

用瓦尔特-普瑞特 (Walter Prototyp) 加工螺纹
精确、可靠、经济



2 索引

4 主题引言

8 产品一览

9 攻丝

12 螺纹挤压成型

13 螺纹铣削

14 产品信息

14 攻丝

28 螺纹挤压成型

34 螺纹铣削

40 刀具选择

40 攻丝

44 螺纹挤压成型

46 螺纹削

48 技术信息

48 通用

74 攻丝

94 螺纹挤压成型

101 螺纹铣削

112 附录

按字母拼音顺序排列的关键词索引

页码	页码	页码	页码
CNC 编程	Prototex® X·pert M 10, 22 – 23	工艺比较 48 – 49	切削力
螺纹铣削 107 – 108	Prototex® X·pert P 10, 20 – 21	工艺基础知识	攻丝 86 – 87
Paradur® Eco Cl. 10, 18	TMC 13, 34 – 35	螺纹挤压成型 94 – 95	切屑截面
Paradur® Eco Plus 9, 14 – 15	TMD 13, 38 – 39	螺纹铣削 101 – 105	攻丝 77 – 78
Paradur® HSC 11, 27	TME 13	公差带 50	切屑控制
Paradur® HT 10, 19	TMG 13, 35	公式 112	攻丝 90
Paradur® Synchrospeed . . 9, 16 – 17	TM0 13, 36 – 37	过切	特点
Paradur® Ti Plus 11, 24 – 25	TM0 HRC 13, 37	攻丝 86, 91	攻丝 84 – 85
Paradur® X·pert M 10, 22 – 23	边缘区硬化 72	基本型	同步加工 68 – 69
Paradur® X·pert P 10, 20 – 21	编程半径	攻丝 74 – 75	涂层
Protodyn® Eco LM 12, 30	螺纹铣削 108	角度和特征	螺纹挤压成型 55
Protodyn® Eco Plus 28	变型	攻丝 81	瓦尔特 GPS
Protodyn® HSC 33	攻丝 88 – 89	进给编程 5, 102 – 103, 107 – 108, 111
Protodyn® Plus 29	螺纹挤压成型 98	攻丝 87	问题和解决方案
Protodyn® S Eco Inox 12, 31	螺纹铣削 109	进给修正	攻丝 90 – 92
Protodyn® S Eco Plus 12, 28	槽型数据比较	螺纹铣削 103	螺纹挤压成型 99 – 100
Protodyn® S HSC 12, 33	攻丝 82 – 83	冷焊 93	螺纹铣削 110 – 111
Protodyn® S Plus 12, 29	刀柄 64	冷却和润滑 56 – 57	硬度对照表 117
Protodyn® S Synchrospeed . . 12, 32	刀具分组 8	攻丝 58	螺纹铣削 59
Prototex® Eco HT 9, 14 – 15	倒角类型	螺纹挤压成型 60 – 61	油雾润滑 62 – 63
Prototex® HSC 11, 26	攻丝 76	轮廓变形 106	引导孔直径
Prototex® Synchrospeed . 9, 16 – 17	底孔	命名方法 8	攻丝 114 – 115
Prototex® TiNi Plus 11, 24 – 25	攻丝 114 – 115	扭矩调节	螺纹挤压成型 70 – 71, 96 – 97, 116
	螺纹挤压成型 . 71, 96 – 97, 116	攻丝, 螺纹挤压成型 . . 118 – 119	通用 70
	通用 70	切削分配	螺纹铣削 114 – 115
	螺纹铣削 114 – 115	螺纹铣削 104 – 105	轴向过切
	干式加工	切削过程	攻丝 87, 91
	螺纹铣削 59, 63	攻丝 79 – 80	

螺纹加工技术、趋势与创新

螺纹加工有不同的工艺。在这本手册中，我们主要介绍使用瓦尔特·普瑞特 (Walter Prototyp) 刀具进行攻丝、螺纹挤压成型和螺纹铣削加工。此外，在本手册中还介绍这些工艺的通用技术信息。

在加工内螺纹时，攻丝仍然是最常使用的加工工艺。在刀具研发中，工艺可靠性、质量和每个螺纹的加工成本是重点。我们已经在宏观 / 微观槽型方面以

及在涂层方面作出了很大努力，目的是在不利的条件下也能保证高度的工艺可靠性。使用我们的 Eco 和 Synchrospeed 系列高性能刀具可以显著降低每个螺纹的成本。而使用整体硬质合金刀具还可以进一步降低每个螺纹的成本。我们的 HSC 高速切削系列产品在这方面树立了新标准——也包括钢件切削。这些刀具是批量生产的首选，例如在螺母加工行业或汽车行业。

在内螺纹加工工艺中，螺纹挤压成型在这 20 年迅猛发展。以前在使用这些刀具时主要用油作为冷却润滑剂，而在今天，得益于在成型刃带槽型和涂层方面有针对性的持续研发，几乎所有可成型材料 (也包括不锈钢) 都可在任何加工中心上使用 5% 的乳剂进行成型加工。由于使用乳剂，成型螺纹的静态强度和动态强度得到了进一步的改善。

在螺纹挤压成型中，硬质合金切削材质已经使用了很长时间，今天我们的 Protodyn® 高速切削系列更是将其推到了绝对的顶峰。

螺纹挤压成型常常是最经济的内螺纹加工方法。前提条件是，这种工艺允许用于相应的工件。

说到工艺可靠性和螺纹质量，螺纹铣削无疑是最好的方法。除了传统的铣削法，最近所谓的“微型螺纹铣削”也非常流行。利用该工艺，用户第一次可以在困难的材料上以绝对的工艺可靠性加工很深 (例如 $3 \times D_N$) 而又很小 (例如 M1.6) 的内螺纹。

最后还有一个小建议：在选择最佳工艺时请使用我们的全新软件瓦尔特 GPS，这是成功的瓦尔特 CCS 的后续版本。利用该软件可以直接比较所有加工工艺，然后选择最经济的方案。



WALTER
PROTOTYP

使用瓦尔特-普瑞特 (Walter Prototyp) 的生产工艺

现实中，已不可能将由于单件成本提高而增加的生产成本直接转嫁给客户。这一点对于日用消费品和生产资料来说都一样。成功的企业会通过不断提高生产效率来消除这个收益缺口。

作为一家切削加工精密刀具制造商，我们可以在这方面作出了重大贡献（详情请见图表）。尽管刀具成本仅占整个加工成本的大约 3%，然而加工时间的缩减却降低了 30% 的切削成本。

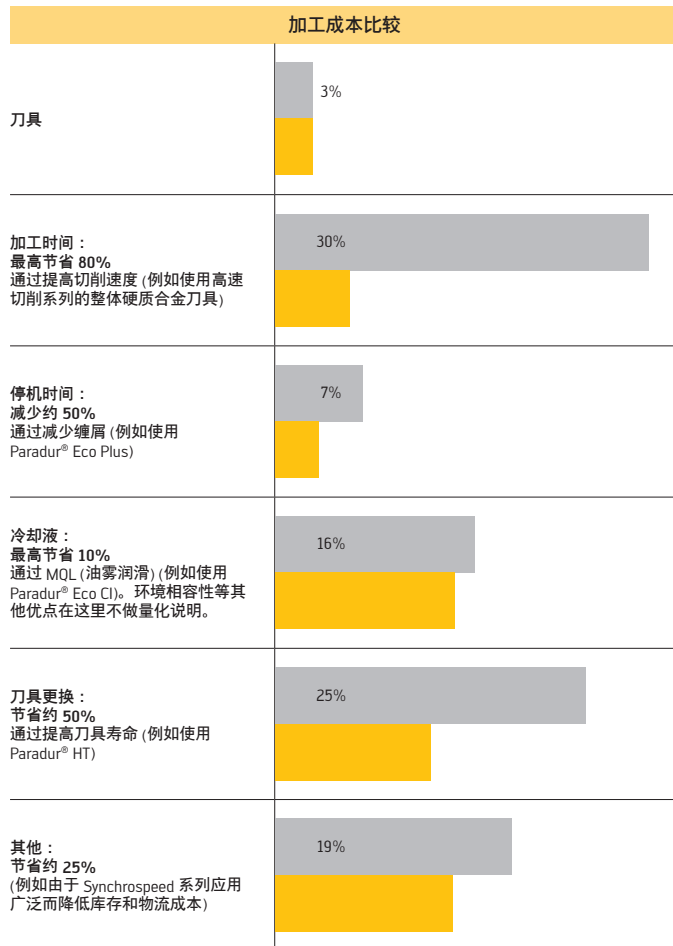
也就是说，使用瓦尔特-普瑞特 (Walter Prototyp) 的高性能切削刀具能够显著降低加工成本。切削参数的提高带来了巨大的成本优势。因为刀具价格对整个加工成本的影响几乎可以忽略不计，所以核心品牌瓦尔特-普瑞特 (Walter Prototyp) 的刀具不能再用纯粹的刀具价格来衡量，而是要考虑到生产效率提升和由此给我们的客户带来的节约潜力。

出于这个原因，在我们的刀具产品系列中我们努力推动瓦尔特-普瑞特 (Walter Prototyp) 整体硬质合金的高速切削 (HSC) 加工。例如，在切削加工低合金钢时切削速度能够达到 50 m/min。在螺纹加工中这是一项值得称道的成就！尤其对于要求严格并渴望最大生产效率的客户，除了 HSC 系列产品以外，瓦尔特-普瑞特 (Walter Prototyp) 还提供专门为同步加工而开发的刀具。

如旁边的图表所示，油雾润滑 (MQL) 是降低切削加工成本的另一个要素。为此瓦尔特-普瑞特 (Walter Prototyp) 向用户提供专门匹配的涂层。

简而言之，纯刀具成本尽管只占实际生产成本的 3%，但是刀具却对剩余的 97% 成本具有决定性影响。




请让我们的专家向您揭示使用瓦尔特-普瑞特 (Walter Prototyp) 刀具给您的生产所带来的节约潜力。






总共节省高达
45%

■ 以前
■ 使用瓦尔特-普瑞特 (Walter Prototyp)

瓦尔特-普瑞特 (Walter Prototyp) 螺纹刀具 —— 命名方法 / 刀具分组

攻丝*		
		
Prototex®... 带螺尖式倒角的丝锥	Paradur®... 带右旋排屑槽的丝锥	Paradur®... 直槽刀具

螺纹挤压成型		螺纹铣削**
		
Protodyn®... 不带润滑槽的挤压丝锥	Protodyn® S ... 带润滑槽的挤压丝锥	TM ... TM = Thread Mill (螺纹铣刀)...





* 攻丝中的例外情况：

- D 型倒角的 Paradur® N 以及 Paradur® Combi：用于通孔螺纹的螺旋刀具
- Paradur® HT、Paradur® GG 和 Paradur® Engine：用于盲孔螺纹的直槽刀具 (加工断屑性能良好的材料)
- NPT/NPTF 丝锥：用于盲孔和通孔加工的右旋刀具

** 螺纹铣削中的例外情况：

- TME (Thread Mill External)：用于加工外螺纹的刀具

通用丝锥



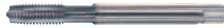

型号说明	手册页码	加工孔型	螺纹深度	工件材料组						
				P	M	K	N	S	H	O
 <p>Prototex® Eco HT - 普遍通用 - 用于湿式加工和油雾润滑加工</p>	14 +	TH	3.5 x D _N	●	●	●	●	●		●
 <p>Paradur® Eco Plus - 普遍通用 - 用于湿式加工和油雾润滑加工 - 成功的 Paradur® Eco HT 的后续版本</p>	14 +	BH	3 x D _N	●	●	●	●	●		●
 <p>Prototex® Synchrospeed - 同步加工 - 普遍通用 - 刀柄公差 h6</p>	16 +	TH	3.0 x D _N	●	●	●	●	●		●
 <p>Paradur® Synchrospeed - 同步加工 - 普遍通用 - 刀柄公差 h6</p>	16 +	BH	2.5 x D _N	●	●	●	●	●		●

TH = 盲孔加工
BH = 通孔加工

●● 主要应用
● 其他应用

专用丝锥

型号说明	手册页码	加工孔型	螺纹深度	工件材料组						
				P	M	K	N	S	H	O
				钢	不锈钢	铸铁	有色金属	难加工材料	硬质材料	其他
 Paradur® Eco Cl - 适用于短切屑材料 - 用于湿式加工和油雾润滑加工	18	BH + TH	3 x D _N			●●	●●			●●
 Paradur® HT - 用于中等至高抗拉强度的钢件以及短切屑材料 - 需要内冷	19	BH	3.5 x D _N	●●		●●	●			●
 Prototex® X-pert P - 用于低至中等抗拉强度的材料	20 + 21	TH	3 x D _N	●●			●			●
 Paradur® X-pert P - 用于低至中等抗拉强度的材料	20 + 21	BH	3.5 x D _N	●●			●			●
 Prototex® X-pert M - 用于不锈钢和较高抗拉强度的钢件	22 + 23	TH	3 x D _N	●	●●					
 Paradur® X-pert M - 用于不锈钢和较高抗拉强度的钢件	22 + 23	BH	2.5 x D _N	●	●●					

型号说明	手册页码	加工孔型	螺纹深度	工件材料组						
				P	M	K	N	S	H	O
				钢	不锈钢	铸铁	有色金属	难加工材料	硬质材料	其他
 Prototex® TiNi Plus - 用于加工高强度的和容易缠屑的钛合金和镍合金，使用乳剂冷却润滑	24 + 25	TH	2 x D _N					●●		
 Paradur® Ti Plus - 用于加工高强度的和容易缠屑的钛合金，使用乳剂冷却润滑	24 + 25	BH	2 x D _N					●●		
 Prototex® HSC - 用于较高强度和高强度的钢件 - 刀柄公差 h6 - 需要内冷 - 整体硬质合金	26	TH	2 x D _N	●●		●●				
 Paradur® HSC - 用于至 55 HRC 的较高强度和高强度的钢件 - 刀柄公差 h6 - 需要内冷 - 整体硬质合金	27	BH	2 x D _N	●●		●●			●●	

TH = 盲孔加工
BH = 通孔加工







●● 主要应用
● 其他应用

挤压丝锥

型号说明	手册页码	加工孔型	螺纹深度	工件材料组							
				P	M	K	N	S	H	O	
 <p>Protodyn® S Eco Plus* - 普遍通用 - 性能高于 Protodyn® S Plus - 用于湿式加工和油雾润滑加工</p>	28	BH + TH	3.5 x D _N	●●	●●		●●	●			
 <p>Protodyn® S Plus* - 普遍通用</p>	29	BH + TH	3.5 x D _N	●●	●●		●●	●			
 <p>Protodyn® Eco LM - 用于有润滑倾向的软质材料</p>	30	BH + TH	2 x D _N	●			●●	●●			
 <p>Protodyn® S Eco Inox* - 专门用于加工不锈钢，使用乳剂冷却润滑</p>	31	BH + TH	3.5 x D _N	●	●●		●	●			
 <p>Protodyn® S Synchrospeed* - 普遍通用 - 同步加工 - 刀柄公差 h6</p>	32	BH + TH	3.5 x D _N	●●	●●		●●	●			
 <p>Protodyn® S HSC* - 成型速度快 - 刀柄公差 h6 - 整体硬质合金</p>	33	BH	3.5 x D _N	●●	●		●●	●			

* 带润滑槽的规格，用 S 标记

螺纹铣刀

型号说明	手册页码	加工孔型	螺纹深度	工件材料组							
				P	M	K	N	S	H	O	
 <p>TMC 螺纹铣刀 - 带铈孔口倒角功能，普遍通用</p>	34 + 35	BH + TH	2 x D _N	●●	●●	●●	●●	●●			●
 <p>TMG 螺纹铣刀 - 不带铈孔口倒角功能 - 普遍通用</p>	35	BH + TH	1.5 x D _N 2 x D _N	●●	●●	●●	●●	●●			●
 <p>TMO 微型螺纹铣刀 - 用于小而深的螺纹，普遍通用</p>	36 + 37	BH + TH	2 x D _N 3 x D _N	●●	●●	●●	●●	●●			●
 <p>TMO HRC 微型螺纹铣刀 - 用于硬度至 65 HRC 的硬质材料的小而深的螺纹</p>	37	BH + TH	2 x D _N	●●				●	●●	●	
 <p>TMD 钻铣复合式螺纹铣刀 - 用于铸铝加工和灰口铸铁加工</p>	38 + 39	BH + TH	2 x D _N			●●	●●				
 <p>TME 螺纹铣刀 20 - 用于外螺纹</p>	-	外螺纹	2 x D _N	●●	●●	●●	●●	●●			●

TH = 盲孔加工
BH = 通孔加工

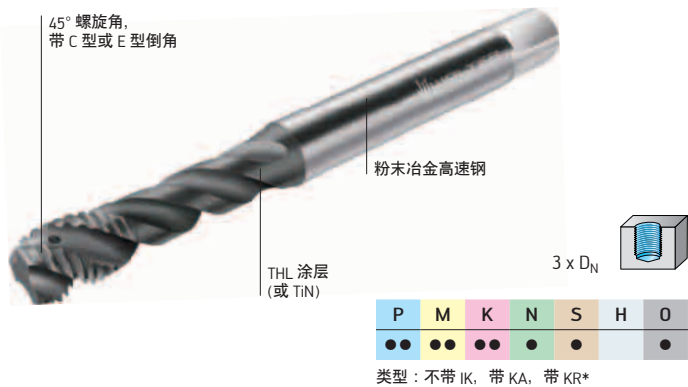
●● 主要应用
● 其他应用

高科技多面手



Prototex® Eco HT

型号：E2021342



Paradur® Eco Plus

型号：EP2051312

刀具

- 通用高性能丝锥
- THL 硬质材料涂层最大限度地减少积屑瘤，确保长久刀具寿命

Prototex® Eco HT：

- 特殊 B 型螺尖式倒角确保高度工艺可靠性

Paradur® Eco Plus：

- 较大的背锥部分可减少崩刃
- 使用带 E 型倒角的型号，螺纹加工几乎可以直达孔底

应用

- 应用于抗拉强度约 200 N/mm² 至约 1300 N/mm² 的长切屑和短切屑材料
- 适用于同步加工并且适合夹在补偿刀柄中使用

优势：

- 应用范围广，减少了刀具种类
- 高切削速度和长久的刀具寿命可提高生产效率
- 专用槽型在加工软质材料时也能保证工艺可靠
- 能够进行油雾润滑加工

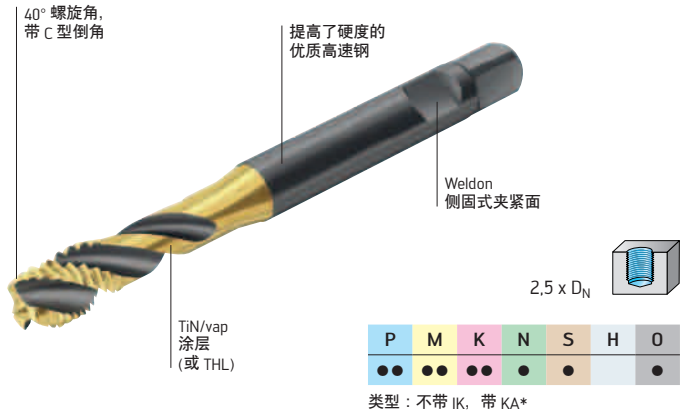
* IK = 内冷
KA = 带轴向冷却液出口的内冷
KR = 带径向冷却液出口的内冷

抗磨损能力强, 万能通用



Prototex® Synchrospeed

型号：S2021305



Paradur® Synchrospeed

型号：S2051305

刀具

- 端面后角大而螺纹部分短, 实现最高切削速度
- 刀柄公差 h6 (例如用于热胀刀柄)
- 刀柄直径与标准热胀刀柄相匹配

Paradur® Synchrospeed 的特点：

- 带 TiN/vap 涂层的类型：排屑槽经汽化处理, 确保完美的切屑成型和最佳切屑排除; TiN 涂层可提高耐磨性能
- 标准产品中有带轴向冷却液出口的内冷型

实用小贴士：

一般建议在同步加工时使用带最小补偿量的刀柄 (例如 Prototex C) (优点：延长刀具寿命并提高工艺可靠性)。

应用

- 应用于带同步主轴的机床上 (不适用于补偿刀柄或攻丝刀柄)
- 适用于所有长切屑和短切屑材料

Prototex® Synchrospeed：

- 适用于最大抗拉强度约 1400 N/mm²

Paradur® Synchrospeed：

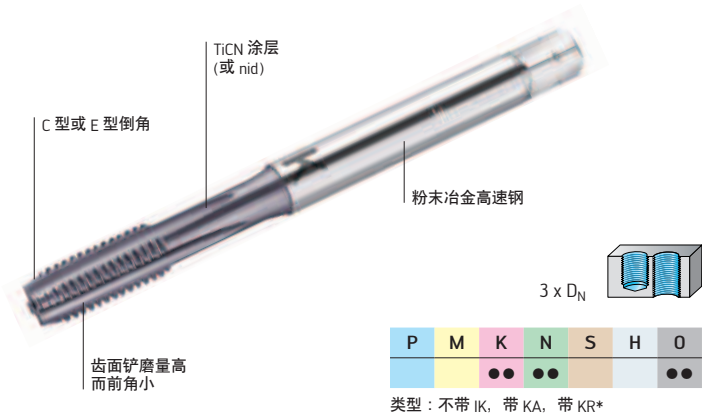
- 适用于最大抗拉强度约 1300 N/mm²

优势：

- 高切削速度和长刀具寿命可提高生产效率
- 适用于长切屑和短切屑材料, 降低刀具成本
- 切削刃非常锋利, 螺纹表面质量出色
- 同步加工避免过切

* IK = 内冷
KA = 带轴向冷却液出口的内冷
KR = 带径向冷却液出口的内冷

短切屑材料最高加工速度



Paradrur® Eco CI

型号：E2031416

刀具

- 创新的 Xtra-treat 表面处理技术在加工有磨蚀性的短切屑材料时提供最佳耐磨损性
- 增加了排屑槽数量，从而降低切削刃负荷并产生短切屑
- 6HX 公差带确保刀具寿命最长
- 带轴向或径向冷却液出口的刀具类型在加工较深的盲孔和通孔螺纹时能最佳地带走切屑

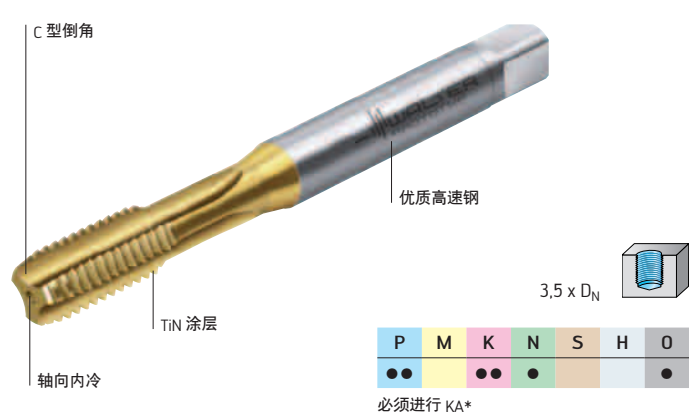
应用

- 加工短切屑材料的盲孔和通孔螺纹
- ISO K：主要用于 GJL (GG) 材料；GJS (GGG) 材料最大至 $2 \times D_N$ 的螺纹深度；蠕墨铸铁 (例如 GJV450)
- ISO N：镁合金以及硅含量 > 12% 的磨蚀性铝硅合金

优势：

- 切削速度高而刀具寿命长，每个螺纹的生产成本更低
- 耐磨损性均匀，因此工艺绝对可靠
- 适用于盲孔和通孔，因此降低了刀具成本
- 能够进行油雾润滑加工

加工周期短，断屑性能佳



Paradrur® HT

型号：2031115

刀具

- 槽型能在长切屑材料上也生成短切屑
- 轴向内冷和直排屑槽能够最佳地带走短切屑
- 提高了齿面铲磨量，因此切削速度更快
- 标准产品中带有加长排屑槽的长规格

应用

- 加工长切屑和短切屑材料的盲孔螺纹
- ISO P：抗拉强度 600 - 1400 N/mm² 的钢件
- ISO K：灰口铸铁 (GGG)
- ISO N：硅含量 > 12% 的铝硅合金、铜合金和镁合金

优势：

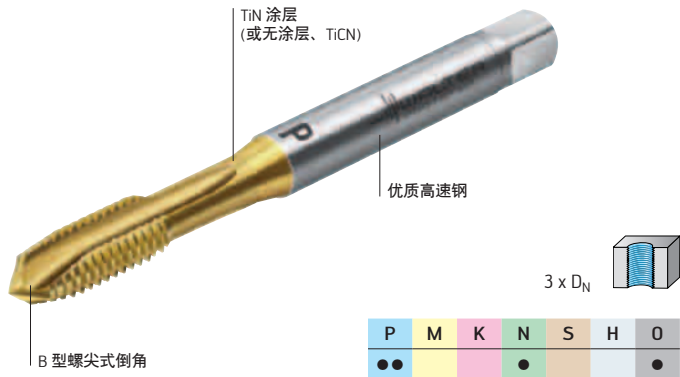
- 与传统盲孔丝锥相比，切削速度更高，刀具寿命更长
- 无缠绕切屑，意味着停机时间短
- 加工深螺纹时工艺可靠性同样高
- 在标准产品中有大尺寸的规格

- 典型应用范围：

- 汽车行业 (凸轮轴、曲轴、连杆)
- 大螺纹尺寸 (通用机械行业、传动轴、壳体等)

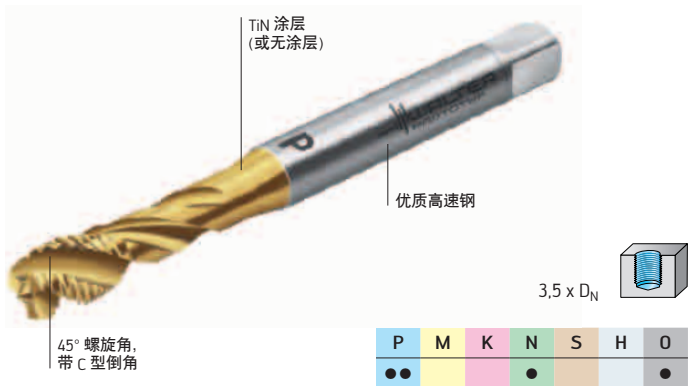
* IK = 内冷
KA = 带轴向冷却液出口的内冷
KR = 带径向冷却液出口的内冷

型号齐全，经济性高



Prototex® X-pert P

型号：P2031005



Paradur® X-pert P

型号：P2051905

刀具

- 齿面后角小，加工软质材料时不会过切

Prototex® X-pert P

- 在标准产品中有减少了排屑槽数量的型号

Paradur® X-pert P

- 长排屑槽，用于加工深螺线
- 较大的背锥部分可减少崩刃

应用

Prototex® X-pert P

- ISO P：
 - 三槽型：抗拉强度 < 1000 N/mm²
 - 两槽型：抗拉强度 < 700 N/mm² (尺寸至 M6)
- ISO N：硅含量在 0,5 至 12% 之间的铝硅合金
- 排屑槽数量减少的型号切屑成型性能更好，特别适合于软质长切屑材料 (在加工 St.37 之类的软结构钢时效果最佳)

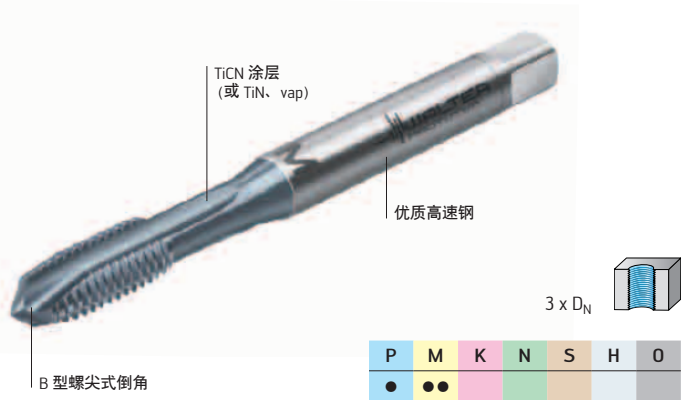
Paradur® X-pert P

- ISO P：抗拉强度 < 1000 N/mm² 的钢，特别是长切屑材料
- ISO N：硅含量在 0,5 至 12% 之间的铝硅合金

优势：

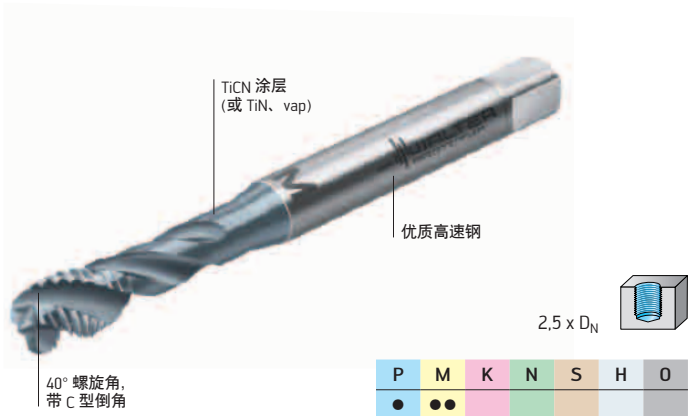
- 在小批量和中等批量生产时经济性高
- 标准产品规格齐全 (现货供应各种凸缘形状、尺寸和公差)，所以灵活性高且交货期短
- 大前角确保螺纹具有非常好的表面质量

可靠加工不锈钢



Prototex® X-pert M

型号：M2021306



Paradur® X-pert M

型号：M2051306

刀具

- 增高了芯部位置，确保螺纹尺寸精确并可可靠去除螺纹上的毛刺，这在加工不锈钢时非常重要
- 增大的齿面后角有利于加工容易缠屑的材料

Paradur® X-pert M 的特点：

- 较大的背锥部分可减少崩刃

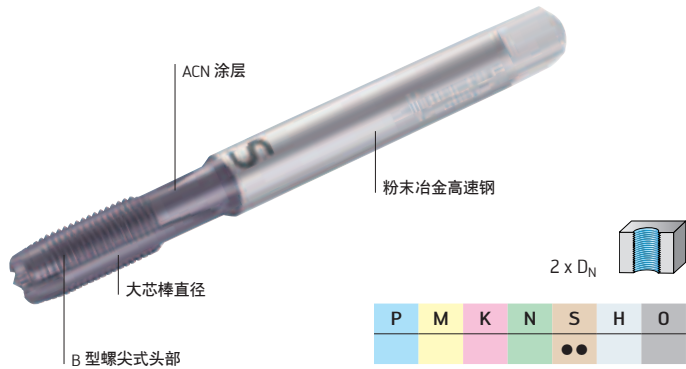
应用

- ISO M：抗拉强度 350 至 1200 N/mm² 的不锈钢
- ISO P：非常适合于抗拉强度 700 至 1200 N/mm² 的钢件

优势：

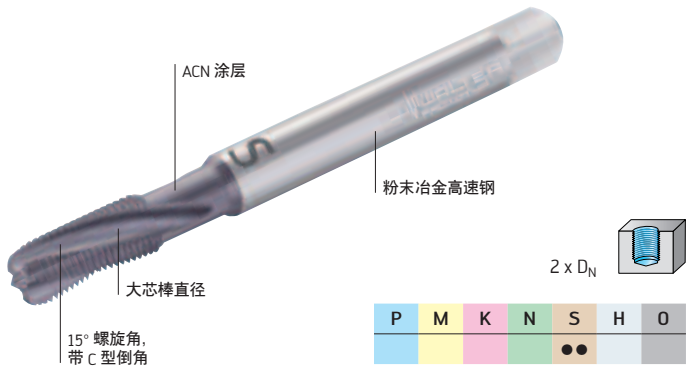
- 加工长切屑和容易缠屑的材料时工艺可靠性高
- 在小批量和中等批量生产时经济性高
- 标准产品规格齐全 (现货供应各种凸缘形状、尺寸和公差)，所以灵活性高且交货期短
- 可用于 ISO M 和 ISO P 组材料，减少了刀具种类

强力切削高强度钛合金



Prototex® TiNi Plus

型号：2021763



Paradur® Ti Plus

型号：2041663

刀具

- 专门用于加工 ISO S 组材料，设计的槽型适于使用乳剂冷却润滑
- 齿面后角非常大，加工容易缠屑的材料时可降低摩擦
- 减小了前角，因此适用于切削硬质材料
- 不含钛的 ACN 涂层抗磨损能力强，降低材料冷焊现象

应用

- 用于航空和航天技术以及医疗技术
- 专门用于抗拉强度 700 至 1400 N/mm² 的高强度和容易缠屑的钛合金

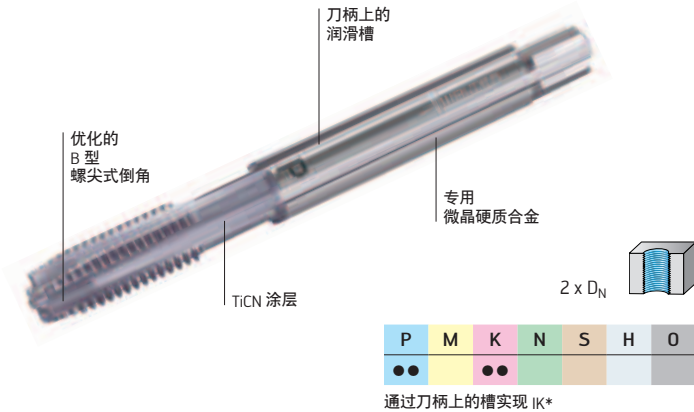
Prototex® TiNi Plus

- 也可用于镍合金

优势：

- 以往可以使用乳剂取代油进行加工
- 刀具稳定性高，工艺可靠性高
- 创新的硬质材料涂层和稳定的切削刃确保刀具寿命长
- 出色的螺纹质量

刀具寿命长，切削速度高



Prototex® HSC

型号：8021006

刀具

- 特殊整体硬质合金具有高耐磨性，同时具有高韧性
- 增加了排屑槽数量，刀具寿命更长
- 刀柄公差 h6 (例如用于热胀刀柄)

应用

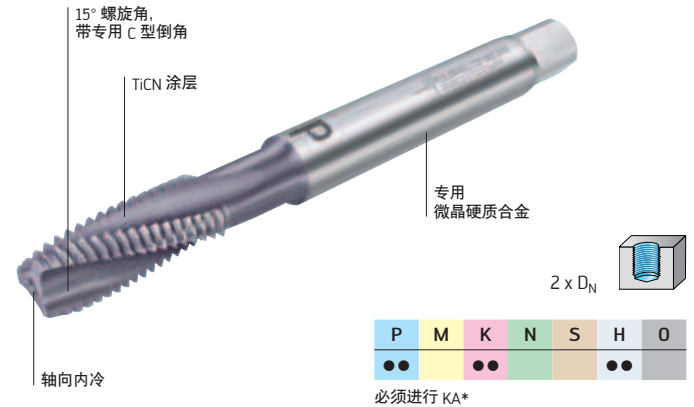
- ISO P：抗拉强度约 700 至 1400 N/mm² 的钢件
- ISO K：主要为 GJS (GGG) 材料
- 以降低每个螺纹的成本为目的的大批量生产
- 聚焦于提高生产效率的大规模制造

优势：

- 切削速度比优质高速钢锥高出三倍，生产成本低而生产效率最高
- 刀具寿命长，机床利用率佳

前提条件：

- 内冷却
- 稳定的加工条件
- 现代加工中心或现代流水线
- 对于硬质合金刀具，一般建议同步加工并使用具有最小补偿量的刀柄 (例如 Prototex C) (延长刀具寿命并提高工艺可靠性)



Paradur® HSC

型号：8041056

刀具

- 专用倒角槽型和缩小的螺旋角可以在加工长切屑材料时也生成短切屑
- 刀柄公差 h6 (例如用于热胀刀柄)

应用

- ISO P/H：抗拉强度约 700 N/mm² 至 55 HRC 的钢件
- ISO K：铸铁材料，如 GGG40、GJV450、ADI800
- 以降低每个螺纹的成本为目的的大批量生产
- 聚焦于提高生产效率的大规模制造

优势：

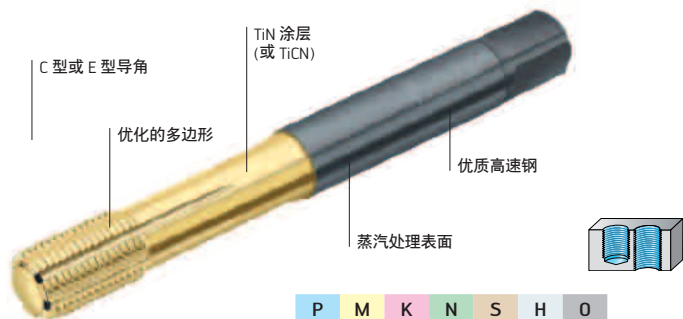
- 切削速度比优质高速钢锥高出三倍，生产成本低而生产效率最高
- 刀具寿命长，刀具更换次数少，机床利用率佳
- 通过完美的断屑而实现高度工艺可靠性

前提条件：

见 Prototex® HSC，第 26 页

* IK = 内冷
KA = 带轴向冷却液出口的内冷
KR = 带径向冷却液出口的内冷

高科技挤压丝锥



	P	M	K	N	S	H	O	
Protodyn® S Eco Plus	●●	●●	●	●●	●			3,5 x D _N
	类型：不带 IK, 带 KR*							
Protodyn® Eco Plus	●●	●	●	●●	●			3 x D _N
	型号：不带 IK, 带 KA*							

Protodyn® S Eco Plus

型号：EP2061745

刀具

- 新型 TiN 涂层和附加蒸气处理，确保最高刀具寿命且不会出现冷焊
- 创新的倒角槽型使得加工更流畅且磨损更均匀
- 特殊表面处理和优化的多边形可降低摩擦，从而提高刀具寿命（对于油雾润滑很重要）
- 在标准产品中有适用于大螺纹深度的带径向内冷的型号

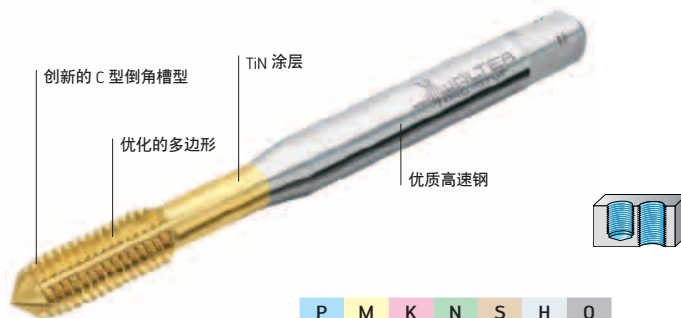
优势：

- 成型速度高且刀具寿命长，因此刀具更换次数更少、机床利用率最佳并提高生产效率
- 借助 MQL (油雾润滑) 进行加工，减少冷却液成本
- 性能高于 Protodyn® S Plus

应用

- 通用高性能挤压丝锥可用于所有抗拉强度至约 1200 N/mm² 的可成型材料
- 带 TiCN 涂层的型号专门用于加工碳钢以及磨蚀性的铝合金

刀具成本低，性能优异



	P	M	K	N	S	H	O	
Protodyn® S Plus	●●	●●	●	●●	●			3,5 x D _N
Protodyn® Plus	●●	●	●	●●	●			3 x D _N

Protodyn® S Plus

型号：DP2061705

刀具

- 创新的倒角槽型使得加工更流畅且磨损更均匀
- 优化的多边形可降低摩擦并提高刀具寿命

优势：

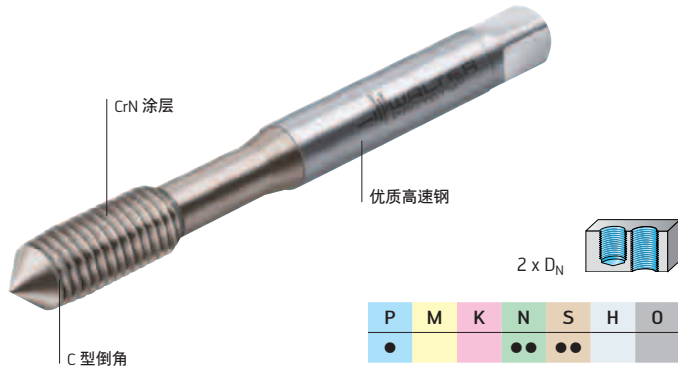
- 与 Protodyn® S Eco Plus 相比购买价格更低（但性能也更低）
- 由于适用材料范围广泛，因此减少了刀具种类

应用

- 通用于抗拉强度至约 1200 N/mm² 的所有可成型材料

* IK = 内冷
KA = 带轴向冷却液出口的内冷
KR = 带径向冷却液出口的内冷

软质材料的最佳解决方案



Protodyn® Eco LM

型号：E2061604

刀具

- 无钛 CrN 涂层

备注：

对于大于 $2 \times D_N$ 的螺纹，建议将润滑槽磨入螺纹部分，这个问题会在短期内通过产品改进而解决。

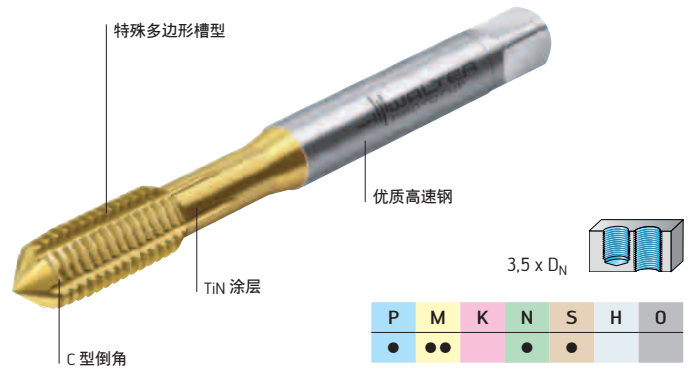
应用

- 用于长切屑、软质和有润滑倾向的材料
- 抗拉强度约 200 至 700 N/mm²
- ISO N：硅含量至 12% 的铝硅合金以及长切屑铜合金
- ISO S：抗拉强至约 1100 N/mm² 的钛合金 (使用重负荷润滑油时)
- 主要用于良好的润滑条件，在 TiN 或 TiCN 有冷焊倾向的情况下
- 适用于油雾润滑

优势：

- 将冷焊倾向降到最低，提高了工艺可靠性和刀具寿命
- 加工可锻铝合金和铸造铝合金时用乳剂代替油

不锈钢加工专家



Protodyn® S Eco Inox

型号：E2061305

刀具

- 特殊多边形槽型可以在使用乳剂的情况下加工不锈钢

应用

- 在使用乳剂的情况下加工不锈钢

备注：

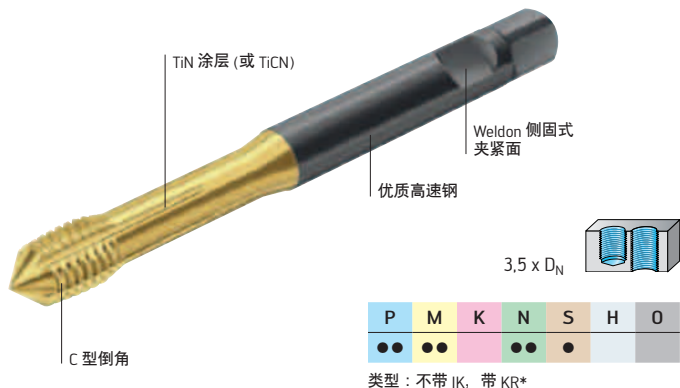
使用传统挤压丝锥只能用润滑油加工不锈钢。然而加工中心通常使用乳剂。为了进行螺纹挤压成型，必须停机，手工给螺纹注油。除了会延长加工时间，还存在乳剂中混入了润滑油而必须倒掉的危险。

- 可用于所有可成型材料，然而性能比通用挤压丝锥低

优势：

- 不需要人为干预加工过程，降低不锈钢材料的加工时间
- 不会混入其他油品，用过的乳剂无需倒掉

同步性强，万能通用



Protodyn® S Synchronspeed

型号：S2061305

刀具

- 螺纹部分短，可减少摩擦并提高成型速度
- 在标准产品中有适用于大螺纹深度的带径向内冷的型号
- 刀柄公差 h6 (例如用于热胀刀柄)

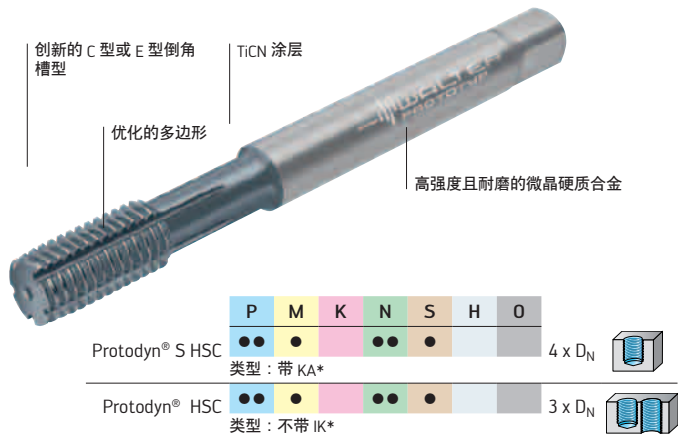
优势：

- 成型速度快，生产效率高
- 万能通用，减少库存费用
- 可以使用简单、坚固而不带补偿量的刀柄

应用

- 应用于带同步主轴的机床上；不适用于补偿刀柄或攻丝刀柄
- 适用于抗拉强度至约 1200 N/mm² 的几乎所有可成型材料
- 适用于油雾润滑
- 一般建议使用带最小补偿量的刀柄 (例如 Prototex C) (优点：延长刀具寿命并提高工艺可靠性)

刀具寿命长，切削速度高



Protodyn® S HSC

型号：HP8061716

刀具

- 经优化的多边形降低了摩擦并提高了耐用度
- 新颖的倒角槽型，确保磨损均匀
- 刀柄公差 h6 (例如用于热胀刀柄)

优势：

- 成型速度快，实现最高生产效率
- 刀刃寿命特别长，换刀次数减少
- 大批量生产中的性价比极具吸引力
- 刀具无钻尖，可最佳利用钻深

Protodyn® S HSC：

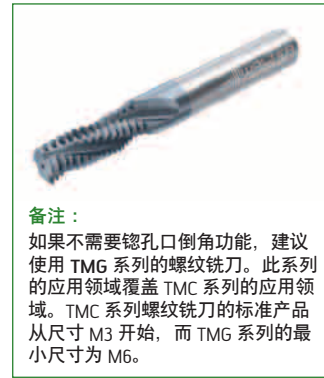
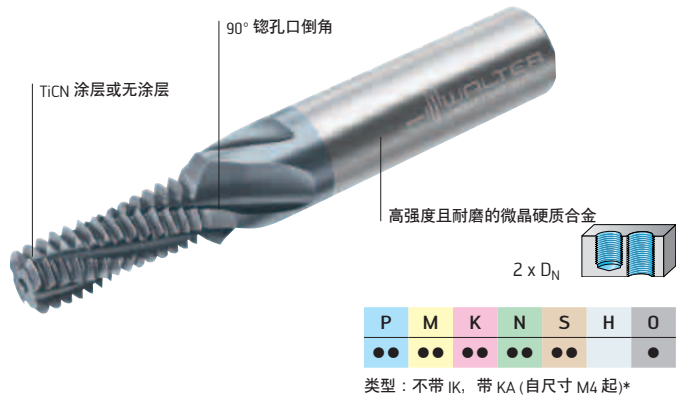
- 带润滑槽和轴向内冷，加工的盲孔螺纹深达 4 x D_N

应用

- ISO P：抗拉强度至 1200 N/mm² 的钢
- ISO M：抗拉强度至 1000 N/mm² 的不锈钢材料 (优先使用油)
- ISO N：硅含量至 12% 的铝硅合金以及抗拉强度小于 900 N/mm² 的镍合金

* IK = 内冷
KA = 带轴向冷却液出口的内冷
KR = 带径向冷却液出口的内冷

带铤孔口倒角功能的通用螺纹铣刀



带铤孔口倒角功能的整体硬质合金螺纹铣刀 TMC —— 型号：H5055016
Thread Mill Countersink

刀具

- 带铤孔口倒角功能的整体硬质合金螺纹铣刀
- 同轴精度 < 10 μm，确保出色的螺纹质量，提高了刀具寿命

应用

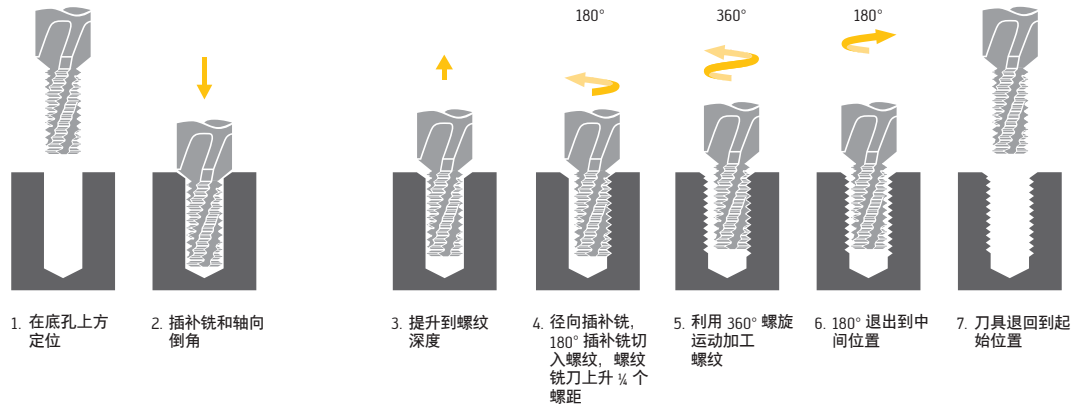
- 广泛应用于抗拉强度至约 1500 N/mm² 或 48 HRC 的各种材料

优势：

- 通过改善基材而提高了刀具寿命和切削参数
- 优化的槽型使得切削更加流畅，实现轻快切削

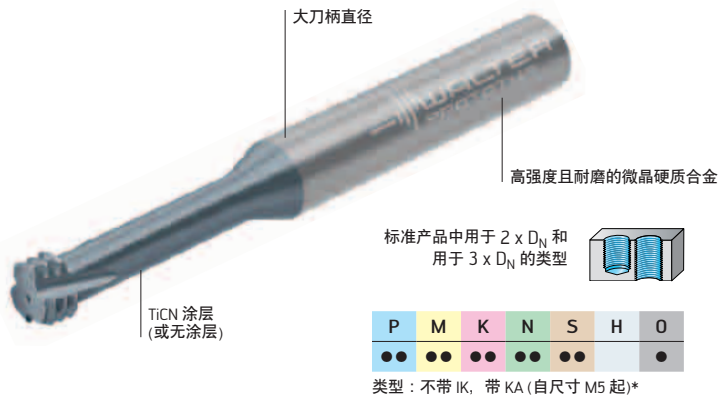
加工策略：

带铤孔口倒角功能的螺纹铣刀 TMC



* IK = 内冷
KA = 带轴向冷却液出口的内冷
KR = 带径向冷却液出口的内冷

加工最小的螺纹时实现最高工艺可靠性



微型螺纹铣刀 TMO —— Thread Mill Orbital

型号：H5087016

刀具

- 短切削部分, 小螺旋角和正前角, 以减少作用力和实现轻快切削
- 大刀柄直径, 在非夹紧长度较大的情况下仍可实现无振动运行
- 稳定的基础结构, 大芯棒直径

应用

- 普遍适用于抗拉强度至约 1500 N/mm^2 或 48 HRC 的各种材料
- 加工高强度和容易缠屑的材料 (例如高强度不锈钢和钛合金) 时同样具有出色的切削性能

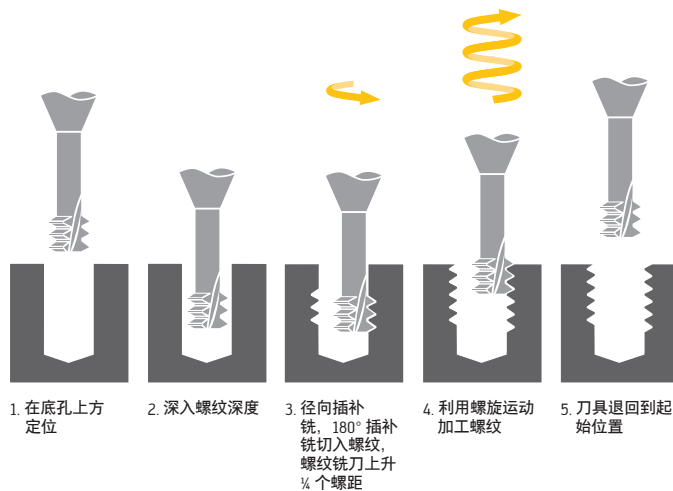
优势：

- 创新的铣削策略提高了刀具寿命
- 可靠地加工小而深的螺纹 (例如 M1.6, $3 \times D_N$ 深)
- 在传统刀具达到其使用极限的场合具有以下优势：
 - 加工 Inconel 等难加工材料
 - 加工深螺纹
 - 在传统螺纹铣刀由于锥形螺纹而需要多次进行径向切削时提供解决方案



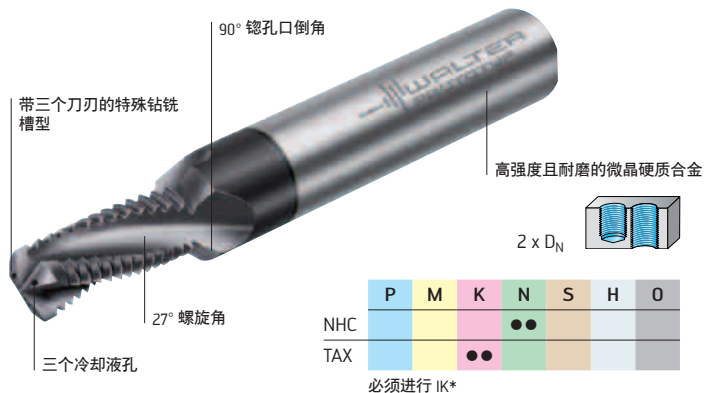
加工策略：

微型螺纹铣刀 TMO



* IK = 内冷
KA = 带轴向冷却液出口的内冷
KR = 带径向冷却液出口的内冷

在一道工序中钻孔、镗孔口倒角和螺纹铣削



整体硬质合金钻铣复合式螺纹铣刀 TMD —— Thread Mill Drill 型号: H5075018

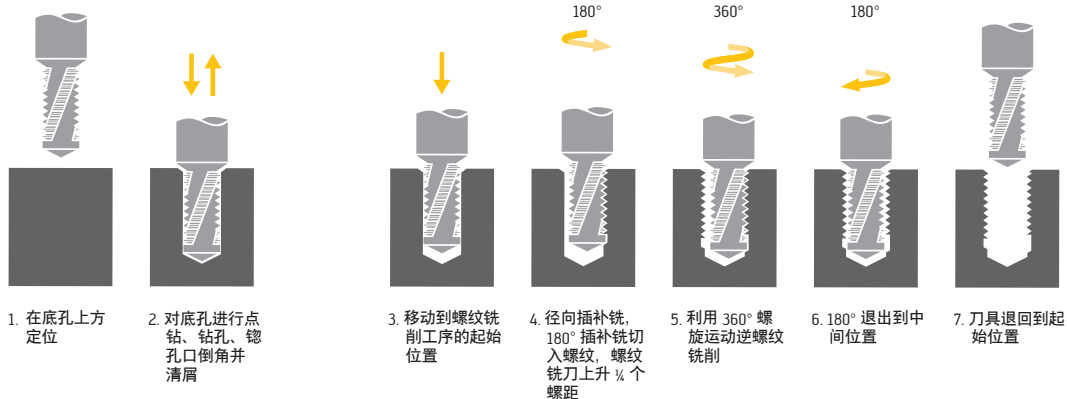
刀具

- 整体硬质合金钻铣复合式螺纹铣刀
- 刀刃长度和镗孔口倒角适用于 $2 \times D_N$ 的螺纹深度
- TAX 涂层用于 ISO K 组材料
- NHC 涂层用于 ISO N 组材料

应用

- ISO K: 铸铁材料, 如 GG25 (只能在特殊情况下加工 GGG 材料。有时可以用双刃非标刀具加工这类材料。)
- ISO N: 硅含量大于 7% 的铸铝; 短切屑镁合金和铜合金
- 直接加工预浇铸的底孔

加工策略:



带镗孔口倒角功能的钻铣复合式螺纹铣刀 TMD

优势:

- 在每个工件上有 8 个以下同类螺纹时, 经济性高于传统刀具**
- 加工时间缩短达 50%, 提高了生产效率
- 节省刀库中的刀位
- 底孔和螺纹定位精确

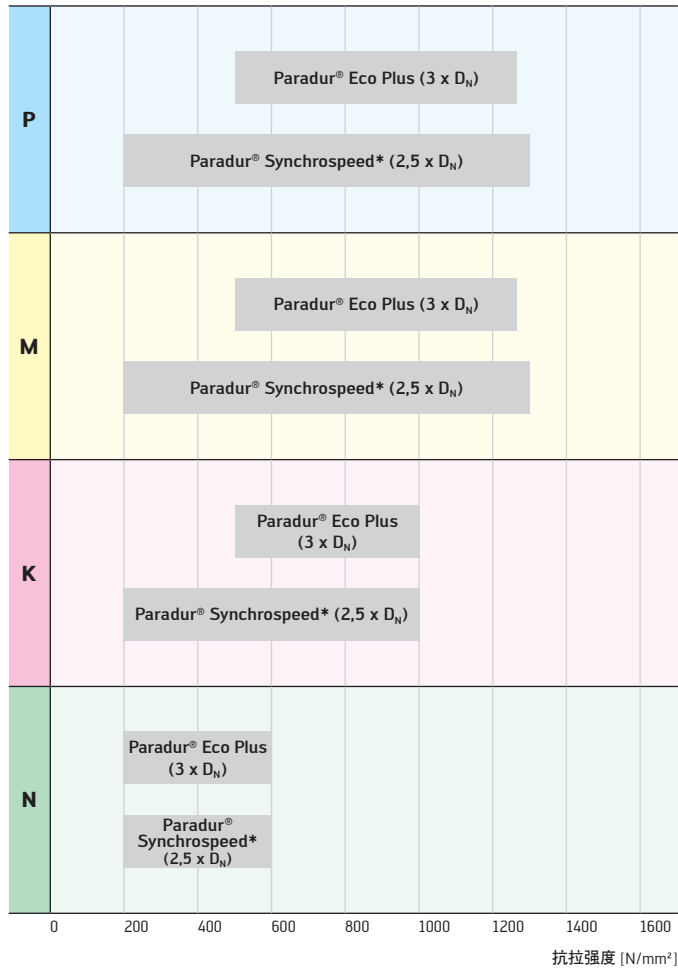
实用小贴士:

如果只有一个螺纹的规格与工件的所有其他螺纹不同, 也适合使用 TMD 螺纹铣刀。
例如: 每个工件有 13 个螺纹。其中 12 个为 M8, 1 个为 M6。可以用 TMD 螺纹铣刀更加经济地加工, 而不再需要底孔钻头和其他螺纹刀具。

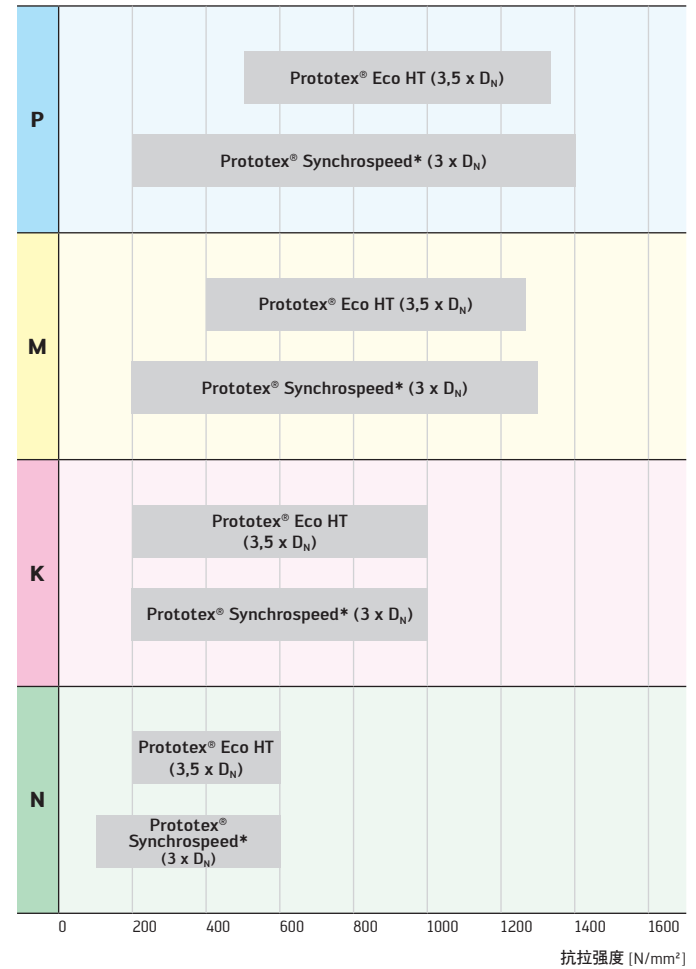
** 视切屑-切屑时间而定, 优势可能有所变化

* IK = 内冷
KA = 带轴向冷却液出口的内冷
KR = 带径向冷却液出口的内冷

通用盲孔丝锥



通用通孔丝锥



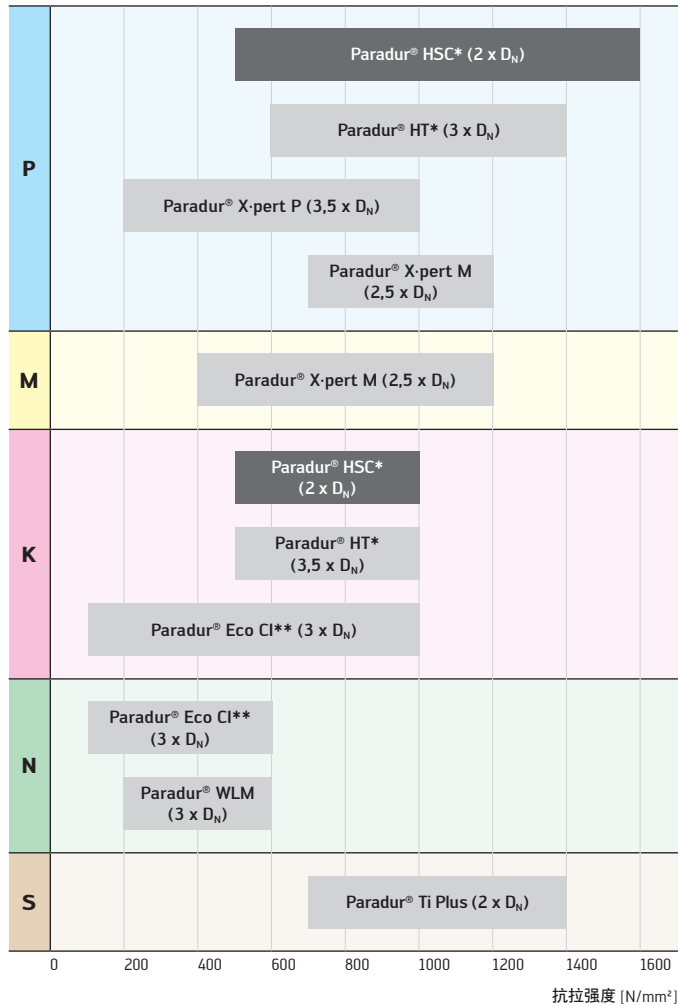
■ 优质高速钢或粉末冶金高速钢切削材质

* 仅用于同步加工

■ 优质高速钢或粉末冶金高速钢切削材质

* 仅用于同步加工

专用盲孔丝锥



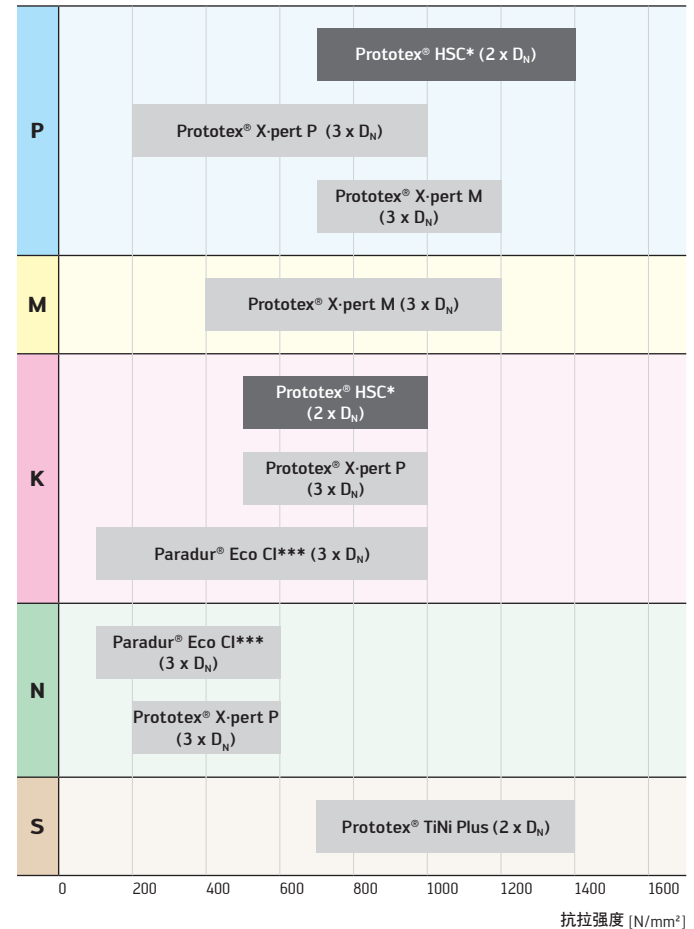
■ 整体硬质合金切削材料

* 需要内冷

■ 优质高速钢或粉末冶金高速钢切削材料

** 仅用于短切屑材料；建议采用内冷

专用通孔丝锥



■ 整体硬质合金切削材料

* 需要内冷


■ 优质高速钢或粉末冶金高速钢切削材料

*** 仅用于短切屑材料

挤压丝锥

- 主要应用
- 其他应用






螺纹深度				2,0 x D _N	3,5 x D _N					
型号				Protodyn® Eco LM	Protodyn® Plus	Protodyn® S Eco Plus	Protodyn® S Eco Inox	Protodyn® S Synchro-speed	Protodyn® S HSC	
产品信息：页码				30	29	28	31	32	33	

工件材料组	工件材料的划分和标记字母			布氏硬度 HB	抗拉强度 R _m N/mm ²						
	退火 (调质)	易切削钢	调质								
P	非合金及低合金钢	退火 (调质)	210	700	●●	●●	●●	●	●●	●	
		易切削钢	220	750	●●	●●	●●	●	●●	●	
		调质	300	1010		●●	●●	●	●●	●●	
	高合金钢和高合金工具钢	调质	380	1280		●	●	●	●	●●	
		调质	430	1480							
		退火	200	670		●●	●●	●	●●	●	
不锈钢	淬火并回火	300	1010		●●	●●	●	●●	●●		
	淬火并回火	400	1360								
	铁素体 / 马氏体, 退火	200	670		●●	●●	●●	●●	●●		
M	不锈钢	马氏体, 调质	330	1110		●●	●●	●●	●●	●●	
		奥氏体, 双相不锈钢	230	780		●●	●●	●●	●●	●●	
		奥氏体, 沉淀弥散硬化不锈钢 (PH 不锈钢)	300	1010		●	●	●	●	●	
K	灰口铸铁	245	-								
	球墨铸铁	365	-								
	蠕墨铸铁 (CGI)	200	-								
N	锻造铝合金	非时效处理	30	-	●●	●●	●●	●	●●	●●	
		可时效处理, 时效处理	100	340	●●	●●	●●	●	●●	●●	
	铸造铝合金	≤ 12% 硅	90	310	●●	●●	●●	●	●●	●●	
		> 12% 硅	130	450							
	镁合金	70	250								
	铜和铜合金 (青铜 / 黄铜)	非合金、电解铜	100	340	●●	●	●	●	●	●	
黄铜、青铜、红黄铜		90	310								
铜合金, 短切屑		110	380								
高强度的 Ampco 合金		300	1010								
S	耐热合金	铁基	280	940							
		镍基或钴基	250	840		●●	●●	●	●●	●●	
		镍基或钴基	350	1080							
	钛合金	纯钛	200	670	●●						
		α相和β相合金, 时效处理	375	1260	●●						
		β相合金	410	1400	●●						
	钨合金	300	1010								
钼合金	300	1010									

螺纹铣刀

- 主要应用
- 其他应用

螺纹深度	1,5 x D _N 2,0 x D _N	2,0 x D _N			2,0 x D _N 3,0 x D _N
型号	TMG	TMC	TMO HRC	TMD	TMO
产品信息：页码	35	34	37	38	36

工件材料组	工件材料的划分和标记字母				布氏硬度 HB	抗拉强度 R _m N/mm ²					
	退火 (调质)	易切削钢	调质	调质							
P	非合金及低合金钢	退火 (调质)	易切削钢	调质	210	700	●●	●●			●●
		调质	调质	调质	220	750	●●	●●			●●
		调质	调质	调质	300	1010	●●	●●			●●
		调质	调质	调质	380	1280	●●	●●			●●
		调质	调质	调质	430	1480	●●	●●	●●		●●
P	高合金钢和高合金工具钢	退火	淬火并回火	淬火并回火	200	670	●●	●●			●●
		淬火并回火	淬火并回火	淬火并回火	300	1010	●●	●●			●●
		淬火并回火	淬火并回火	淬火并回火	400	1360	●●	●●	●●		●●
P	不锈钢	铁素体 / 马氏体, 退火	马氏体, 调质	马氏体, 调质	200	670	●●	●●			●●
		马氏体, 调质	马氏体, 调质	马氏体, 调质	330	1110	●●	●●	●		●●
M	不锈钢	奥氏体, 双相不锈钢	奥氏体, 沉淀弥散硬化不锈钢 (PH 不锈钢)	奥氏体, 沉淀弥散硬化不锈钢 (PH 不锈钢)	230	780	●●	●●			●●
		奥氏体, 沉淀弥散硬化不锈钢 (PH 不锈钢)	奥氏体, 沉淀弥散硬化不锈钢 (PH 不锈钢)	奥氏体, 沉淀弥散硬化不锈钢 (PH 不锈钢)	300	1010	●●	●●			●●
K	灰口铸铁	球墨铸铁	蠕墨铸铁 (CGI)	蠕墨铸铁 (CGI)	245	-	●●	●●		●●	●●
		球墨铸铁	蠕墨铸铁 (CGI)	蠕墨铸铁 (CGI)	365	-	●●	●●		●●	●●
		蠕墨铸铁 (CGI)	蠕墨铸铁 (CGI)	蠕墨铸铁 (CGI)	200	-	●●	●●		●●	●●
N	锻造铝合金	非时效处理	可时效处理, 时效处理	可时效处理, 时效处理	30	-	●●	●●		●●	●●
		非时效处理	可时效处理, 时效处理	可时效处理, 时效处理	100	340	●●	●●		●●	●●
	铸造铝合金	≤ 12% 硅	> 12% 硅	≤ 12% 硅	90	310	●●	●●		●●	●●
		≤ 12% 硅	> 12% 硅	> 12% 硅	130	450	●●	●●		●●	●●
	镁合金	非合金、电解铜	黄铜、青铜、红黄铜	铜合金, 短切屑	70	250	●●	●●		●●	●●
		非合金、电解铜	黄铜、青铜、红黄铜	铜合金, 短切屑	100	340	●●	●●		●●	●●
		非合金、电解铜	黄铜、青铜、红黄铜	铜合金, 短切屑	90	310	●●	●●		●●	●●
S	耐热合金	铁基	镍基或钴基	镍基或钴基	110	380	●●	●●		●●	●●
		铁基	镍基或钴基	镍基或钴基	280	940	●●	●●		●●	●●
		铁基	镍基或钴基	镍基或钴基	250	840	●●	●●		●●	●●
	钛合金	纯钛	α相和β相合金, 时效处理	β相合金	350	1080	●●	●●		●●	●●
		纯钛	α相和β相合金, 时效处理	β相合金	200	670	●●	●●		●●	●●
钨合金	钨合金	钨合金	钨合金	375	1260	●●	●●		●●	●●	
H	淬硬钢	钨合金	钨合金	钨合金	410	1400	●●	●●		●●	●●
		钨合金	钨合金	钨合金	300	1010	●●	●●	●		●●
H	淬硬钢	钨合金	钨合金	钨合金	300	1010	●●	●●	●		●●
		钨合金	钨合金	钨合金	50 HRC	-			●●		
		钨合金	钨合金	钨合金	55 HRC	-			●●		
H	淬硬钢	钨合金	钨合金	钨合金	60 HRC	-			●●		
		钨合金	钨合金	钨合金	60 HRC	-			●●		

螺纹加工工艺比较

	优势	劣势
攻丝	<ul style="list-style-type: none"> - 对机床无特殊要求 - 能够加工几乎所有可切削的材料 	<ul style="list-style-type: none"> - 切屑输送常常是一项挑战，并且受刀具多样性以及特殊变型的制约 (尤其是在长切屑材料上加工深盲孔螺纹时) - 排屑槽降低了刀具稳定性；崩刃危险升高 - 刀具崩裂时有产生废品的危险 - 在由于批次不同而工件材料的特性有所区别时，加工工艺受到明显的影响 - 由缠屑引起的停机危险较高
螺纹挤压成型	<ul style="list-style-type: none"> - 工艺可靠性高 <ul style="list-style-type: none"> • 不产生切屑，因此无切屑输送问题，也能可靠地加工深螺纹 • 刀具坚韧，崩刃危险低 - 螺纹质量高 <ul style="list-style-type: none"> • 由于冷硬化，螺纹的静态和动态强度更高 • 表面粗糙度较低，螺纹质量非常好 	<ul style="list-style-type: none"> - 与攻丝相比刀具寿命更长 - 刀具可以广泛使用 - 用一把刀具即可加工盲孔和通孔螺纹 - 刀具崩裂时有产生废品的危险 - 断裂伸长率、抗拉强度和螺距限制了使用范围 - 较小的底孔公差提高了生产成本；必须与攻丝进行经济性比较 - 不允许用于食品工业、医疗技术和航空技术
螺纹铣削	<ul style="list-style-type: none"> - 灵活性高 <ul style="list-style-type: none"> • 刀具广泛应用于各种不同材料 • 盲孔和通孔螺纹只需一把铣刀 • 可用一把铣刀加工不同的螺纹尺寸 (在螺距相同时) • 可用一把铣刀加工任意公差带 • 可用一把铣刀加工单头和多头螺纹以及左手和右手螺纹 - 工艺可靠性高 <ul style="list-style-type: none"> • 没有缠屑危险 • 刀具崩裂时不产生废品 • 即使加工大尺寸扭矩也很低 • 倾斜进刀和退刀毫无问题 • 切削力低，能够加工薄壁工件 - 运动过程均匀，主轴负荷小 - 螺纹表面质量非常好 	<ul style="list-style-type: none"> - 与优质高速钢丝锥和挤压丝锥相比刀具成本较高 - 绝对需要 3D CNC 机床 - 编程成本高 - 在批量生产中，螺纹铣削与攻丝和螺纹挤压成型相比，经济性往往处于劣势

	工艺可靠性	加工速度	通用性 / 灵活性	刀具寿命	刀具成本	螺纹深度	典型批量大小
攻丝	-	+	-	-	-	+	小批量至非常大的批量
螺纹挤压成型	+	+	+	++	+	++	小批量至非常大的批量
螺纹铣削	++	-	++	+	+	-	小批量至中等批量

- 基准
+ 高于基准
++ 明显高于基准

丝锥和挤压丝锥的公差带

加工的内螺纹的公差带不只取决于刀具尺寸，而且也受到材料和加工条件的影响。在有些情况下，选择有别于标准的尺寸会有所裨益。这种公差会在公差等级后面加上一个 X (例如 6H 变成了 6HX)。必须注意，这些 X 公差带在制造商与制造商之间是不同的，因为其只是基于工厂标准。

瓦尔特-普瑞特 (Walter Prototyp) 产品系列中为韧性工件材料设计的丝锥是按照 X 公差带制造的，目的在于抵消材料的反弹特性。对于瓦尔特-普瑞特 (Walter Prototyp) 丝锥来说，这就意味着尺寸提高了半个公差带。因此，为不锈钢设计的产品系列 X-pert M 按照 X 公差带设计。出于同样的原因，用于高强度钛合金和镍基合金的丝锥也按照 X 公差带测量。

如果要加工灰口铸铁等腐蚀性材料而不会出现过切问题，同样需要按照 X 公差带设计刀具。X 公差带可提高刀具寿命，因为刀具需要更长的时间才能磨损到无法再旋入螺纹量规通端的地步。出于这个原因，例如丝锥 Paradur® Eco Cl 同样按照这个公差带来生产。

挤压丝锥只能按照 X 公差带制造，因为材料在螺纹挤压成型时的回弹比攻丝时更强。虽然挤压丝锥与丝锥的 X 公差带不同，但并不影响要加工的内螺纹的公差，这点可从下表中看出。

刀具的公差等级 (例如 4H) 对应于设计刀具时所使用的内螺纹公差带。但是使用这些刀具也可以产生其他公差带，见下表。

使用丝锥时必须考虑到加工余量，从而补偿以后在内螺纹上施加的涂层。该加工余量可以用以下公式计算得出：

$$A = T \times f, \text{ 其中 } f = \frac{2}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

A 表示要确定的加工余量，T 表示以后施加的涂层的厚度，α 表示螺纹断面角。

示例：
公制螺纹，电镀涂层厚度 25 μm

使用 60° 的螺纹断面角得出：

$$f = \frac{2}{\sin \frac{60^\circ}{2}} = \frac{2}{0,5} = 4$$

然后算得：







$$A = 0,025 \text{ mm} \times 4 = 0,1 \text{ mm}$$







如果要加工普通螺纹连接，必须选择公差等级为 6H + 0,1 的刀具。

备注：
在螺纹铣削时可以用一把铣刀加工任意公差带，因为可以通过编程来确定公差带。

刀具公差等级		可加工的内螺纹公差带						技术应用
丝锥的 DIN 标志	丝锥和挤压丝锥的工厂标准	可加工的内螺纹公差带		可加工的内螺纹公差带				
ISO1/4H	4HX	4H	5H	-	-	-	小间隙螺纹连接	
ISO2/6H	6HX	4G	5G	6H	-	-	普通螺纹连接	
ISO3/6G	6GX	-	-	6G	7H	8H	大间隙螺纹连接	
7G	7GX	-	-	-	7G	8G	预防热处理时变形	

涂层和表面处理

	无涂层	vap	nid (nit + vap)	TiN	TiCN	THL
主要应用范围	<ul style="list-style-type: none"> - 在软质钢件上加工很深的盲孔 - 在切屑输送有问题时使用 	<ul style="list-style-type: none"> - 主要用于不锈钢 - 用于软质、韧性和有冷焊加工的材料 - 用于很深的盲孔螺纹 	<ul style="list-style-type: none"> - TH：抗拉强度至 1200 N/mm² 的钢、铸铁和铝 - BH：仅短切屑材料 (GG、硅含量 > 7% 的铝硅合金、C70)；珠光体含量高的钢 - 不适用于不锈钢和容易缠屑的材料 	<ul style="list-style-type: none"> - 低合金钢 - 不锈钢 - 适用于镍合金 	<ul style="list-style-type: none"> - 合金钢和非合金钢 - 腐蚀性材料，如灰口铸铁、铝硅合金 (硅含量 > 5%)、铜合金和青铜合金 - 抗拉强度至 48 HRC 的 GFR 的通用涂层 - 适用于镍基合金 	<ul style="list-style-type: none"> - 钢材通用，主要是不锈钢 - 深盲孔 - 油雾润滑加工 - GJS (球墨铸铁)
特性	<ul style="list-style-type: none"> - 与带涂层的刀具相比，v_c/刀具寿命较低 - 切屑呈小卷状 	<ul style="list-style-type: none"> - 改善冷却润滑液的附着性能，从而减少冷焊 - 与带涂层的刀具相比，v_c/刀具寿命较低 - 改善切屑输送效果 	<ul style="list-style-type: none"> - 表面硬度更高，刀具寿命延长 - 脆性提高 - 渗蒸表示渗氮和汽化 	<ul style="list-style-type: none"> - 通用涂层 - 适用于许多材料 - 不适用于钛合金 	<ul style="list-style-type: none"> - 加工腐蚀性材料时耐磨损 - 特别适用于整体硬质合金刀具 - 不适用于钛合金 	<ul style="list-style-type: none"> - 切屑成型性能比 TiN 和 TiCN 好 - 加工含锰材料时有冷焊倾向
外观						

	CrN	NHC	DLC	ACN	TAX	金刚石
主要应用范围	<ul style="list-style-type: none"> - 铝合金和铜合金攻丝 - 钛合金螺纹挤压成型 - 加工需润滑的钢件 	<ul style="list-style-type: none"> - 有色金属 (铜合金、黄铜合金、青铜合金、钛合金) - 硅含量至 12% 的铝硅合金 	<ul style="list-style-type: none"> - 有润滑倾向的铝合金 	<ul style="list-style-type: none"> - 钛合金 - 镍合金 	<ul style="list-style-type: none"> - 螺纹铣削时通用 - 也可用于淬硬钢和高速切削加工 	<ul style="list-style-type: none"> - 腐蚀性的材料，如硅含量 > 12% 的铝硅合金
特性	<ul style="list-style-type: none"> - 降低冷焊 	<ul style="list-style-type: none"> - 减少积屑瘤 - 加工腐蚀性的材料时耐磨损 - 涂层薄，切削刃锋利 	<ul style="list-style-type: none"> - 有时能够明显延长刀具寿命 	<ul style="list-style-type: none"> - 涂层不含钛，所以与钛合金无亲和性 	<ul style="list-style-type: none"> - 耐热性高 - 通用涂层 	<ul style="list-style-type: none"> - 加工腐蚀性的材料时耐磨损
外观						

TH = 盲孔加工
BH = 通孔加工

涂层和表面处理

工件材料	低至中等抗拉强度								中等至高抗拉强度		低至高抗拉强度		低至很高抗拉强度
	P	M	K	N	S	H							
	X	X	X						X		X	X	X
		X	X						X		X	X	X
		X	X						X		X	X	X
	X	X	X	X	X		X	X			X		
				X						X			
											X		X
表面处理	无涂层	vap	TiN	CrN	NHC		DLC	金刚石	nid	ACN	TiCN	THL	TAX
丝锥	X	X	X	X			X		X	X	X	X	
挤压丝锥			X	X			X				X		
螺纹铣刀					X		X	X		X	X		X
钻铣复合式螺纹铣刀					X								X

挤压丝锥涂层选择

工件材料	TiN	TiCN
磁性软铁	●●	●
结构钢	●●	●
碳钢	●	●●
合金钢	●●	●
调质钢	●●	●
不锈钢	●	●●
奥氏体	●	●●
铁素体, 马氏体, 双相不锈钢	●	●●
耐高温	●	●●
非合金铝 / 镁	●●	●
铝合金, 硅含量 < 0,5%	●	●●
铝合金, 硅含量 < 0,5% ... 10%	●	●●
铝合金, 硅含量 > 10%	●	●●

●● 建议 ● 可行的应用

冷却和润滑

说到这个话题就不能不提“冷却液”，尽管在攻丝时和尤其在螺纹挤压成型时润滑比冷却更为重要。我们将冷却液供给方法分为下面几种：

- 从外部供给冷却液
- 通过刀柄上的轴向出口从外部供给冷却液
- 通过刀杆上的润滑槽从内部供给冷却液供给
- 利用轴向冷却液出口 (= KA)
从内部供给冷却液 (= IK)
- 利用径向冷却液出口 (= KR)
从内部供给冷却液

外部冷却液供给是使用最广的方法，并且在大多数情况下有效。在垂直加工盲孔螺纹加工时，冷却液自动灌入底孔（除非孔径特别小），这对螺纹加工很有利。

加工通孔螺纹时，尽管冷却液无法自动灌入底孔，但因为在攻丝时沿进给方向排走切屑，并且在螺纹挤压成型时不产生切屑，所以对于较深的螺纹冷却液还是可以到达刀具倒角区域。冷却液射束应调整得尽量平行于刀具轴线。

在采用水平主轴位置加工深螺纹时，外部冷却液供给就成了问题。在这种情况下无法保证冷却液到达刀刃。在盲孔攻丝时，排出的切屑会进一步加重冷却液供给的难度。

通过刀杆上的冷却槽轴向供给冷却液具有明显的优势，因为无论刀具多长，冷却液都可以可靠达到刀刃处。此时只需要注意，如果冷却液压力过低，冷却液会随着转速的提高而被甩出。

内部冷却液供给能够确保冷却液随时被输送到刀刃，因此刀刃始终获得最佳冷却和润滑，此外，有时还可以帮助排走切屑。

工件材料组	材料	攻丝	螺纹挤压成型	螺纹铣削
P	钢	5% 乳剂	5-10% 乳剂	乳剂 / 油雾润滑 / 压缩空气
	钢 850-1200 N/mm ²	5-10% 乳剂	10% 乳剂 或油 (Protofluid)	乳剂 / 油雾润滑 / 压缩空气
	钢 1200-1400 N/mm ²	10% 乳剂 或油 (Protofluid)	10% 乳剂或油 (Protofluid 或 Hardcut 525)	乳剂 / 油雾润滑 / 压缩空气
	钢 1400-1600 N/mm ² 相当于 44-49 HRC	油 (Protofluid 或 Hardcut 525)	通常无法进行成型加工	乳剂 / 油雾润滑 / 压缩空气
M	不锈钢	5-10% 乳剂 或油 (Protofluid)	油 (Protofluid) [5-10% 乳剂只能 配合非标刀具使用 (Protodyn® S Eco Inox)]	乳剂
K	灰口铸铁 GG	5% 乳剂	无法进行成型加工	乳剂 / 油雾润滑 / 压缩空气
	球墨铸铁 GGG	5% 乳剂	10% 乳剂	乳剂 / 油雾润滑 / 压缩空气
N	铝, 硅含量最大 12%	5-10% 乳剂	5-15% 乳剂	乳剂 / 油雾润滑 / 压缩空气
	铝, 硅含量超过 12%	5-10% 乳剂	5-10% 乳剂 只在特殊情况下可 以进行成型加工	乳剂 / 油雾润滑 / 压缩空气
	镁	油 (Protofluid)	无法在室温下进行 成型加工	干式
	铜	5-10% 乳剂	5-10% 乳剂	乳剂 / 油雾润滑 / 压缩空气
S	钛合金	10% 乳剂或油 (Protofluid 或 Hardcut 525)	油 (Hardcut 525)	乳剂
	镍基合金	10% 乳剂或油 (Protofluid 或 Hardcut 525)	油 (Protofluid 或 Hardcut 525)	乳剂
H	钢 > 49 HRC	油 (Hardcut 525) 只能使用硬质合 金刀具	无法进行成型加工	干式 / 油雾润滑
O	塑料	乳剂 5%	成型加工无法形 成符合尺寸要求 的螺纹	乳剂 / 油雾润滑

冷却和润滑 —— 攻丝

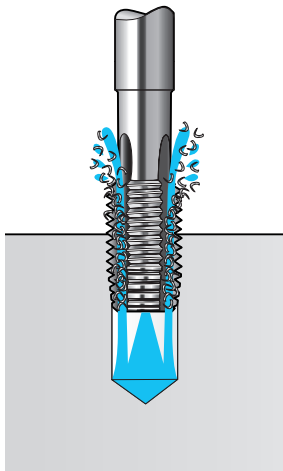
在盲孔攻丝时分为两种情况：

第 1 种情况：短切屑

如果能够切出短切屑，则在性能和工艺可靠性方面将获得最佳效果。然后，这些短切屑可以被冷却液顺利地从螺纹中冲出。切出短切屑最好的办法是使用直槽丝锥（例如 Paradur® HT）。加工盲孔螺纹时建立采用 KA。

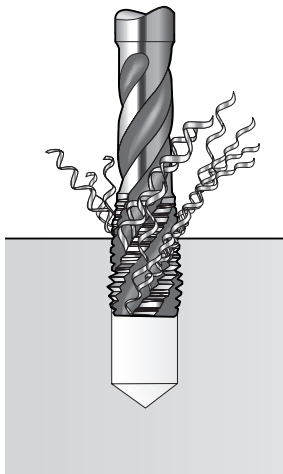
备注：

在短切屑材料上加工盲孔螺纹时如果不使用 IK，切屑会积聚在孔底。如果确定的安全距离过小，刀具会碰到切屑并可能折断。



第 2 种情况：长切屑 (无法切出短切屑)

加工抗拉强度低于 1000 N/mm² 的钢件以及不锈钢和其他韧性材料时，一般无法切出短切屑。在这些情况下必须通过刀具的螺旋槽排出切屑。如果进行内冷，冷却液只能帮助输送切屑。在有些情况下，可以使用弱螺旋丝锥进行加工，以延长刀具寿命。



冷却和润滑 —— 螺纹铣削

在螺纹铣削时一般争取进行湿式加工，然而只能在确保均匀冷却时才能这样应用。否则产生的热冲击会加重微观裂纹的产生，继而导致崩刃并降低刀具寿命。在利用外部供给的冷却润滑剂进行湿式加工时，往往无法保证均匀冷却。在螺纹铣削时一般都能用压缩空气进行干式加工，但必须承受刀具寿命降低的后果。

在盲孔加工时普遍建议使用带有轴向冷却液出口的刀具。此时使用乳剂效果最佳。因为从四面八方对整个刀具进行冲洗，所以不会出现热冲击。此外，冷却液射束还可以帮助排走切屑并确保工艺可靠性。另外，此处也可以采用内部供给的压缩空气或油雾润滑，然而会导致刀具寿命降低。不建议采用外部供给的乳剂来加工盲孔螺纹，因为此时切屑可能聚集在底孔中，从而对刀具寿命产生不利影响。此外，使用外部供给的冷却润滑剂会提高产生热冲击的风险。

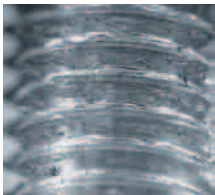
在加工通孔螺纹时建议采用外部乳剂供给、油雾润滑或使用压缩空气。然而此时湿式加工可能会导致问题出现，因为外部冷却液供给不能始终确保刀具均匀冷却。尤其是对于较小的螺纹尺寸，存在外部供给的冷却液不能完全进入孔内的危险，这样就不能保证刀具的均匀冷却。

备注：

在螺纹铣削时，不进行冷却与偶尔冷却相比负面影响更小。

冷却和润滑 —— 螺纹挤压成型

冷却，尤其是润滑，在螺纹挤压成型时具有重要意义。在润滑不充分时，螺纹表面质量会明显降低，如这些照片所示：

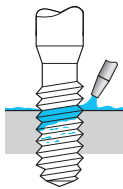


润滑不充分时的鳞状表面；
解决方法：润滑槽

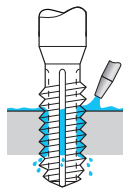


润滑优良时的光滑表面

挤压丝锥分为两种基本类型：带润滑槽的挤压丝锥和带不带润滑槽的挤压丝锥。下面解释了不同的应用范围。



不带润滑槽



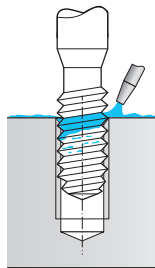
带润滑槽

不带润滑槽的刀具的使用仅限于：

- 板材加工
- 不超过 $1,5 \times D_N$ 的通孔螺纹（因为冷却液不会聚集在底孔中）
- 垂直加工的盲孔螺纹（加工很深的盲孔螺纹时建议采用 KA）

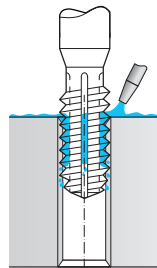
润滑槽确保也能均匀润滑较深的螺纹的下部区域，因此带润滑槽的挤压丝锥是万用的。使用带润滑槽的刀具也能加工至约 $3,5 \times D_N$ 的垂直通孔螺纹而无需 IK。

刀具设计时应区分以下四种不同的情况：



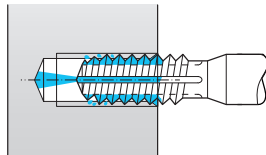
垂直盲孔加工

不需要润滑槽和内部冷却液供给；外部冷却液供给已足够（加工很深的螺纹时建议采用 KA）。



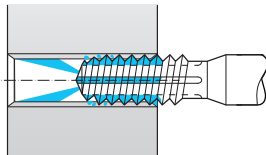
垂直通孔加工 ($> 1,5 \times D_N$)

需要润滑槽；不需要内部冷却液供给。通过润滑槽可以将外部供给的冷却润滑液输送到成型刃（加工很深的螺纹时建议使用 KR）。



水平盲孔加工

需要润滑槽和内部冷却液供给。轴向冷却液出口足够。



水平通孔加工

需要润滑槽。建议使用带径向出口的内部冷却液供给。

油雾润滑

冷却润滑液在切削加工时用于降低刀具摩擦，从工件和机床上带走热量，帮助断屑和排走切屑。此外还可清除工件、刀具和夹具上的残留切屑。这一切构成了高效、顺利、经济的加工的重要前提条件。

然而冷却润滑液的购置、保养和废弃处理费用一直在不断提高。此外，冷却润滑剂对环境的污染和对机床操作员的健康危害正受到越来越强的关注。如第 7 页所述，冷却润滑剂的成本约占整个生产成本的 16%。因此，降低润滑剂的消耗量对于可持续发展的成功企业来说具有重要的生态和经济意义。

这种愿望可通过油雾润滑 (MQL) 来实现。油雾润滑就是向压缩空气中添加少量的高效润滑剂。即使是最小剂量的此种润滑剂 (约每小时 5-50 毫升)，也能防止有冷焊倾向的材料发生冷焊。此外，借助油雾润滑可通过减少摩擦来降低加工温度。

在最简单的情况下可从外部供给润滑剂。可以低成本地在已有机床上使用这种方法，然而对于 $1.5 \times D_N$ 以上的螺纹深度润滑作用有限。通过主轴供给润滑剂是有优势的，在购买新机床时应加以考虑。

在设计刀具时必须注意，油雾润滑会改变对刀具的要求。例如，应将刀具设计成在加工时产生的热量尽量少，因此要避免前角过小甚至为负。同样，设计槽型时必须确保，即使没有冷却润滑剂的支持作用也能可靠地去除切屑。在油雾润滑加工时，主要由涂层发挥重要作用，因为硬质材料涂层能承担一大部分润滑任务。此外，涂层还用于减少摩擦以及刀具隔热。

如果螺纹深度 $> 1.5 \times D_N$ ，油雾润滑的前提条件是使用径向出口进行内冷。此外，设计刀具上的冷却液通道时应注意，不要使油与空气的混合物发生离析。

在瓦尔特-普瑞特 (Walter Prototyp) 刀具中，我们推荐专门为丝锥开发的 THL 涂层用于油雾润滑。在标准产品目录中，Paradur® Eco Plus (成功的 Paradur® Eco HT 的后续版本)、Prototex® Eco HT 以及 Paradur® 和 Prototex® Synchrospeed 刀具都有带这种涂层的型号。THL 涂层带有润滑剂层，即使在油雾润滑时也能保证较低的摩擦，而且还可防止产生积屑瘤。在刀具的使用寿命内，此润滑剂层被持续磨平。

在挤压丝锥中，Protodyn® Eco Plus、Eco LM 和 Synchrospeed 系列都适用于油雾润滑。

客户收益

- 使用瓦尔特-普瑞特 (Walter Prototyp) 刀具进行油雾润滑加工的
- 降低生产成本，提高竞争力
 - 减少冷却润滑剂的购置、保养和废弃处理成本
 - 减少能源成本
 - 避免危害员工健康
 - 与湿式加工相比通常无性能损失
 - 槽型工件内不会积存冷却润滑剂
 - 降低工件清洁成本

备注：

螺纹铣削与攻丝和螺纹挤压成型不同，一般能进行干式加工，但必须承受刀具寿命降低的后果。如果进行干式加工，建议使用压缩空气来帮助去除切屑。在螺纹铣削时，油雾润滑通常比湿式加工更有益，因为刀具不会承受热冲击。

适合于油雾润滑加工的材料	不适合于油雾润滑加工的材料
<ul style="list-style-type: none"> - 非合金钢或低合金钢以及抗拉强度 $< 1000 \text{ N/mm}^2$ 的铸钢 - 灰口铸铁 - 黄铜 - 铝硅合金 - 铜合金 	<ul style="list-style-type: none"> - 高强度、高合金钢 - 钛合金和镍合金 - 不锈钢

备注：

- 在螺纹铣削时也可以采用油雾润滑加工高强度材料和淬硬材料。
- 在实践中可能出现不符合上述分类的情况。

刀柄

攻丝刀柄也被称作刀柄，是主轴与刀具之间的连接件。

攻丝和螺纹挤压成型时刀柄的任务：

- 传递扭矩
- 必要时对主轴位置和刀具标准位置之间的偏差进行轴向和 / 或径向补偿

螺纹铣削时刀柄的任务：

- 传递扭矩
- 将刀具偏移降到最小 (刀柄在受到径向力时必须保持不动)
- 减轻振动

通用任务：

- 将冷却润滑剂从主轴传递到刀具上
- 发生刀具崩裂时保护主轴轴承
- 防止刀具崩刃 (只能在有限的程度上实现)

鉴于主轴与进给之间的相互作用，在攻丝和螺纹挤压成型时是否和如何精确地协调 (同步) 主轴转速与进给速度就显得至关重要。

备注：

所有常见铣刀柄都可用于螺纹铣削。攻丝和螺纹挤压成型有专用刀柄，在下面介绍。

丝维和挤压丝锥主要刀柄类型

带轴向补偿的快换夹头

优势：

- 在同步和非同步机床上使用
- 补偿轴向和径向位置偏差
- 结构牢固

劣势：

- 技术比刚性刀柄复杂
- 不能防止过切，因为刀具必须自导向

瓦尔特在标准产品系列中提供快换夹头。



带最小补偿量的同步刀柄

优势：

- 补偿轴向力，因此可明显提高刀具寿命
- 结合了刚性刀柄与补偿刀柄的优势

劣势：

- 购置成本高于刚性刀柄
- 只能在同步机床上使用

瓦尔特在标准产品系列中提供带最小补偿量的同步刀柄。



丝锥和挤压丝锥主要刀柄类型

攻丝刀柄

优势：

- 在同步和非同步机床上使用
- 保护主轴，因为可变换刀柄的旋转方向
- 加工循环时间最短，因为主轴不需要加速或减速；因此在批量生产时尤其有利

劣势：

- 技术复杂
- 维护成本高
- 需要扭矩支承
- 购置成本高



热胀刀柄、刚性弹簧刀柄、Weldon 侧固式刀柄 (从左到右)

优势：

- 结构简单、便宜且牢固
- 热胀刀柄：同轴精度非常高

劣势：

- 只能在同步机床上使用
- 由于螺距差最小而产生轴向力，作用于刀具齿面并降低刀具寿命



瓦尔特在标准产品系列中提供热胀刀柄、刚性弹簧刀柄、Weldon 侧固式刀柄。

攻丝和螺纹挤压成型的同步加工

为了降低攻丝和螺纹挤压成型的工艺时间，现在越来越多地以更高的转速和切削速度 (HSC = 高速切削) 进行加工。为了实现高切削速度，建议采用同步加工。

同步螺纹切削的前提条件是，机床的主轴旋转运动和进给运动同步。螺纹刀具不是通过其槽型自导向，而是只通过机床的进给和主轴转速进行控制。目前大多数加工中心都适于进行同步加工。

基本上所有丝锥和挤压丝锥都可在同步加工中使用。然而，瓦尔特-普瑞特 (Walter Prototyp) 提供专门为同步加工设计的名为 Synchronspeed 的刀具。这组刀具的特点是齿面后角特别大并且螺纹部分特别短。Synchronspeed 系列的刀具只能在同步加工中使用。与此不同，Eco 系列的刀具在同步以及传统使用时都能获得很好的效果。

同步丝锥既可以用一般的 Weldon 侧固式刀柄也可以用弹簧刀柄 (如有可能，应采用带方身的弹簧筒夹) 夹紧。这两种刀柄都有一个缺陷，就是无法补偿在攻丝加工中出现的轴向力。

更好的替代方式是使用带有最小补偿量的 Prototflex C 半刚性攻丝刀柄。Prototflex C 是一款用于加工中心的带微量补偿功能的攻丝刀柄。它能保证实现准确设定的最小补偿量，并与 Synchronspeed 刀具在槽型上相匹配。

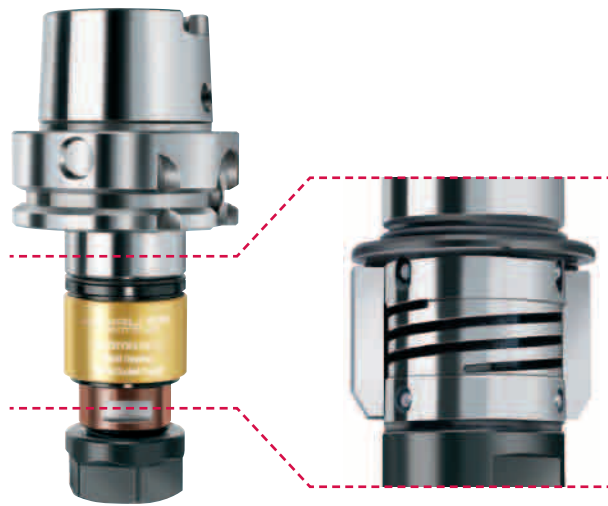
Prototflex C 有何特殊之处？

与传统的同步攻丝刀柄不同，Prototflex C 基于一个精密加工的柔性部件 (Flexor)，它的弹簧刚度很高，可以在径向和轴向对位置偏差进行细微的补偿。专利的测微补偿器用一种专为美国航天局开发的特殊合金制造，其突出特点是使用寿命长且无需维护。而一般的同步刀柄的相应部件使用的是塑料件，会随着时间的推移而失去其灵活性，从而不能再进行微量补偿。

使用 Prototflex C 攻丝刀柄后，丝锥齿面上的压力明显减小，由此产生以下结果：

- 降低刀具的断裂风险，实现更高的工艺可靠性，尤其是对于小尺寸丝锥而言更是如此
- 摩擦力更小，螺纹刀具的寿命因此更长
- 螺纹齿面的表面质量更好

对客户而言，使用 Prototflex C 攻丝刀柄意味着最高生产效率和更低的刀具成本，而且在攻丝和螺纹挤压成型时都一样。



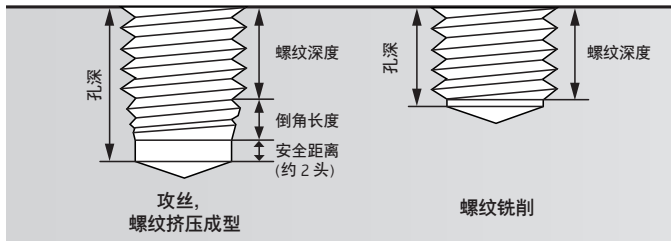
Prototflex C 同步攻丝刀柄

带最小补偿量的柔性部件 Flexor

关于底孔的提示

底孔深度

钻深 ≥ 有效的螺纹深度 (+ 倒角长度) + 安全距离



备注：

计算必要的底孔深度时必须考虑到螺纹刀具可能有尖部。此时要区分完整的尖部或带台阶的尖部。与丝锥和挤压丝锥相比，螺纹铣刀既无倒角区又

无尖部，因此加工螺纹时能够接近孔底。铣削时不会出现过切，因此不需要附加的轴向安全距离。

攻丝和螺纹铣削时的底孔直径

经验公式：

孔径 = 公称直径 - 螺距

以尺寸 M10 为例

孔径 = 10,0 mm - 1,5 mm = 8,5 mm

螺纹挤压成型时的底孔直径

经验公式：

孔径 = 公称直径 - f x 螺距

- 公差 6H : f = 0,45

- 公差 6G : f = 0,42

以尺寸 M10 为例

孔径 = 10,0 mm - 0,45 x 1,5 mm = 9,325 mm = 9,33 mm

关于螺纹挤压成型的特别提示

备注：

推荐的底孔直径已标注在瓦尔特-普瑞特 (Walter Prototyp) 挤压丝锥的刀柄上。



在选择孔加工刀具时还要注意下表列出的底孔公差范围，以便保证安全的加工过程和良好的刀具寿命。

螺距	引导孔直径公差
≤ 0,3 mm	± 0,01 mm
> 0,3 mm 至 < 0,5 mm	± 0,02 mm
≥ 0,5 mm 至 < 1 mm	± 0,03 mm
≥ 1 mm	± 0,05 mm

由于这些公差比攻丝的公差范围更窄，所以螺纹挤压成型并非在所有情况下都比攻丝更经济。

实用小贴士：

螺纹小径在螺纹挤压成型的过程中形成，因此受到材料流动特性的影响。与之不同，在攻丝和螺纹铣削时底孔

就已确定了螺纹小径。因此在挤压成型后务必测量螺纹小径。内螺纹的螺纹小径公差列在第 116 页上。

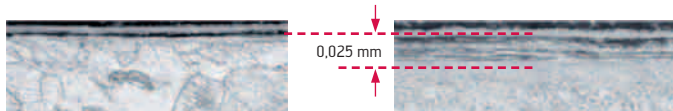
备注：

瓦尔特-蒂泰克斯 (Walter Titec) 的产品系列与攻丝和螺纹挤压成型的引导孔直径相匹配。

边缘区硬化

螺纹加工常常被视为一个独立的过程。这是不明智的，因为先前的钻孔操作对接下来的螺纹加工有着显著影响。

在钻出螺纹底孔时，工件材料的边缘区域受到机械和热效应的影响。从下面两幅显微照片上可以看出由此产生的材料组织变化：



新钻头：
边缘区域几乎无变化

磨损的钻头：
边缘区域受到影响

在使用已磨损的钻头时，边区域缘的硬度明显高于新钻头。在钻孔时使用较高的切削参数也会导致边缘区硬化。尽管硬化只在距离孔表面很小的范围内出现，却会导致螺纹刀具的使用寿命明显降低（在下面举例说明）。

总结：

- 螺纹刀具的使用寿命随着边缘区硬度的升高而降低。
- 边缘区硬度随着钻头的磨损、切削参数的提高或切削刃的钝化而增大。

示例：材料 C70，钻孔直径 8,5 mm，钻孔深度 24,5 mm

	磨损的钻头	新钻头
边缘区硬度	450 HV	280 HV
边缘区宽度	0,065 mm	≈ 0
丝锥使用寿命	70 个螺纹	> 350 个螺纹

实用小贴士：

对于使用寿命问题，除了螺纹加工工艺，也要注意前道钻孔工艺以及钻头本身！



基本类型

盲孔

短切屑材料
直槽丝锥不能送出切屑，因此只能用于短切屑材料或短螺纹。

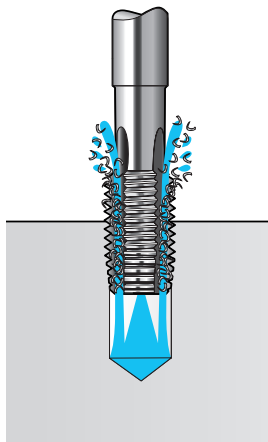
备注：

如果不带内冷，切屑会聚集在孔底。如果确定的安全距离过小，刀具可能会碰到切屑并折断。

如果丝锥带有轴向内冷功能，则直槽丝锥也可以用于较深的螺纹，这是因为切屑逆着进给方向被冲出。然而其前提条件是切出短切屑（例如：Paradur® HT，螺纹深度至 $3.5 \times D_N$ ）。

与螺旋槽丝锥相比，直槽丝锥的使用寿命更长。

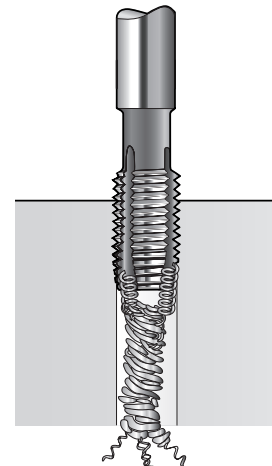
有些直槽丝锥也可以用于在断屑性能良好的材料上加工通孔（例如 Paradur® Eco Cl）。



通孔

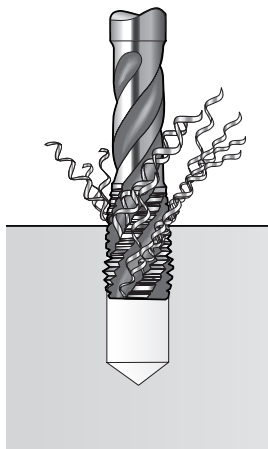
长切屑材料
带螺尖式倒角的丝锥将切屑沿进给方向向前送出。

带螺尖式倒角的丝锥是在长切屑材料上加工通孔螺纹的首选。



长切屑材料

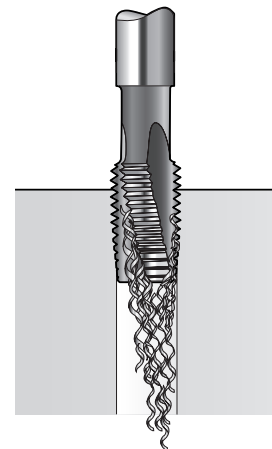
右旋丝锥沿刀柄方向输送切屑。被加工材料的韧性越高、切屑越长以及螺纹越深，所需的螺旋角就越大。



左旋丝锥

(与带螺尖式倒角的丝锥)一样将切屑沿进给方向向前送出。

在无法通过螺尖式倒角保证可靠的切屑排出效果时，使用左旋丝锥才有意义。刀具示例：20411 和 20461 型 Paradur® N



按照 DIN 2197 的倒角类型

请注意：

- 长倒角可提高刀具使用寿命
- 长倒角可降低刀具切削刃负荷，材料强度越高越明显
- 短倒角可使螺纹接近孔底
- 长倒角会提高所需扭矩

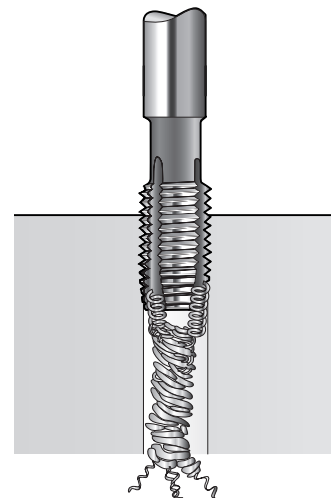
形状	倒角部分头数	结构和应用
A	6-8头	直槽 短切屑材料 中等和长切屑材料上的短通孔螺纹
B	3.5-5.5头	直槽, 带螺旋式倒角 中等和长切屑材料
C	2-3头	右旋 中等和长切屑材料
		直槽 短切屑材料
D	3.5-5头	左旋 长切屑材料
		直槽 短切屑材料
E	1.5-2头	右旋 中等和长切屑材料上的短螺纹退刀槽
		直槽 短切屑材料上的短螺纹退刀槽
F	1-1.5头	右旋 中等和长切屑材料上的很短的螺纹退刀槽
		直槽 短切屑材料上的很短的螺纹退刀槽

切屑截面

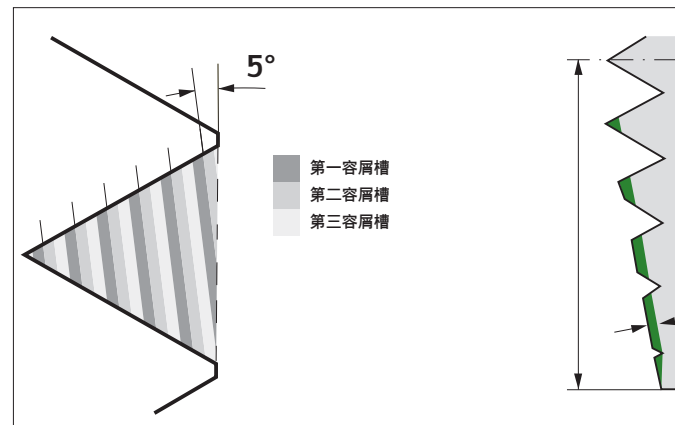
通孔螺纹主要使用较长的倒角类型。

长倒角 (例如 B 型) 的结果：

- 刀具寿命长
- 扭矩大
- 切屑截面小
- 倒角切削齿负荷小



B 型

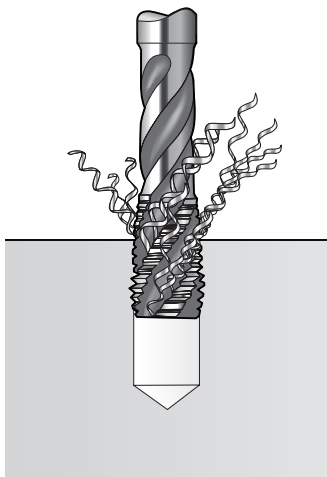


切屑截面

在加工盲孔螺纹时大多选择较短的倒角类型，螺纹常常要到达孔底只是其中的一个原因。

盲孔螺纹加工中丝锥反转时的切屑切断会出现一些问题。如果切屑过薄，则在反转时切屑只会翻转而不能断开。切屑会被挤在工件和倒角后刀面之间。这可能导致刀具崩裂，因此，A、B和D型长倒角不适合于盲孔螺纹，因为产生的切屑过薄。

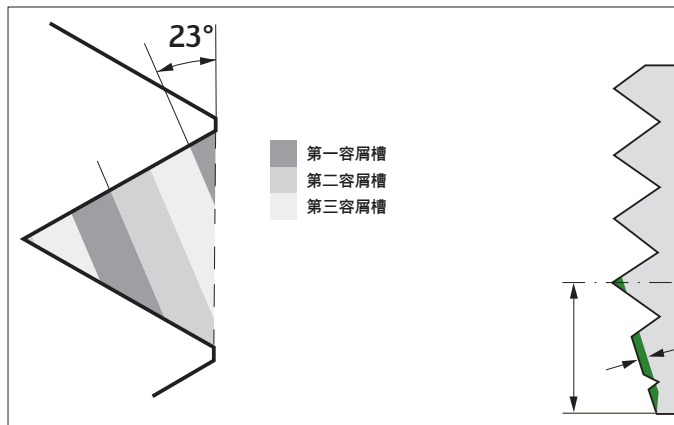
产生的切屑数量较少是短倒角的一个优势。此外，较大的切屑断面有利于切屑的去除。



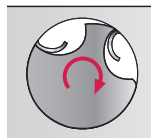
短倒角 (例如 E 型) 的结果：

- 扭矩小
- 切屑截面大
- 倒角切削齿负荷大
- 刀具寿命短
- 切屑去除佳

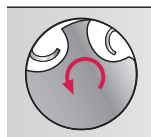
E 型



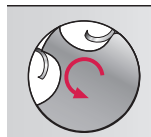
盲孔螺纹切削过程



丝锥仍处于切削过程中并停下。在停下之时，倒角上的所有刀刃仍处于切削过程中。



刀具已切换至反转，原先产生的切屑首先保持静止。该位置上的反转扭矩接近零。



切屑触及后一个容屑槽的背面。在此处反转扭矩骤然提高。现在，切屑必须被切断。由于丝锥的倒角有一个后角，且在反转时锥型倒角沿轴向从螺纹中退出，因此不再直接在切屑根部接触到切屑。因此，切屑需要有一定的稳定性(厚度)。



切屑已被切断，反转扭矩降低到丝锥的导向部分和所切削的螺纹之间的摩擦力所产生的扭矩值。

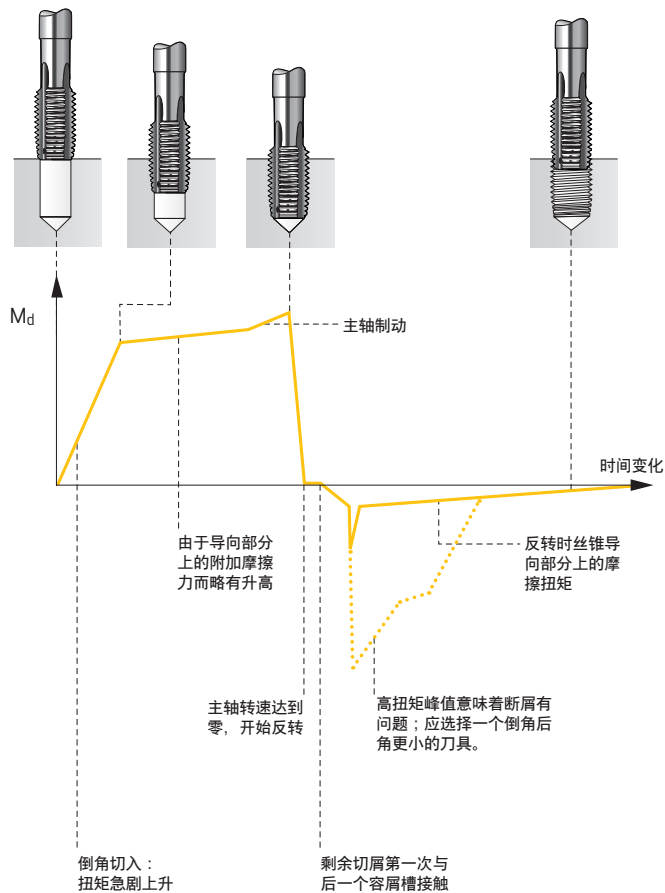
备注：

通孔丝锥不能用于盲孔加工，因为通孔丝锥的倒角后角较大并且不能切断切屑，相反切屑会卡在倒角和螺纹之间。这样便可能崩断倒角部分的齿刃，在极端情况下甚至导致丝锥

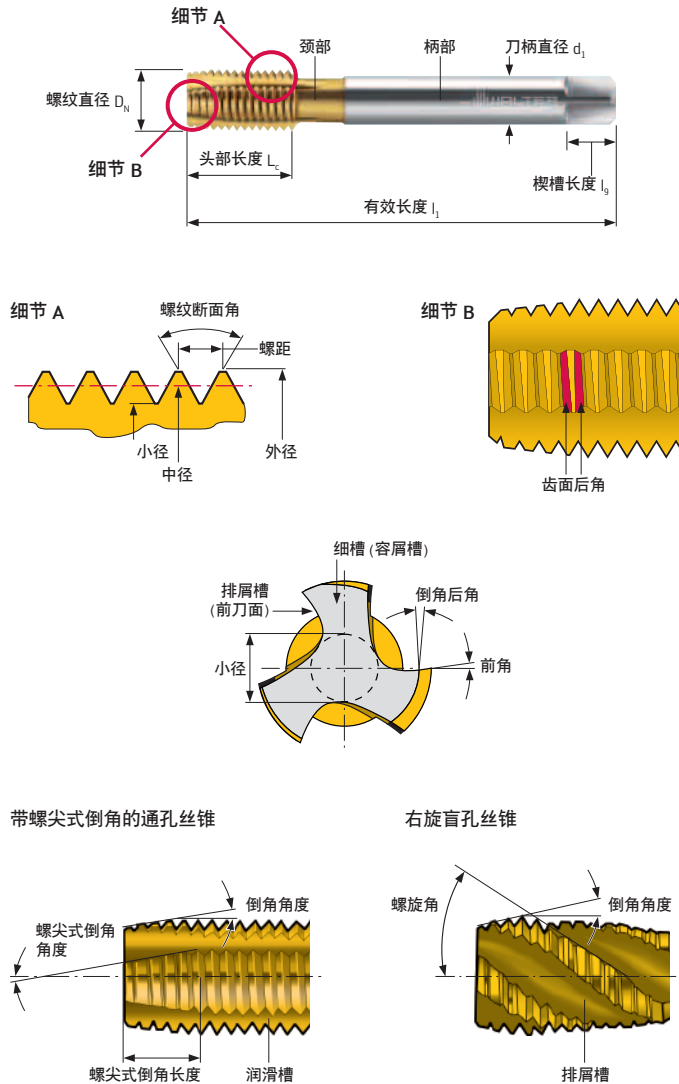
折断。盲孔丝锥的倒角后角始终小于通孔丝锥，因为盲孔丝锥必须在反转时切断切屑根部。

盲孔螺纹切削过程

盲孔螺纹攻丝时的扭矩变化过程



丝锥的角度和特征

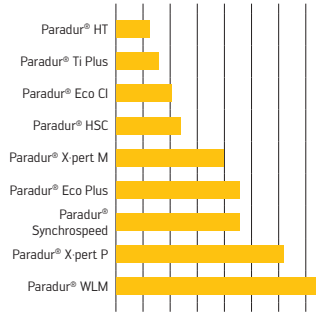


槽型数据比较

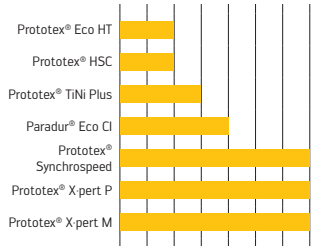
小前角：

- 提高切削刃的稳定性 (大前角可能会导致倒角区域崩刃)
- 通常产生更好控制的切屑
- 工件表面质量较差
- 需要提高切削力或切削扭矩
- 在加工硬质材料时需要
- 提高被加工材料的挤压倾向, 也就是说丝锥切削时不太自如, 因此产生的螺纹窄一些

盲孔刀具前角



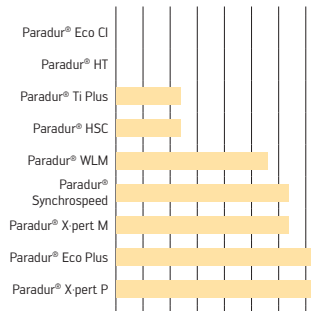
通孔刀具前角



大螺旋角：

- 有助于排除切屑
- 降低刀具的稳定性并因此限制最大切削扭矩
- 降低切削刃的稳定性
- 降低刀具寿命

盲孔刀具螺旋角



齿面后角：

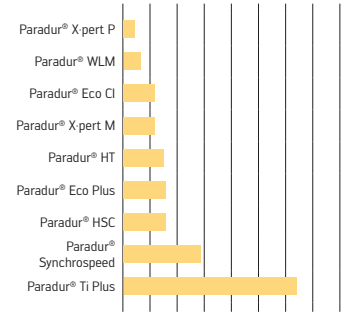
齿面后角必须与被加工的材料相匹配。抗拉强度较高的材料以及容易缠屑的材料需要较大的齿面后角。随着后角的提高, 刀具的导向性能会变差, 因此在使用补偿刀柄的情况下在软质材料上可能发生切刃现象。

实用小贴士：

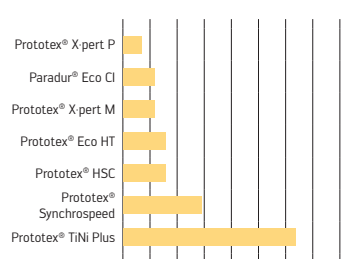
齿面后角的检查

丝锥应能够轻松地旋入其加工好的螺纹中, 而不再出现切削现象。如果不能轻易旋入, 就应选择齿面后角更大的刀具型号。

盲孔刀具齿面后角



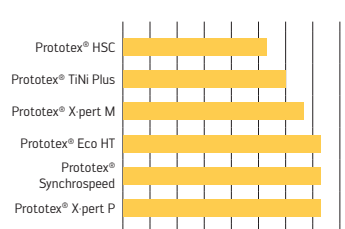
通孔刀具齿面后角



螺尖式倒角角度：

螺尖式倒角角度受倒角长度和排屑槽数量的限制, 因为提高螺尖式倒角角度会降低倒角第一个螺纹带中的容屑槽宽度。这会导致刀具的稳定性降低 (倒角区域内的崩刃危险上升)。然而提高螺尖式倒角角度有利于沿进给方向排除切屑。在螺尖式倒角角度过小时, 排屑排除可能会有问题。可以通过左旋刀具解决该问题。

通孔刀具螺尖式倒角角度



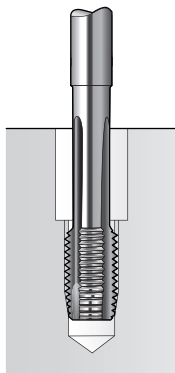
倒角后角：

通孔丝锥的倒角后角是盲孔丝锥倒角后角的三倍。原因见第 80 页。

攻丝时的特点

下陷盲孔螺纹及深盲孔螺纹

- 尽可能使用带有轴向内冷的直槽丝锥或带有无涂层或汽化涂层排屑槽的盲孔丝锥：
 - Paradur® HT (直槽)
 - 带 TiN/vap 涂层的 Paradur® Synchrospeed (螺旋)
- 我们建议使用螺纹挤压成型进行不锈钢加工并作为常规性问题解决方案；如果进行不锈钢攻丝就必须使用螺旋丝锥：
 - 螺纹挤压成型：Protodyn® S Eco Inox
 - 攻丝：Paradur® X.pert M



斜向螺纹出口

- 使用导向部分尽可能长且稳定性最大的丝锥 (例如 Prototex® X.pert P、Prototex® X.pert M)
 - 30° 以下的倾斜度相对不成问题
- 也可采用：螺纹铣削



底孔深度远远大于螺纹深度的螺纹

- 使用具有改进型螺尖式倒角的通孔丝锥：
 - 将倒角铲磨量减少到盲孔丝锥的数值
 - 将倒角长度缩短到约 3 个头

优势：刀具寿命比大螺旋角盲孔丝锥更长

劣势：切屑留在孔中

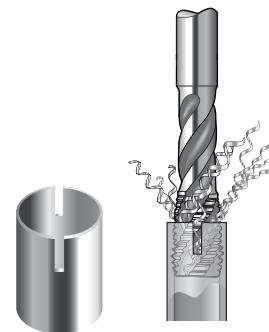
- 加工 G625 等短切屑材料时也可以使用不带螺尖式倒角的直槽刀具：

- Paradur® Eco Cl
- 当然进行这种加工时也可以使用大螺旋角盲孔丝锥



开槽螺纹

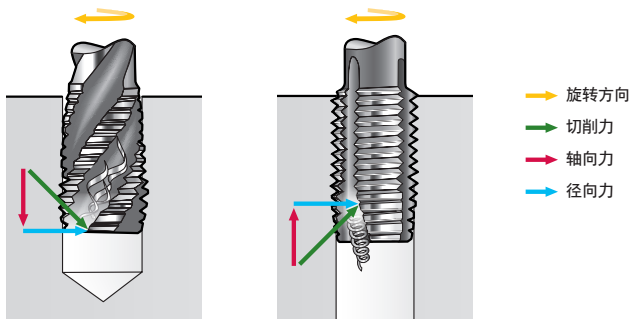
- 开槽螺纹要用大螺旋角刀具加工：
 - Paradur® X.pert M
 - Paradur® X.pert P
 - Paradur® Eco Plus



攻丝时的各种力

攻丝时会出现由刀具决定的轴向力。右旋丝锥承受沿进给方向的轴向力。

对于带螺尖式倒角的丝锥，这个力逆着进给方向。

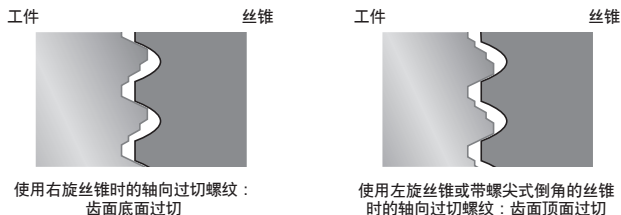


右旋丝锥上的各种力

带螺尖式倒角的丝锥上的各种力

在使用补偿刀柄时，轴向力可能导致螺纹被切得过大，这种情况被称为“轴向过切”。在软质材料上使用大齿面后角

的大螺旋角刀具或切削刃处理不合适，都会加重轴向过切。



使用右旋丝锥时的轴向过切螺纹：齿面底面过切

使用左旋丝锥或带螺尖式倒角的丝锥时的轴向过切螺纹：齿面顶面过切

关于过切及其对策的详细信息请见第 91 页 (攻丝问题和解决方案)。

使用补偿刀柄时的进给编程

在使用具有长度补偿功能的攻丝刀柄时，必须注意加工时出现的由刀具决定的轴向力。

对于螺旋盲孔丝锥，沿进给方向出现一个轴向力。必须通过减小编程值来抵消这个力。

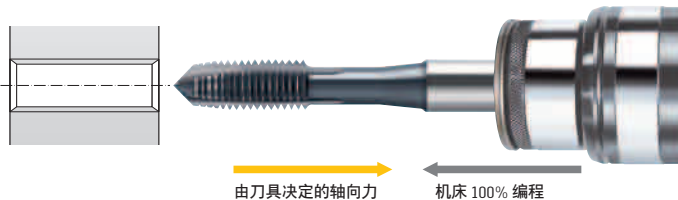


通常这种加工情况下的进给值介于理论进给值的 90 到 98% 之间。理论进给值可以用下列公式算得：

$$V_f = n \times p$$

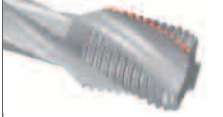


























n = 转速； p = 螺距

对于左旋刀具或带螺尖式倒角的丝锥，情况刚好相反，逆着进给方向产生轴向力。



此时建议用理论进给值编程。

变型

	负倒棱 (Secur 倒棱)	倒角部分缩短	倒角螺旋缩小	螺纹倾斜	无涂层排屑槽
					
切屑成型性能	切屑形成小卷， 切屑短	切屑形成小卷， 切屑少	切屑形成小卷， 切屑短	无变化	切屑形成小卷， 切屑短
刀具寿命			无涂层：  有涂层： 		
螺纹质量			无涂层：  有涂层： 		
切屑厚度					
扭矩					
应用示例	避免加工 St52、C45 等结构钢时缠屑	螺纹接近孔底，改善 切屑控制	优化钢件和铝材的切 屑成型性能	在导向部分上有崩刃 和冷焊问题	优化钢件的切屑成型性 能，用于曲轴加工
带有相应变型的标 准刀具	Paradur® Secur Paradur® HSC Prototex® HSC	带 E/F 型倒角的所 有刀具	Paradur® Ni 10 Paradur® HSC	Paradur® Eco Plus Paradur® X-pert M Paradur® Synchrospeed	所有无涂层的刀具以及 Paradur® Synchrospeed (TiN-vap)



问题和解决方案

切屑控制：

切屑控制是盲孔攻丝中的一个中心主题，特别是在韧性长切屑材料上加工深盲孔时。切屑控制问题表现为切屑结球、明显的扭矩峰值、导向部分上崩刃和 / 或整个断裂。

解决措施：

为了优化切屑控制，可以对标准丝锥进行变型*或重新设计：

- 减小倒角区域的螺旋，以获得短切屑
- 减小前角，以获得小卷切屑和短切屑
- 在弱螺旋或直槽刀具上，可以组合使用上述措施，并补充轴向内冷以冲掉短切屑；特别是在批量生产中，这是一种经过验证的方法，能提高工艺可靠性和生产效率
- 磨制排屑槽，或采用无涂层的小螺旋角；这样可产生易于控制的切屑
- 用 THL 涂层代替 TiN/TiCN 涂层，因为 THL 涂层具有更好的切屑成型性能；用无涂层或经汽化处理的刀具取代有涂层的刀具
- 缩短倒角 (改造) —— 产生更少且更厚的切屑
- 减少排屑槽数量 (重新设计)，切屑厚度增大并且刀具稳定性提高
- 使用带负倒棱的刀具 (例如 Paradur® Secur)

普遍适用的原则：

材料强度越高以及材料断裂伸长率越低，切屑控制越好。加工软质结构钢、低合金钢和低强度不锈钢时，切屑控制最难设计。

前面提及的措施对切屑成型的影响越大，螺纹表面质量越差。因此，务必按照客户要求确定措施。

- 螺纹挤压成型或螺纹铣削：
在盲孔攻丝时切屑控制有问题的材料，大多可以通过螺纹挤压成型而进行无屑加工。如果不允许进行螺纹挤压成型，螺纹铣削可以解决问题。在该工艺中会产生短切屑。



切屑控制有问题时的崩刃示例

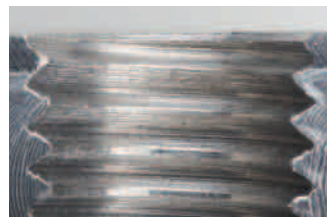
过切：

丝锥的槽型是根据特定应用情况而设计的。丝锥使用不当可能会产生大螺纹，称之为过切。

备注：

螺纹挤压成型、螺纹铣削和同步攻丝可以在很大程度上避免过切。

过切最可能在使用大螺旋角盲孔丝锥时发生。由于螺旋角而在进给方向上出现的轴向力可能将丝锥更快地拉入孔中，比实际螺距所要求的速度更快，这种情况称为“开瓶器效应”，也就是所谓的轴向过切。通孔丝锥承受由槽型决定的逆着进给方向的轴向力，这个力同样可能导致轴向过切。在软质材料上使用大齿面后角的丝锥或切削刃处理不合适，都会加重轴向过切。

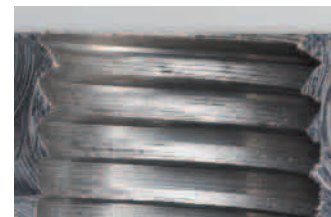


轴向过切的盲孔螺纹

丝锥由于上述原因而过切，加工出的螺纹普遍过大。当由于切屑阻塞或材料冷焊而有单侧径向力作用在刀具上时，可能发生偶尔过切，这种情况称为径向过切。

解决措施：

- 同步加工
- 使用与材料匹配的刀具
- 选择合适的涂层 (防止径向过切)
- 优化切屑控制 (防止径向过切)
- 使用小螺旋角丝锥
- 使用进行专门处理的丝锥：
 - Paradur® X-pert P；Paradur® Eco Plus
 - Prototex® X-pert P；Prototex® Eco HT
- 螺纹铣削
- 螺纹挤压成型



轴向过切的通孔螺纹

* 在第 88 – 89 页上对变型进行了全面解释和直观描述。

问题和解决方案

螺纹表面：

螺纹表面由以下因素决定：

- 加工方法：攻丝、螺纹挤压成型、螺纹铣削
- 刀具的磨损程度
- 槽型
- 涂层
- 要加工的材料
- 冷却润滑液及其在刀具功能区的可用性

备注：

在攻丝和螺纹挤压成型时，几乎不能通过切削参数影响表面质量。与此相反，在螺纹铣削时可以相互独立地选择切削速度和进给速度。

优化攻丝时的螺纹表面：

- 用螺纹挤压成型或螺纹铣削代替攻丝
- 加大前角
- 通过加长倒角或提高排屑槽宽度来减小切屑厚度 (然而会在盲孔丝锥时使切屑成型性能变差)
- TiN 和 TiCN 涂层在钢件上通常能加工出最好的表面 (用无涂层的或带 CrN 和 DLC 涂层的刀具加工铝材能获得最好的表面质量)



带 TiCN 涂层的丝锥加工 AISI7



带 DLC 涂层的丝锥加工 AISI7

- 加大乳剂浓度，或用油取代乳剂
- 将冷却润滑剂直接引到功能区域
- 提前用新的刀具代替现有刀具

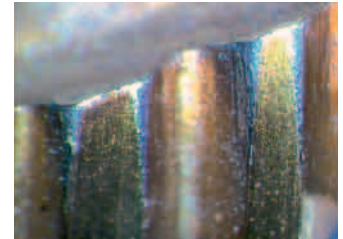
某些建议的措施尽管可以改善表面质量，但同时也会导致切屑控制变差，在加工深盲孔时问题尤其明显。此时需要按照客户要求选择一种妥协方案。

磨损：

高硬度可确保耐磨损性能良好且刀具寿命长久。但是硬度的升高通常会导致韧性降低。

小尺寸和大螺旋角的刀具需要高韧性，否则可能出现整体断裂。

使用挤压丝锥、直槽和弱螺旋刀具时，以及加工抗拉强度低的磨蚀性材料时，通常可以无问题地提高刀具硬度。



磨蚀性磨损的示例

刀具上的冷焊现象：

根据要加工的材料，建议利用特殊涂层和表面处理来解决问题：

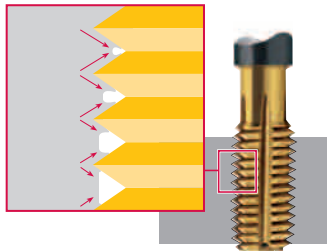
- 铝和铝合金：
 - 无涂层、CrN、DLC、WC/C
- 软钢和不锈钢：vap
- 软结构钢：CrN



冷焊示例

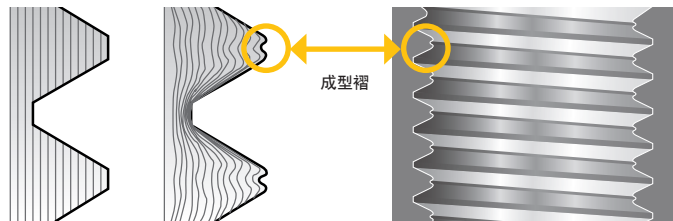
工艺基础知识

螺纹挤压成型是一种通过冷变形加工内螺纹的无屑加工工艺。通过挤出材料而使材料流动，从而产生一个被压缩的螺纹形状。这样就无需攻丝时必不可少的排屑槽，提高了刀具的稳定性。



由于冷硬化作用以及挤压成型螺纹不间断的纤维走向(见右下图)，静态负荷时的拉伸强度和动态负荷时的疲劳强度明

显提高。反之，在攻丝和螺纹铣削时纤维被切断(见左下图)。



必须注意，在螺纹挤压成型时在齿区始终会产生一个成型褶。因此，螺纹挤压成型并非在所有行业都允许使用。具体的限制在右侧列出。

- 食品工业和医疗技术(在成型褶区域内结晶)
- 部件自动螺纹连接(螺栓可能卡在成型褶内)
- 不允许用于飞机制造业

螺纹挤压成型特别适合于批量生产，例如汽车行业。由于可以无切屑地加工螺纹，同时刀具闭合的多边形形状提高了刀具的稳定性，因此可以实现特别高的工艺可靠性。此外，与攻丝相比通常切削参数更高、刀具寿命更长。与攻丝相比，螺纹挤压成型时所需的扭矩高出约30%。

备注：

在螺纹挤压成型时，螺纹底孔的公差范围比攻丝和螺纹铣削窄。因此，螺纹挤压成型并非在所有情况下都是经济的选择。所以绝对需要具体情况具体分析。用于计算必要的螺纹底孔的公式请见第70-71页。

在不同的应用中需要不同的倒角类型：

- D型，3.5 - 5.5头：
通孔螺纹
- C型，2 - 3.5头：
盲孔和通孔螺纹
- E型，1.5 - 2头：
盲孔螺纹

所有工业加工材料中的约65%可挤压成型。但以下情况下不适用：

- 断裂伸长率小于7%的脆性材料，例如：
 - 铸铁
 - 硅含量 > 12% 的硅合金
 - 短切屑铜锌合金
 - 热固性塑料
- 螺距 > 3 mm (螺距 ≤ 1.5 mm 时挤压成型特别经济)
- 抗拉强度 > 1200 - 1400 N/mm²

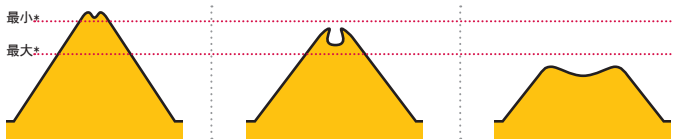
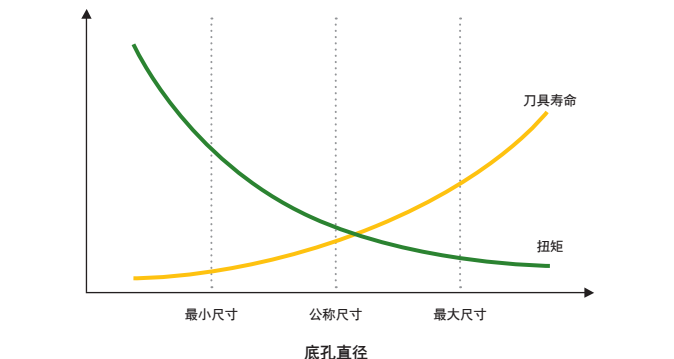
螺纹挤压成型的典型材料：

- 钢
- 不锈钢
- 软质铜合金
- 锻铝合金

引导孔直径的影响

底孔的引导钻孔直径对螺纹挤压成型过程有很大影响。一方面，影响必要的扭矩以及挤压丝锥的使用寿命，另一方面

也影响螺纹的成型。这些关系在图表中直观地显示。



* 生成的螺纹小径的公差按照 DIN 13-50

示例：M16 x 1,5-6H, 42CrMo4 ; Rm = 1100 N/mm²

引导孔直径：15,22 mm
-> 螺纹小径：14,37 mm

引导孔直径：15,3 mm
-> 螺纹小径：14,51 mm

引导孔直径：15,34 mm
-> 螺纹小径：14,62 mm



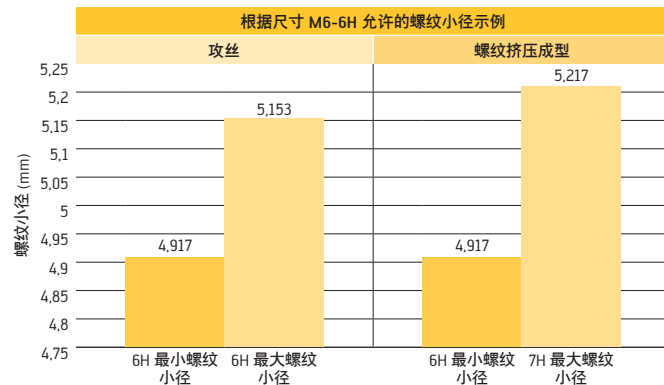
备注：

引导孔直径与螺纹小径的关系：

如果底孔扩大 0,04 mm，则螺纹小径（在成型后）至少扩大 0,08 mm，也就是说系数至少为 2。

对于挤压成型的螺纹，按照 DIN 13-50 螺纹小径允许大于攻丝时的螺纹小径。因此，例如公差等级 6H 的螺纹在挤压成型时尽管必须遵守公差等级 6H 的最

小螺纹小径，然而最大螺纹小径已接近公差等级 7H。这种关系在下面的图表中用一个示例说明。



实用小贴士：

特别是在批量生产中有必要对引导孔直径进行优化。适用的原则：

引导孔直径应选择得尽可能大而不要小。

引导孔直径越大：

- 刀具寿命越长
- 成型过程越容易和可靠
- 需要的扭矩越低

注意还是要确保螺纹的尺寸精度！

推荐的引导孔直径可查阅第 116 页的表格。

变型

	示意图	效果	副作用
D 型倒角		提高刀具寿命	加工周期略微加长
E 型倒角		螺纹接近孔底并略微缩短加工周期	刀具寿命降低
径向冷却液出口		改善冷却和润滑情况 (用于深螺纹和要求高的材料)	刀具成本较高
柄部带润滑槽		改善冷却和润滑情况 (不如径向冷却液出口高效)	-
总长度加长		能够加工难以够到的部位	-
涂层和表面处理		涂层与具体应用情况相匹配	可能提高刀具成本

问题和解决方案

一般来说，螺纹挤压成型的工艺可靠性特别高。尤其是在软质或难加工的材料上加工深孔而出现切屑排除问题时，螺纹挤压成型的优势可得到完全体现。因此，螺纹挤压成型甚至可被视为真正的“救火队员”。恰恰是那些最常引起切屑问题的材料，例如 St52、16MnCr5、C15，都可以很好地进行挤压成型，这在技术上是一个美丽的巧合。

如果对表面质量要求很高，螺纹挤压成型同样具有优势。挤压成型螺纹的表面粗糙度远远低于攻丝螺纹。

尽管螺纹的无屑加工能带来那么多好处，但为了保证工艺可靠，在螺纹挤压成型时也要注意一些基本事项：

- 引导孔直径与攻丝时相比公差范围更窄 (例如 $M6 \pm 0,05 \text{ mm}$)。
- 在底孔中不允许留有钻屑；可使用带内冷的麻花钻或带轴向冷却液出口的挤压丝锥来保证这个要求；在后一种情况下，挤压丝锥在挤压成型前应短暂停留在底孔上方。
- 螺纹挤压成型时需要的扭矩比攻丝时高；因此必要时可提高刀柄设定值。

- 在挤压成型时必须更加注意冷却润滑液和冷却润滑剂供应；短时干运转比攻丝时的影响还要大。这是因为，作用在成型刃上的表面压力更高，而且挤压成型时润滑槽的横截面小于丝锥排屑槽的横截面。由于润滑槽较小，所以挤压丝锥的稳定性更高；但由于扭矩提高，也必须有更高的稳定性。如果润滑槽较大，则在较高的作用力下容易发生成型刃折断。正确的冷却和润滑的细节信息可查阅第 60 页。

- 每种涂层的摩擦系数都随着温度的上升而减小；所以提高成型速度可以延长刀具寿命。

- 知名汽车制造商常常要求遵守一个特定的螺纹的支承高度；使用标准刀具无法始终可靠地满足此要求。

备注：

瓦尔特-普瑞特 (Walter Prototyp) 能够凭借特殊槽型刀具可靠地满足汽车制造商的这些要求。

问题和解决方案

螺纹挤压成型的使用极限：

很难为挤压成型定义出明确的极限，因为总是会出现成功突破极限的例外，或者根本就未达到过极限。

- 抗拉强度

视材料和润滑情况而定，极限约为 1200 N/mm^2 。然而已经出现过这样一些范例：能用优质高速钢挤压丝锥在不锈钢上、用整体硬质合金挤压丝锥在 Inconel 718 上进行良好地挤压成型。这两种材料的抗拉强度约为 1450 N/mm^2 。

- 断裂伸长率

一般规定断裂伸长率的最小值为 7%。然而在已知加工范例中，曾对断裂伸长率只有约 2% 的 GGG-70 进行挤压成型。在该应用中，螺纹断面上有明显的微小裂纹，但用户接受了。但是在这些情况下不应该得出可用挤压成型加工更高抗拉强度的结论。

- 螺距和螺纹形状

在螺距大于 3 mm 时，上述抗拉强度极限必须下移。带陡齿面的螺纹类型（例如梯形螺纹时 30° ）在个别情况下必须被检测。

- 硅含量

如果铝硅铸造合金的硅含量不高于 10%，可以进行挤压成型。也有一些硅含量达到 12-13% 的应用范例。然而表面质量以及螺纹拉断强度略有下降。

- 成型褶

在螺栓自动旋入时，不可避免地在螺纹齿区出现的成型褶可能导致问题。头几圈螺纹有时会陷入成型褶中。在食品工业或医疗技术中使用的部件也要避免挤压成型的螺纹，因为无法通过清洗可靠地去除成型褶中的污垢。

备注：

瓦尔特-普瑞特 (Walter Prototyp) 能够设计出在一定条件下使成型褶闭合的非标刀具。已经出现过这样的应用案例：客户改变了原本的主张而允许使用螺纹挤压成型。



使用标准挤压丝锥的螺纹形状



使用非标准挤压丝锥的螺纹形状

- 航空工业

在航空工业中不允许采用螺纹挤压成型。在该行业中应避免螺纹挤压成型或焊接时所出现的材料组织变化。

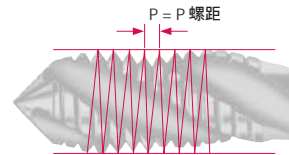
工艺基础知识

螺纹铣削的基本条件：

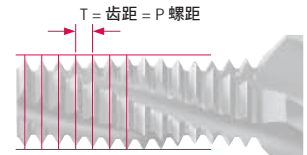
- 需要 3 轴数控联动的机床 (今天已广泛成为标准装备)
- 传统螺纹铣削的加工深度最大约 $2.5 \times D_N$ ，微型螺纹铣削约为 $3 \times D_N$

- 与攻丝相比刀具成本更高
- 加工螺距小而尺寸大的螺纹时，螺纹铣削通常比攻丝和螺纹挤压成型更快

与攻丝和螺纹挤压成型不同，螺纹铣削时通过 CNC 控制系统生成螺距。



攻丝：螺距 P 由丝锥 / 挤压丝锥产生。



螺纹铣削：螺距 P 由 CNC 控制系统 (循环程序) 产生。

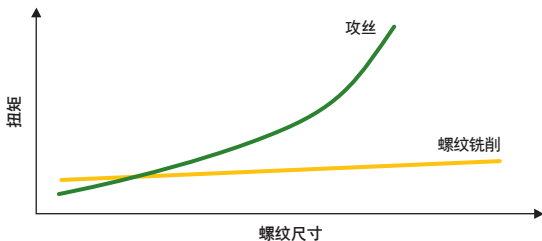
理论上内螺纹铣刀也可用于加工外螺纹。然而这样生成的螺纹不符合标准，因为为了最大限度地减小芯部的切口效应，外螺纹已被倒圆，所以生成的外径会过小。

因为螺纹环规在中径处检查螺纹，所以测得的结果依旧合规。



工艺基础知识

随着螺纹尺寸的增大，与攻丝和螺纹挤压成型不同，螺纹铣削需要的扭矩仅仅稍稍提高。因此也能够驱动功率较小的机床上加工大螺纹。



螺纹铣削是一种特别可靠的加工工艺。一般产生短切屑，因此切屑排除不成问题。此外，螺纹铣削时不需要专用

刀柄，几乎所有常用的铣刀柄都可用于螺纹铣削。

铣削工艺基本上分为两种：



逆铣
(右手螺纹从上向下)
逆铣主要在加工淬硬材料时使用，或者用于锥形螺纹。



顺铣
(右手螺纹从下向上)
顺铣可提高刀具寿命并防止表面振纹，然而会增大螺纹的锥度。

备注：

瓦尔特 GPS 可为相应的加工应用自动确定正确的工艺，既考虑到刀具情况，也考虑到加工情况。

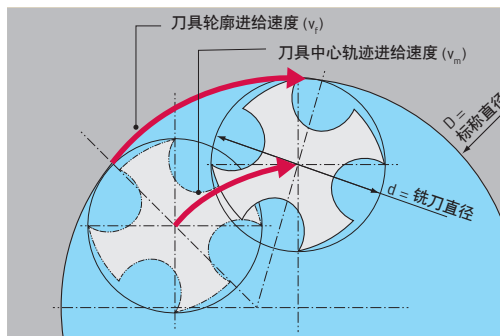
进给修正

因为螺纹铣削在一个圆形轨道上进行，并且刀刃运动行程因此大于刀具中心的轨迹，所以分为轮廓进给和刀具中心两种。

因为刀具进给始终基于刀具中心，所以必须减小铣削进给。

备注：

在铣外螺纹时，情况正好相反。



瓦尔特 GPS 在创建 CNC 程序时自动减小铣削进给。有些 CNC 控制系统也会由于相同的原因而自动减小进给。此时必须在 CNC 程序中用一条相应的 G 指令停用圆形轨道上的进给减小。机床是否自动修正进给，可以通过比较 GPS 算得的循环时间与实际循环时间来确定。

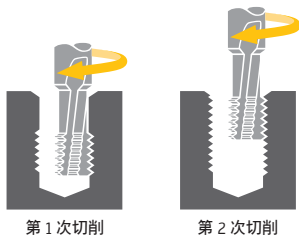
实用小贴士：

为了确定机床是否自动修正进给，可以在磨合时不进行工作干预的情况下测试程序。比较实际循环时间与瓦尔特 GPS 算得的时间，可以显示出是否必须调整 CNC 程序中的进给。

工艺基础知识

要降低作用到刀具上的径向力，可以进行切削分配：

轴向切削分配

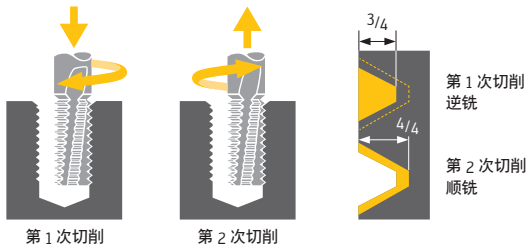


备注：
在轴向切削分配时要确保螺纹铣刀始终错开多个螺距。

由于有各种切削力，所以螺纹铣刀在槽部受到的推力小于前部切削刃是正常的。这会导致锥形螺纹。因此在用传统螺纹铣刀加工工件时，必须考虑到每

mm 螺纹深度会产生大约 1/1000 mm 的锥度。这是由作用到螺纹铣刀上的径向力引起的。

径向切削分配



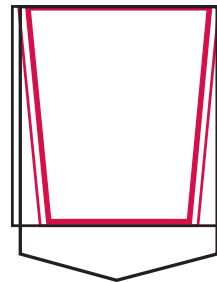
优势：

- 可加工较大的螺纹深度
- 降低刀具崩裂的危险
- 在装夹相对不稳定时也能螺纹铣削
- 克服锥形螺纹

劣势：

- 加重刀具磨损
- 生产时间较长

—— 理论轮廓
—— 实际轮廓



为了克服这种物理现象，螺纹铣刀的槽型已经设计得略呈锥形。尽管如此，在困难的加工条件下仍有必要采取下列措施之一进行补偿：

- (多次) 径向切削分配
- 所有径向切削都使用逆铣方式
- 在过程结束时进行一次无附加横向进给的空切削

备注：
也可以使用微型螺纹铣刀 (TMO)，这种铣刀可产生直达孔底的圆柱形螺纹。

上述措施尽管会提高循环时间，然而如果没有其他方法保证螺纹的尺寸精度，那么在有些情况下就在所难免。特别是对于公差范围窄的螺纹以及难加工的材料 (例如 Inconel)，这个圆锥度会严重影响螺纹的尺寸精度。

轮廓变形

由于以螺纹升角对角铣削，所以刀具的凸缘形状在传递到工件上时会变形。下

面以一个示例直观地显示这种所谓的轮廓变形。



无螺距 —— 无轮廓变形



螺距 P = 12 —— 存在轮廓变形

备注：
铣刀直径越接近螺纹公称直径以及螺距越高，轮廓变形就越明显。

要生成精确的螺纹尺寸，必须注意下列原则：

公制螺纹：
铣刀直径 $\leq \frac{2}{3} \times$ 螺纹公称直径

公制细牙螺纹：
铣刀直径 $\leq \frac{3}{4} \times$ 螺纹公称直径

螺纹 M18 x 1,5 轮廓变形示例

螺纹铣刀直径 (mm)	轮廓变形引起的齿面错位 (mm)
16	0,0386
14	0,0167

理论上可以用小螺纹铣刀加工任意的螺纹。然而刀具寿命会随着螺纹尺寸的增大而降低，并且刀具的稳定性以及切削刃部分的长度成为限制因素。

备注：
由于轮廓变形，加工特种螺纹以及螺纹断面角较小的螺纹时需要检查技术可行性。

CNC 编程

用瓦尔特 GPS 进行 CNC 编程
建议使用瓦尔特 GPS 生成全部 CNC 程序。这样做绝对是有好处的，因为 GPS 与预制的机床循环不同，它会计算刀具的稳定性并在刀具过载时安排减小切削参数或进行径向切削分配。

瓦尔特 GPS 让那些没有经验的用户也能可靠而轻松地地为 7 种不同控制系统创建螺纹铣削程序。与它的前身 CCS 相比，操作明显更加容易。此外还可以自动推荐最经济的螺纹加工策略。

每行程序都带有注释，所以机床的运动始终清晰明了（可选择不同语言）。下面是在控制系统上按照 DIN 66025 编写内螺纹铣削 CNC 程序的示例。

备注：
在每齿进给量保持不变的情况下进行径向切削分配，而不是选择一次性切削并降低每齿进给量，这是大有好处的。如果每齿进给量过小，刀刃会过度磨损。

Content	Code
Tool-radius presetting	Tel. G18 R=18mg-0.046mm
Tool call in	O1 M6 T
Selection of working plane	G7 G90 G17
Spindle on	S3 8580 M3
Z 1mm above workpiece surface on centerline of thread	G4 G00 X0.000 Y0.000 Z2.000
Start incremental programming	G9 G91
Move to required depth on centerline of the predilled hole	G6 G00 Z-17.375
Set approach path for entry loop	G7 G41 G01 X0.000 Y3.750 F1450
Move to the contour starting point	G9 G03 X0.000 Y-3.750 Z0.375 Q.000 J-4.375 F175
Thread milling	G9 G03 X0.000 Y0.000 Z1.500 R.000 J5.000 F163
Move out of the contour	G0 G03 X0.000 Y3.750 Z0.375 R.000 J4.375
Reset to centerline	G1 G40 G01 X0.000 Y-3.750
Retract from thread	G2 G00 Z15.125
Start absolute programming	G9 G90

CNC 编程

编程半径“Rprg.”





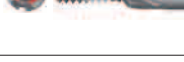
编程半径 (缩写 Rprg.) 是一个重要的调整参数。Rprg. 在螺纹铣刀中径的基础上算出, 可以立即加工出尺寸精确的螺纹, 而无需尝试和摸索修正值。Rprg. 可以从刀具柄上读出, 然后在机床准备时的 CNC 编程阶段输入到 CNC 控制系统的刀具表中。

Rprg. 表示在 CNC 程序中使用时可达到的计算出的螺纹公差最小尺寸。如果借助 GPS 编写 CNC 程序, 则显示一个修正尺寸, 利用该尺寸可达到所选螺纹公差的中间值。必须从 Rprg. 中减去该修正尺寸, 然后将修改过的 Rprg. 输入到 CNC 控制系统中。

在刀具使用过程中切削刃会磨损, 于是刀具受到的推力增大, 螺纹变得过窄。通过减小 Rprg. 可以补偿这种磨损, 产生的螺纹尺寸依旧精确。建议修正步幅为 0.01 mm。使用小刀具时, Rprg. 的修正不能像大刀具那么频繁, 否则径向力会升高, 增加刀具崩裂的危险。如果刀具可以重磨, 建议在达到 80% 的最大刀具寿命后就更换刀具。



变型

示意图	变型	效果
	带铤孔口倒角功能和面铣功能	将铤孔口倒角功能和面铣功能合并在一把刀具上
	柄上带冷却槽	有效冷却而不减小刀刃区域内的刀具横截面
	径向冷却液出口	加工通孔螺纹时有效冷却
	取消了螺距	减小了切削力, 但因为需要两个循环, 所以延长了加工时间
	去毛刺刀刃	去除螺纹入口处不完整的螺距而无需附加工序
	在正面加长了第一个凸缘形状	给底孔倒角
	研磨颈部	使得可以进行轴向切削分配, 对深螺纹来说很有用

问题和解决方案

		存在的问题					
		表面有振纹	刀具寿命短	切削刃崩裂	锥形螺纹	刀具崩裂	尺寸精度
切削参数 / 策略 / 设置	f_z [mm / 齿]	+	+	🔍	-	-	
	v_c [m/min]	-	-	🔍		🔍	
	编程			🔍		🔍	🔍
	顺铣	✓	✓				
	逆铣				✓		✓
	切削分配	✓		✓	✓	✓	✓
	编程半径 [Rprg.]						-
	冷却		+	+			
工件	装夹	🔍	+	+	🔍	🔍	🔍
	引导孔直径	🔍	+	🔍	🔍	🔍	+
	排屑效果		+	+		🔍	
刀具	稳定性 / 槽型	🔍	+	+	🔍	🔍	+
	悬伸长度	-	-	-	-	-	-
	螺旋角	+			+		
	涂层		🔍				
	同轴精度	🔍	🔍	🔍		🔍	🔍

图例：

🔍 检查 - 降低 + 改善 / 提高 ✓ 优先使用

TMO —— 处理复杂任务的专家：

TMO 系列刀具往往可以解决问题。例如在必须加工深螺纹、淬硬材料或使用传统螺纹铣刀会生成锥形螺纹时。相关详细信息请见第 36 页和第 102 - 105 页。

锥形螺纹：

对问题的解释和解决方案可查阅第 102 - 105 页。

备注：

使用 TMO 系列刀具是生成圆柱形螺纹的一种很好的技术性方案。

冷却和润滑：

由冷却和润滑产生的问题以及相应措施在第 59 页上有说明。

硬材料加工：

- 只可使用专门适合于硬材料加工的刀具 (TMO HRC 和螺纹铣刀 Hart 10)
- 加工时尽可能使用逆铣 (见瓦尔特 GPS 建议)
- 选择允许的最大引导孔直径
- 螺纹圆柱度有问题时进行一次空切削或使用 TMO HRC 系列刀具
- 不要使用冷却润滑剂，而要用压缩空气或油雾润滑将硬切屑从孔中去除

公式

转速

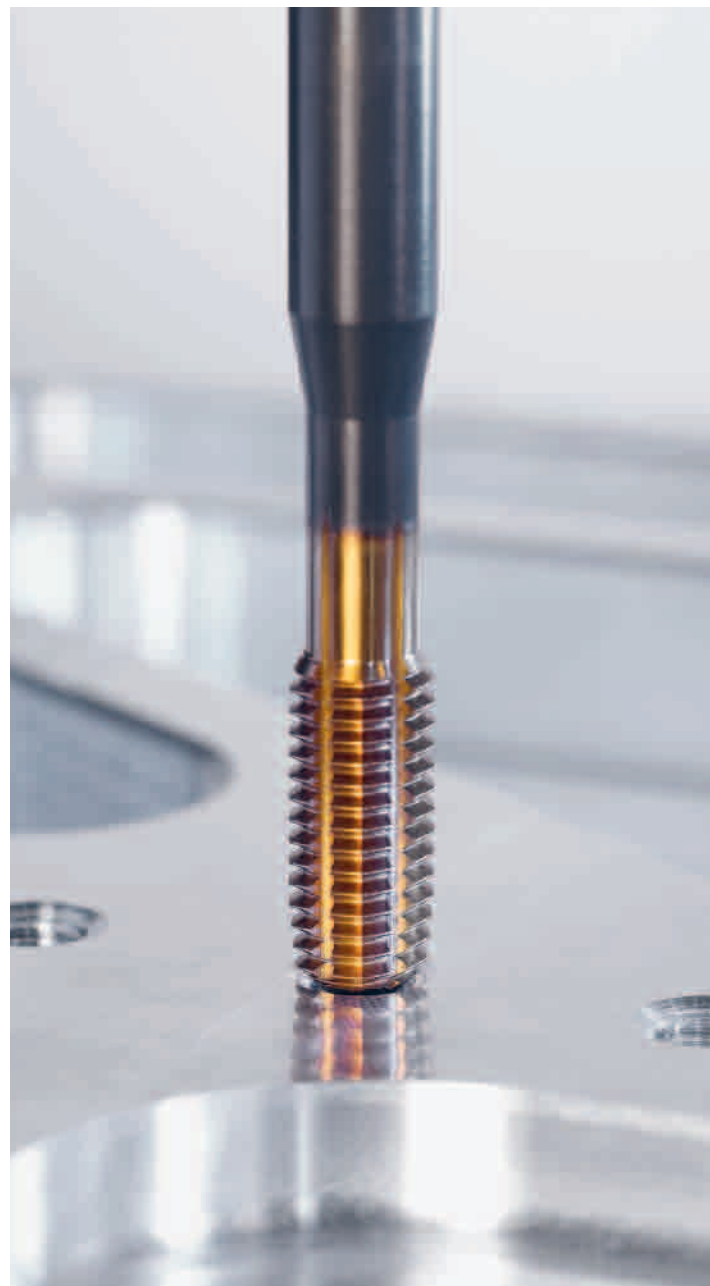
$$n \text{ [min}^{-1}] \qquad n = \frac{v_c \times 1000}{d_1 \times \pi} \qquad \text{[min}^{-1}]$$

切削速度

$$v_c \text{ [m/min]} \qquad v_c = \frac{d_1 \times \pi \times n}{1000} \qquad \text{[m/min]}$$

进给速度

$$v_f \text{ [mm/min]} \qquad v_f = p \times n \qquad \text{[mm/min]}$$



攻丝和螺纹铣削的螺纹小径

M 公制 ISO 粗牙螺纹

DIN 13 缩写	内螺纹螺纹小径 (mm)		钻头直径 (mm)
	6H 最小	6H 最大	
M 2	1,567	1,679	1,60
M 2,5	2,013	2,138	2,05
M 3	2,459	2,599	2,50
M 4	3,242	3,422	3,30
M 5	4,134	4,334	4,20
M 6	4,917	5,153	5,00
M 8	6,647	6,912	6,80
M 10	8,376	8,676	8,50
M 12	10,106	10,441	10,20
M 14	11,835	12,210	12,00
M 16	13,835	14,210	14,00
M 18	15,294	15,744	15,50
M 20	17,294	17,744	17,50
M 24	20,752	21,252	21,00
M 27	23,752	24,252	24,00
M 30	26,211	26,771	26,50
M 36	31,670	32,270	32,00
M 42	37,129	37,799	37,50

MF 公制 ISO 细牙螺纹

DIN 13 缩写	内螺纹螺纹小径 (mm)		钻头直径 (mm)
	6H 最小	6H 最大	
M 6 x 0,75	5,188	5,378	5,25
M 8 x 1	6,917	7,153	7,00
M 10 x 1	8,917	9,153	9,00
M 10 x 1,25	8,647	8,912	8,75
M 12 x 1	10,917	11,153	11,00
M 12 x 1,25	10,647	10,912	10,75
M 12 x 1,5	10,376	10,676	10,50
M 14 x 1,5	12,376	12,676	12,50
M 16 x 1,5	14,376	14,676	14,50
M 18 x 1,5	16,376	16,676	16,50
M 20 x 1,5	18,376	18,676	18,50
M 22 x 1,5	20,376	20,676	20,50

UNC 美标粗牙螺纹

ASME B 1.1 缩写	内螺纹螺纹小径 (mm)		钻头直径 (mm)
	2B 最小	2B 最大	
Nr. 2-56	1,694	1,872	1,85
Nr. 4-40	2,156	2,385	2,35
Nr. 6-32	2,642	2,896	2,85
Nr. 8-32	3,302	3,531	3,50
Nr. 10-24	3,683	3,962	3,90
$\frac{1}{4}$ -20	4,976	5,268	5,10
$\frac{5}{16}$ -18	6,411	6,734	6,60
$\frac{3}{8}$ -16	7,805	8,164	8,00
$\frac{1}{2}$ -13	10,584	11,013	10,80
$\frac{5}{8}$ -11	13,376	13,868	13,50
$\frac{3}{4}$ -10	16,299	16,833	16,50

UNF 美标细牙螺纹

ASME B 1.1 缩写	内螺纹螺纹小径 (mm)		钻头直径 (mm)
	2B 最小	2B 最大	
Nr. 4-48	2,271	2,459	2,40
Nr. 6-40	2,819	3,023	2,95
Nr. 8-36	3,404	3,607	3,50
Nr. 10-32	3,962	4,166	4,10
$\frac{1}{4}$ -28	5,367	5,580	5,50
$\frac{5}{16}$ -24	6,792	7,038	6,90
$\frac{3}{8}$ -24	8,379	8,626	8,50
$\frac{1}{2}$ -20	11,326	11,618	11,50
$\frac{5}{8}$ -18	14,348	14,671	14,50

G 管螺纹

DIN EN ISO 228 缩写	内螺纹螺纹小径 (mm)		钻头直径 (mm)
	最小	最大	
G $\frac{1}{8}$	8,566	8,848	8,80
G $\frac{1}{4}$	11,445	11,890	11,80
G $\frac{3}{8}$	14,950	15,395	15,25
G $\frac{1}{2}$	18,632	19,173	19,00
G $\frac{5}{8}$	20,588	21,129	21,00
G $\frac{3}{4}$	24,118	24,659	24,50
G 1	30,292	30,932	30,75

螺纹挤压成型螺纹小径

M 公制 ISO 粗牙螺纹, 公差 6H

DIN 13 缩写	DIN 13-50 内螺纹螺纹小径 (mm)		引导孔直径 (mm)
	6H 最小	7H 最大	
M 1,6	1,221	-	1,45
M 2	1,567	1,707	1,82
M 2,5	2,013	2,173	2,30
M 3	2,459	2,639	2,80
M 3,5	2,850	3,050	3,25
M 4	3,242	3,466	3,70
M 5	4,134	4,384	4,65
M 6	4,917	5,217	5,55
M 8	6,647	6,982	7,40
M 10	8,376	8,751	9,30
M 12	10,106	10,106	11,20
M 14	11,835	12,310	13,10
M 16	13,835	14,310	15,10

MF 公制 ISO 细牙螺纹, 公差 6H

DIN 13 缩写	DIN 13-50 内螺纹螺纹小径 (mm)		引导孔直径 (mm)
	6H 最小	7H 最大	
M 6 x 0,75	5,188	5,424	5,65
M 8 x 1	6,917	7,217	7,55
M 10 x 1	8,917	9,217	9,55
M 12 x 1	10,917	11,217	11,55
M 12 x 1,5	10,376	10,751	11,30
M 14 x 1,5	12,376	12,751	13,30
M 16 x 1,5	14,376	14,751	15,30

硬度对照表

抗拉强度 Rm (N/mm ²)	布氏硬度 HB	洛氏硬度 HRC	维氏硬度 HV	PSI
150	50		50	22
200	60		60	29
250	80		80	37
300	90		95	43
350	100		110	50
400	120		125	58
450	130		140	66
500	150		155	73
550	165		170	79
600	175		185	85
650	190		200	92
700	200		220	98
750	215		235	105
800	230	22	250	112
850	250	25	265	120
900	270	27	280	128
950	280	29	295	135
1000	300	31	310	143
1050	310	33	325	150
1100	320	34	340	158
1150	340	36	360	164
1200	350	38	375	170
1250	370	40	390	177
1300	380	41	405	185
1350	400	43	420	192
1400	410	44	435	200
1450	430	45	450	207
1500	440	46	465	214
1550	450	48	480	221
1600	470	49	495	228
		51	530	247
		53	560	265
		55	595	283
		57	635	
		59	680	
		61	720	
		63	770	
		64	800	
		65	830	
		66	870	
		67	900	
		68	940	
		69	980	

攻丝刀柄的扭矩设定

攻丝刀柄的扭矩设定推荐值

螺纹类型	尺寸 [mm]	螺距 [mm]	攻丝的扭矩设定值 [Nm]	丝锥断裂扭矩 [Nm]	螺纹挤压成型扭矩设定值 [Nm]
M, MF	1	≤ 0,25	0,03*	0,03	0,07*
M, MF	1,2	≤ 0,25	0,07*	0,07	0,12
M, MF	1,4	≤ 0,3	0,1*	0,1	0,16
M, MF	1,6	≤ 0,35	0,15*	0,15	0,25
M, MF	1,8	≤ 0,35	0,24*	0,24	0,3
M, MF	2	≤ 0,4	0,3*	0,3	0,4
M, MF	2,5	≤ 0,45	0,5	0,6	0,6
M, MF	3	≤ 0,5	0,7	1	1
M, MF	3,5	≤ 0,6	1,2	1,6	1,5
M, MF	4	≤ 0,7	1,7	2,3	2,4
M, MF	5	≤ 0,8	3	5	4
M, MF	6	≤ 1,0	5,5	8,1	8
M, MF	8	≤ 1,25	12	20	17
M, MF	10	≤ 1,5	20	41	30
M, MF	12	≤ 1,75	35	70	50
M, MF	14	≤ 2,0	50	130	75
M, MF	16	≤ 2,0	60	160	85
M, MF	18	≤ 2,5	100	260	150
M, MF	20	≤ 2,5	110	390	160
M, MF	22	≤ 2,5	125	450	170
M, MF	24	≤ 3,0	190	550	260
M, MF	27	≤ 3,0	220	850	290
M, MF	30	≤ 3,5	320	1100	430
M, MF	33	≤ 3,5	350	1600	470
M, MF	36	≤ 4,0	460	2300	650
M, MF	39	≤ 4,0	500		
M, MF	42	≤ 4,5	700		
M, MF	45	≤ 4,5	750		
M, MF	48	≤ 5,0	900		
M, MF	52	≤ 5,0	1000		
M, MF	56	≤ 5,5	1300		

上表中的数值基于：材料 42CrMo4，抗拉强度 1000 N/mm²，螺纹深度 1,5 x D_N。利用换算表可以将为其他材料换算数值。

对于用 * 标记的尺寸，加工一个 1,5 x D_N 深的螺纹所需扭矩超过刀具的断裂扭矩。解决方法：分多道工序加工螺纹。

其他材料换算系数

材料	系数
软钢	0,7
钢 1200 N/mm ²	1,2
钢 1600 N/mm ²	1,4
不锈钢	1,3
灰铸铁 / 球墨铸铁	0,6
铝 / 铜	0,4
钛合金	1,1
镍基合金	1,4

此表格用于攻丝刀柄的扭矩设定，只要该设定值可调节。如果扭矩设定得过高，将面临刀具崩裂的风险。如果设置得过低，刀具可能在加工期间卡住，而机床继续运转。如果此时压力平衡不够，将损毁刀具并损坏机床。

Headquarter

Global Headquarter

Walter AG, Tübingen – Germany

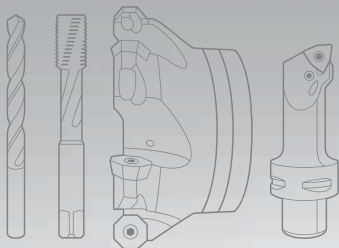
Asia Pacific Headquarter

Walter Asia Pacific, Shanghai – China

www.walter-tools.com

www.facebook.com/waltertools

www.youtube.com/waltertools



Walter Wuxi Co. Ltd.

中国江苏省无锡市新区新畅南路 3 号

邮编：214028

电话：+86 (510) 82419399

电子邮箱：service.cn@walter-tools.com

Walter AG Singapore Pte. Ltd.

+65 6773 6180, service.sg@walter-tools.com
