمكن تشغيلها بإستراتيجيات التشغيل العادية، وإنما تحتاج معاملة خاصة. في الواقع الأمر لا يتعلق بالإستراتيجيات بقدر ما يتعلق بأدوات القطع. المشكلة في هذه المناطق أنها تحت مناطق أخرى، وبالتالي فإن تشغيلها سيؤدي إلى الاصطدام بالمناطق التي فوقها. وهذا يحدث إن شغلناها بأدوات أقطار أجسامها بأقطار أسلحتها. لهذا يمكن أن نقول إن المبدأ العام في التشغيل المخفي هو استخدام أدوات قطع حدودها القاطعة أكبر قطرًا من أجسامها. ومن بديهيات التشغيل أنه لا يكون إلا بفعل الحدود القاطعة في أدوات القطع، لا في الأجسام فيها.

نقطة أخرى مهمة في هذا التشغيل: لا بدّ من الدخول إلى المناطق المخفية والخروج منها خارجها، وإلا فإن الأداة وهي تدخل في المسار وهي تنسحب منه كذلك ستصطدم بالمناطق التي فوق المناطق المخفية، وكأنك يا زيد ما غزيت! بل أحيانًا الأسوأ: جيت لتكحلها فعميتها!

المبدأ العام في التشغيل المخفي

يحدث التشغيل المخفي بفعل الحد القاطع في أداة القطع، لا جسمها. لهذا فإننا عندما نختار الأدوات نختارها بحيث يكون الفرق بين قطر الحد القاطع في الأداة وبين قطر جسمها أكبر من عرض المنطقة المخفية المطلوب تشغيلها. ولا بد أن لا يزيد ارتفاع الحد القاطع عن ارتفاع المنطقة المخفية إن كانت مغلقة. أي:

$$D_C - D_{shank} \geq 2W$$

$$h_C \leq h$$

حالة خاصة: إن كانت المنطقة المخفية حلقة:

$$W = \frac{D - d}{2}$$

حيث

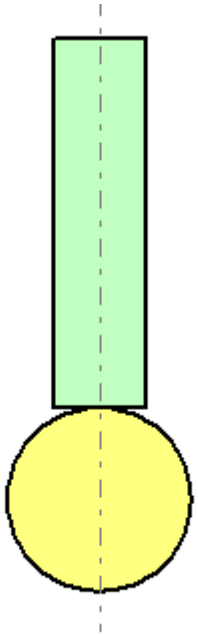
- D_C قطر سلاح أداة القطع.
- D_{shank} قطع جسم أداة القطع.
- W عرض المنطقة المخفية.
- h_C ارتفاع سلاح أداة القطع.
- h ارتفاع المنطقة المخفية.
- D قطر المشغولة.

d قطر الأسطح الداخلية في المنطقة المخفية.

التشغيل المخفي باستخدام إستراتيجيات الإسقاط Projection

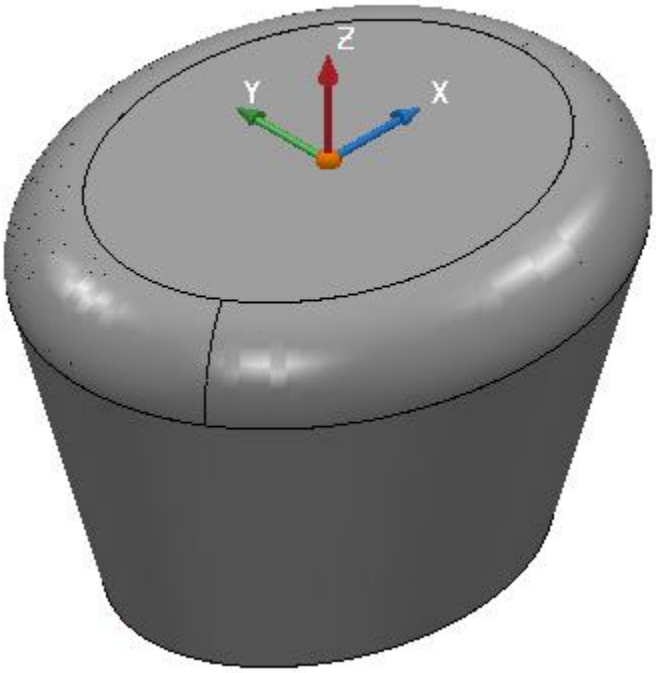
في الحالة العامة نستخدم هذه الإستراتيجيات في التشغيل المخفي. يمكن استخدامها مع غير التشغيل المخفي بالمناسبة، فمبدؤها إسقاط مساحة هندسية على الرسمة. وقد أخرتها ولم أخصص لها فقرات لوحدها لأن الاستخدام الشائع لها مع التشغيل المخفي، مع أنها من حيث المبدأ ليست إلا طريقة رسم المسارات.

سأجمع في هذه الفقرة أكثر من مثال على نفس المشغولة. وسأستخدم الأداة التالية فيها كلها:

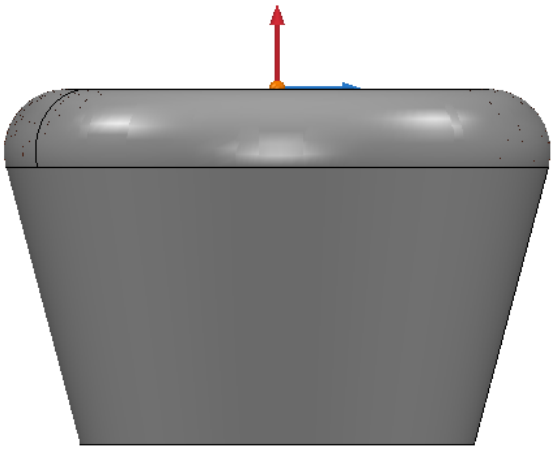


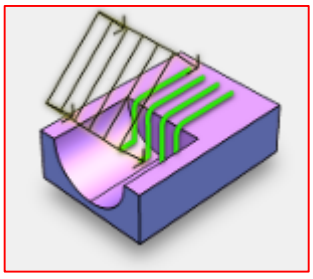
وهي من النوع **Tipped Disc**، بقطر وارتفاع واحد، ونصف قطر للحد القاطع نفسه نصف قطر الأداة.

انظر الشكل التالي:



مقطعه في الأعلى أكبر من مقطعه في الأسفل كما ترى؛ هي مناطق مخفية. انظر إليه من أحد مساقطه:

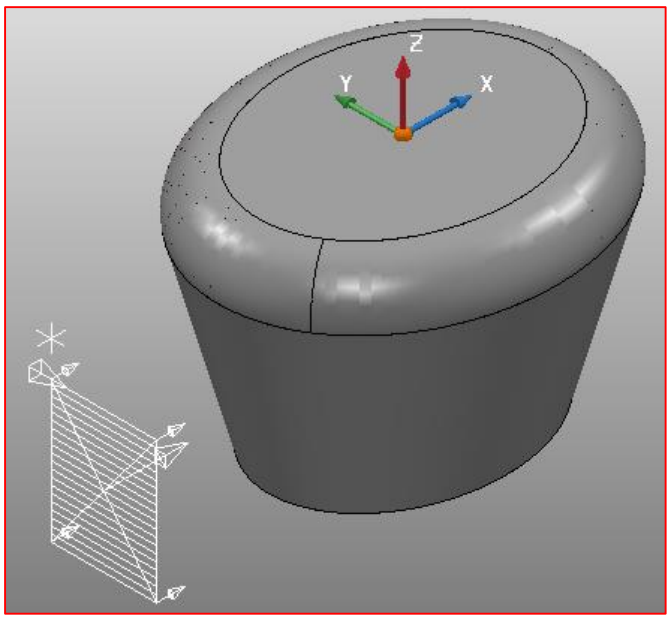




لنبدأ **بالإستراتيجية Projection Plane Finishing**، والتي ترسم مساراتها بما يوافق مسقط مستطيل على الرسمة. انظر الصورة المجاورة، وانظر كيف أن الخطوط تسقط على الرسمة، في أي مكان منها، مخفيًا كان أو غير مخفي.

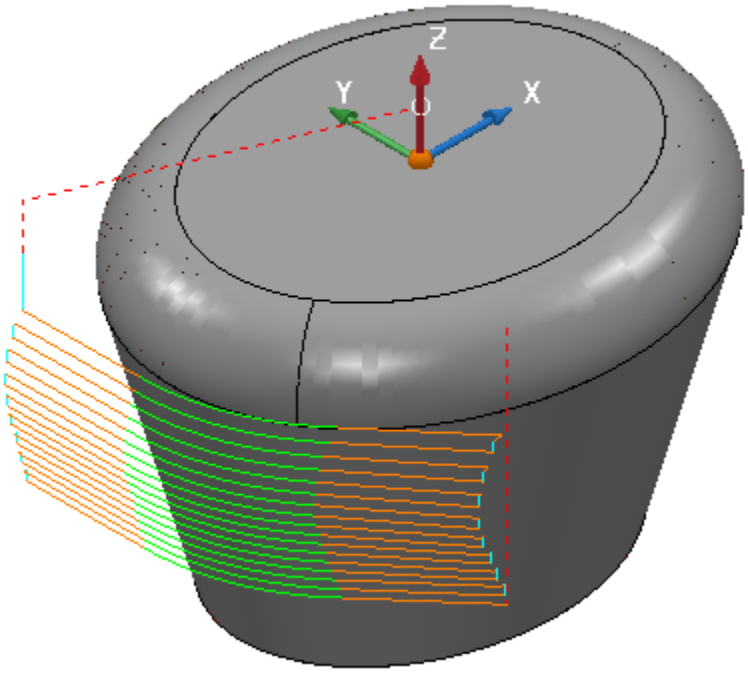
إليك الإعدادات التي نحتاجها:

- Plane Projection
  - Location: -100, 0, 0.
  - Azimuth: -90.
  - Elevation: 0.
  - Projection: Outwards.
- Pattern
  - Pattern > Ordering: Two way.
  - Limits > Height: -10, -50.
  - Limits > Width: 0, 30.
- Leads and Links
  - Lead in > 1st > Extended Move, length 25 [1].
  - Lead out > 1st > = Lead in.
  - Links > 1st > Stepdown.
  - Links > 2nd > Skim.

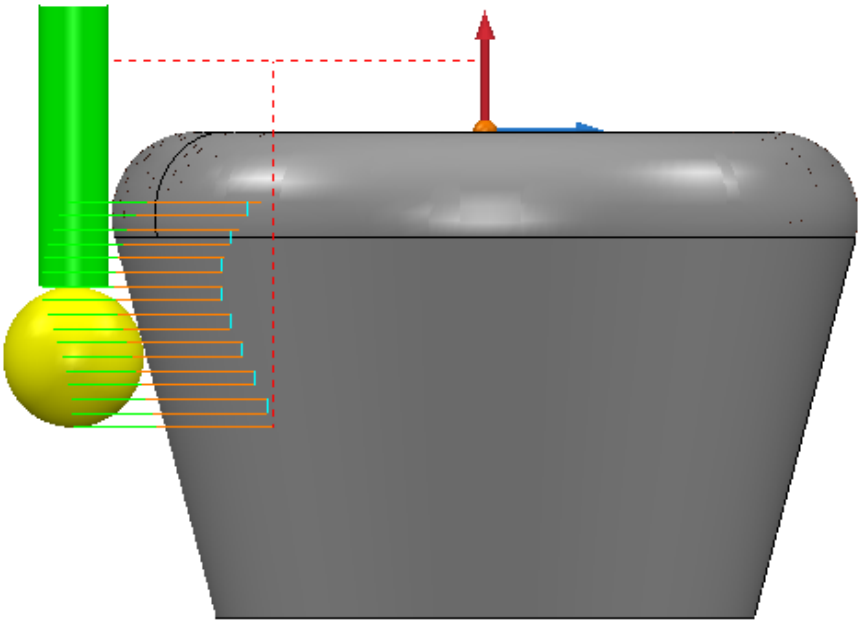


[1] قيمة تجريبية (نختارها بحيث لا تصطدم الأداة بالمشغولة، أي بالرسمة في حالتنا).

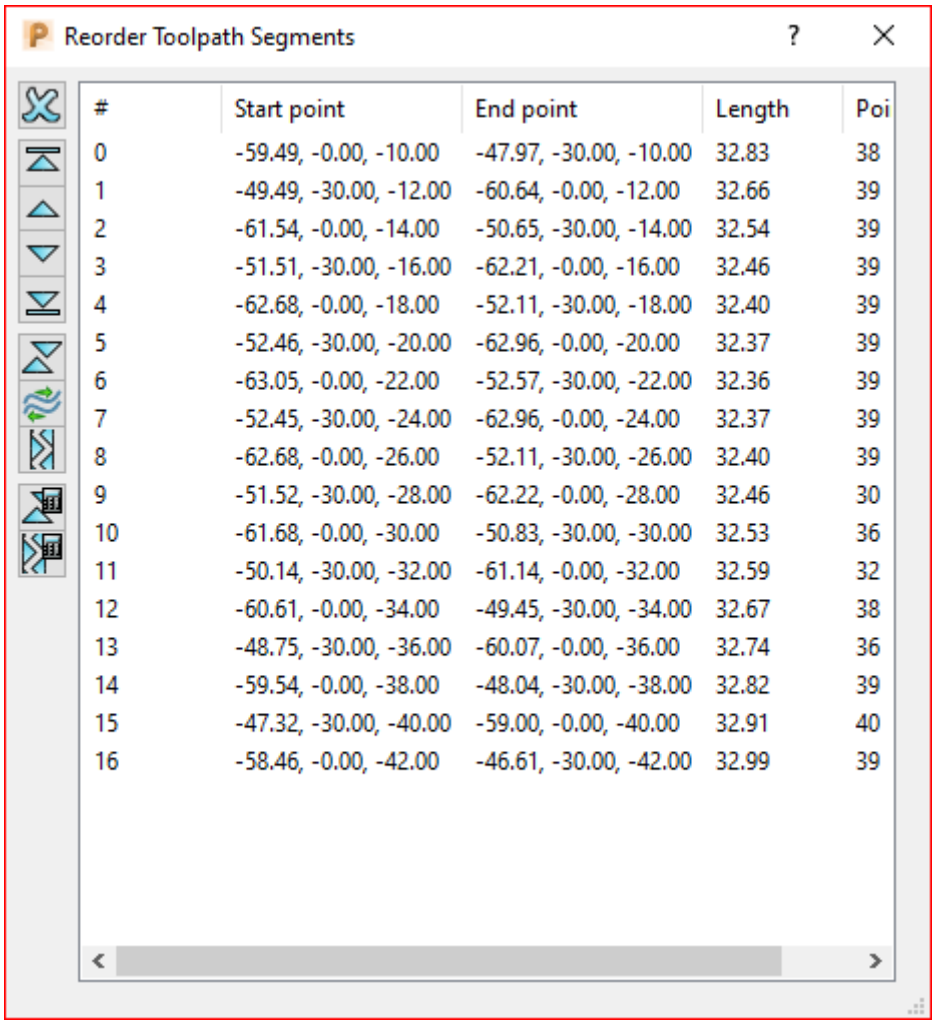
انظر المسار في هذه الحالة:



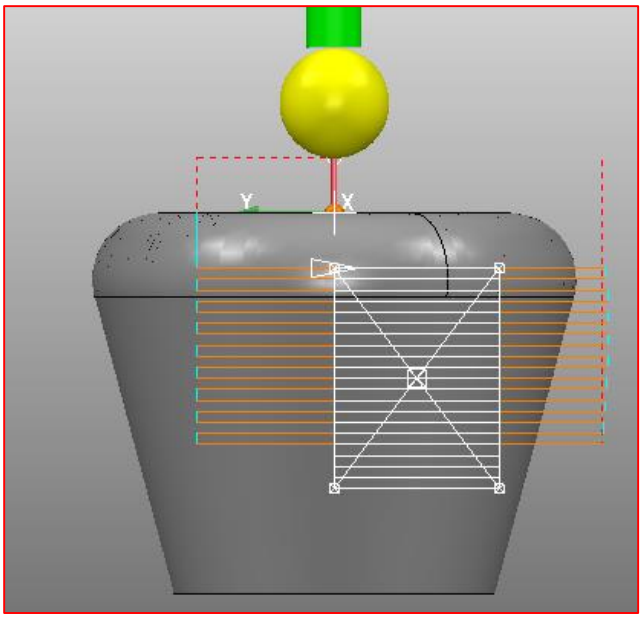
انظر كيف أن الأداة تمس المشغولة في كل نقطة من المسار:



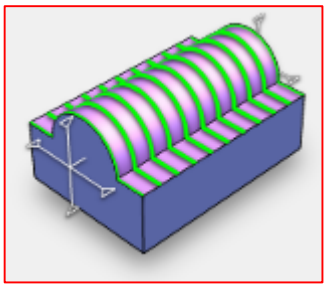
ليس هذا فقط: لم يحقق المسار كل المساحة المطلوبة. انظر ارتفاع منطقة التشغيل في الإعدادات، تبدأ من المستوي z = -10 وتنتهي في المستوي z = -50، ولكن المسار انتهى في المستوي z = -42 لأن جسم الأداة سيصطدم في المشغولة في المستويات الأعمق منه:


Reorder Toolpath Segments
?
#
Start point
End point
Length
Poi
0 -59.49, -0.00, -10.00 -47.97, -30.00, -10.00 32.83 38
1 -49.49, -30.00, -12.00 -60.64, -0.00, -12.00 32.66 39
2 -61.54, -0.00, -14.00 -50.65, -30.00, -14.00 32.54 39
3 -51.51, -30.00, -16.00 -62.21, -0.00, -16.00 32.46 39
4 -62.68, -0.00, -18.00 -52.11, -30.00, -18.00 32.40 39
5 -52.46, -30.00, -20.00 -62.96, -0.00, -20.00 32.37 39
6 -63.05, -0.00, -22.00 -52.57, -30.00, -22.00 32.36 39
7 -52.45, -30.00, -24.00 -62.96, -0.00, -24.00 32.37 39
8 -62.68, -0.00, -26.00 -52.11, -30.00, -26.00 32.40 39
9 -51.52, -30.00, -28.00 -62.22, -0.00, -28.00 32.46 30
10 -61.68, -0.00, -30.00 -50.83, -30.00, -30.00 32.53 36
11 -50.14, -30.00, -32.00 -61.14, -0.00, -32.00 32.59 32
12 -60.61, -0.00, -34.00 -49.45, -30.00, -34.00 32.67 38
13 -48.75, -30.00, -36.00 -60.07, -0.00, -36.00 32.74 36
14 -59.54, -0.00, -38.00 -48.04, -30.00, -38.00 32.82 39
15 -47.32, -30.00, -40.00 -59.00, -0.00, -40.00 32.91 40
16 -58.46, -0.00, -42.00 -46.61, -30.00, -42.00 32.99 39

انظر:


Y
X

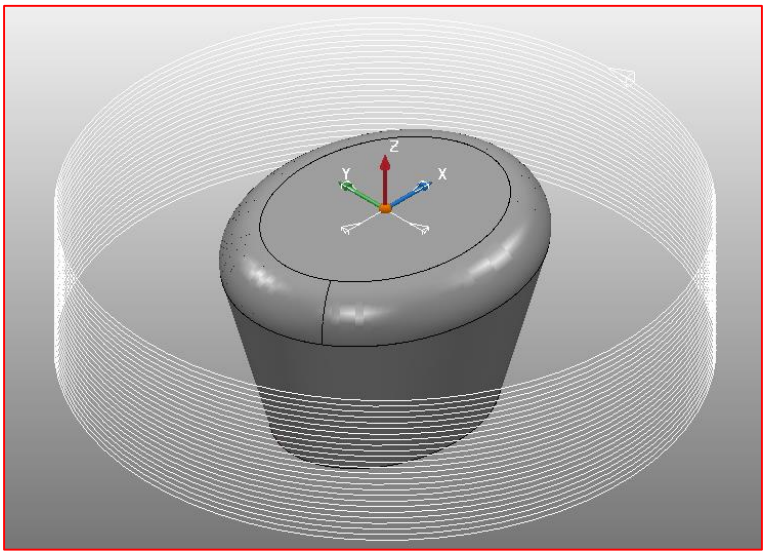
هذا إن أردنا تشغيل مساحة تكافئ مسقط مستطيل. قد نريد تشغيل مساحة تكافئ مسقط أسطوانة أو جزء من أسطوانة، وعندها علينا **بالإستراتيجية Projection Line Finishing**. انظر كيف أن محور الأسطوانة في الصورة المجاورة معرّف بحيث ترسم خطوط المسار بالشكل الذي ترى.



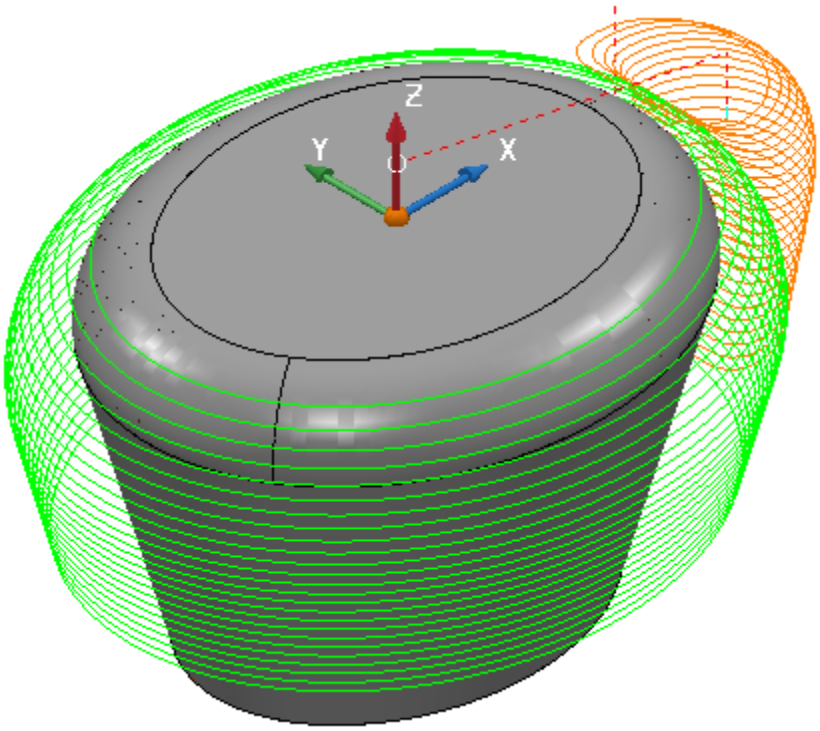
وهذه إعدادات مسار مثال عليها:

- Line Projection
  - Pattern: Circular.
  - Location: 0, 0, 0.
  - Azimuth: 0.
  - Elevation: 0.
  - Projection: Inwards.
- Pattern
  - Pattern > Ordering: One Way.
  - Limits > Azimuth Angle: 0, 360.
  - Limits > Height: 0, -50.
- Leads and Links
  - Lead in > 1st > Horizontal Arc, Linear Move 10, Angle 90, Radius 5 [1].
  - Lead out > 1st > = Lead in.
  - Links > 1st > Circular Arc.
    - Apply constraint: Link < 50.
  - Links > 2nd > Skim.

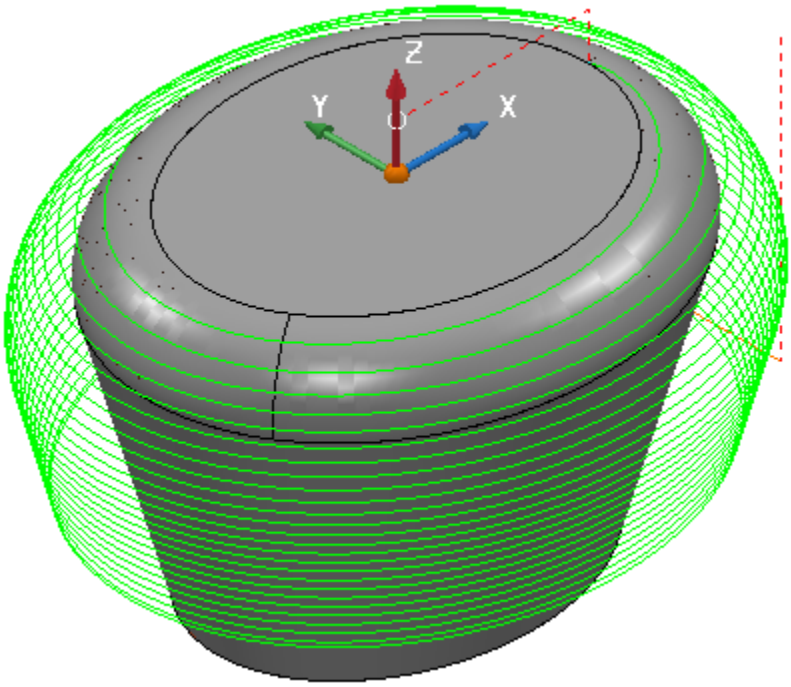
[1] قيمة تجريبية (نختارها بحيث لا تصطدم الأداة بالمشغولة، أي بالرسمة في حالتنا).



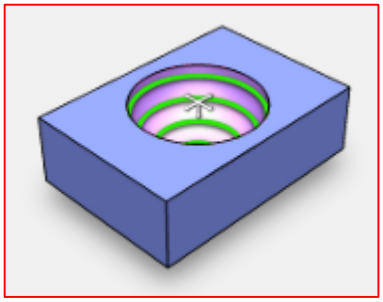
انظر المسار:

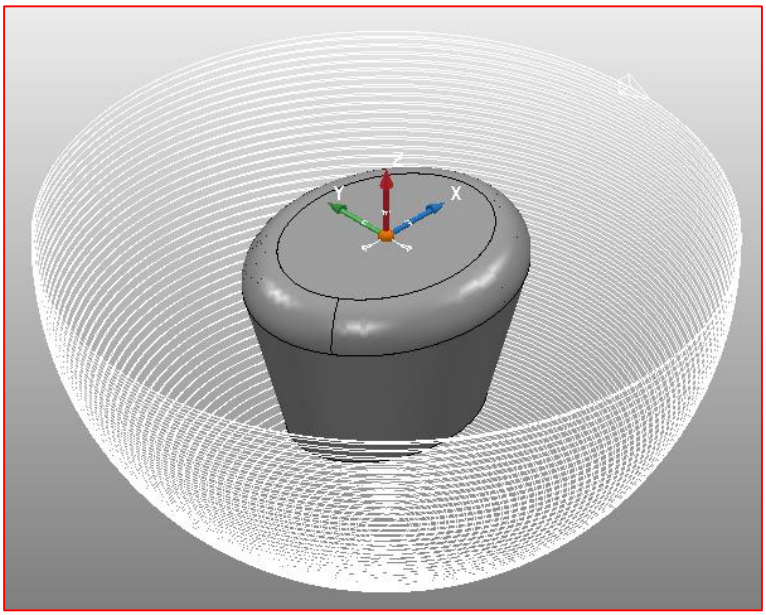


طيب انظر المسار لو كان لولبيًا (يعني Spiral بدل Circular):



بنفس المبدأ يمكن أن نرسم مسارات **الإستراتيجية Projection Point Finishing** والتي تكافئ مسقط كرة أو جزء من كرة على الرسمة.



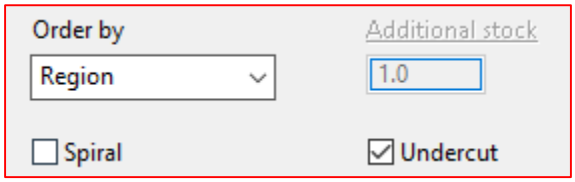


مسارات هذه الإستراتيجية تناسب المناطق الداخلية أكثر من المناطق الخارجية التي توجد في مثل المثال الذي نتناوله.

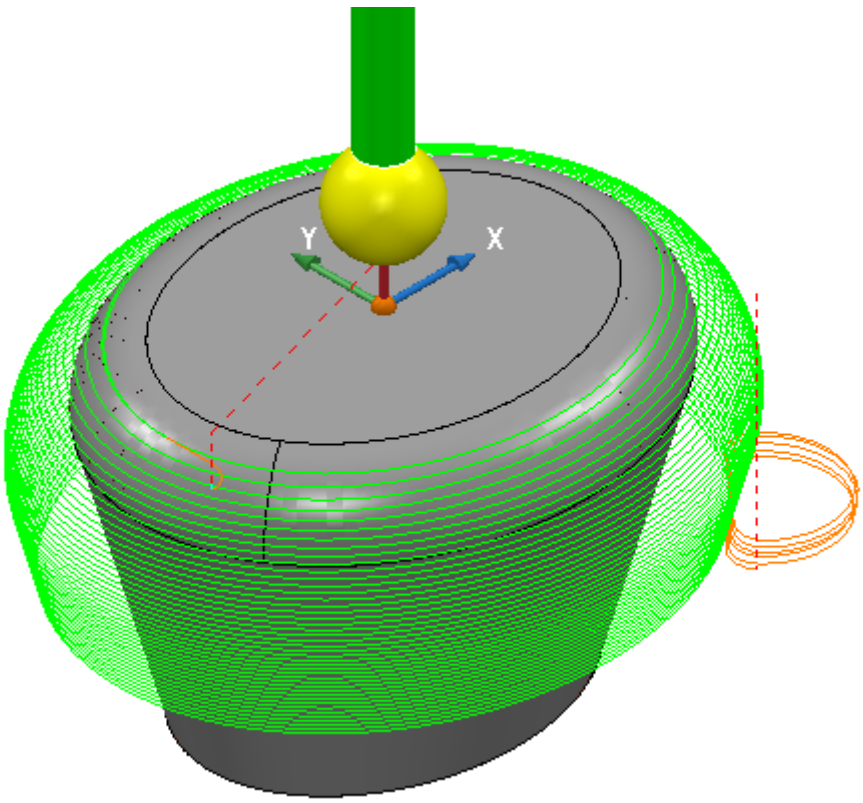
التشغيل المخفي باستخدام إستراتيجية Constant Z Finishing

تشبه مسارات هذه الإستراتيجية بتفعيل التشغيل المخفي فيها مسارات إستراتيجية مسقط الأسطوانة، التي تناولناها في الفقرة السابقة.

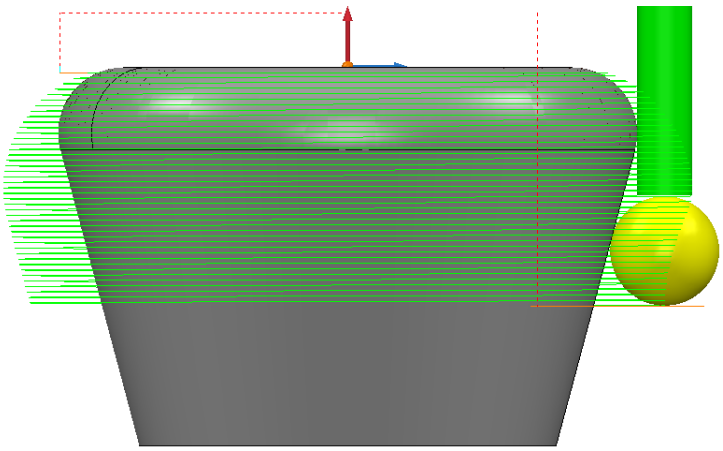
فإن أردت استخدام هذه الإستراتيجية ففعّل الخيار Undercut فيها واضبط الخامة وإعدادات الحدود بحيث ترى الأداة المنطقة المراد تشغيلها.



إليك مثالًا بإعدادات شبيهة بإعدادات مسارات الفقرة السابقة:



انظر كيف حسب المسار حساب جسم الأداة فلم يحقق عمق القطع كله (الخامة بارتفاع الرسمة):



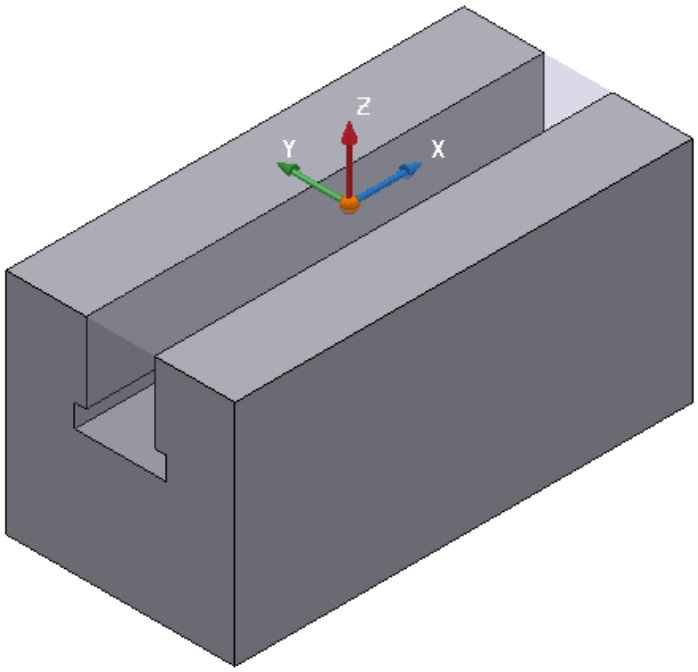
التشغيل المخفي باستخدام الأنماط Patterns

وهذه الطريقة الأكثر شيوعًا، وتناسب العمليات البسيطة، التي يمكن تعريفها بمنحنيات هي الأنماط.
سأتناول التشغيل المخفي في ما يلي من فقرات بطريقة الأنماط هذه.

تشغيل مجاري T

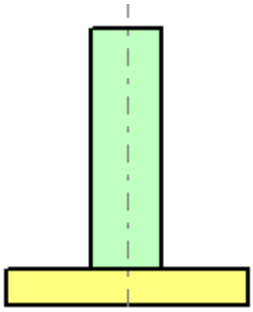
نسمي المناطق المخفية مستطيلة المقطع مجاري T.

المشغولة التالية فيها هذا المجرى:

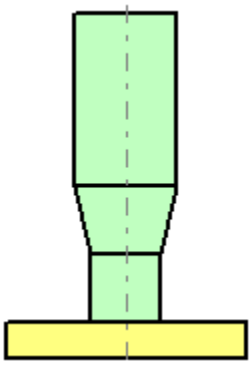


ولكن لا يلزم أن يكون شكل المجرى T لنعتبره مجرى T كما في المشغولة هذه، وإنما أي منطقة مخفية مستطيلة المقطع نعتبرها كذلك، كما سترى في القادم من الأمثلة.

نسمي الأداة التي تناسب هذا النوع من المناطق المخفية أداة مجرى T:



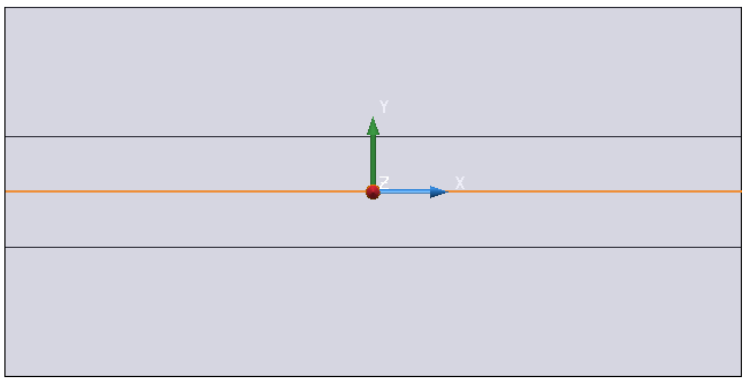
يسميها الباورميل Tipped Disc، وقد تجدها في الواقع هكذا:



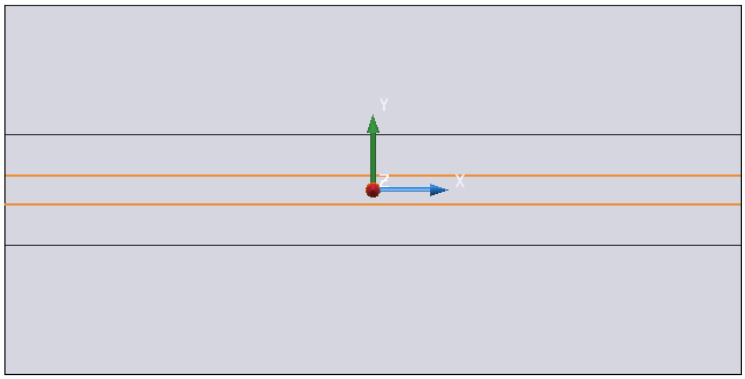
أهم ما في الموضوع أن لا يصطدم جسم الأداة بالمشغولة. (مهم)

لتشغيل هذه المنطقة سأستخدم **الإستراتيجية Pattern Finishing**، ويمكن استخدام غيرها بالمناسبة. لهذا سأرسم نمطًا أقود المسار به.

وهنا نقطة مهمة (وواقعية): قد يكون قطر الأداة نفسه عرض المجرى المطلوب تشغيله، عندها نرسم نمطًا فيه خط في منتصف منطقة التشغيل ليقاد المسار به:



وقد لا يكون القطر كذلك، عندها يرسم خطان، يبعدان عن حواف المنطقة المخفية مسافة هي نصف قطر الأداة:



الأمر أشبه بتشغيل المناطق الضيقة، وبالتحديد مجاري السيليه OLC (مجاري يوضع فيها جوان لمنع تسرب ماء التبريد في قوالب الحقن): لا يكون عادةً عرضها بقطر الأدوات المتاحة.

والأفضل طبعًا أن تكون الخطوط في أدنى نقطة، لكنه ليس لزامًا، فالأمر إليك.

إن كان ارتفاع المجرى بارتفاع سلاح الأداة عندها يحدث التشغيل بخط واحد. قد يفوق هذا في الواقع قدرة الأداة على التشغيل، فنضطر لاستخدام أدوات بأقطار أصغر أو بارتفاعات أسلحة أصغر ليكون العمل على مراحل. ولكننا نتجاهل هذه النقطة هنا للتركيز على طريقة التشغيل بالدرجة الأولى.

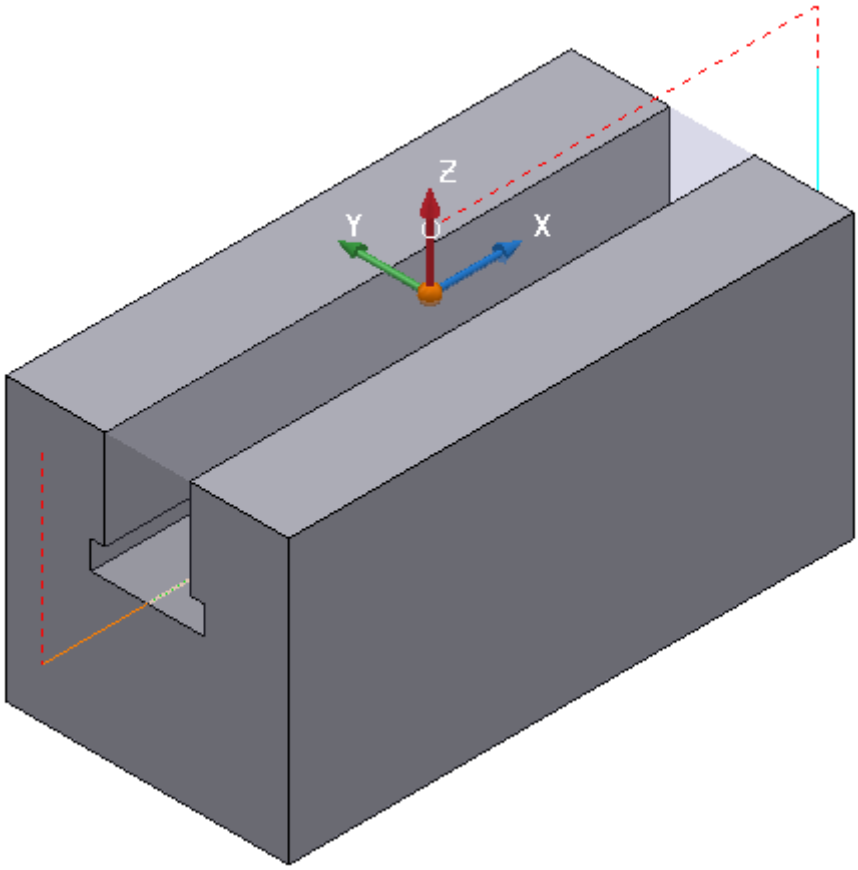
إليك إعدادات المسار إن كان بخط واحد:

- Limit
  - Block > Limit: Limit tool center to block edge.
- Pattern Finishing
  - Lower Limit > Base position: Drive Curve.
  - Lower Limit > Axial offset: 0.0.
  - Gouge avoidance > Gouge check = false. [1]
- Multiple Cuts
  - Mode: Off
- Leads and Links
  - Lead in > 1st > Extended Move, length $D_C/2$ +1.
  - Lead out > 1st > = Lead in.
  - Links > 1st > Incremental
    - Apply constraints = false.
  - Links > Default > Incremental.

[1] إذا لم ترغب بإلغاء فحص المسار فاترك خامة سلبية، ولو 0.01-؛ لأن الباورميل يظن أن الأداة الأداة مصطدمة بالمشغولة، فيرسم المسار متقطعًا أو لا يرسمه أصلًا.

- Gouge Check = false.

انظر:

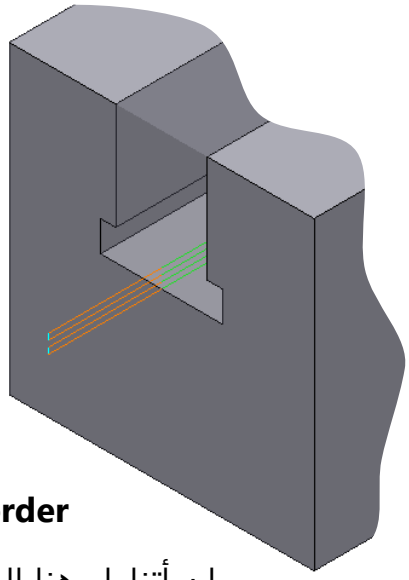


انظر كيف تدخل الأداة في المسار بعيدًا عن المشغولة بمسافة تزيد عن نصف قطرها، وتنسحب منه كذلك. (مهم)

إذا لم يكن ارتفاع المجرى بارتفاع سلاح الأداة عندها لا بد من تشغيل المجرى على مراحل. هذا ما سيختلف:

- Multiple Cuts
  - Mode: Offset Down
  - Upper Limit: h – h_C.
  - Stepdown: dz.
- Leads & Links
  - Links > 1st > Stepdown
    - Apply constraints: Link ≳ dz.
  - Links > 2nd > Incremental

- Apply constraints: false.

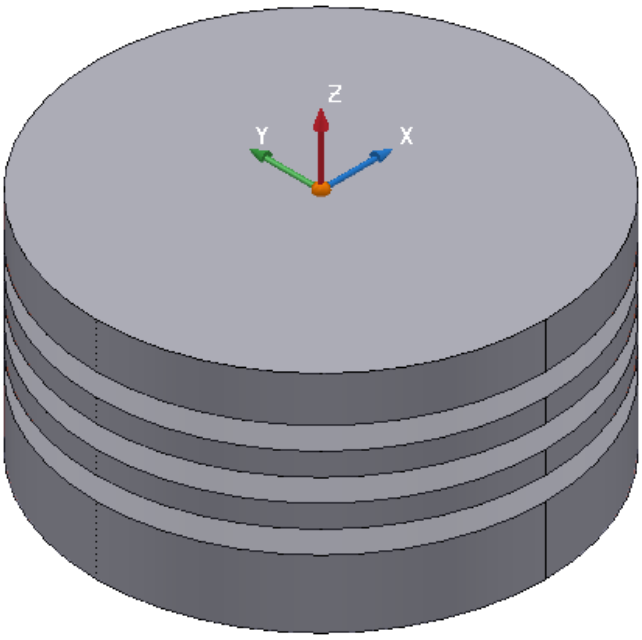


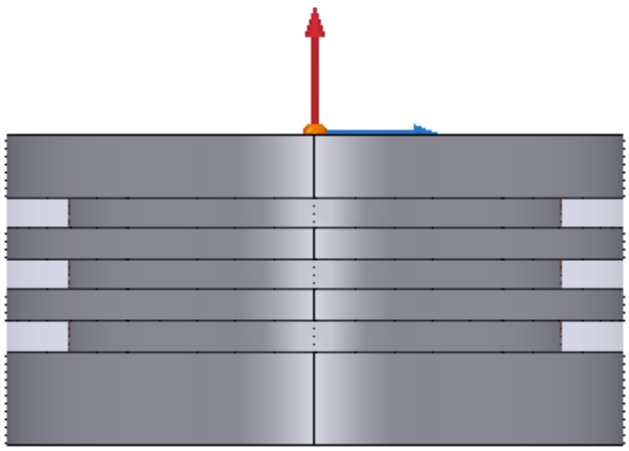
عرّفنا أدنى نقطة في المسار بنفس ارتفاع خطوط النمط (كنا قد جعلنا Lower Limit > Axial Offset: 0.0)، ومنها حددنا أعلى نقطة: ارتفاع المجرى إلا ارتفاع سلاح الأداة. وبالنسبة للنقلة القصيرة فلا بد من تقييدها تجنبًا لأي نقلة كارثية. أريدها هنا زيادة عن عمق القطع بمقدار بسيط.

تبقى نقطة أخيرة مهمة: سلوك مسارات إستراتيجية الأنماط هو أن تتحرك المسارات باتجاه خطوط الأنماط، أي أنك ستجد الخطوط كلها باتجاه واحد. لهذا فإنه لا بدّ من عكس اتجاهها يدويًا. نعكس الاتجاه بتعديل المسار، وذلك **بأداة ترتيب خطوط المسار Toolpath Segments Reorder**، وبالتحديد **بالأمر Alternative Directions**.

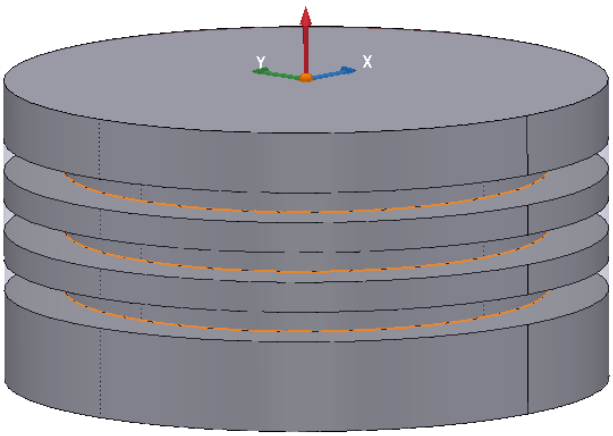
لن أتناول هنا الحالة التي لا يكون عرض المجرى فيها نفسه قطر الأداة، لأني سأتناول نفس الفكرة في الأمثلة القادمة، ولكني سأنفذها **بالإستراتيجية Wireframe Profile Machining** لا **الإستراتيجية Pattern Finishing**، مع أنها يمكن أن تؤدي الغرض، لكن الإستراتيجية الأخرى مخصصة أكثر في حالات كهذه؛ فهي من ناحية تعكس خطوط المسار تلقائيًا (إن كانت المسارات مفتوحة، كمثالنا هذا)، وهذا ألطف ما فيها، وتعوض قطر الأداة من ناحية أخرى.

مشغولة أخرى فيها مجاري T، أو بكلام آخر أكثر عمومًا مجاري مستطيلة المقطع:

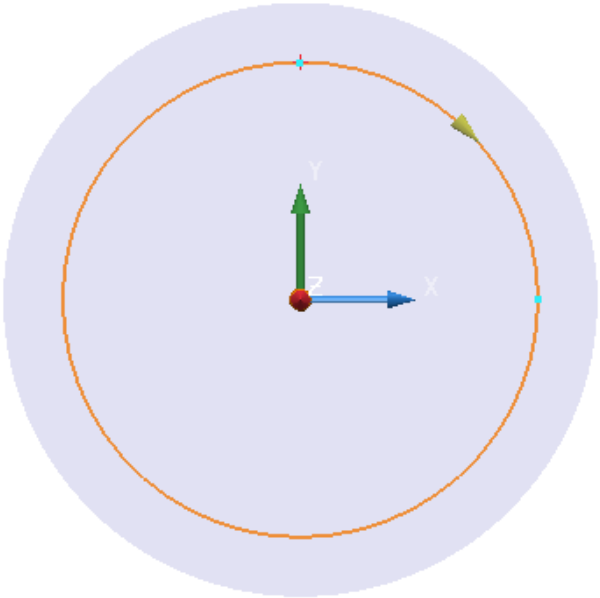




نرسم الأنماط بحيث نعرّف المسار الذي نريد، ونرسمها بما يتوافق مع ما سنضبطه من إعدادات في المسار. هنا مثلًا رسمت الخطوط في أدنى نقطة من المنطقة المخفية، لهذا فإني سأضبط الإعدادات بحيث لا تتحرك الأداة تحتها، بل قد تتحرك فوقها، بحسب ارتفاع الأداة، وارتفاع المنطقة المخفية. مرة أخرى: الأمر اختياري، المهم أن تضبط إعدادات المسار بحيث يعتمد بشكل صحيح على خطوط النمط المستخدم.



إن أردت **الإستراتيجية Pattern Finishing** فإني أحسب حساب نصف قطر الأداة فأزيح المنحنيات بمقدارها. ولكني أريد **الإستراتيجية Wireframe Profile Machining**؛ فهي تأخذ قطر الأداة بعين الاعتبار، فترسم المسار على يمين المنحنيات أو يسارها. وقبل أن أنشئ مسارًا من هذه الإستراتيجية سأرى اتجاه خطوط النمط؛ كونها ترسمه على يمين الخطوط أو يسارها كما تقدم منذ سطرين:



أخفيت الرسمة لتتضح الخطوط أكثر. في هذه الحالة أريد الأداة أن تتحرك على يسار الخط.

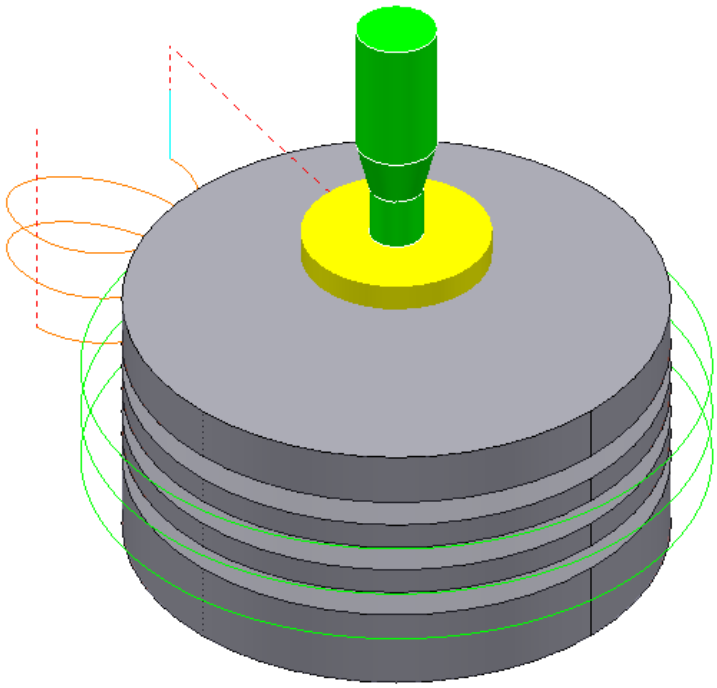
إليك إعدادات المسار الذي أريد:

- Limit
  - Block > Limit: Allow tool center outside the block.
- Wireframe profile machining
  - Drive Curve > Curve side: Left.

- Lower Limit > Base position: Curve.[1]
- Lower Limit > Axial offset: 0.0.
- Gouge avoidance > Gouge check = false.
- Curve thickness: 0.0.

- Multiple Cuts
  - Mode: Off
- Leads and Links
  - Lead in > 1st > Horizontal arc right, length 0.0, angle 90, radius $D_C/2$ +1.
  - Lead out > 1st > = Lead in.
  - Links > 1st > Circular Arc
    - Apply constraints = false.[2]
  - Links > 2nd > Incremental
    - Apply constraints = false.
  - Links > Default > Incremental.
  - Gouge check = false.

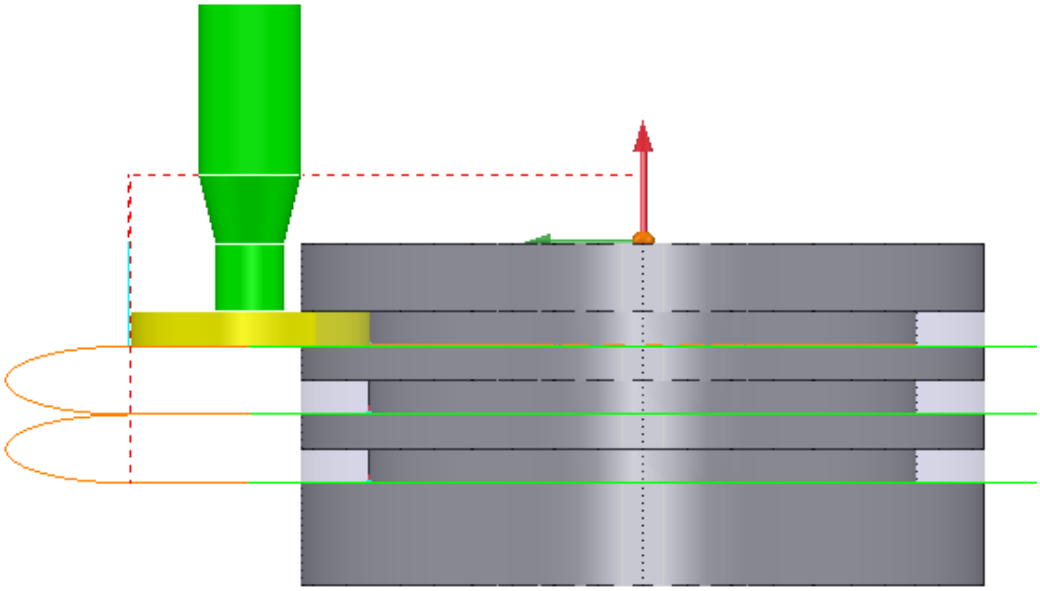
فإذا حسبت المسار:



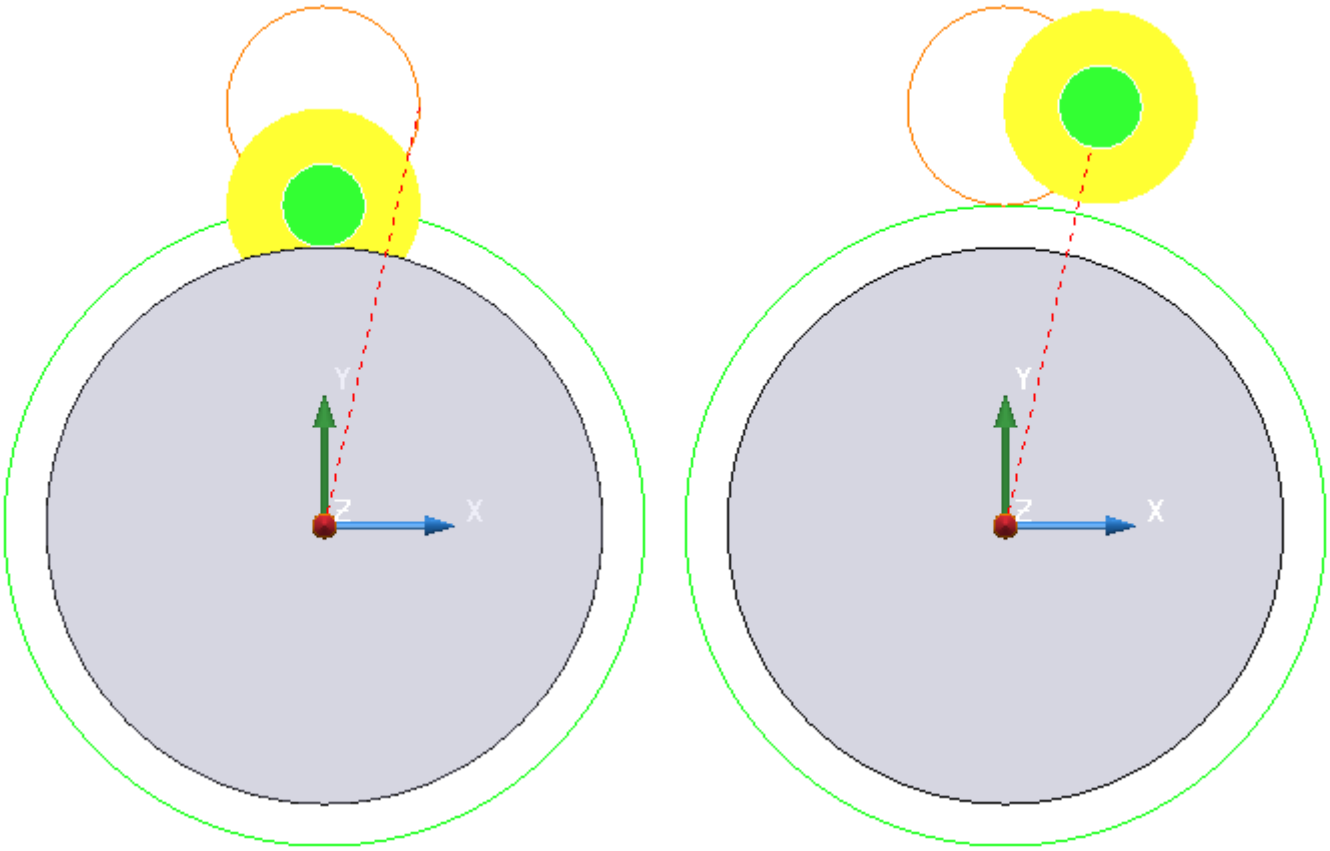
[1] لو أنك جعلت Base position = Model لكان عليك تحديد السطح الذي تريد تعريف المسار به، ولما كنت بحاجة للأنماط، ولكن الأفضل والأسهل والأنظف تعريف المسارات بالأنماط. مشكلة اعتمادية الكائنات على الرسومات هو أنها قد تعدَّل أو تحذَف أو تستبدَل؛ فيُفقد التحديد إن أريد تعديل الكائنات المعتمدة عليها. للمزيد انظر **فقرة تظبيط الشغل** في **فصل المدخل**.

[2] في الواقع ليس من الأمان أن لا تقيَّد النقلة الأولى، على الأقل الأولى، والأفضل أن تقيَّد بقيمة تزيد عن المسافة بين الخطوط التي يراد أن تكون النقلة بينها بها بمقدار بسيط؛ فإن كانت المسافة بين الخطوط 10 مم مثلًا، فاجعلها 11 مم أو أكثر بقليل.

أهم نقطة: ادخل واخرج من المسار بعيدًا عن المشغولة (مهم). انظر إلى الأداة:



انظر إليها وهي تدخل في بداية المسار، وانظر إليها وهي تدخل في خطوط المسار، وكيف أنها عندما كانت في البدايات كيف كانت خارج المشغولة، وعندما صارت في خطوط المسار كيف تحركت فيها:



قد ترسم الخطوط بترتيب خطأ، عندها رتبها يدويًا من **الأداة** **Toolpath Segments** **Reorder**.

أفضل النقلات تلك التي تتحرك بالمنحنيات، كالنقلة Circular Arc والنقلة On Surface. في حالتنا نقلة الأقواس هي المناسبة.

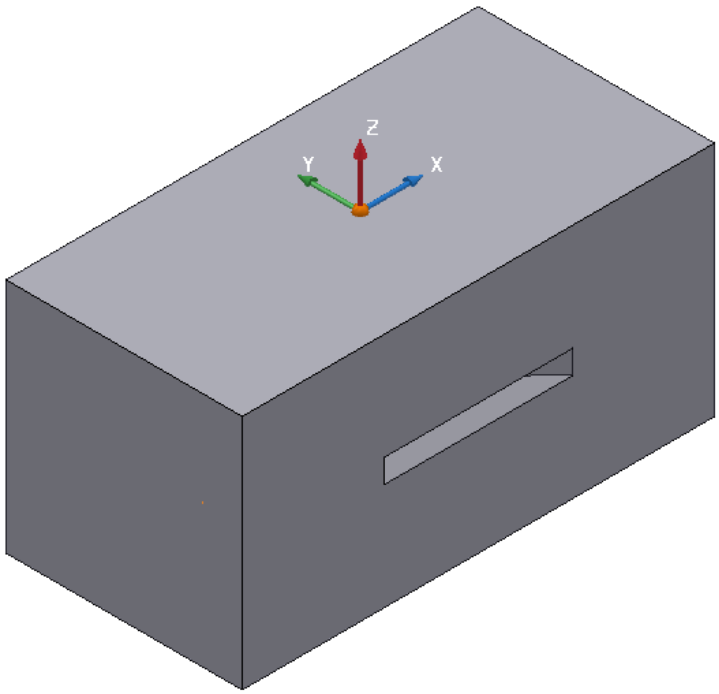
في هذا البرنامج افترضت أن الأداة قادرة على تشغيل عرض المنطقة المخفية بباص واحد، وأنها بارتفاعها. في الحالة العامة لا يكون الأمر كذلك، وإنما نشغل المناطق المخفية على باصات. وقد تكون الأداة بارتفاع المنطقة المخفية وقد لا تكون. فإن لم تكن بارتفاعها جعلنا المسار على مراحل بحيث تغطي الأداة كل الارتفاع المطلوب. المهم: إن أردت التشغيل على باصات فاجعل Multiple Cuts = Offset Down، واضبط أعلى نقطة بالنسبة لخطوط النمط المستخدم في تعريف المسار وعمق القطع. وانتبه إلى النقلات: لا بدّ من الخروج من المشغولة ثم الانتقال. (مهم)

أمر آخر: انظر كيف أن جسم الأداة (الملوّن بالأخضر) على وشك أن يمس المشغولة، إن لم يكن في أول منطقة مخفية ففي المناطق التي تليها، بسبب الشكل الهندسي للأداة، وبالتحديد الشكل الهندسي لجسمها. انظر في الصورة مرة أخرى وتخيلها في غير الخط الأول. وهذا خطر؛ فأخطاء هذه الأدوات كبير. اختر أدوات التشغيل المخفي بحيث تكون أجسامها بعيدة عن المشغولة دائمًا، ولو مسافة بسيطة.

المشغولة المدروسة هنا هي حالة خاصة: فيها ارتفاع الأداة بارتفاع المنطقة المراد تشغيلها، والمنطقة مكررة بخطوة ثابتة. لذا: كان من الممكن رسم خط واحد في النمط وإنشاء المسار بحيث يتحرك باتجاه الأسفل بخطوة الرسم.

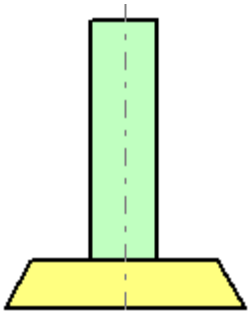
قد يكون لطيفًا أن تضبط سرعة التغذية بحيث تكون متغيرة، فتكون سريعة في النقلات ثم تأخذ السرعة المناسبة في المشغولة. وعلى فكرة يمكن أن تكون متدرجة. إن أردت هذا فانظر **فقرة السرعات والتغذيات** في **فصل المفاهيم**. ستجد فيها كلامًا عن معاملات السرعات في البدايات والنهايات، وستجد فيها كلامًا عن تغيير السرعات في مناطق معينة. وانظر أيضًا فقرة **ظروف التشغيل المخفي** في آخر هذه الفقرة.

مشغولة أخرى فيها مجرى T، ولو أنه لا يبدو كذلك:



تشغيل مجاري V

نسمي هذه المنطقة مجرى V (الحرف الإنكليزي ما غيره)، وكل تشغيل مخفي على شكل زاوية نسميه كذلك. الأداة المناسبة لهذا التشغيل تسمى أداة تشغيل مجرى V، ويسميها الباورميل Dovetail.



في الحالة العامة توجد هذه الأدوات في الواقع بحدودها القاطعة فقط، أي بلا أجسام. ثم نربطها بأجسام عند التشغيل. وقد تكون الأجسام بقطر واحد، وقد تكون بأقطار متعددة، وذلك بحسب ما عندنا من أجسام في مكان العمل، أو بحسب ما تأتي به الأداة إن كانت بأجسام أصلًا.

وتأتي هذه الأداة بزوايا كثيرة، ولكن أكثر الزوايا شيوعًا: 60°، و75°، و80°. والمناطق التي تشغلها تأتي بمقطع كمقطع الأداة بنفس الزاوية كما في الصورة المجاورة. قد تأتي بمقطع مقلوب، لا أداة تقابلها في هذه الحالة في الباورميل، وإنما نرسمها كما في مثال آخر هذه الفقرة.

إن أردت الاعتماد على الأنماط إليك معادلات تحدد موقع الأداة بالنسبة للخطوط التي تمثل الزوايا الداخلية في المنطقة المراد تشغيلها:

$$b = \frac{a}{\tan(\theta)}$$

بشرط:

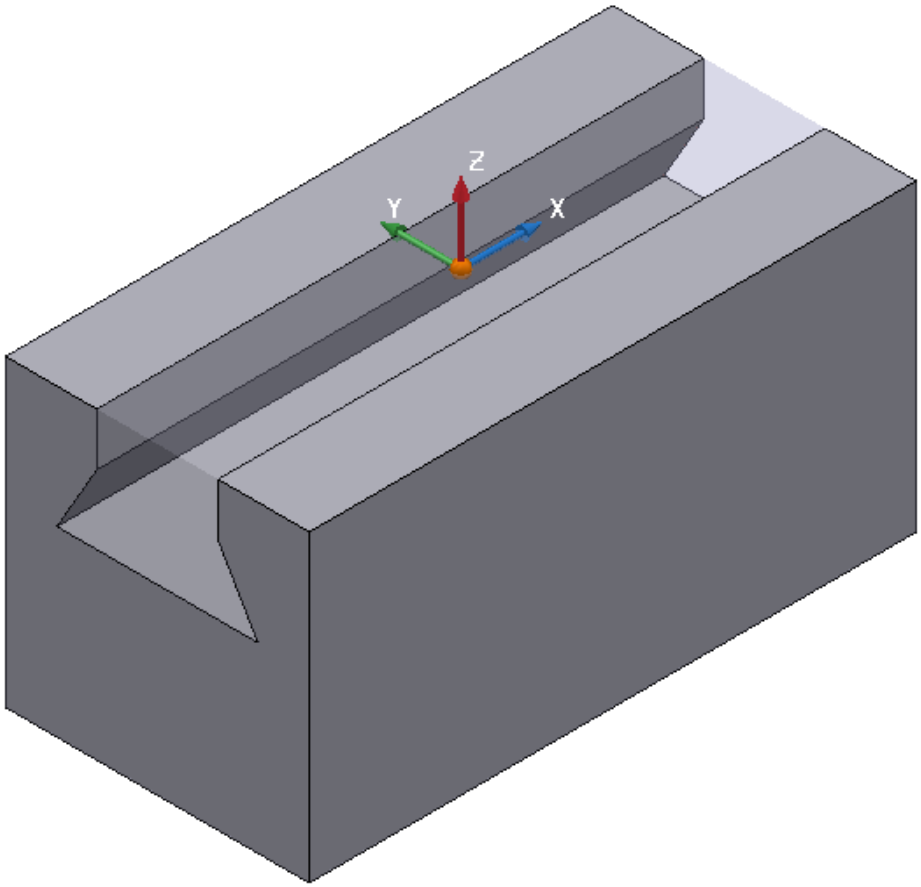
$$b \leq \frac{W - D_C}{2}$$

حيث

- D_C قطر أداة القطع.
- W عرض المنطقة المخفية.
- a بعد حافة أداة القطع عن حافة المنطقة المخفية عمقًا (بالاتجاه z).
- b بعد حافة أداة القطع عن حافة المنطقة المخفية عرضًا (في مستوي القطع).
- θ زاوية المنطقة المخفية.

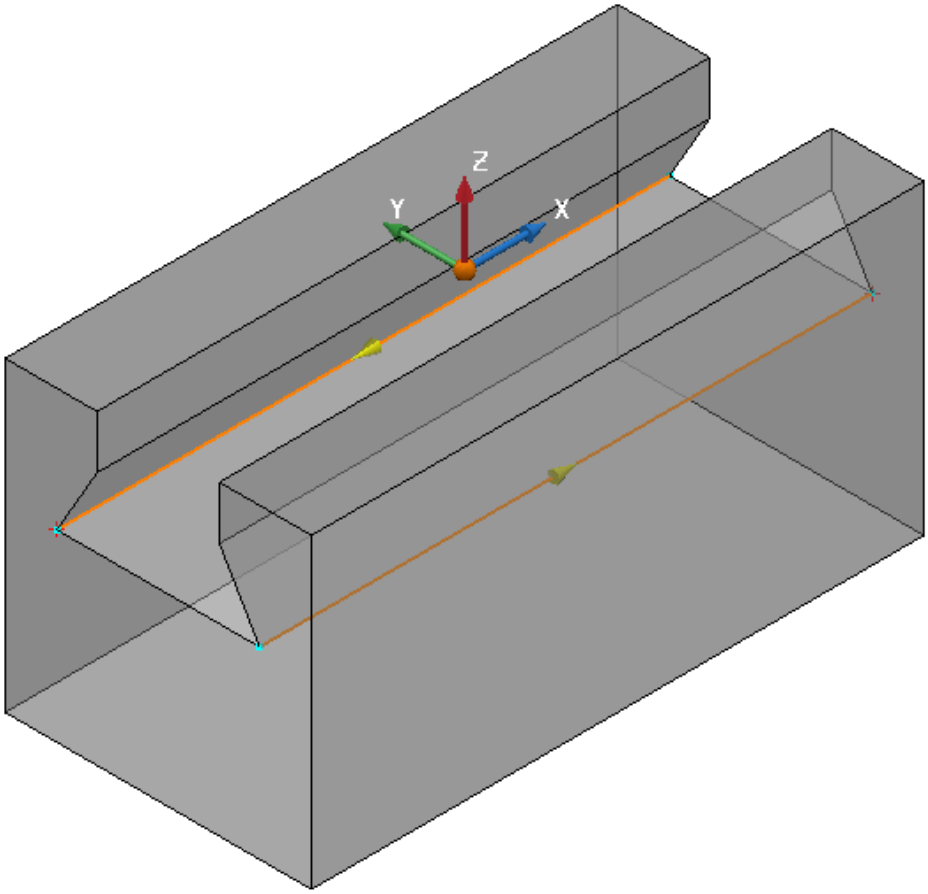
فإن تجاوزت بعد الحافة عرضًا الشرط المفترض أعدنا الحسب فحسبنا البعد عمقًا من أكبر قيمة للبعد عرضًا (ثمة توضيح بمثال في آخر الفقرة).

خذ مثلًا هذه المشغولة:



لنقل إن قطر الأداة المتاحة أصغر من عرض المنطقة المخفية، وارتفاعها أقل من ارتفاعها؛ عندها سيكون التشغيل على مراحل. هذا بفرض أن المناطق المرئية في المشغولة مشغلة قبلًا، وما تبقى هو تشغيل المناطق المخفية فقط.

وعلى سبيل الواقعية لنقل إن ارتفاع المنطقة المخفية 11 مم، وارتفاع الأداة 5 مم؛ وبالتالي فإننا بحاجة إلى 3 باصات، إن افترضنا أن الأداة تتحمل هد كل المنطقة المخفية التي أمامها بارتفاعها كله وبأكبر عمق بحيث لا يصطدم جسمها بالمشغولة.



غيرت شفافة الرسمة من **الأمر Model > Translucency**، لتبان الخطوط ويتضح اتجاهها. ثم أعدتها من غير شفافية لاحقًا. سأستخدم **الإستراتيجية Wireframe Profile Machining**، وفيها نحدد اتجاه تعويض قطر الأداة، وهو على يسار الخطوط كما ترى.

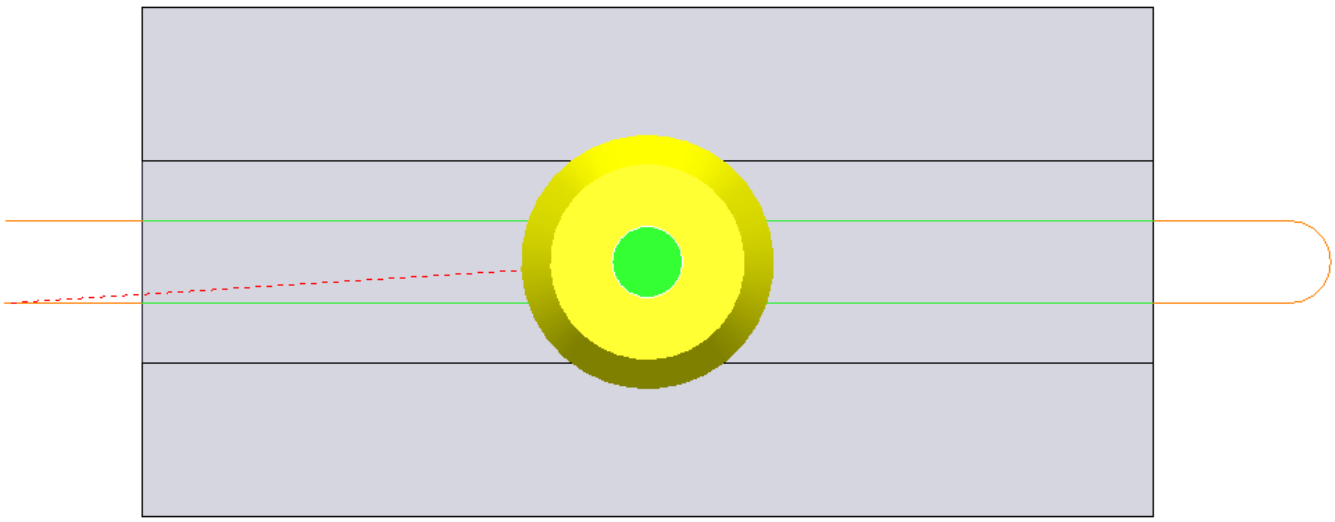
وهذه إعدادات المسار:

- Limit
  - Block > Limit: Limit tool center to block edge.
- Wireframe profile machining
  - Drive Curve > Curve side: Left.
  - Lower Limit > Base position: Curve.

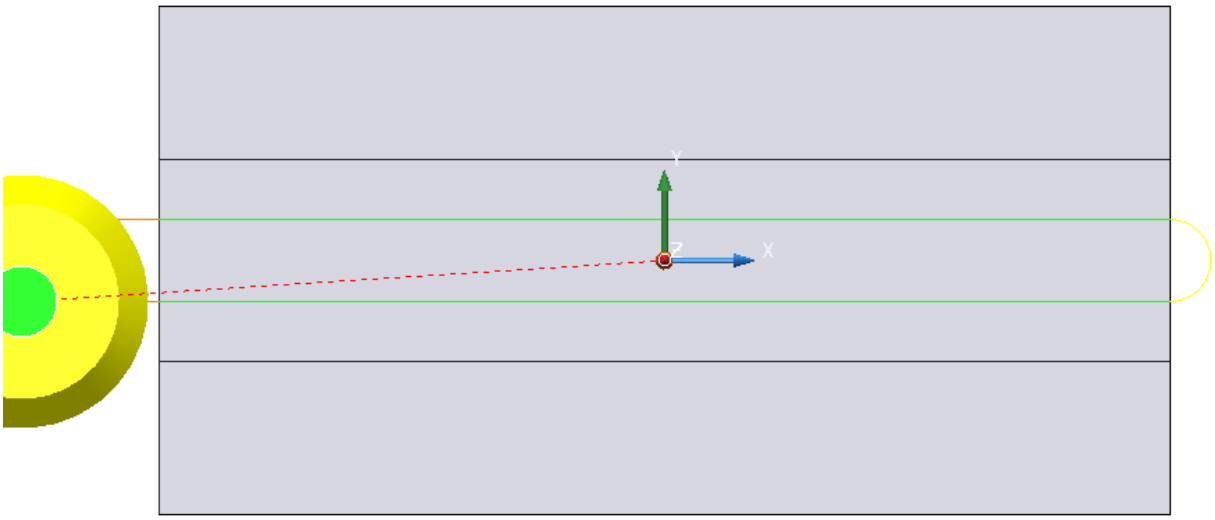
- Lower Limit > Axial offset: 0.0.
- Gouge avoidance > Gouge check = false.
- Curve thickness: 0.0.

- Multiple Cuts
  - Mode: Off
- Leads and Links
  - Lead in > 1st > Extended Move, length $D_C/2$ +1.
  - Lead out > 1st > = Lead in.
  - Links > 1st > Circular Arc
    - Apply constraints = false.
  - Links > 2nd > Incremental
    - Apply constraints = false.
  - Links > Default > Incremental.
  - Gouge check = false.

عندها:

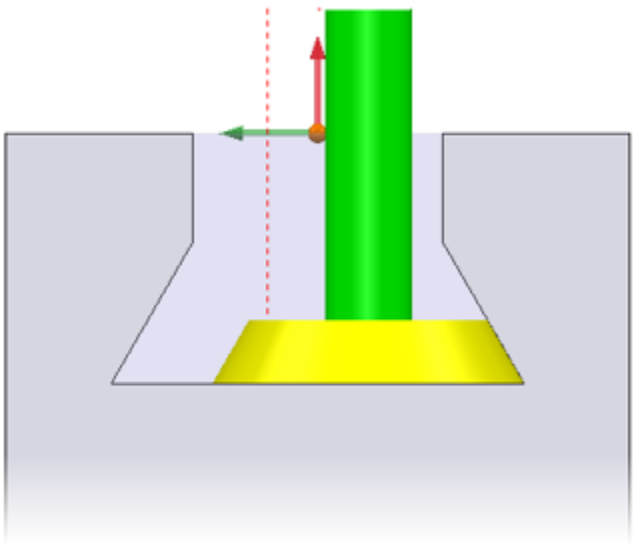


ولا بأس إن أردت أن لا تمد خطوط المسار إلا في ناحية النقلات السريعة، وذلك بتحديد نقلات بعينها وتعديلها:



هنا حددت النقلات التي على اليمين والتي كان فيها تمديد للمسار وجعلتها بلا بدايات ولا نهايات، فعُدلت وحدها دون غيرها في المسار. وهذا لا بأس به لأن الحركة في مستوي العمل ولا تحدث في الاتجاه z. والأفضل أن تتركها ممددة ولو 1 مم. أما إن كان يمكن للأداة أن تتحرك في الاتجاه z فلاحظ كيف تدخل الأداة في المسار وهي تبعد عنه مسافة تزيد عن نصف قطر بـ 1 مم، أي مسافة التمديد Extended Move = D_C / 2 + 1.

في الواقع ما حسبته هو آخر باص:



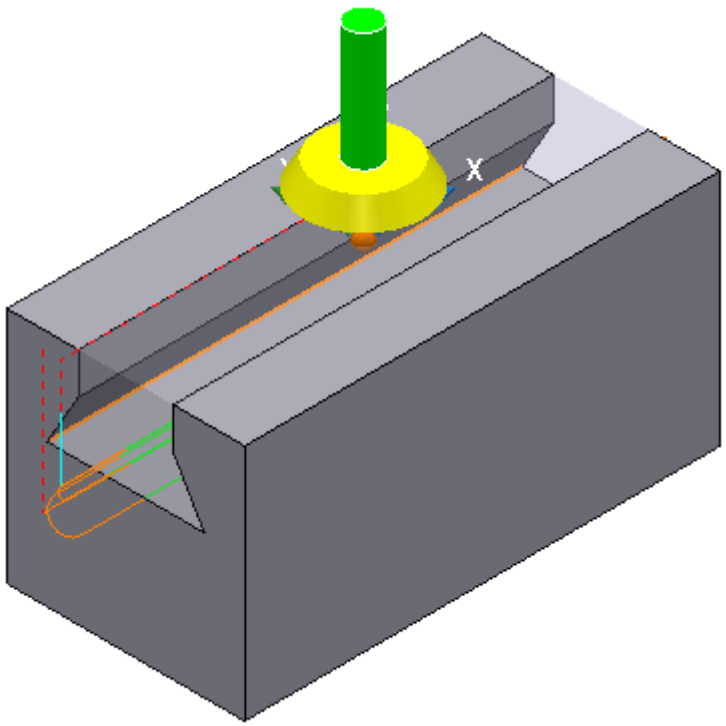
لنقل إن الأداة تتحمل التشغيل بارتفاعها كله. عندها نحتاج مسارين بنفس الإعدادات باختلاف موقع المسار من النمط، أي انسخ المسار وعدل فيه الإعدادات التالية:

- Wireframe profile machining
  - Lower Limit > Axial offset: a.
  - Curve thickness: a / tan(60).

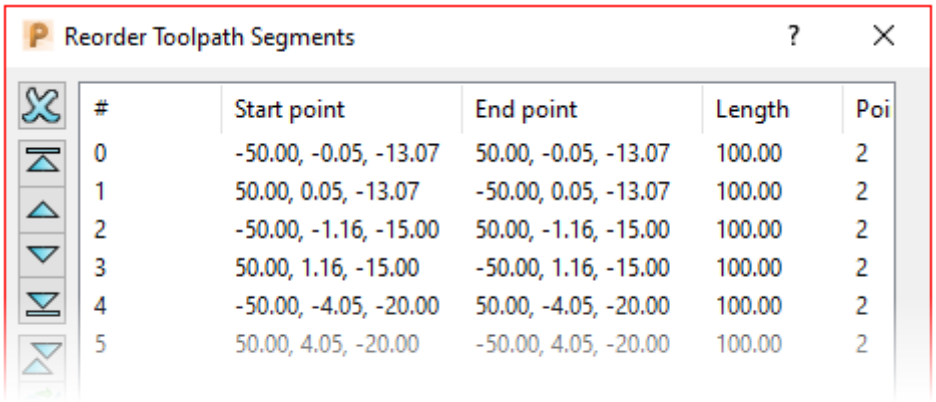
القيمة a هي ارتفاع الأداة فوق النمط المستخدم، والذي يمثل حافة المنطقة المخفية. انظر المعادلات في أول الفقرة ففيها تعريف هذا البعد. وتذكر أنه لا يجوز أن تتجاوز القيمة a / tan(60) نصف الفرق بين عرض المجرى المخفي وقطر الأداة. فإن تجاوزتها أعدنا حساب القيمة a بما يوفق أكبر قيمة يمكن أن تأخذها قيمة البعد عرضًا.

افترضنا أن ارتفاع الأداة 5 مم، وبالتالي فإن أول مسار تنسخه فيه a = 5 وb = 2.887، ولكن في ثاني مسار عندما وضعت a = 10 كانت b = 5.773. لنقل إن الشرط الذي ذكرناه في المعادلات غير محقق هنا، حيث b لا يجوز أن تتجاوز 4 (سايرني وافترض معي)، وبالتالي نحسب a منها فتكون a = 6.928.

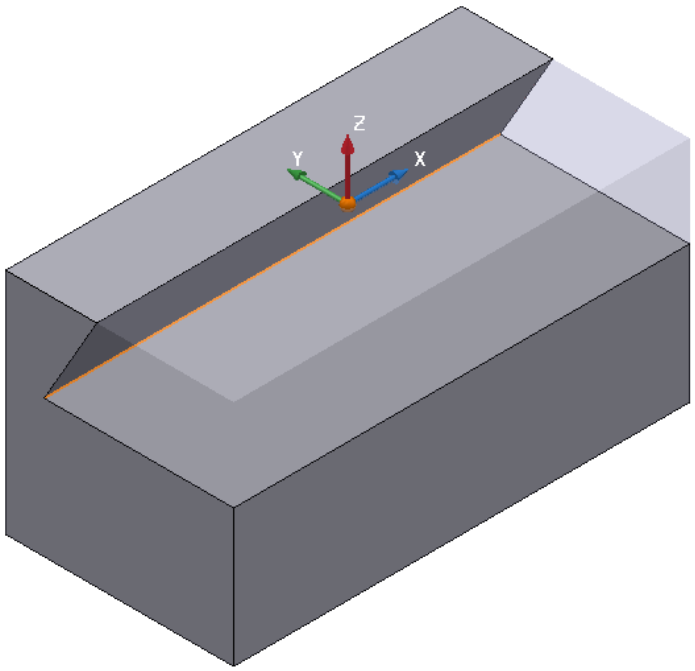
ستحتاج أن تنسخ المسار مرتين. ثم إضافتهم إلى مسار واحد، أو ضمهم إلى برنامج واحد. والضم أفضل. ولك أن تشغل كل برنامج لوحده. إن أضفت المسارات إلى مسار واحد طبق على المسار الجديد نقلة قصيرة بقوس دائري.



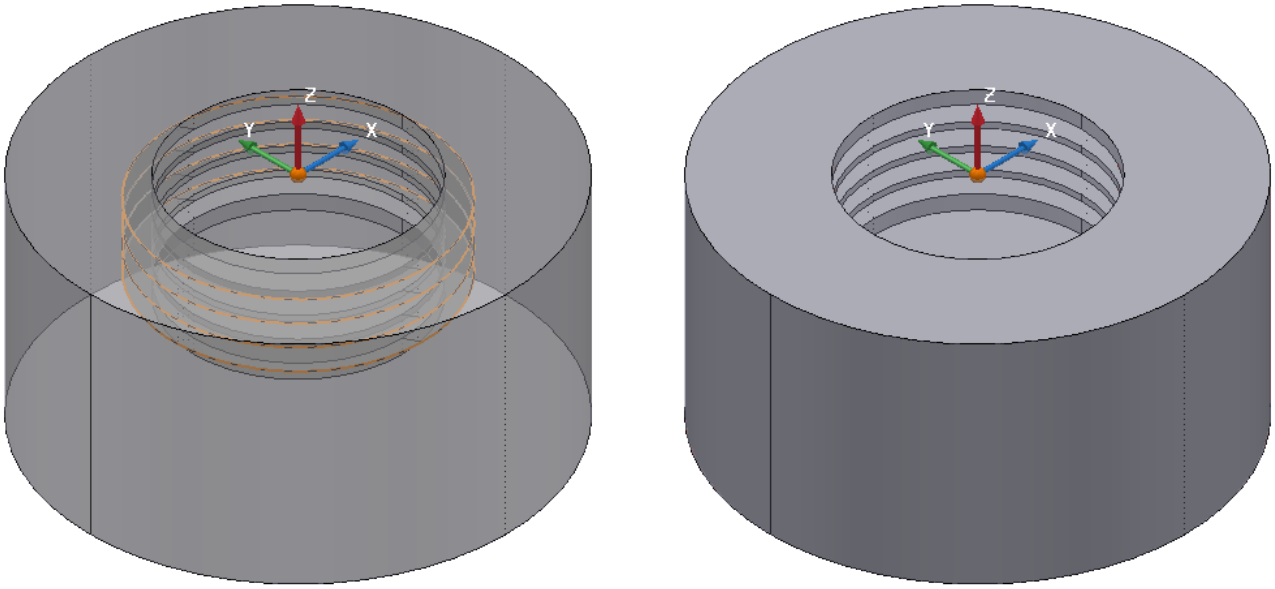
ثم تأكد من أن التشغيل يكون من الخطوط الأعلى إلى الخطوط الأدنى:

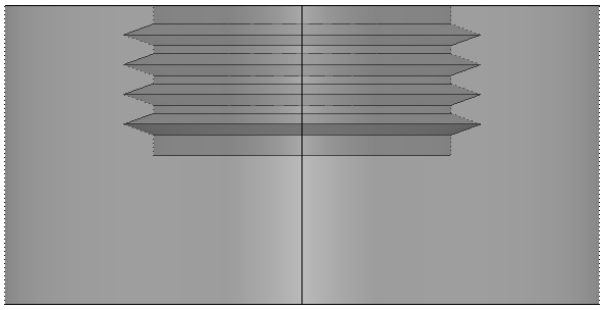


وهذا مثال آخر، شائع أيضًا، وأسهل من مثالنا السابق:



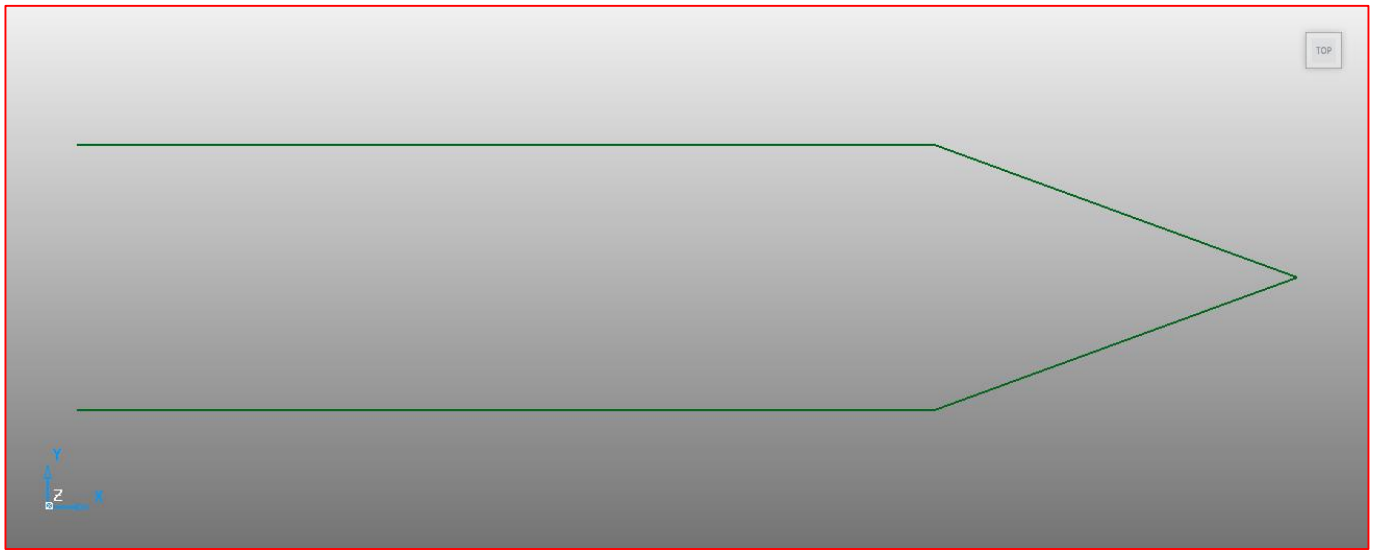
وهذا مثال آخر، أقل شيوعًا، وأصعب نوعًا ما من كل ما سبق:





والصعوبة هنا في الواقع في إدخال الأداة وإخراجها. في هذه الحالة اجعل بدايات ونهايات المسار: Pocket Center؛ كونها منطقة صغيرة. فإن كانت كبيرة اجعلها Horizontal Arc، بحيث تبتعد الأداة عن المشغولة تمامًا. (مهم)

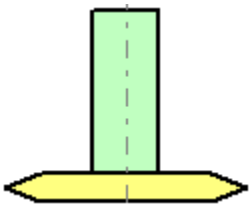
اختلاف آخر بين التشغيل المخفي هنا وبين التشغيل المخفي في المشغولات السابقة هو في شكل التشغيل نفسه. صحيح أنها كلها مجاري V، لكنها كما ترى مختلفة في المقطع. الأداة التي استخدمناها سابقًا كانت حدودها القاطعة مشطوفة من الأعلى، أما من الأسفل فهي كأي أداة عادية أخرى. الأداة التي نحتاجها هنا مشطوفة من الناحيتين، ولا تمثلها أي أداة من أدوات القطع المتاحة، وإنما ينبغي رسمها. تناولنا رسم الأدوات في **فصل المفاهيم**، وبالتحديد عندما تناولنا إنشاء الأدوات. يمكن الرسم من الباورميل، لكن الرسم في الباورشيب أسهل. انظر:



مبدأ الرسمة النقطة O(0, 0)، والرسم في المستوي XY.

لنقل إن الأداة مشطوفة من الأعلى بزاوية 20° ومن الأسفل كذلك. في الواقع رسمت رسمًا تخطيطيًا في برنامج SolidWorks فعرفت مواقع النقاط وحددتها في الباورشيب. ثم صدّرت الخطوط على شكل ملف dgk.

ثم استوردت الأداة في الباورميل:



وقد رسمت جسم الأداة كما هو عندي في الواقع. لنقل إنه بالشكل الذي في الصورة.

ظروف التشغيل المخفي – السرعات والتغذيات والباصات

يحتاج التشغيل المخفي لمعاملة خاصة ليس فقط في طريقة رسم المسار أو طبيعة أدوات القطع، وإنما أيضًا في ظروفه التشغيلية.

ما عندي تجربة طويلة في التشغيل المخفي، لذا لا يمكنني تقديم قيم تجريبية في هذه العمليات التشغيلية. ولكن ما يمكن أن أخبرك به أنها تعمل بسرعات دوران منخفضة، بضعة مئات، وأحيانًا أقل. وبطبيعة الحال سرعات التغذية أقل وأقل. أما الباص، عمقًا، أو عرضًا، فإنها في الحالة العامة تستحمل قيمًا كبيرة نسبيًا مقارنة بالأدوات العادية التي تعمل بنفس الخامات. قد نشغل المناطق المخفية بباص واحد بالمناسبة. وقد لا تستطيع الأداة ذلك. وقد نشغل باصًا أخيرًا فيما يشبه الإنهاء نترك له خامة صغيرة جدًا قد لا تتجاوز 1 ديزييم (ولكنه في الواقع ليس إنهاءً).

برامج اختبار الشغل Test Programs

إن لم تكن متأكدًا من جاهزية بيئة العمل أو الخامة أو البرامج فشغل برامج تختبر فيها الشغل، قبل أن تلبس في تشغيل قد يؤدي إلى كوارث. في هذه الفقرة تفصيل هذه البرامج.

ننشئ هذه البرامج إما **بإستراتيجية Constant Z Finishing** **أو بإستراتيجية Pattern Finishing** في الحالة العامة. واستخدام إستراتيجية الأنماط أفضل. وقد ننشئها بغيرها؛ المهم أن نجعل الأداة تتحرك إلى المواقع التي نريد. هذه البرامج تتحرك في ارتفاع المستوي الصفري أو أعلى منه، في الحالة العامة. يجب أن لا يتخطى أي من برامج الشغل برامج الاختبار.

وقد يكون الاختبار بالنظر إلى النقاط الحدية في البرامج بالمناسبة. [1]

نقطة مهمة ضعها في ذهنك وأنت تقرأ الفقرات التالية: إذا كان في الشغل أدوات قطع تفصل المشغولات عن خامتها، أو تخاف أن تصطدم بالمثبتات؛ فاجعل أدوات الاختبار بها، أو بما يكافئها.

اختبار هل تكفي الخامة المشغولة

وهو برنامج يحيط بالمشغولة.

حتى تكفي الخامة المشغولة لا بد أن تزيد عنها في الأبعاد كما يلي:

- مسافة كافية لإنهاءها.
- مسافة كافية لتثبيتها.

إليك حالتان شائعتان للخامات:

- بلاطة حديد، غالبًا ما تمسك بمغناطيس أو بملزمة أو بربطها بقطعة وتثبيت القطعة، أو بظرف إن كانت أسطوانية. وهنا تزيد الخامة عن البلاطة مسافة حوالي 2 مم في كل اتجاه، أو أي قيمة تحقق تسامح الإنهاء. أي إن كانت أبعاد البلاطة مثلًا 20 x 30 سم^2 مثلًا، فإنه يكفيها خامة بأبعاد 20.5 x 30.5 سم^2.
- قطعـ/ة غيار ألمنيوم، غالبًا ما تمسك خامتها بقوامط. هنا تزيد الخامة عن المشغولة مسافة تكفي الإنهاء والفصل عن الخامة والتثبيت. فإن كانت أبعاد المشغولة 20 x 30 سم^2 مثلًا، فإنه يجب ألا تقل الخامة عن 24 x 34 سم^2 إن أردت أن تثبتها في كافة الاتجاهات، أو 21 x 34 سم^2 إن أردت أن تثبتها من الناحية الطويلة فيها مثلًا.

فقرة الخامة في **فصل المفاهيم** فيها مزيد من التفصيل، فلتراجع.

وكما ترى فإننا نختبر هنا أبعد نقطة تصل إليها أداة القطع، أي نختبر موقعها (نفسها النقاط الحدية في البرامج).

[1] يمكن استثمار هذه النقطة لإنتاج أدوات برمجية هي إما تسجيلات أوامر Macros وإما إضافات Plugins تضاف إلى الباورميل.

اختبار أمان المثبتات

وهو نفسه برنامج اختبار الخامة (برنامج الفقرة السابقة) إذا تركت المشغل يحدد أماكن المثبتات بحسب ما يراه. فإذا حددتها أنت عندها يكون برنامجًا يتحرك في الأماكن التي حددتها للمشغل ليربط المثبتات فيها، وتريده أن يتأكد أنه ربطها بالموقع الصحيح.

إذا كان البرنامج هو نفسه برنامج اختبار الخامة فإننا نختبر هنا أبعد نقطة تمسها أدوات القطع، أي نختبر موقعها + نصف قطرها. فإن كانت أداة قطرها 10 مم تصل إلى النقطة 50+ في الاتجاه x فإنها ستمس أي شيء يبعد مسافة 55 مم في هذا الاتجاه عن جملة الإحداثيات.

اختبار أمان النقلات

وقد تتخطى النقلات برنامج اختبار الخامة، فتتحرك الأداة في أماكن قد يكون فيها مثبتات. عندها تنشئ برنامجًا يتحرك في أماكن النقلات هذه، وذلك برسم خطوط في نمط وتشغيلها ببرنامج الأنماط.

اختبار مساحة عمل الآلة

فإن شككت في أن برنامجًا ما قد يتخطى مساحة عمل الآلة فأنشئ برنامجًا يتحرك إلى النقاط الحدية في الشغل. في الحالة العامة لا نحتاج برنامجًا كهذا إلا إن كانت المشغولة حجمها قريب من حجم فرش الآلة، أو أننا ثبتناها على الأطراف، لسبب أو لآخر.

الملحقات

الملحق أ – أشهر الرسائل التي يرسلها الباورميل

وسيلة التواصل الأساسية بين الباورميل والمستخدم هي صناديق الرسائل التي يرسلها. وهي وسيلة تواصل من طرف واحد حينًا، ومن طرفين إن انتظر الباورميل منك ردًا أحيانًا. يرسل البرنامج هذه الرسائل:

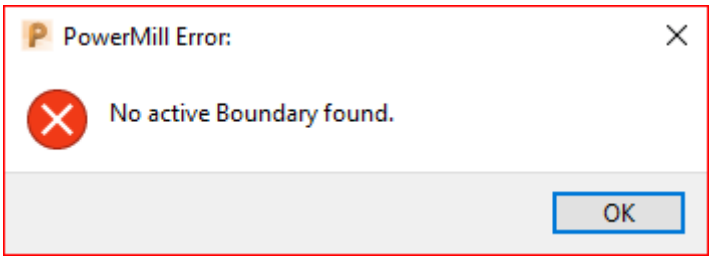
- رسائل الخطأ
- رسائل التنبيه (أو التحذير)
- رسائل الاستفهام

جمعت هنا أشهر الرسائل التي يرسلها البرنامج أثناء الشغل. وقد صنفتها هكذا:

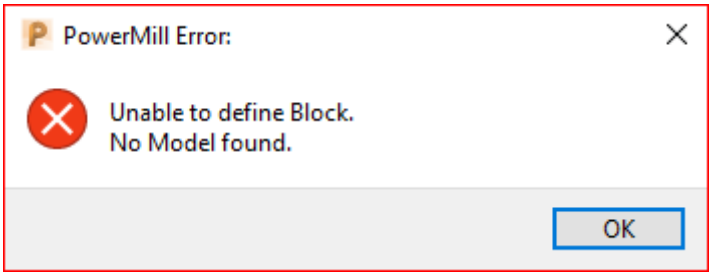
- رسائل الخامة.
- رسائل عامة في المسارات.
- رسائل مسارات الهد.
- رسائل مسارات الأنماط.
- رسائل مسارات التثقيب.
- رسائل الوصلات.
- رسائل المنحنيات (الحدود والأنماط).
- رسائل الرسومات.
- رسائل برامج التشغيل.

رسائل الخامة

إن عرّفت الخامة بحدود، لكنك لم تفعّل أي حدود:



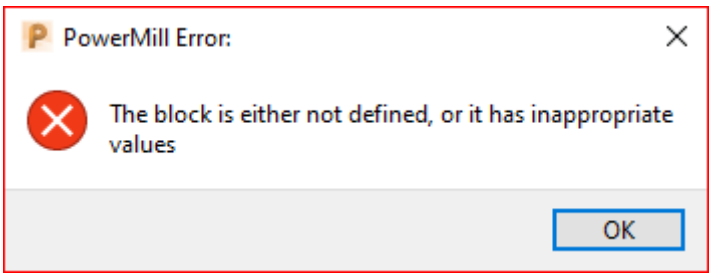
إن حسبت الخامة، ولكن لا يوجد ما حسبتها على أساسه:



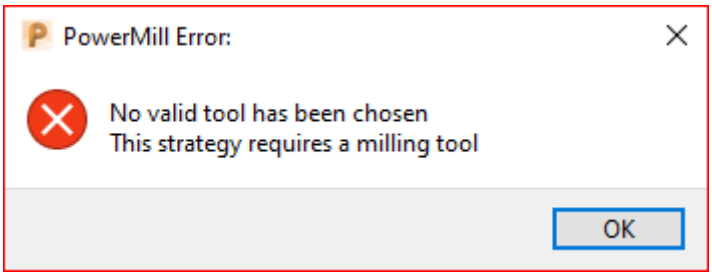
مثلًا هنا ما كان عندي رسومات في المشروع، وقد حسبت الخامة على أساس الرسومات.

رسائل عامة في المسارات

إن لم تعرّف الخامة:

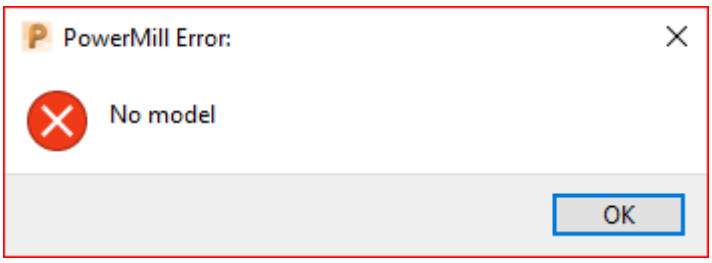


وإن لم تختر أداة قطع:

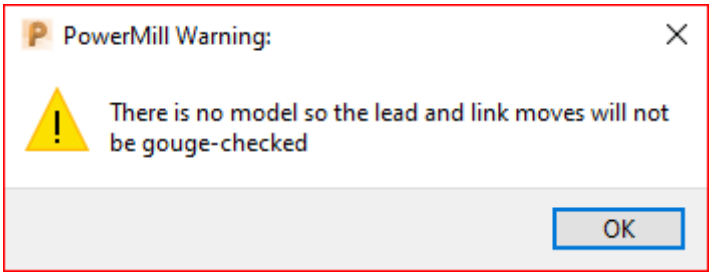


للمسارات شرطان: الخامة وأداة القطع، لا يجوز عدم تحديد أي منهما.

إن لم يكن في المشروع من رسمة:

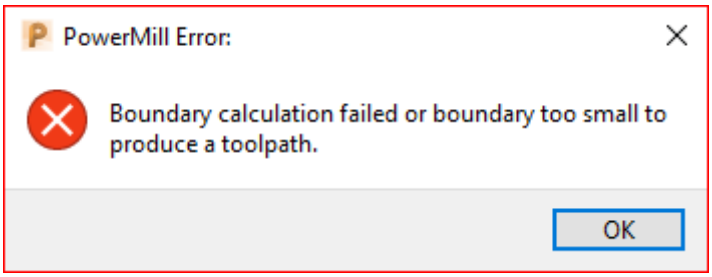


عند قطع المسارات، ولكن لا رسومات في المشروع:



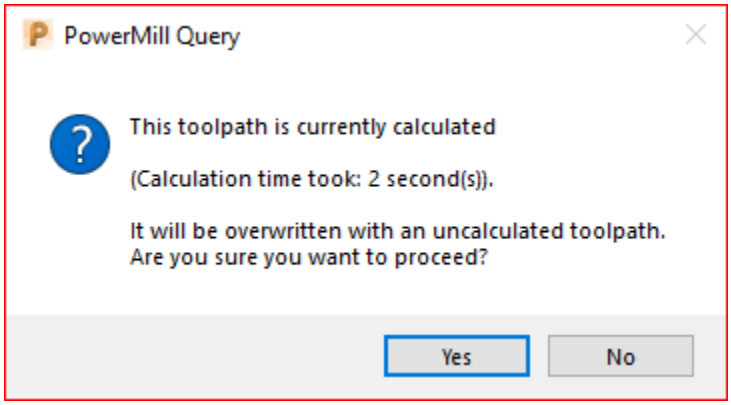
ويمكنك أن تقول عمومًا إنها ترسل إن أراد الباورميل فحصل النقلات لكن ما من رسومات ليفحصها على أساسها.

إن حسبت مسارًا محدودًا بحدود متضاعفة (وكأنها منسوخة وملصوقة في مكانها):



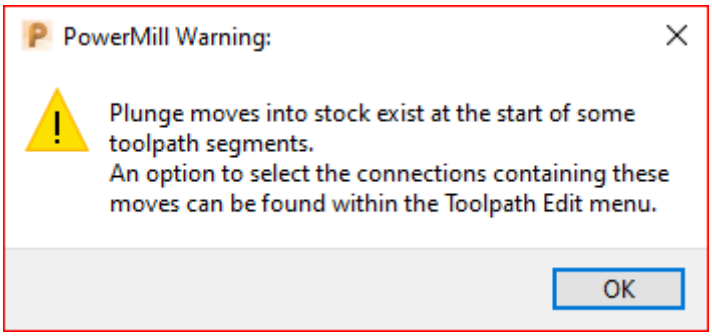
يظن الباورميل هنا أن المنطقة صغيرة جدًا، ولكنها في الواقع أصغر مما يتخيل.

إن غيرت في المسار ثم حفظته فأدى ذلك إلى تعطيله:



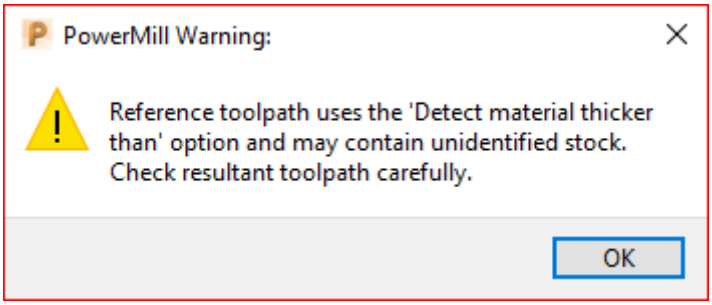
رسائل مسارات الهد

عند الدخول في المسار دخولًا مباشرًا ينبهك البرنامج إلى خطورة هذه الدخلات، لتتأكد منها مرة بعد مرة. حلها بالنسبة للبرنامج أن تبدأ خطوط المسار بنقلة مائلة Ramp Lead In، أو أن تدخل من خارج الخامة، أو إن كان المسار مسارًا متبقيًا أن لا يشغل أكثر مما شغله البرنامج الذي قبله (يعتبر عندها – عندما لا يشغل أكثر من الذي قبله– المسار قد دخل خارج الخامة):



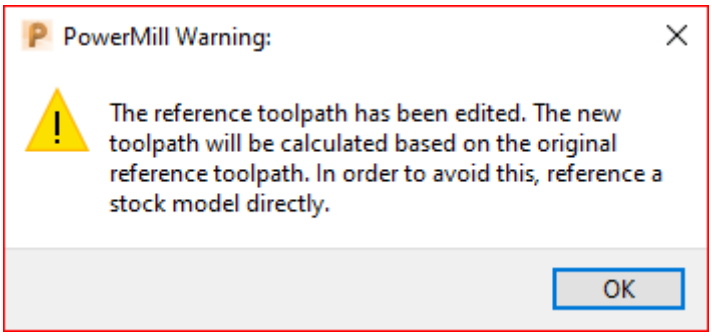
ندخل مع غير الأدوات الحوامل بدخول مباشر، ونجعل سرعة الدخول منخفضة نسبيًا. تفصيل السرعات مع قيم تجريبية تجده في آخر **فصل المفاهيم**. بالنسبة للباورميل: الدخول في المسار يعني الدخول في الخامة، وعامة أدوات التفريز غير مصممة على التغذية الشاقولية؛ لهذا ينبغي ألا تحصل إلا بظروف قطع مناسبة (تغذيات منخفضة نسبيًا).

عندما يكون المسار مسارًا متبقيًا، يكمل بعد مسار متبق، فإن البرنامج يرسل لك هذا التنبيه:



معناها أن المسار قد لا يرى نفس الخامة التي رآها المسار الذي قبله، كون كل مسار مرتبط بقيمة نسميها "رؤية الخامة الأسمك من"، والتي تتعلق بالدقة والخامة المتروكة. تفصيل هذه القيمة تجده في **فقرة التشغيل المتبقي** في **فصل المفاهيم**.

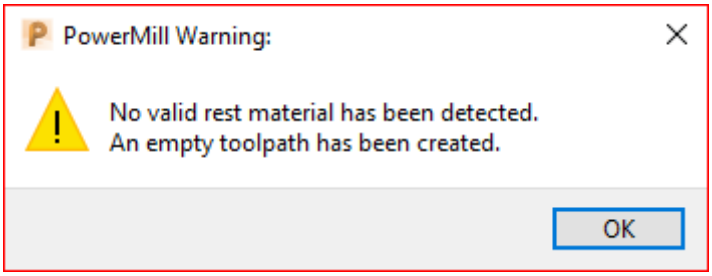
وإن أكملت بعد مسار معدَّل:



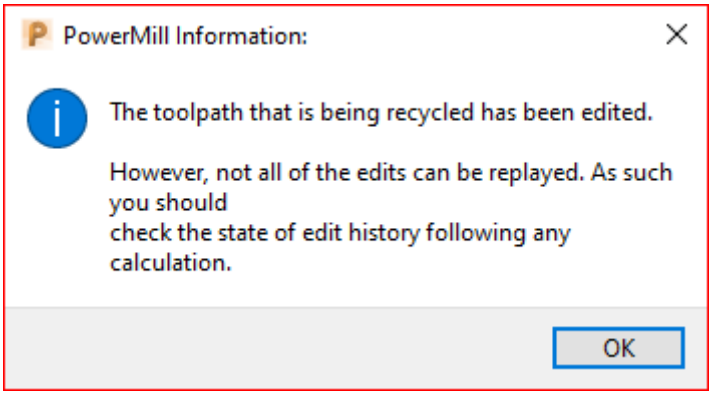
وهذا تنبيه خطير؛ لن يرى المسار المتبقي تعديلات المسار الأول، بل سيكمل بعده وكأنه لم يعدّل، فانتبه. (مهم)

وإن أكملت بعد مسار متبق معدل أظهر لك آخر رسالتين في رسالة واحدة.

وإن لم يكن هناك شيئًا متبقيًا:

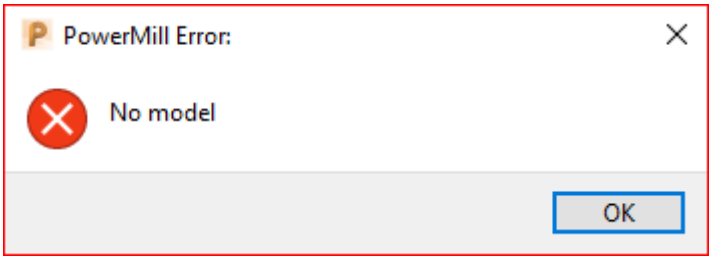


عند تعديل مسار معدّل يدويًا بقطع خطوط منه:



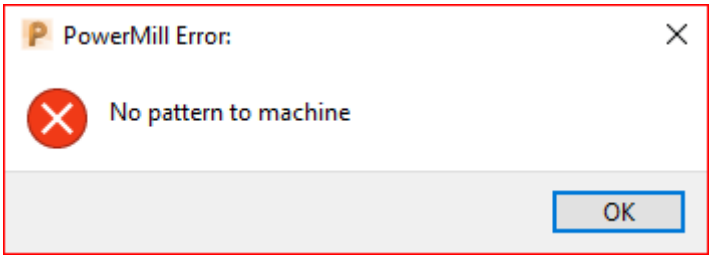
رسائل مسارات الأنماط

إن تركت أدنى نقطة للباورميل ليحددها، أي جعلت Base Position = Automatic، ولم يكن في المشروع من رسومات، فحسبت المسار:

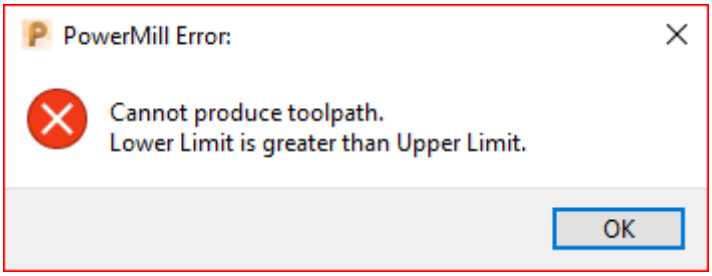


وهذا لأن تعريف أدنى نقطة تلقائيًا يعتمد على الرسومات.

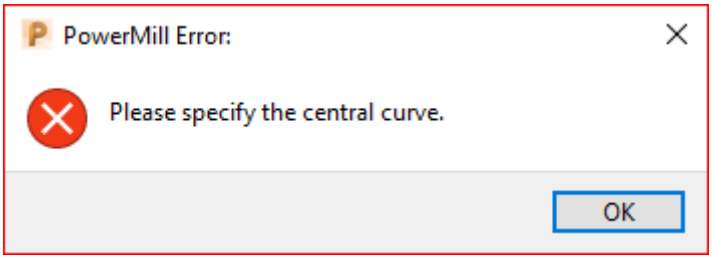
إن حسبت المسار دون تحديد نمط:



وإن جعلت أدنى نقطة أعلى من أعلى نقطة، أو العكس، بطبيعة الحال:

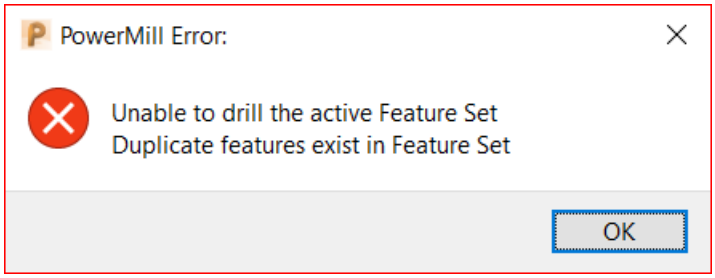


وفي **الإستراتيجية Parametric Spiral Finishing** إن لم تحدد نمط المسار:



رسائل مسارات التثقيب

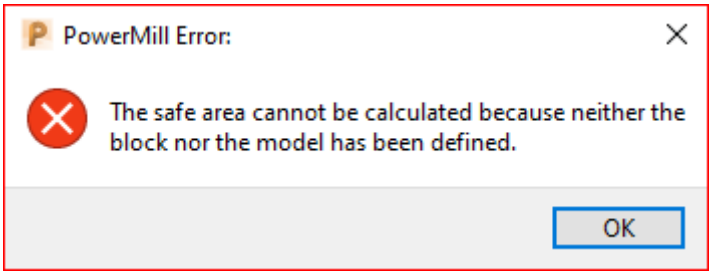
إن كان في مجموعة الثقوب ثقوب متضاعفة (أكثر من ثقب في نفس المكان):



ثمة أمر يحدد الثقوب المتضاعفة، لتحذفها.

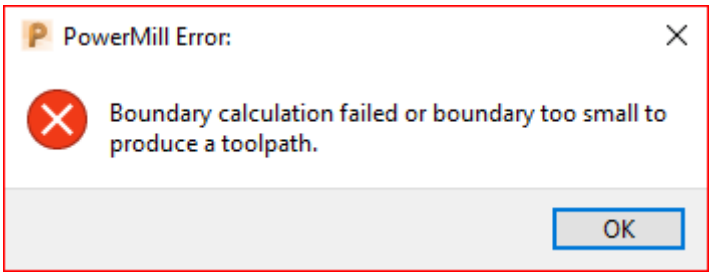
رسائل الوصلات

عند حساب ارتفاعات الأمان لا بدّ من وجود ما تحسب الارتفاعات على اساسه. في الحالة العامة نحسبها على أساس الخامة والرسومات. فإن لم يكن في المشروع رسومات أو لم تحدد خامة أرسل الباورميل هذه الرسالة:

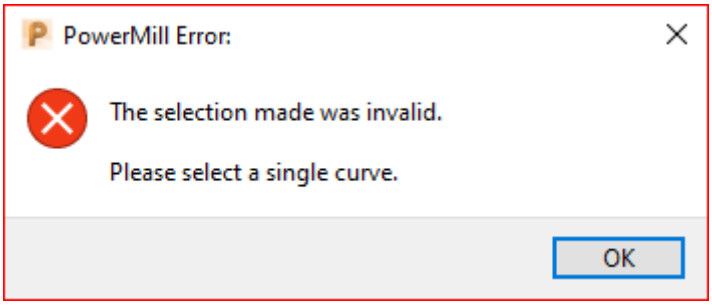


رسائل المنحنيات (الحدود والأنماط)

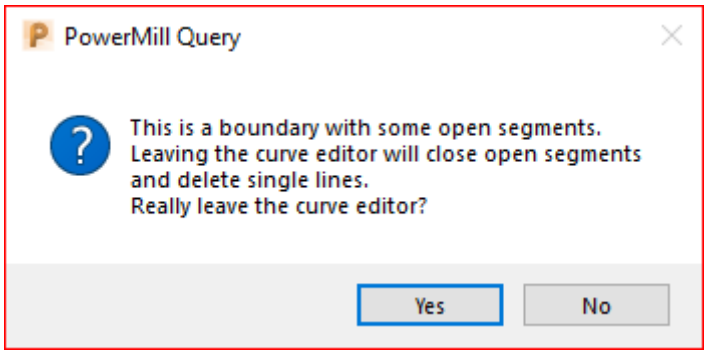
إن كان في الحدود خطوط متضاعفة (كأنها منسوخة وملصوقة في نفس المكان) أرسل الباورميل هذا الخطأ:



وإن حاولت قطع خطوط منفصلة فيها بتحديد أكثر من خط:

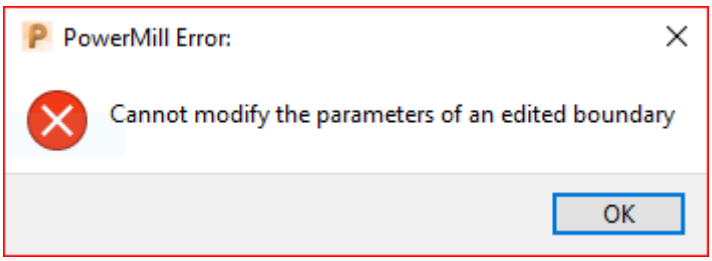


وإن خرجت من محرر المنحنيات وفي الحدود خطوط مفتوحة نبهك الباورميل بهذا التنبيه:



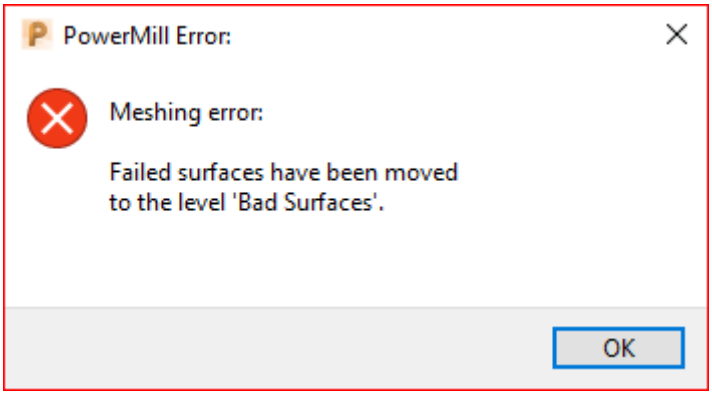
والأفضل أن تتأكد من أن الخطوط مغلقة قبل أن تخرج من بيئة محرر المنحنيات عند تعديل الحدود.

إن عدلت حدودًا حسابية، كالحدود المتبقية Rest Boundaries، وما كان **الخيار** **Apply Edit History on Calculation** مفعلًا:



رسائل الرسومات

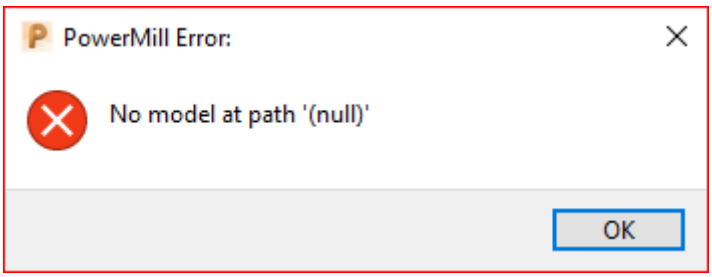
إن جئت برسمة فيها أسطح عاطلة:



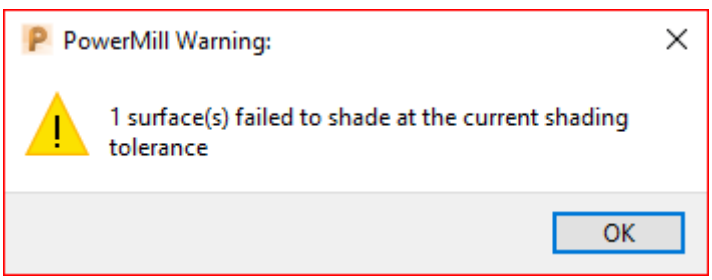
لا يشعر البرنامج بالسطوح العاطلة إلا إن حسبت شيئًا معتمدًا عليها. وبالتالي فإنك قد تكتشفها في أول المشروع، وربما في آخره، وربما لا تكتشفها أبدًا. المهم: عندما يجدها البرنامج يضعها في طبقة يسميها **Bad Surfaces**.

حلها ببساطة: حدد كل ما في طبقة السطوح العاطلة واحذفها.

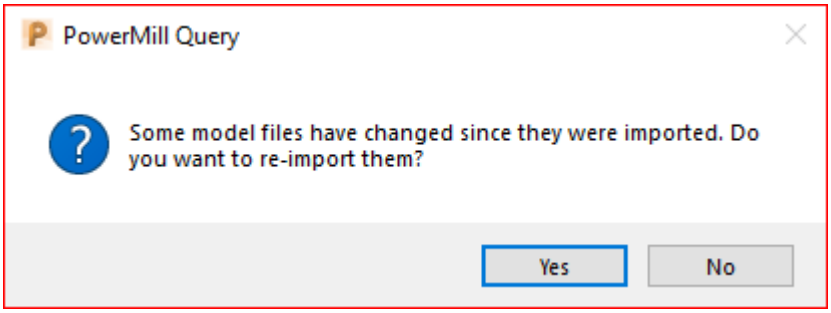
إن أرسلت **الأمر Reimport Model**، فأظهر الباورميل صندوق حوار تحديد مسار الرسمة، ولكنك لم تحددها:



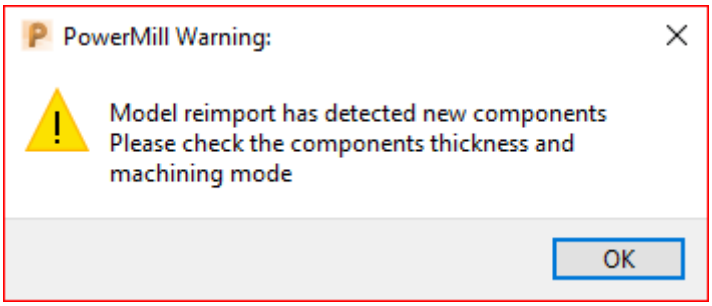
وهذا تنبيه شائع يرسله الباورميل عند قراءة الرسومات في أول مرة، إن كان عند استيرادها للمشروع أو عند فتح المشروع:



وهذا كذلك شائع يرسله الباورميل عند فتح المشروع إن كان ثمة رسومات قد تعدلت قبل فتحه:

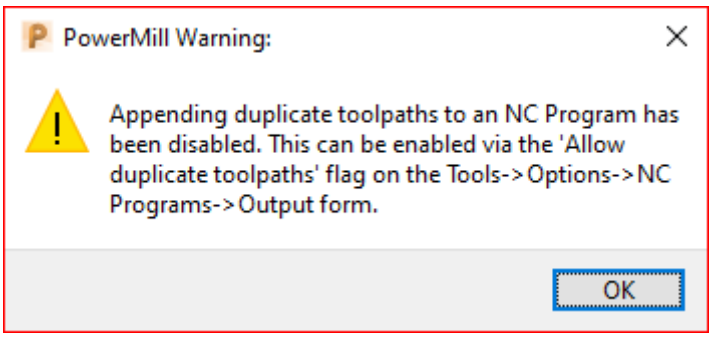


وعند إعادة استيراد الرسمة:



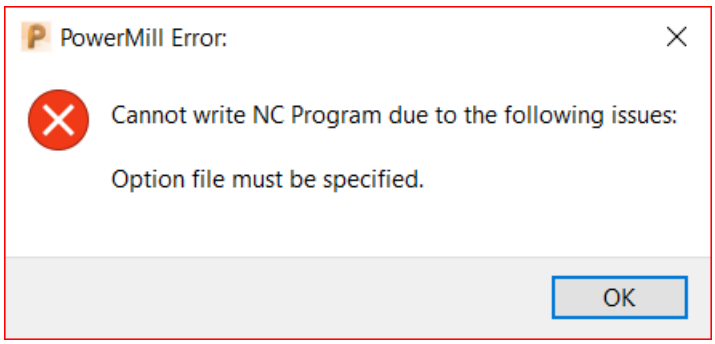
رسائل برامج التشغيل

إن ألغيت إمكانية إضافة نفس المسار إلى برامج التشغيل، فأضفت مسارًا أكثر من مرة إلى برنامج تشغيل:

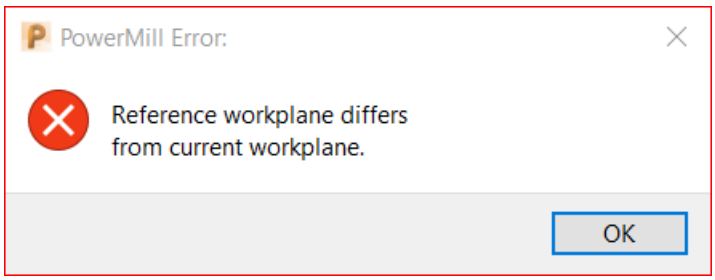


ويفضّل أن تلغيها فعلًا.

إن لم تحدد ملف الترجمة Option File:



إن كانت جملة إحداثيات برنامج التشغيل مختلفة عن جملة إحداثيات المسار:



وهذا من البديهيات في التشغيل المبرمج بالمناسبة.

الملحق بـ – الأقطار القياسية لثقوب القلاووظات

ليس شائعًا أن نفتح الشرار على الآلات المبرمجة، ولكنه شائع أن نثقب ثقوبها عليها. في هذا الملحق تفصيل ثقوب القلاووظات.

أبسط معادلة نحسب منها قطر ثقب القلاووظ هي:

$$D_{tap} = D - p$$

حيث

- D_{tap} قطر الثقب.
- D القطر الاسمي.
- p خطوة السن.

وهذا جدول بقلاووظات شائعة الاستخدام محسوبة بهذه المعادلة:

M	D_{tap}
1.6 x 0.35	1.25
1.8 x 0.35	1.45
2.0 x 0.40	1.60
2.5 x 0.45	2.05
3.0 x 0.50	2.50
3.5 x 0.60	2.90
4.0 x 0.70	3.30
4.5 x 0.75	3.75
5.0 x 0.80	4.20
6.0 x 1.00	5.00

7.0 x 1.00	6.00
8.0 x 1.00	7.00
8.0 x 1.25	6.75
10 x 1.25	8.75
10 x 1.50	8.50
12 x 1.25	10.75
12 x 1.75	10.25
14 x 1.50	12.50
14 x 2.00	12.00
16 x 1.50	14.50
16 x 2.00	14.00

18 x 1.50	16.50
18 x 2.50	15.50
20 x 1.50	18.50
20 x 2.50	17.50
22 x 1.50	20.50
22 x 2.50	19.50
24 x 3.00	21.00

المعادلات التالية فيها تفصيل أكبر، وهي من المعايير العالمية:

$$D_2 = D - 2 \times {}^{3}/_{8} H = D - 0.6495\, p$$

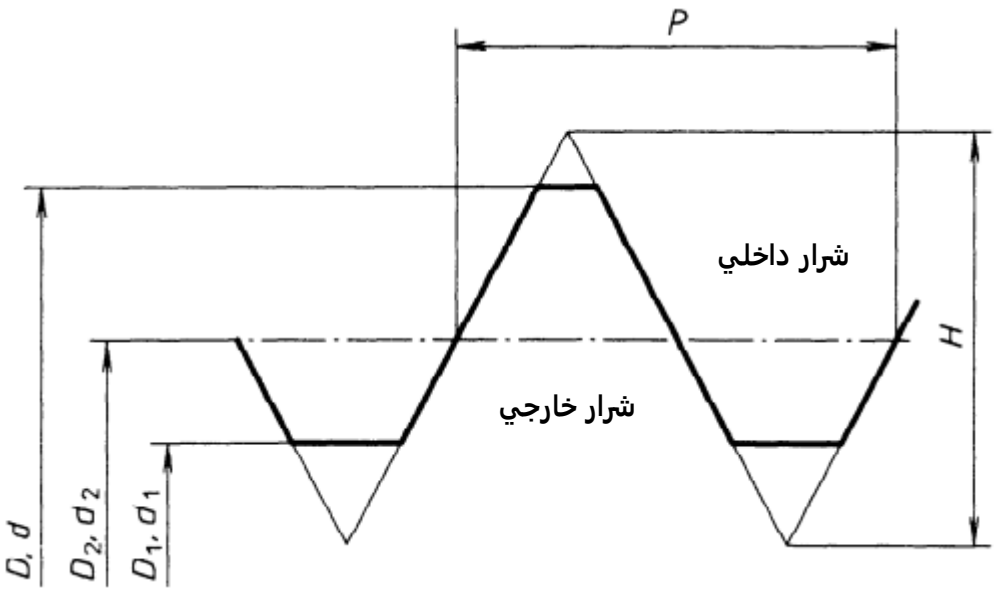
$$d_2 = d - 2 \times {}^{3}/_{8} H = d - 0.6495\, p$$

$$D_1 = D - 2 \times {}^{5}/_{8} H = D - 1.0825\, p$$

$$d_1 = d - 2 \times {}^{5}/_{8} H = d - 1.0825\, p$$

وفي النسخة الأحدث من المعيار:

$$d_1 = d - 2 \times {}^{7}/_{24} H = d - 1.2269\, p$$



حيث

- D قطر الدائرة الخارجية الاسمي الشرار الداخلي.
- d قطر الدائرة الخارجية الاسمي في الشرار الخارجي.
- p خطوة السن.
- D_2 قطر الدائرة الخطوية في الشرار الداخلي.
- d_2 قطر الدائرة الخطوية في الشرار الخارجي.
- D_1 قطر الدائرة الداخلية في الشرار الداخلي.
- d_1 قطر الدائرة الداخلية في الشرار الخارجي.
- H ارتفاع المثلث المحدد للشرار.

الشرار الداخلي يكون لمثل الصواميل Nuts، والشرار الخارجي يكون لمثل البراغي Bolts.

للمزيد انظر:

- **المعيار ISO 724**، فيه تفصيل أقطار ثقوب القلاووظات القياسية.
- **المعيار ISO 261**، فيه تفصيل أكبر قطر ممكن بالنسبة للخطوة.
- **المعيار ISO 68-1**، فيه تعريف لمقطع القلاووظ المتري (فيه تفصيل ارتفاع المثلث H).
- **المعيار ISO 965**، فيه ما يتعلق بالتسامحات بالنسبة للقلاووظات.
- **المعيار ASME B1.1**، فيه تفصيل القلاووظات بالبوصة.

الملحق جـ – رموز تشغيل الحواف

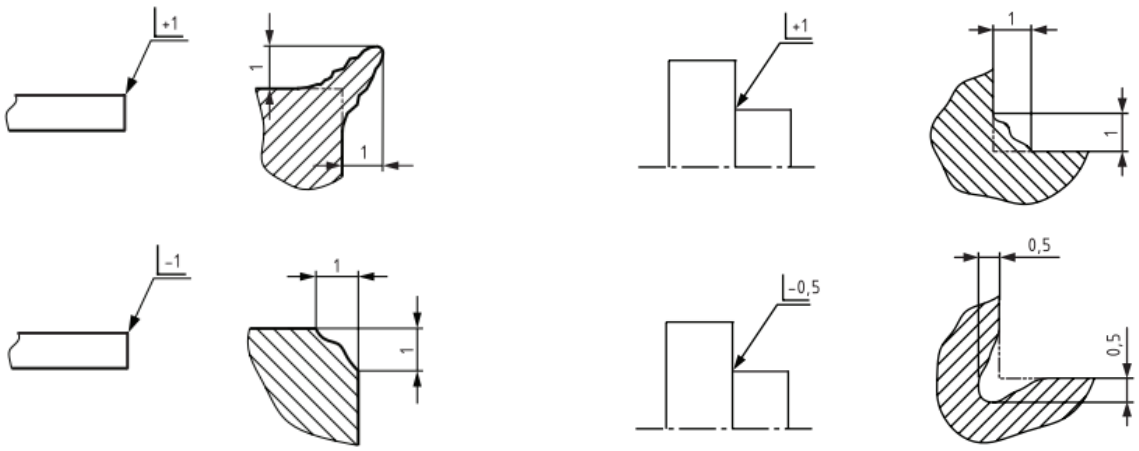
يحدد **المعيار ISO 13715** الرموز المستخدمة في المخططات الهندسية للحواف، بغرض تشغيلها. بالنسبة إلينا –مهندسي ومبرمجي التشغيل بالآلات المبرمجة– قد نشغل الحواف على الآلة وقد نتركها لمرحلة لاحقة، لتشغّل يدويًا أو غير ذلك.

يشار إلى الحواف بهذا الرمز:

وقد يشار إلى حواف داخلية وقد يشار إلى حواف خارجية:

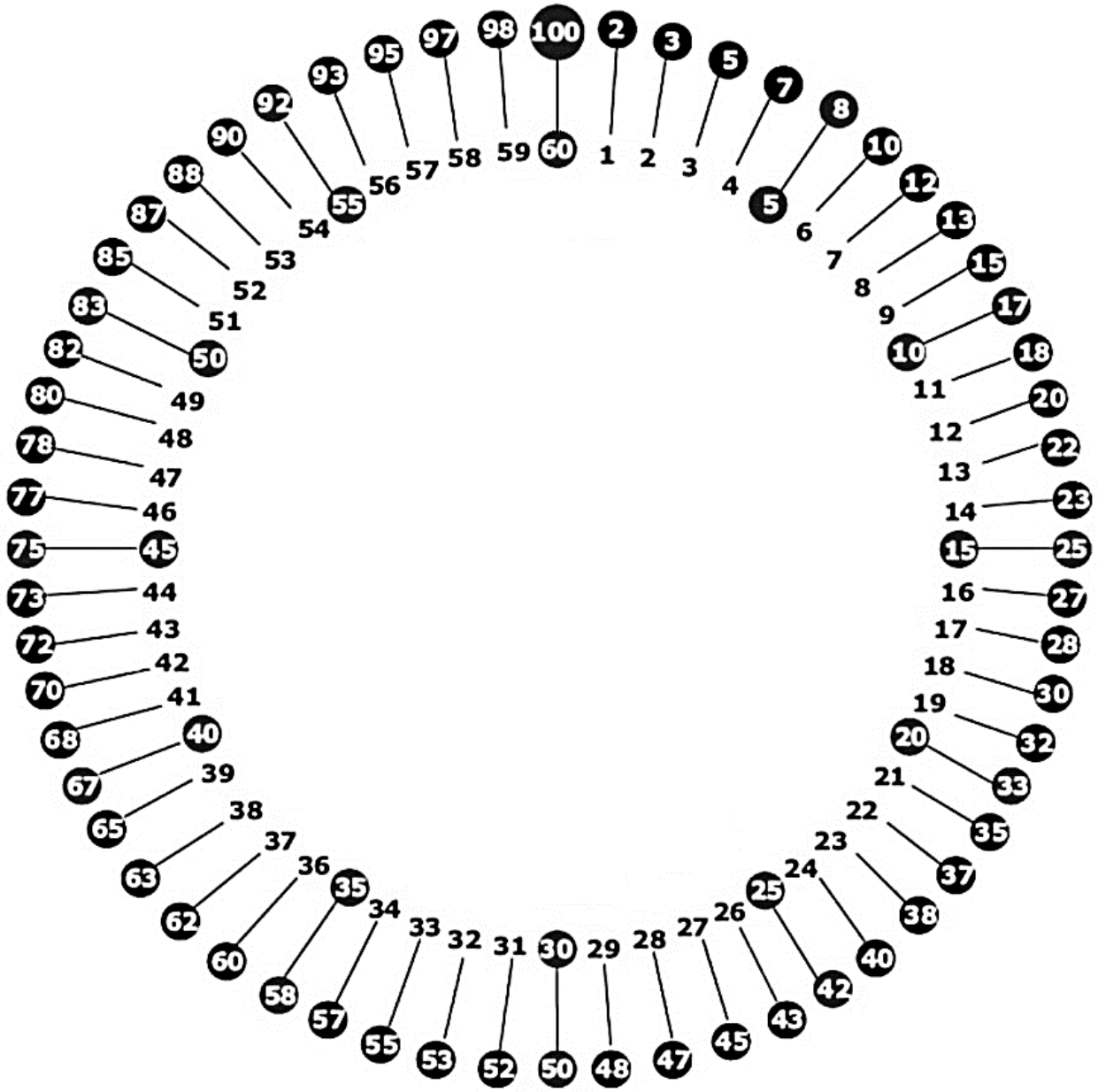
ويوضع عليه إشارة (+ أو – أو ±)، وبُعد يمثل مقدار المادة المتروكة ومقدار المادة المنزوعة:

وهذه أمثلة عليها:



الملحق د – التحويل من النظام الستيني إلى النظام المئوي والعكس

نسمي الجزء من المئة: السنتييم Centième. ويقول النحويون أنه في العربية: المُؤْي.



الملحق هـ – معايير عالمية ذات صلة بموضوع الكتاب

إليك قائمة بالمعايير العالمية التي تناولت محتوى الكتاب:

- السلامة والصحة المهنية

- **ISO 45001**
- **ISO 12100**

- أنظمة الإحداثيات والتسامحات

- **ISO 1**
- **ISO 286**
- **ISO 2768**
- **ISO 5459**
- **DIN 66217**

- أنظمة الآلات المبرمجة

- **ISO 6983-1**
- **DIN 66025**

- التصفير

- **ISO 10971**

- أدوات التفريز

- **ISO 1641**
- **ISO 11529**

- عمليات التشغيل

- **ISO 8688**

- القلوظة

- **ISO 724**
- **ISO 261**
- **ISO 68-1**
- **ISO 965**
- **ASME B1.1**

- التوثيق والمخططات الهندسية

- **ISO 286**
- **ISO 1101**
- **ISO 1302**

- **ISO 13715**