

译 者 的 话

高强度钢、高温合金和钛合金是比较难于切削加工的。它的难度主要表现在：一方面不易达到所需的精度和表面光洁度；另一方面刀具容易磨损。因此，研究这几种材料的切削加工是机械制造中的重要课题之一。

本书内容比较实用，除第三章简述切削原理和第八章分析机床系统的刚性外，其他章节都是直接围绕着高强度钢、高温合金和钛合金的特性叙述其实际加工问题。但书中有的地方叙述不够明确，也有的地方稍显赘累。

在翻译时，对原书中的一些明显错误作了改正。但由于译者水平所限，错误和不妥之处，恳望广大读者批评指正。

全书译出后曾请有关同志审阅，最后由甘肃工业大学魏庆同同志校订，在此一并致谢。

目 录

第一章 被加工材料和刀具材料	1
耐热钢和高温合金	2
高强度钢和钛合金	4
刀具材料	7
第二章 高效率切削刀具	11
车刀和硬质合金圆盘锯	11
小直径四刃带麻花钻	15
加工淬火高强度钢用的硬质合金铰刀和在异种材料的工件上 对孔进行精加工用的铰刀	21
按螺纹牙形角修正的丝锥及其在加工淬火锅、高温合金和钛 合金时的效果	28
加工高温合金和钛合金的槽铣刀和圆柱形铣刀	39
第三章 切削过程物理现象的研究结果	42
切屑收缩和相对剪移	42
单元切屑形成时的应力变形状态	52
变形、应力和切削力	58
第四章 金刚石-立方氮化硼加工	67
高速钢和硬质合金刀具的刃磨和精磨	67
车刀的电化学金刚石刃磨	73
金刚石-立方氮化硼磨削时砂轮的选择和合理切削用量的制 定	80
金刚石-立方氮化硼磨削时的表面质量、效率和切削力	84
磨削时的残余应力及其对疲劳极限的影响	91
工件的金刚石抛光	96

金刚石抛光零件的使用性能	105
第五章 合理的切削用量	110
钛合金工件的车削	110
钛合金毛坯的切断	114
端面铣削	117
铣槽和平铣	119
钛合金工件的钻孔	121
钛合金工件的扩孔和铰孔	125
加工大型工件时的切削用量	131
用电子计算机确定最佳切削用量	136
第六章 已加工表面和表面层的质量	141
已加工表面的微观和宏观几何形状	141
残余应力	143
切向和轴向残余应力的测定方法	148
残余应力符号和大小的调整	155
残余应力对疲劳极限的影响	159
超声波强化时零件表面层的形成	163
第七章 改进可加工性的方法	171
丝锥攻螺纹时超声波振荡的效果	171
电接触加热车削和切断钛合金棒料及锭料	176
钻孔时应用弱电流的效果	182
第八章 可加工性及其与机床-夹具-工件弹性系统的刚 性和耐振性的关系	188
金属切削机床的精度和效率与刚性的关系	188
接触刚性	196
研究切削动力学和振动的仪器及方法	204
刀具耐用度和已加工表面质量与振动强度的关系	209
切削参数对振动强度的影响	213

第一章 被加工材料和刀具材料

机械制造中采用的材料,既要有抗腐蚀性、热强性和热稳定性,也要有高的强度极限和良好的可切削加工性。

按照基本性能的不同,我们把钢及其合金分为抗腐蚀性的、热稳定性的和热强性的几类(ГОСТ 5632-61)。表 1 列出

表 1 被加工材料

组 号	名 称	牌 号
一	变形马氏体不锈钢耐酸钢	2X13, 3X13, 1X17H2(ЭИ268), 1X12H2BMΦ(ЭИ961), ЭИ736
二	变形奥氏体-马氏体耐热钢	X15H9Ю(ЭИ904), 2X17H2, 1X21H5T(ЭИ811), X15H5Д2(ЭП410)
三	变形奥氏体耐热钢和热强钢	X18H9T(ЭН1Т), X18H10T, X18H12T, X12H20T3P(ЭИ696), ЭП222, ЭИ654Ш, 4X12H8Г8МФБ(ЭИ481), 4X14H14B2M(ЭИ69), X25H16Г7AP(ЭИ835)
四	变形铁镍基高温合金	XH35BTЮ(ЭИ787)
五	变形镍基高温合金	XH77ТЮР(ЭИ437Б), XH70MBTЮБ(ЭИ598), XH67BMTЮ(ЭП202, ЭИ445Р), XH70Ю(ЭИ652), ЭИ766

(续)

组号	名 称	牌 号
六	镍基铸造高温合金	ЖС6R, ЖС3ДЖ
七	马氏体高强度钢(热处理后)	30ХГСА, 30ХГЧА, ЭП257, ЭП643, ВКС210(ЭП637)
八	变形钛合金: 高塑性类, $\sigma_b \leq 60$ 公斤/毫米 ² 中强度类, $\sigma_b = 60 \sim 100$ 公斤/毫米 ² 高强度类, $\sigma_b = 100$ 公斤/毫米 ² (到 150 公斤/毫米 ²) 热强类, $\sigma_b = 95 \sim 125$ 公斤/毫米 ²	OT4-1—— $(\alpha + \beta)$ 合金 OT4, BT4 和 BT6—— $(\alpha + \beta)$ 合金 BT5—— α 合金 BT20—— α 合金 BT22—— $(\alpha + \beta)$ 合金 BT14—— $(\alpha + \beta)$ 合金 BT15—— β 合金 BT3-1, BT8, BT9—— $(\alpha + \beta)$ 合金
	多组份变形钛合金	AT3, AT4, AT6, AT8, AT9, AT10, AT12

注: В—钒, В—钨, Г—锰, Д—铜, М—钼, Н—镍, Р—硼, С—硅, Т—钛,
Φ—钽, Ю—铝。

了作者研究时利用的一些材料。

耐热钢和高温合金

第一组材料(表1)的主要合金成分是12~17%的铬,使材料具有抗腐蚀性。除铬外,这一组的钢还含有镍、钨、钼和少量的(1~2%)钒,使材料在600°C以下的温度下具有热稳定性和热强性。在热处理状态下,这一组的所有钢都具有相当高的断裂强度极限: $\sigma_b = 95 \sim 115$ 公斤/毫米²; 其相对延伸

率 $\delta=7\sim 14\%$, 硬度为 HB 300~400。

第二组材料的含铬量为 15~20%, 含镍量也比第一组的大。因此它们在低温或高温下都具有抗腐蚀性(或热稳定性)。在热处理状态下, 这一组钢的塑性比第一组的大, 因此具有良好的可加工性(除 X15H5, 12T 钢外), 但强度极限值低: 当 $\delta=8\sim 35\%$ 和 HB 220~240 时, $\sigma_b=70\sim 100$ 公斤/毫米²。这组钢的工作温度 $t_{\text{工作}}=400\sim 500^\circ\text{C}$ 。

第三组是含铬和含镍量高的钢($\text{Ni}>9\sim 10\%$), 它们不仅具有热稳定性, 而且具有热强性, 即能长时间在高温下负载工作。热强性与合金内原子的扩散位移有关, 而扩散位移又取决于自扩散系数。自扩散系数减小后, 随着加入合金内的一些物质的激活能(疏散热)的增加, 热强性就提高了。几种最重要的合金元素的激活能 $E_a=58\sim 142$ 千卡/克原子(前一个数字是钛的, 后一个数字是钨的, 两者之间的是镍, 钴, 铬, 铌, 钽, 钼)。热强性最低的是 X18H10T 钢和 X18H12T 钢($t_{\text{工作}}=600^\circ\text{C}$), 热强性较高的复杂合金钢是 4X12H818MΦБ($t_{\text{工作}}=600\sim 630^\circ\text{C}$), 4X14H14B2M($t_{\text{工作}}=600\sim 650^\circ\text{C}$) 和 X25H1617AP($t_{\text{工作}}=800\sim 950^\circ\text{C}$)。加入炉料内的硼能与金属形成难熔化合物, 从而提高钢的热强性。ЭИ222 和 ЭИ654ИИ 钢在热强性方面接近 X18H10T 钢。

第四组是铁镍基(45%Fe, 35%Ni)高温合金 XH35BTЮ, 有时称这种合金为热强钢。这种合金含有大量铬($\sim 15\%$)、镍和钨(2.8~3.5%W), 因此具有良好的热强性和热稳定性, 它可用来代替 XH77TЮP 合金。它在热处理状态下的机械性能为 $\sigma_b=95\sim 100$ 公斤/毫米², $\delta=6\sim 8\%$, HB 300~360。可见, 它的塑性较低, 而且切削加工性也不好。它的工作温度 $t_{\text{工作}}=750^\circ\text{C}$ 。

第五组包括各种变形镍基高温合金。XH77TiOP 合金含 20% 左右的铬、77% 镍、2.5% 钛、0.75% 左右的铝和少量的硼(不超过 0.01%), 在热处理状态下, 它的 $\sigma_b = 95 \sim 110$ 公斤/毫米², $\delta = 15 \sim 30\%$, HB 270~320, $t_{\text{工作}} = 750^\circ\text{C}$ 。XH70-MBTiOB 合金与 XH77TiOP 合金的区别是它含有钨、钼和铌, 这使它的热强性提高到 $t_{\text{工作}} = 800 \sim 850^\circ\text{C}$; 在热处理状态下, 它的 $\sigma_b = 100 \sim 110$ 公斤/毫米², $\delta = 12 \sim 25\%$, HB 280~350。XH67BMTiO 合金的化学成分和性能接近 XH 70MBTiOB 合金 ($t_{\text{工作}} = 750 \sim 850^\circ\text{C}$)。XH70iO 合金含有 26~29% 铬和大量的镍, 这就保证了它有很高的热强性 ($t_{\text{工作}} = 850 \sim 1000^\circ\text{C}$), 但强度不高 ($\sigma_b = 75$ 公斤/毫米², $\delta = 30\%$)。9H766 合金是高度合金化的, 在热处理状态下, 它的 $\sigma_b = 100 \sim 115$ 公斤/毫米², $\delta = 13 \sim 28\%$, HB 270~350, $t_{\text{工作}} = 800^\circ\text{C}$ 。这种合金的切削加工性与 XH77TiOP 合金大致相同。

第六组是镍基铸造高温合金, 它的合金成分复杂, 塑性差。在热处理状态下, $\sigma_b = 90 \sim 110$ 公斤/毫米², $\delta = 1.5 \sim 5\%$, HB 330~380, $t_{\text{工作}} = 800 \sim 1000^\circ\text{C}$ 。

高强度钢和钛合金

第七组是结构钢。这一组钢由于所含高激活能的物质较少, 所以不具备热强性和热稳定性, 但在淬火或时效后具有高的强度指标, 因此适用于大负荷、非高温下工作的结构。这一组钢的机械性能列于表 2。

断裂强度极限的提高是因为钢内具有合金化的镍, 含铬量较高, 并有钨、钼和钒添加剂。表中列出的某些钢需要双重热处理。例如, BHC210 钢要进行淬火和时效, 淬火后它的 $\sigma_b = 100 \sim 110$ 公斤/毫米², $\delta = 14\%$, 塑性较大, 在这种状态下可

表2 高强度钢的机械性能

钢 号	σ_b (公斤/毫米 ²)	δ (%)	钢 号	σ_b (公斤/毫米 ²)	δ (%)
30XPCA	110~130	8	ЭИ643	190~215	8
30XPCA	140~160	8	БКC210 (时效后)	210~220	6~8
ЭП257	180~195	6			

以进行机械加工。

第八组钛合金能抗侵蚀性介质的腐蚀，且具有高的强度极限，加上它们的密度较小($\gamma_0=4.5$)，因此可以制造出单位强度($U=\frac{\sigma_b}{\gamma_0}$)大而质轻的产品。苏联成批生产的变形钛合金可以分为四类：前三类是按强度的大小($\sigma_b=60\sim150$ 公斤/毫米²)划分的，第四类是 $t_{\text{工作}}=700\sim800^\circ\text{C}$ 和 $\sigma_b=95\sim125$ 公斤/毫米²的高温合金。

钛合金的强度和工艺性能取决于它的化学成分、金相组织和热处理。铝是必需的元素，在各种钛合金中的含量为2~7%。增加铝含量能提高钛合金的热强性，但会降低它的塑性。铝能促使 α 组织的形成，这种组织的特点是热稳定性高而塑性低，热稳定性的提高与钛的同素异晶转变温度的升高有关。BT5合金是只加有铝的钛合金的一个例子。锡和锆也有助于获得 α 组织，但作为 α 稳定剂(与铝不同)，它们不降低合金的塑性性能，而是赋予合金以很高的热稳定性、良好的抗蠕变性、抗低温脆化性和可焊性。这类合金的例子是TC5(Ti-Al-Sn-Zr-V, HB 280)和BT20(Ti-Al-Mo-Zr-V, $\sigma_b=95\sim115$ 公斤/毫米², $\delta=6\sim12\%$, HB 250~260)。钒、铬、钼和锰都能提高钛合金的强度，但它们对塑性的影响是不同的：钒能降低塑性，铬是中性的，钼和锰能提高塑性。铬、钼、钒和

锰都是 β 稳定剂，能促进 $\alpha+\beta$ 双相合金和单相 β 合金的形成，这两种合金在退火和淬火状态下的塑性比单相 α 合金的高。

在工业中获得广泛应用的合金(如表1所列)都是属于 $\alpha+\beta$ 合金这一类的。OT4和OT4-1合金是利用锰获得 $\alpha+\beta$ 组织的，因为成分中不含其他合金元素，所以它们的机械强度偏低($\sigma_b=60\sim90$ 公斤/毫米²)，而塑性较高($\delta=20\sim40\%$)。表1所列的其他合金是利用铬、钼、钒等 β 稳定剂获得 $\alpha+\beta$ 组织的。在这些合金中，BT14合金(Ti-Al-Mo-V)特别令人感兴趣：它在760~800°C温度下，淬火后具有良好的塑性，比较容易加工，而在450~480°C下时效后能增强到 $\sigma_b=115\sim140$ 公斤/毫米²，在这种状态下主要是进行磨削和抛光等精加工。BT9合金热强性最好，它的 $t_{\text{工作}}=700\sim800^\circ\text{C}$ 。

BT15合金(Ti-Al-Mo-Cr)属于单相 β 合金类，它含铝最少，而含钼和铬最多。这使 β 稳定剂的影响增加，结果合金成了单相的，而且在退火和淬火状态下具有塑性。这种合金与BT14合金相类似，时效后发生强化，且断裂强度极限更高($\sigma_b=130\sim150$ 公斤/毫米²)。

在多组份钛合金中利用硅、铁、铝、铬等非稀缺元素以后，炉料价格比批生产合金便宜了一半，而合金的强度和热强性反而更高了。AT3-AT8合金是六种组份的，它们的性能指标是 $\sigma_b=100$ 公斤/毫米²， $\delta=15\%$ ，HB 325；AT9和AT10合金是七~八种组份的，它们的 $\sigma_b=120\sim130$ 公斤/毫米²， $\delta=8\sim10\%$ ，HB 350~370；在600°C下 $\sigma_b=73$ 公斤/毫米²， $\delta=15\%$ 。这些合金都属于 α 组织合金，是热稳定性的，容易锻造和轧制，有良好的焊接性能和切削加工性(除AT12外)。

钛合金的切削加工性较差，影响可加工性的主要因素是：

1. 化学成分。大多数钛合金含有复杂的合金元素——包括具有高激活能的元素(钛、铬、钼和钒)，它们能提高合金的强度极限，但因此也就降低了合金的可加工性。例如，BT22 钛合金(Ti-Al-Mo-Cr，它的 $\sigma_b = 112 \sim 115$ 公斤/毫米²， $\delta = 8 \sim 12\%$ ，HB 320~340)就是最难加工的一种钛合金。

2. 由化学成分和金相组织决定的低塑性。某些元素能促使 α 组织的形成，这种组织具有密排六方晶格，使加工变得困难。塑性的下降还与钛合金吸收氢、氧和氮的性能有关。

3. 单元切屑是主要的屑型，这也同钛合金的特点，即低塑性和大的挤裂角有关，它取决于某几个机械性能指标的比例关系以及刀具与材料之间的摩擦系数。在许多场合下，上述特点会导致所谓“负收缩率”($k_{\phi} < 1.0$)，从而对加工过程产生不利的影响。

4. 导热系数低： $\lambda = 0.02 \sim 0.025$ 卡/(厘米·秒·度)左右，比 40 号钢和 BK8 硬质合金低 $4/5 \sim 5/6$ 。这不利于热平衡，并且在切削区造成高温，因而影响刀具的耐用度；在磨削时还会产生很高的残余拉应力。

5. 钛合金与含钛和钽的 TK 类和 TTK 类硬质合金的化学亲和性。在刀具前面产生粘附并形成月牙洼，从而加速了刀具的损坏。

刀 具 材 料

加工不锈钢、耐热钢、高温合金、高强度钢和钛合金工件时，建议主要采用硬质合金刀具。

加工铬钢(表 1 中一组)必须用 T15K6 和 T5K10 类的二元碳化物硬质合金刀具，而加工 2X13 钢应使用 BK8 硬质合金刀具。

在加工耐热钢、高温合金和钛合金时,推荐采用 BK 类单一碳化物硬质合金(BK6M, BK8, BK15M)刀具。

在车削和铰孔时,用 BK6M 硬质合金刀具可取得最好的效果;而在铣沟槽、铣端面以及车外皮时,最好用 BK8 硬质合金刀具。在断续加工(例如加工带沟槽的工件)时,用韧性较大的 BK15M 硬质合金刀具,虽然低的碳化钨含量必然引起切削速度的下降,但能取得最好的效果。

用 TTK 类钨钛钽三元碳化物硬质合金,在有冲击或无冲击条件下加工高温合金和钛合金时,没有得出肯定的结果,看来这是由于钛和钽同上述两种合金成分中的钛有亲和力的缘故,其表现是切屑在刀尖上粘附,最后导致崩刃。

用这种硬质合金对碳钢和合金结构钢(其中包括高强度钢)进行断续切削,可获得良好的效果。例如,在端面铣削 45 号钢和 34XH3MΦA 钢工件时,用 TT20K9 硬质合金刀具(含 8%TiC、12%TaC 和 NbC、9%Co,其余为 WC)得到的结果比用 T5K10 和 T14K8 硬质合金为好。加工上述材料的切削用量是: $B=4$ 毫米, $t=150$ 毫米(铣削宽度), $s_z=0.2\sim0.4$ 毫米/齿, $v=120\sim180$ 米/分。

镍基铸造高温合金(ЖК6К, ЖК3,1К 等)由于强度大、硬度高、塑性小($\sigma_b=90\sim110$ 公斤/毫米², $\delta=1.5\sim5\%$, HB 330~380)和金属间化合物对刀具的磨损作用大,加工非常困难。上述性能将引起切削力增大、切削温度升高和刀具磨损加剧。用 BK8 硬质合金车刀车削 ЖК6К 合金时,切削温度比加工 40 号钢时高 2~3 倍,在 $t=1$ 毫米、 $s=0.2$ 毫米/转、 $v=20$ 米/分时,温度可达 1000°C。

影响刀具磨损和磨钝的径向力 P_v 超过车削 40 号钢时 P_v 力的 2 倍,其大小接近于 P_z 力。

加工铸造高温合金，应当采用硬质合金和高速钢两种刀具材料，加工时进给量和切削速度不能大。在 5~10 米/分的速度下车削、端铣、立铣和钻孔时，一般采用 BK6M 和 BK8 硬质合金刀具，但作者建议使用 KyAH 结构的 BK8 硬质合金螺旋齿圆柱铣刀，并采用下述切削用量： $t=0.5\sim1.5$ 毫米， $s_z=0.15\sim0.3$ 毫米/齿， $v=12\sim15$ 米/分。

加工 30XTCa 和 30XTCHA 高强度钢时，必须采用二元碳化物硬质合金 T15K6，若在这两种钢件上铰孔时，也推荐采用二元碳化物硬质合金 T15K6 和 T30K4（后者主要用于加工 9H643 和 BK210 钢）。由于高温合金和钛合金的机械性能很高，在许多情况下必须用抗弯强度比硬质合金高 1~2 倍的高速钢刀具进行加工。在 3K6K、BT14 和 BT15 合金工件上钻孔和攻螺纹时，在现有的高速钢中应当优先选用最大抗弯强度 $\sigma_{bb}=315\sim340$ 公斤/毫米² 的 P18 高速钢。

在用高速钢刀具（成形刀具和齿轮刀具）加工其他热强材料时，通常采用加钴和加钒的高速钢（P9K5，P9K10，P9Φ2，P9Φ5，P18K5Φ2）。同 P9 和 P18 高速钢相比，使用这些热处理后硬度（HRC 64~67）、红硬性较高的高速钢时，刀具耐用度可以提高 50~100%。

在 X18H10T 钢、XH77TIOP 高温合金、BT6 和 BT8 钛合金工件上攻丝时，P9K5 高速钢丝锥（HRC 65~67）比 P18、P18Φ2 和 P9Φ5 高速钢丝锥要好些。用 P18、P9Φ5 和 P9K5 高速钢钻头、铰钻和铰刀加工各种钛合金时，也得到了同样效果。用 P18、P9K5 和 P9Φ5 高速钢钻头在淬火状态的 BK210 钢工件和退火状态的 BT22 难加工钛合金工件上钻孔时，P9Φ5 高速钢钻头看来是最好的，它的耐用度比其他钻头高。这是因为 P9Φ5 高速钢中的碳化钒具有很高的硬度。

研制了几种除钨、钴和钒外还含有 1~6% 钼的高速钢。研究结果证明了这些添加剂的有效性。例如, 按照 Я. И. 阿达姆等人的资料, 在加工淬火 40X 钢齿轮齿时, 用 P9M4K5 高速钢齿轮滚刀比用 P18 高速钢齿轮滚刀可提高耐用度 2~3 倍, 而用 P18Φ2K8M 高速钢齿轮滚刀可提高耐用度 1 倍。

按作者的资料, 在铣削 XH67BMTЮ 高温合金工件时, P18Φ2M 高速钢铣刀盘的耐用度比 P9K5 高速钢提高 1~1.5 倍, 而 P18Φ2K8M 高速钢刀具的耐用度又比 P18Φ2M 高速钢提高 50%。P12Φ5M 高速钢刀具的耐用度也比 P18 高速钢提高 1 倍。

在用 P6M6K8 和 P6M3K8 高速钢车刀车削淬火的 XBI' 钢工件(HRC45~49)时, 刀具的耐用度比 P18 高速钢提高 1.25~1.5 倍。

含钒和含钼量高的刀具不易刃磨, 刃磨时会产生显微裂纹和烧伤。这些缺点可用下面两个方法消除: 在磨削和刃磨时选择相应的磨料和磨削用量, 还可采用金刚石砂轮磨削或刃磨-研磨。在这两种情况下都必须减小残余拉应力, 或者把拉应力变为压应力。

第二章 高效率切削刀具

车刀和硬质合金圆盘锯

在车床上粗车铸造钛铎的外皮和把它切断是两道非常费力的加工工序。为了提高这两道工序的劳动生产率，提出了几种新结构的粗车刀和切断刀(图1和图2)。

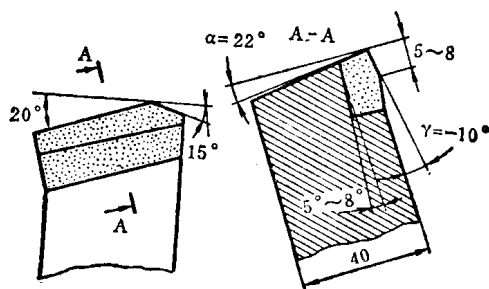


图1 粗车铸造钛铎外皮用的车刀

镶 BK8 硬质合金刀片的粗车刀,其合理几何参数为: $\gamma = -10^\circ$, $\varphi = 20^\circ$, $\lambda = 7^\circ$, $\alpha = 22^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $r = 0.5$ 。这把刀同 KBK 型车刀一样,都是以小偏角和提高切削部分强度为特征;所不同的是它采用了大后角和负前角。由于切削刃的长度增加,改善了散热条件,降低了切削温度。因此,使用这种车刀工作时,不会出现硬质合金刀片断裂和脱焊现象。在正常的生产条件下,用上述结构的粗车刀同另一把车刀(几何参数为 $\gamma = -10^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\varphi_1 = 45^\circ$, $r = 3 \sim 6$ 毫米)做了耐用度比较。切削速度是工厂常用的 1.5~2 倍,

粗车 BT15、BT3-1、OT4-2、BT8 和 OT4 钛合金锭。结果表明：新结构的车刀耐用度，比工厂常用的车刀要高得多（见表 3）。

表 3 具有合理几何参数的粗车刀和工厂
常用车刀的耐用度

钛合金锭料	$t=6$ 毫米时的切削 用 量		车刀的耐用度 T (分)		允许磨钝 值 h_{gr} (毫米)
	v (米/分)	s (毫米/转)	工厂常用 车 刀	合理几何 参数车刀	
OT4-2	80	0.5	1.2	10	1.5
	39	0.5	4.5	29	1.5
	25	0.5	5.0	40	1.5
OT4	84	0.7	4.0	21	1.5
BT8	40	0.7	4.0	32	3
BT3-1	35	0.5	6.5	12	3
BT15	20	0.5	1.5	10	2

镶 BK8 硬质合金刀片的三面刃切断刀（图 2）有三段主切削刃：宽度 $b_1=1/3b$ 的横切削刃和两个 $\varphi=135^\circ$ 角的侧切削刃。根据计算和经验（包括切断直径 360 和 420 毫米的锭料的经验），建议在刀杆截面 $BH=6 \times 120$ 毫米² 和切断刀伸出长度为 200~250 毫米时，采用 $b=8$ 毫米的切削宽度。三面刃切断刀与同样几何参数的普通单面刃切断刀以及工厂目前采用的尖头切断刀（ $\gamma=0^\circ$ ， $\alpha=10^\circ$ ， $\varphi_1=2^\circ$ ，两侧刃成 $\varphi=105^\circ$ 角，刀尖半径 $r=2$ 毫米）相比，在切断 BT3-1、TC5 和 OT4-2 钛合金锭时，耐用度提高 2~3 倍，在同样的耐用度下可提高切削速度 50%，同时减小径向力 25~30%。

钛管通常是在切断机上用低效率和低耐用度的高速钢圆盘锯切断。采用硬质合金锯可以显著提高切断效率和刀具耐用度。圆盘锯（图 3）各个切削齿的形状和尺寸是相同的，它有

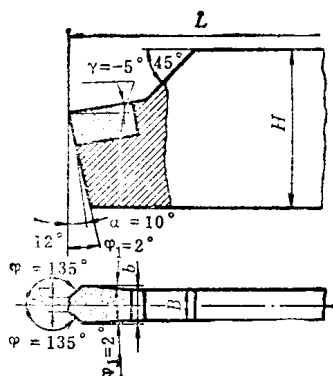


图2 切断钛合金锭料用的三面刃切断刀

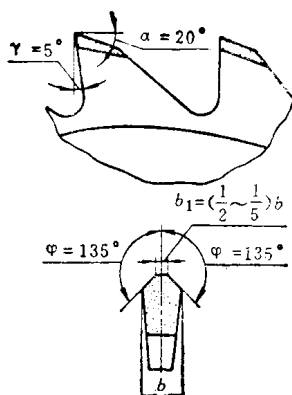


图3 三面刃圆盘锯切削部分的几何参数

三段主切削刃：宽度 $b_1 = (1/2 \sim 1/5)b$ 的横切削刃和偏角 $\varphi = 135^\circ$ 的两个侧切削刃。圆盘的其余尺寸是标准的（按ГОСТ 4047-52）。

图4分别列出了图3所示圆盘锯和标准刃磨圆盘锯的磨损和耐用度。标准刃磨就是预先把锯齿磨成直径相差0.2毫米的切槽齿和修整齿。标准锯在进给量 $s_z = 0.02$ 毫米/齿时，耐用度 $T = 102$ 分钟；而图3所示的圆盘锯，在 $s_z = 0.04$ 毫米/齿时，耐用度 $T = 223$ 分钟。根据关系式(1)，在同样条件下，硬质合金圆盘锯的耐用度比标准锯提高了4倍，在同样耐用度下可提高切削速度1.2倍，与高速钢锯相比可提高切削速度3~5倍。

经过研究，得出了用硬质合金三面刃圆盘锯 ($h_{\text{齿}} = 0.45$ 毫米) 切断TC5合金棒料时计算切削速度的公式：

⊖ 原文为 $(\frac{1}{2} : \frac{1}{5})b$ ——译者。

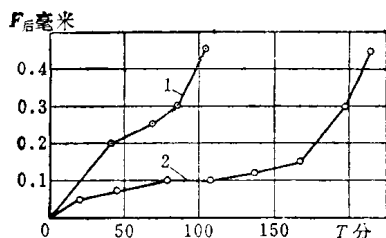


图4 BK8 硬质合金圆盘锯的磨损曲线 (TC5 合金,
直径 126 毫米; $D_n=330$ 毫米; $v=35$ 米/分)

1—标准结构的圆盘锯 ($\gamma=5^\circ$, $\alpha=20^\circ$, $\varphi=90^\circ$, $\varphi_1=2^\circ$, $b=8$ 毫米, $s_z=0.02$ 毫米/齿) 2—三面刃圆盘锯 ($\gamma=5^\circ$, $\alpha=20^\circ$, $\varphi=135^\circ$, $\varphi_1=2^\circ$, $b=8$ 毫米, $b_1=2.6$ 毫米, $s_z=0.04$ 毫米/齿)

$$v = \frac{104 \left(\frac{D}{d} \right)^{0.75}}{T^{0.5} s_z^{0.55} z^{0.75}} \quad (1)$$

式中 D ——锯的直径;
 d ——棒料直径;
 z ——锯的齿数。

特别是在切削难加工材料时采用自旋转圆切刀 (KCBP) 和强制旋转圆切刀 (KIIBP) 可以大大提高生产率。把切刀安装成 λ 角时 (图 5), KCBP 切刀在切削力作用下旋转。 λ 角的大

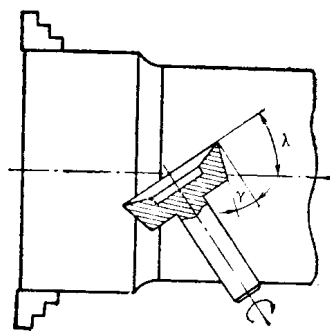


图5 自旋转圆切刀