

本书全面地讨论了深孔拉削的特性，深孔拉刀的结构、计算、设计和深孔拉刀的制造工艺。书中包括有著者对深孔拉削的一些研究结果。同时书中还叙述了深孔拉刀的使用刃磨，拉削过程的调整和拉削的表面质量。

本书虽然是以深孔拉削作为叙述的对象，但是书中的大部分资料对于普通拉削同样是适用的。

本书可供工具厂和机械制造厂工程技术人员参考之用，也可以供高等学校和中等技术学校参考。

П. Г. Кацев

ПРОТЯГИВАНИЕ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

ОБОРОНГИЗ 1957

* * *

深 孔 拉 削

吳立維 乔家宾 译

*

机械工业图书编辑部編輯 (北京苏州胡同 141 号)

中国工业出版社出版 (北京佳麟閣路 10 号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第 110 号)

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $8^{1/16}$ · 字数 205,000

1963年12月北京第一版·1963年12月北京第一次印刷

印数 0001—2,625 · 定价 (10-6) 1.25 元

*

统一书号: 15165 · 2628 (一机-542)

目 录

序

第一章 深孔拉削过程的基本概念	1
1. 深孔拉削过程的特点	1
2. 用单程的多齿拉刀来拉削大直径的深孔	3
3. 用单独的齿盘拉削	5
4. 用螺旋齿拉刀拉削	6
5. 用压杆加工深孔(挤光)	7
6. 用成套的多齿拉刀拉削	8
7. 在改装的床架上拉削深孔	23
8. 深孔拉削的专用机床	28
第二章 深孔拉削时的切削过程	32
1. 深孔拉削过程的特性	32
2. 研究的方法	33
3. 深孔拉削时的切屑形成和它在容屑槽内的分布情况	35
4. 容屑槽填充系数的试验确定法	44
5. 拉削时的表面质量	54
6. 拉削时的切削力	71
第三章 拉刀的计算	89
1. 基本计算公式的推导	89
2. 系数 η 的确定	93
3. 切屑的厚度和每齿升高量	96
4. 拉削的余量	99
5. 拉刀强度的计算	99
第四章 深孔拉削中的拉刀设计	103
1. 对拉刀结构的要求	103
2. 拉刀的可拆刀柄	104

3. 前导向部和后导向部·····	107
4. 拉刀的切削部分·····	109
5. 切削齿的横截面尺寸·····	120
6. 修光齿·····	121
7. 直径为7.62毫米的成套来复线拉刀的计算·····	122
8. 直径为37毫米的成套来复线拉刀的计算·····	124
9. 拉削圆柱孔的拉刀·····	128
10. 螺旋拉刀·····	135
11. 对侧面光洁度要求很高的槽子的拉削·····	137
12. 在小孔内拉削很长的键槽·····	140
13. 尺寸和对称精度很高的双面键槽的拉削·····	141
14. 螺旋花键槽的拉削·····	149
15. 拉削燕尾型齿形用的拉刀·····	154
第五章 拉削工序的调整·····	159
1. 拉削后的零件表面质量不合要求·····	160
2. 拉削后的零件尺寸不准确·····	174
3. 被拉削齿形的几何形状的歪曲·····	177
4. 所拉削的齿形对已有座标(中心线)产生偏移·····	180
5. 拉刀的耐用度过低·····	184
6. 拉刀的损坏(折断)·····	186
第六章 拉刀的制造工艺过程及其刃磨·····	195
1. 深孔拉刀的制造工艺过程·····	195
2. 各个制造工艺的特点·····	199
3. 拉刀的检验·····	206
4. 拉刀的刃磨·····	211
5. 对工具磨床的要求·····	222
6. 刃磨用的砂轮·····	224
7. 工具磨床的调整·····	224
8. 砂轮的安裝和修整·····	226
9. 拉刀的刃磨工艺过程和用量·····	227
10. 由于刃磨不正确而引起的拉刀切削部分的缺陷·····	229
11. 刃磨质量的检验·····	230
12. 验收拉刀时的切削试验·····	232

第七章 拉刀使用中的几个問題	233
1. 拉刀刀齿的磨損和变鈍的标准	233
2. 拉削时应用的冷却-潤滑液	237
3. 拉削时冷却液的輸送	240
4. 乳状液的配制	243
附录 1 拉削时的安全技术	245
附录 2 直径12毫米的来复綫拉刀的技术条件	246
附录 3 刃磨圓拉刀时, 根据拉刀的前角、直径以及磨 床主軸的安装角度来确定砂輪直径用的表格 ...	249

第一章

深孔拉削过程的基本概念

(工具、设备和工艺)

深孔^①拉削和普通孔的拉削有很多共同之处，所以我们不再讲述拉削过程的基本定义和基本概念，而直接讨论深孔拉削的特性。

1. 深孔拉削过程的特点

通常在金属加工中，当孔的长度和直径的比值超过一定数值（例如 3 ~ 4）时就认为是深孔。但是该数值却决定于金属切削加工的方法（拉削、钻孔、镗孔、螺纹切削等）和孔的公称直径。

适用于拉削过程的深孔定义列于下表中，此表是根据拉刀的计算公式而编制的（参看第三章）。在此表中列出了深孔拉削时孔的长度和直径之比的下限值。

孔径 D (毫米)	5~15	20~30	40	50及50以上
	4	6	7	10

在深孔拉削的实践中， $\frac{L}{D}$ 的上限值在直径小于15毫米时达

到40~60，直径为40~100毫米或更大时达到40~60。

当然，表内的数据在某种程度上是受一定条件所限制的，因为这些数据是把某些平均数值代入计算公式而获得的。

① 对于深孔，我们无论在什么地方，都将理解为具有对称或不对称的任何形状的封闭图形。

总之，从孔的长度和直径的某一比值开始，这种比值的增大就会引起拉削过程的本质上的改变，这种本质的改变使得拉削过程成为一个特殊的过程，即深孔拉削过程。

首先可以指出这个过程的特点：

1) 从容屑槽中容纳切屑的可能性或切削过程中切屑连续不断排出之可能性的观点来看，由于用刀齿切下来的金属量很大，对刀具结构提出了特殊的要求。

2) 由于同时参加切削的刀齿数量很多（通常在深孔拉削时，拉刀上所有的刀齿全都进行工作），使拉刀上的载荷很重。

3) 因为在拉削过程中，刀齿切削刃的冷却很复杂，所以要求采用特殊的方法来导入冷却液。

这些因素同时结合在一起是非常不利的。实际上，一方面拉刀上的载荷很大，要求加大拉刀刀体的直径，另一方面，为了能够容纳大量的切屑，就得减小刀体的直径，以便增大容屑槽的容积。

随着孔的长度的增大及其直径的减小，深孔拉削的困难也就越大。

石油泵的汽缸、飞机起落架、仪器制造中的各种零件、大砲砲筒和步枪枪管、液压传动和液压系统的零件、压缩机的汽缸等都是深孔拉削的例子。

被拉削的截面形状可以是各种各样的，有圆形、正方形、长方形；或者单面、两面和四面带键槽的圆孔；或者是直槽和螺旋槽的花键孔等。

对于被拉削的齿形孔的表面质量、尺寸精度、对称性位置等所提出来的要求也是各不相同的。

在已有的深孔拉削实践中，步枪枪管的来复线和枪膛的拉削可以算是最复杂的了。要实现这个过程，其困难不仅在于零件具有很大的 $\frac{L}{D}$ 比值（达到90），而且其直径很小（7~20毫米），即

使在这种情况下，在此拉削过程中还碰到了以下的一些特殊要求：

a) 加工表面的光洁度要求很高, 枪膛全长上的表面质量要均匀一致;

б) 来复綫齿形的几何形状要正确;

в) 切削方向应当准确地和来复綫的螺旋綫方向相一致;

г) 加工精度要求很高。

同时, 加工材料的机械性能很高, 特别是韌性很高, 因此很难得到所需的表面光洁度。

現在我們来討論一下各种深孔拉削的方法, 及其所用的工具、設備和应用范围等。

2. 用单程的多齿拉刀来拉削大直径的深孔

对于直径小于 120 毫米, 而长度为直径 60 倍的深孔的拉削, 可以用带环形齿的圆柱拉刀或花鍵拉刀来进行。对这样的直径来说, 要想創造出能够在孔的拉削过程中排屑的拉刀結構 (直径小于 40 毫米的螺旋齿拉刀和內排屑拉刀, 以及在拉刀刀齿上用交错排列的槽来冲洗切屑的拉刀), 并没有得到良好的結果。

当切屑为带状时, 切屑在拉削的全长上就連續不断地卷曲, 堵塞在两齿之間間隙內, 或者堵塞在拉刀內部的排屑槽中。即使在拉刀的前面上做出断屑的台阶和把刀齿磨成負前角, 也不能得到良好的結果。

这样切屑不能及时碎裂, 以致无法在工作过程中排除出来。此外, 为了断屑而造成的不合理的切削角, 也会降低拉刀的耐用度, 并且使所拉削的孔的表面光洁度变坏。

因此, 就要求設計一种拉刀結構, 它能够把全部切屑都容納在刀齿之間的容屑槽內, 并且在切削过程中具有最有利的几何形状 (图 1)。例如, 用一把拉刀在槽的全深上进行螺旋槽的拉削就是一个例子^①。

① Л. К. Мануйлов, Протягивание цилиндрических и фасонных глубоких отверстий, Труды Всесоюзной инструментальной конференции, вып. П, Машгиз, 1944.

为了减小拉削力（6800公斤），在拉床上采用了能够使拉力按4:11的比例减小的附加推杆。

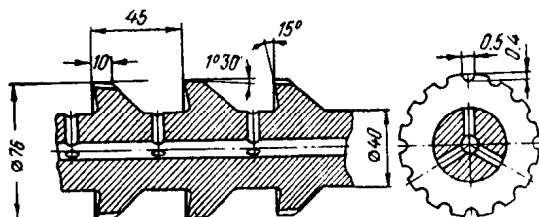


图 1 深孔拉削用的环形齿拉刀——单程的多齿拉刀

拉削是沿着16个槽在两个行程内进行的，在一次行程以后，接着便转动一下拉刀，再进行下一个行程。

切削齿在直径上的每齿升高量为0.05毫米，而修光齿在直径上的每齿升高量为0.02毫米。

拉刀上的修光齿都开有分屑槽，这是为了避免切下桶状的切屑，因为桶状切屑会堵塞住容屑槽而使拉刀卡死。拉刀的前角 $\gamma=15^\circ$ ，后角 $\alpha=1^\circ 30''$ ，用25%的乳状液来作为冷却液，其中加入2%的肥皂。冷却液在压力下经过拉刀中央的轴向通道和径向孔送到每个刀齿上。

拉刀的前导向部和后导向部的长度都等于孔的直径。

为了保持重磨后的拉刀尺寸，修光齿可以起储备齿的作用。这些刀齿的结构和切削齿的结构没有任何区别。储备齿^①的齿数 $Z_{\text{储}}$ 可按下式计算。

$$Z_{\text{储}} = \frac{2b \operatorname{tg} \alpha}{3a}$$

式中 b —— 齿背的宽度；

$\frac{2}{3}b$ —— 刀齿上可以磨掉的齿背宽度；

a —— 最后一个切削刀齿的单面升高量。

① 储备齿就是修光齿。本文作者为了说明修光齿的作用，在强调用来作为后备的切削齿时，就把它称为储备齿。为了保持原书的精神，所以翻译时就按照字义有时也把它译成储备齿——译者。

上述的拉刀结构可以称为单程的多齿拉刀。实际上这种型式的拉刀是一种多齿花键拉刀的标准结构，其区别为拉刀的每个刀齿不是同时拉削全部花键槽，而只拉削它的一部分。但是，此时在拉刀的一个行程以后，花键就得到了它的全深。然后把拉刀

(或者零件)转过一个 $\alpha = 360^\circ \frac{N}{n}$ 的角度，下一个行程在全深上拉削其他的 n 个花键槽，以此类推，一直到全部拉完为止。利用这种切除余量的方法，就可以用一套拉刀中的一把拉刀把零件加工好。

这是上述方法的优点。但是，这种拉削方法的应用却受到下列情况的限制：

1) 当花键槽的深度达到某一较大数值时，无论把切削方法如何划分，都不能使拉削力减小到在一个行程内就可以得到花键槽的全深；

2) 当在小直径的孔内拉削花键槽时，如果花键槽的数目不超过八个，而拉刀强度又受到刀体直径的限制时，从拉刀的强度来看，这种切削方法也不能使用；

3) 这种拉刀的长度，从拉刀的制造工艺与使用的观点来看，比一般的拉刀长一些。

3. 用单独的齿盘拉削

这种拉削方法，就是把装在心轴上的单独的可换齿盘穿过预先准备好的孔来进行拉削。当齿盘依次地经过拉削行程以后，就把它取下来，而在心轴上装上下一个编号的齿盘。

图2是在直径为20毫米的孔内拉削花键槽用的齿盘。一套这样的齿盘由40~50件所组成，所有切削齿的每齿升高量（直径上）都为0.02毫米，最后的5~6个修光齿的每齿升高量为0.01毫米。

齿盘在每次重磨以前的耐用度为50~60米长的实有拉削表面。一套齿盘的总寿命高于2000米长的拉削表面。齿盘内的方孔

是用来作为基准面的，所有的切削齿都根据它来定位，以便使一套齿盘中的任何一个齿盘都能准确地进入到前一个齿盘所拉出来的沟槽中。

图3所示是在直径100毫米的孔内拉削花键槽用的齿盘。全套由23个齿盘组成。对于花键孔和圆孔，采用这种深孔拉削法的

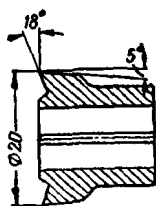


图2 拉削花键槽用的直径为20毫米的齿盘

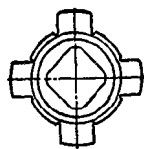


图3 拉削直径为100毫米的花键槽用的齿盘

优点为刀具的制造比较简单，可以把一个序号的齿盘降为一套中的另一个序号，因而能使刀具得到更充分的利用，所以在刀具损坏的情况下更加经济，因为此时报废的只有一个齿盘，它可以很快地用储备齿盘来代替。

但是这种方法有一个很大的缺点，即生产率太低。

4. 用螺旋齿拉刀拉削

螺旋齿拉刀的结构（图4）和普通环形齿拉刀的不同之处

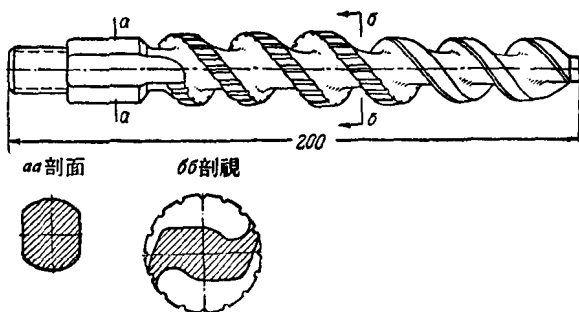


图4 螺旋拉刀

为：前者能够保证所形成的切屑连续不断地排出，因此，深孔拉削过程中最困难的切屑的容纳和排出问题，在这里得到了解决。但是应当指出，到现在为止，用这种拉刀所拉削出来的圆柱孔和螺旋花键孔，还不能够得到很高的表面质量。

这种现象的原因之一，就是因为在螺旋表面上很难得到仔细地刃磨过的刀刃。

5. 用压杆加工深孔（挤光）

压杆或者心杆是用来加工（压平）光滑的圆柱孔的。特殊结构的压杆也可以用来挤压步枪枪管内的来复线。

压杆不能切下金属，而是使它在室温下发生塑性变形，结果可以得到表面光洁度为 $\nabla\nabla\nabla_0 \sim \nabla\nabla\nabla\nabla_1$ 的发亮的光滑表面，比用拉刀拉削出来的还要高得多。

这时，由于冷硬的关系，挤光后的表面具有更高的耐磨性。

压杆的形状如图 5 所示，可以用工具钢来制造（有时镀铬），也可以用硬质合金来制造。后者具有很高的耐用度，很少会有金属粘结的现象，并且能够得到很高的表面质量。

硬质合金压杆的耐用度可以达到几千米长的实有加工表面。

钢、铜合金、铝、镁及其他金属零件的孔，都可以用压杆来加工。钢件内的孔在热处理以后，当它的硬度很高时，不可能用拉刀加工，也可以用压杆来校准。

用压杆加工的余量可以取为 0.03~0.2 毫米

（直径上），其值取决于零件的材料、孔的公称直径、原有孔的表面质量、对压光后的孔的质量的要求，以及零件孔壁的厚度

等。压杆压过以后，由于整个零件和表面层的弹性变形，孔就会收缩。因此压杆的直径应当比挤光后所要求的孔径稍大一点。

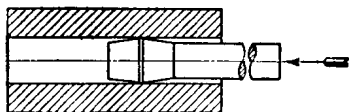


图 5 工作中的压杆

压杆直径的加大值决定于材料、零件内径和外径的比例、余量、潤滑等。并且只能够用試驗的方法来确定。

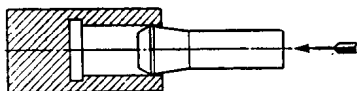


图 6 不通孔的挤压（挤光）

准备挤光的孔不应当有很大的走刀刀紋（最大的走刀量为 0.1 毫米）、凹坑、气孔。心杆（压杆）并不能压平巨大的刀紋，也不能除去凹坑，当有很大的气孔存在时（直径大

于 2~3 毫米）反而得到有粗划紋的不准确的孔。最重要的是被拉削零件在所有的方向上（無論在长度上或圓周上）都要有均匀的壁厚（刚性），否則弹性变形的不均匀会使孔的尺寸改变。准备挤光的孔也不得有橢圓度和錐度，因为这些毛病用挤光的方法只能够除去一小部分（約 20~30%）。

孔內应当沒有污泥、切屑等，并且用肥皂溶液或矿物油来潤滑。当挤光条件特別恶劣时，应当用銅的潤滑剂（表面敷上硫酸銅以使表面上盖复一层很薄的銅）。

不通孔也可以挤光（图 6）。

6. 用成套的多齿拉刀拉削

和普通孔的拉削情况一样，在成套的多齿拉刀中，拟切下来的金属层被分配在一套拉刀的各个拉刀之間。这就可以得到任何深度的花鍵槽，并且可以采用这样的拉刀长度，使它無論从拉刀制造工艺和使用，或者从拉刀上的容許載荷的观点来看都是最有利的。

在設計小直径的深孔拉削过程时这一点特別重要，这里拉刀的强度和它的制造工艺問題极为复杂，它常常决定拉削过程能否实现。現在我們来討論一下“拉波因脫”^①公司在口径 12.7 毫

① “Ланойнт” 公司是美国制造拉床的一个公司。——譯者

米的枪管内拉削枪膛、来复綫和阳綫的拉削过程，来作为应用成套多齿拉刀的例子。

工 具

整套加工直径12.7毫米的枪管用的拉刀，共由10把組成：五把用来拉削平滑的枪膛，四把用来拉削来复綫，一把拉削阳綫（即来复綫的内径）。拉削平滑的枪膛用的拉刀之结构如图7所示。这五把拉刀之间的区别，是刀齿和导向部的尺寸各不相同。

拉刀是由用来撑在拉杆上的螺絲柄、两个前导向部、切削齿、储备齿（修光齿）和返回行程时便于用拉床床头夹住拉刀的、带成形柄的后导向部所組成。

現在我們来討論一下拉刀結構的特点。

螺絲柄是用来联接拉刀和拉杆的。拉杆之所以必需，是因为不用它就得制造很长的拉刀（近2米长），这不仅是不合理，而且这样长的拉刀也未必做得出来。螺紋是左旋的，以便在枪膛内拉右旋来复綫时，切削分力会把拉刀撑紧在拉杆上，而不是把它撑松。拉削平滑的枪膛用的拉刀，也是按来复綫的角度旋轉，因为拉削过程是在同一个拉床上进行的。

螺紋是在螺絲磨床上磨出来的，这可以保证拉杆和拉刀的同心度。为此在刀柄上有经过准确加工的光滑部分（ $\phi 7.94_{-0.03}^{+0.03}$ 毫米），这一部分插入拉杆的相应凹孔内，使拉刀柄和拉杆对准中心。

在柄部的后面是前导向部，它是由被圆柱形軸頸隔开的两个部分所組成的。前导向部的第一部分之直径为 $12.22_{-0.01}^{+0.01}$ 毫米，它比准备拉削的枪管孔的直径（ $\phi 12.55_{-0.01}^{+0.01}$ 毫米）小得多，它是用来作为拉刀在枪管枪膛内的预先定向。前导向部的第二部分的直径为 $12.55_{-0.02}^{+0.02}$ 毫米，用来作为拉刀在枪管内的最后的准确定向。切削齿为普通结构，其前角 $\gamma = 15^\circ$ ，后角 $\alpha = 1^\circ 30''$ ，但齿距比较大（30毫米），而每齿升高量较小（直径上为0.01毫米）。这样就可以使切屑沿着被拉削孔的全长（1000毫米）自由地容纳

在刀齿間的容屑槽內。

对于所有的刀齿，在升角等于枪膛內的来复綫升角的螺旋綫上，相互交錯地切出分屑槽。这是由于，正如已經指出过的那样，无论是加工枪膛的拉刀，或者是加工来复綫和阳綫的拉刀，它們的切削运动都是相同的。

拉刀的导向部上也切有同样的槽，这是为了把冷却液强制地送到被拉削孔的全长上所必不可少的。拉刀的尾端为成形的圓柄，其功用为在回程时可以用拉床夹头自动的抓住拉刀。拉刀的总长度（一套拉刀中的十把拉刀全都相同）为 520 ± 0.2 毫米。

拉削来复綫的拉刀（图8）的结构大体上和枪膛拉刀相同。实际上，这就是一把普通的八鍵拉刀，不过是用来拉削螺旋花鍵槽即拉削来复綫用而已。由拉刀切削凸起部分所組成的螺旋槽，在拉刀全长上全被切通。这一工序是在专用的花鍵磨床（参看第七章）上进行的。拉刀切削凸起部分的寬度（3.8毫米）应当做得很准确（公差0.01毫米）。

导向部上的螺旋槽是用来作为冷却液的通道用的。前导向部的第一部分，是用来使拉刀初步地在枪膛內径上导正方向。对于一套来复綫拉刀中的第一把拉刀而言，其前导向部的第二部分是用来引导拉刀在枪膛直径上走准确的方向。

一套来复綫拉刀中的其余拉刀，在前导向部的第二部分的花鍵形凸起部分上，有特殊的斜面（入端），它用来使导向部的花鍵形凸起部分能够嵌入前一拉刀所拉出来的枪管来复綫內。这样就可以使切削齿准确地嵌入到前一拉刀所拉出来的来复綫內。前导向部的第二部分的直径，根据由一把拉刀换成另一把拉刀时的来复綫加深量来增大，拉刀以来复綫的最大直径（底）来对准中心。

后导向部的直径和前导向部第二部分的直径相同，也是根据来复綫的直径来使拉刀对准中心的。但是，其尾部却和枪膛拉刀的尾部不同，后导向部的成形尾部是一个平的斜面，在返回行程

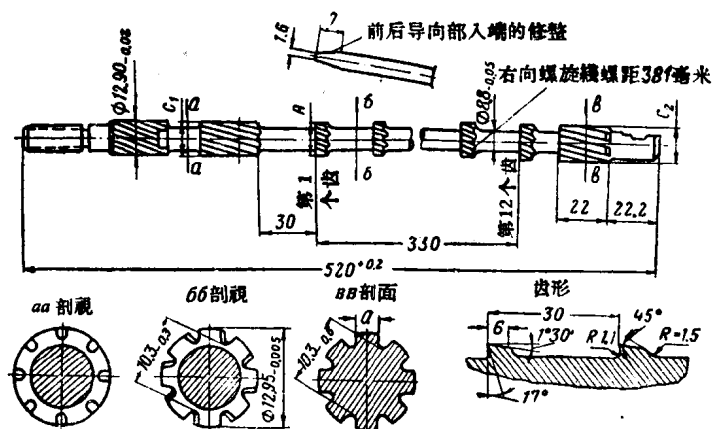


图 8 拉削直径为12.7毫米的来复綫用的“拉波因脫”公司的拉刀

刀齿编号	拉 刀 的 編 号				制造公差
	I	II	III	IV	
	直 径 d				
1	12.94	13.03	13.12	13.21	-0.005
2	12.95	13.04	13.13	13.22	
3	12.96	13.05	13.14	13.23	
4	12.97	13.06	13.15	13.24	
5	12.98	13.07	13.16	13.25	
6	12.99	13.08	13.17	13.26	
7	13.00	13.09	13.18	13.27	
8	13.01	13.10	13.19	13.28	
9	13.02	13.11	13.20	13.29	
10	13.03	13.12	13.21	13.30	
11	13.03	13.12	13.21	13.30	
12	13.03	13.12	13.21	13.30	
直 径 C_1 (前导向部)					-0.02
	12.90	12.99	13.08	13.17	
直 径 C_2 (后导向部)					-0.02
	12.98	13.07	13.16	13.25	

結束和拉削过程重复时，它能够保証使拉刀保持在固定的位置，这是把拉刀嵌入来复綫內所必需的。

这些斜面都是在夹具上加工的，夹具可以使整套拉刀上的切削凸起部分都处在同一个原始位置上。

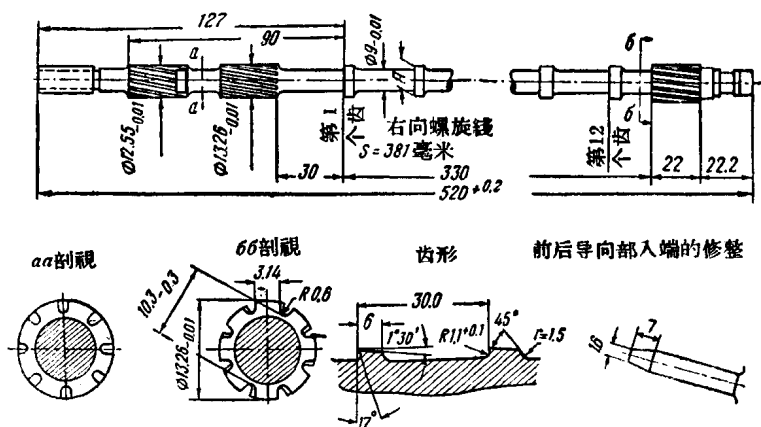


图 9 拉削直径为 12.7 毫米的阳綫用的“拉波因脱”公司的拉刀

刀齿 编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
尺寸A	12.93	12.94	12.95	12.96	12.97	12.98	12.99	13.00	13.01	13.01	13.01	13.01

制造公差 -0.005

拉削阳綫（即来复綫的螺旋形凸起部分）的拉刀如图 9 所示。它和来复綫拉刀一样，先以枪膛的内径（前导向部的第一部分）定向，然后利用前导向部的第二部分和后导向部上的螺旋形花键凸起部分，以来复綫的直径来定向。

这种拉刀具有无槽的完整的环形齿，因为枪管内的来复綫能保証切屑的分屑作用和冷却液的流通。

所有的拉刀全用高速鋼制造。

被拉削零件的毛坯用鎳鉻鋼制造，并經過热处理（淬火和回火），硬度为 $H_B 270 \sim 300$ 。