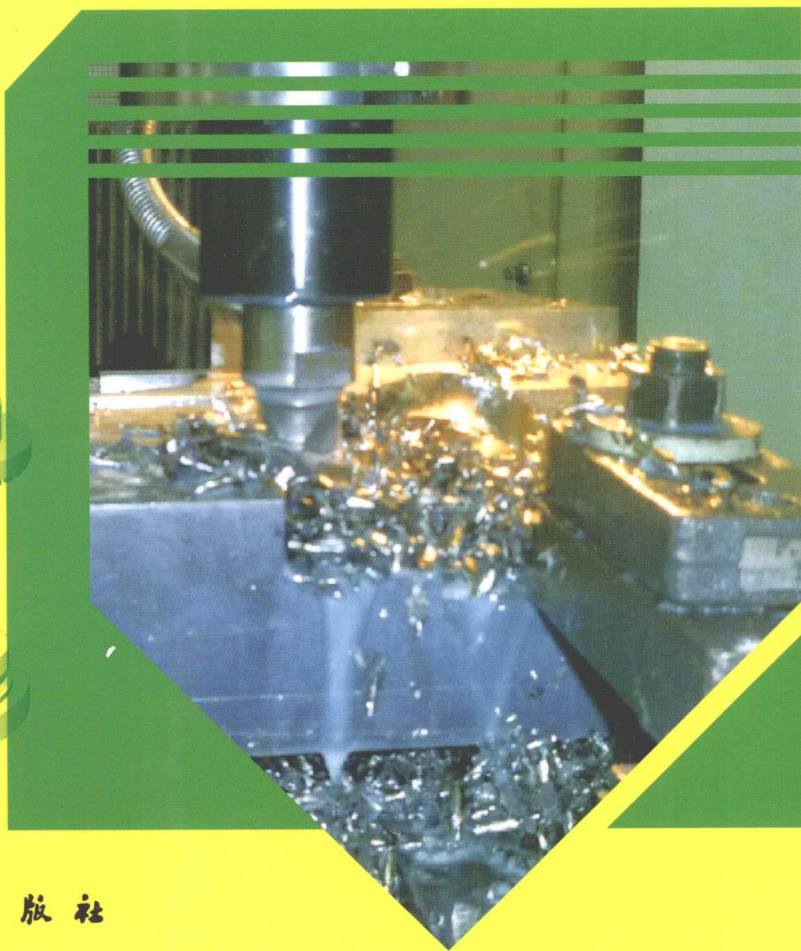
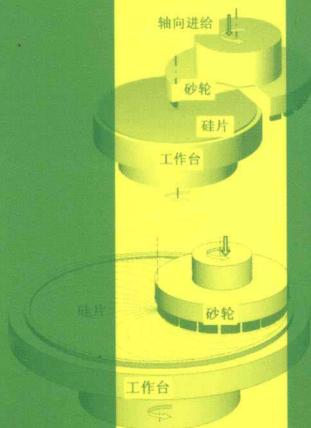
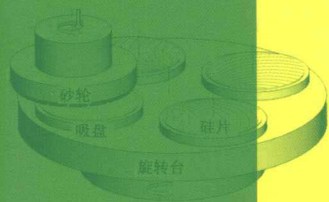


辛志杰 等编著

超硬与难磨削材料 加工技术实例

CHAOYING YU NANMOXUE
CAILIAO JIAGONG JISHU SHILI

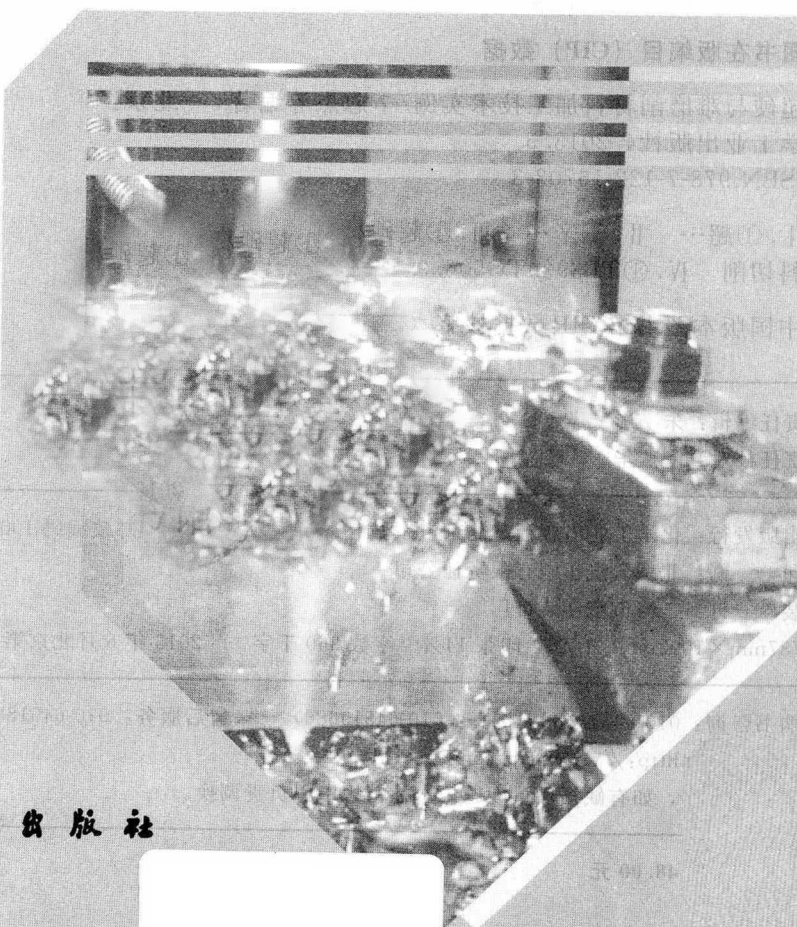


化学工业出版社

辛志杰

超硬与难磨削材料 加工技术实例

CHAOYING YU NANMOXUE
CAILIAO JIAGONG JISHU SHILI



化学工业出版社

·北京·

超硬与难磨削材料加工技术是先进材料和先进制造技术中的重要领域,在航空航天工业、模具业、汽车制造业及各种特殊用途产品众多产业部门得到广泛应用。本书主要介绍超硬与难磨削材料的分类、材料特性、切削加工特点及切削加工性的评定,并分类阐述常用的超硬与难磨削材料切削加工技术,包括钛合金、高温合金、超高强度钢、高锰钢、不锈钢、硬质合金、工程陶瓷、单晶硅、热喷涂(焊)材料、复合材料等。

本书还针对每种超硬与难磨削材料,分别从材料的分类及特性、切削加工特点、刀具及切削参数的选择、磨削加工的特点及磨削方法、磨削工艺参数的选择等方面进行了详细分析及论述。此外,本书还列举了常用超硬与难磨削材料的切削与磨削加工实例应用,包括刀具材料及几何角度的选择、切削用量的确定、表面质量的控制等内容。

本书可供广大从事机械工程及相关专业人员,特别是从事超硬与难磨削材料、难加工材料的切削加工、磨削加工等方面的科技人员参考,也可供相关专业的本科生或研究生作为教学参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

超硬与难磨削材料加工技术实例/辛志杰等编著. —北京:
化学工业出版社, 2013. 5
ISBN 978-7-122-16703-3

I. ①超… II. ①辛… III. ①超硬材料-加工②难加工
材料切削 IV. ①TB39②TG506.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第049347号

责任编辑:朱彤
责任校对:陶燕华

文字编辑:闫敏
装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印刷:北京云浩印刷有限责任公司
装订:三河市宇新装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张14 $\frac{3}{4}$ 字数360千字 2013年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:48.00元

版权所有 违者必究

随着科学技术的发展,对机械产品特别是航空航天工业、模具业、汽车制造业、各种特殊用途的产品,不断提出新的挑战和需求,包括材料本身的强度、硬度、比刚度、耐磨性、导热性、耐高温性、切削加工性、可回收性等方面。这些材料的硬度和耐磨性都很高,属于难加工材料,在切削加工、磨削加工这些材料时,材料本身的物理、力学性能决定了切削刀具、磨具的选择及切削加工参数的优选。

本书主要介绍超硬与难磨削材料的分类、材料特性、切削加工特点及切削加工性的评定,并分类阐述常用的超硬与难磨削材料切削加工技术,包括钛合金、高温合金、超高强度钢、高锰钢、不锈钢、硬质合金、工程陶瓷、单晶硅、热喷涂(焊)材料、复合材料等。本书还针对每种超硬与难磨削材料,分别从材料的分类及特性、切削加工特点、刀具及切削参数的选择、磨削加工的特点及磨削方法、磨削工艺参数的选择等方面进行了详细分析及论述。此外,本书还列举了常用超硬与难磨削材料的切削与磨削加工实例应用,包括刀具材料及几何角度的选择、切削用量的确定、表面质量的控制等内容。

本书针对常用、具有发展潜力的十余类超硬及难磨削材料的切削加工、磨削加工进行了全面分析和阐述,材料涵盖面广、内容丰富。

本书在编写过程中,庞学慧、庞俊忠、刘芳、曹敏曼等同仁参加了部分书稿整理和配图等工作,在此谨致衷心感谢。

本书可供从事机械工程及相关专业人员,特别是从事超硬与难磨削材料、难加工材料的切削加工、磨削加工等方面的科技人员参考,也可供相关专业的本科生或研究生作为教学参考书使用。

由于编者水平和时间有限,疏漏之处在所难免,敬请各位读者批评指正。

编著者
2013年3月

第 1 章 超硬与难磨削材料切削加工性评定	1
1.1 材料切削加工性概述	1
1.1.1 切削加工性的概念	1
1.1.2 常用的切削加工性衡量指标	1
1.2 影响切削加工性的因素	2
1.2.1 工件材料物理力学性能对切削加工性的影响	2
1.2.2 化学成分对切削加工性的影响	3
1.2.3 金属组织对切削加工性的影响	5
1.3 改善切削加工性的途径	7
1.4 超硬与难磨削材料的分类及切削特点	8
1.4.1 超硬与难磨削材料的分类	8
1.4.2 超硬与难磨削材料的切削特点	10
1.5 超硬与难磨削材料加工性的评定	10
1.5.1 以加工质量评定切削加工性	10
1.5.2 以刀具耐用度评定切削加工性	10
1.5.3 以单位切削力和切削温度评定切削加工性	11
1.5.4 以断屑性能评价切削加工性	11
第 2 章 钛合金的切削加工	14
2.1 钛合金的材料特性及加工特点	14
2.1.1 钛合金的分类	14
2.1.2 钛合金的性能和用途	15
2.1.3 钛合金的切削特点	16
2.2 切削钛合金时工艺参数的选择	17
2.2.1 切削钛合金时刀具材料的选择	17
2.2.2 金刚石刀具加工钛合金的切削特点	18
2.2.3 切削钛合金时刀具几何参数的选择	19
2.2.4 切削钛合金时切削用量的选择	20
2.2.5 钛合金的钻削加工	22
2.2.6 钛合金的铰削加工	24
2.2.7 钛合金的拉削加工	26
2.2.8 钛合金的螺纹加工	27

2.2.9	切削钛合金时切削液的选择	30
2.2.10	切削钛合金时应注意的问题	31
2.2.11	切削加工钛合金的实例	31
2.3	磨削钛合金时磨削力及磨削温度	31
2.3.1	黏附对磨削力的影响	32
2.3.2	钛合金磨削力的经验计算式	32
2.3.3	钛合金的磨削温度	34
2.4	磨削钛合金时砂轮的选择及磨削用量	36
2.4.1	砂轮的选择原则	36
2.4.2	磨削加工用量的选择原则	38
2.4.3	磨削加工用量和砂轮参数	40
2.4.4	磨削钛合金时切削液的选择	45

第3章 高温合金的切削加工

46

3.1	高温合金的分类及材料特性	46
3.1.1	高温合金的分类	46
3.1.2	高温合金的特性	48
3.2	高温合金切削加工特点	50
3.3	切削高温合金时刀具及切削参数的选择	51
3.3.1	切削高温合金时刀具材料的选择	51
3.3.2	切削高温合金时刀具几何参数的选择	52
3.3.3	车削高温合金时应注意的问题	53
3.3.4	切削高温合金时切削参数的选择	54
3.3.5	切削高温合金时切削液的选择	62
3.3.6	切削加工高温合金的实例	62
3.4	高温合金的磨削	63
3.4.1	高温合金磨削的特点	63
3.4.2	高温合金的磨削力	64
3.4.3	高温合金的磨削温度	66
3.4.4	高温合金的缓进给磨削	68
3.4.5	高温合金的其他磨削方法	72
3.4.6	磨削高温合金时工艺参数的选择	73

第4章 高强度钢和超高强度钢的切削加工

79

4.1	高强度钢和超高强度钢的分类及材料特性	79
4.1.1	高强度钢和超高强度钢的分类	79
4.1.2	高强度钢和超高强度钢的材料特性	80
4.2	高强度钢和超高强度钢的切削加工特点	81
4.3	切削高强度钢和超高强度钢的刀具及切削参数选择	82

4.3.1	刀具材料的选择	82
4.3.2	刀具几何参数的选择	83
4.3.3	切削用量的选择	84
4.3.4	切削高强度钢和超高强度钢的断屑问题	87
4.3.5	高强度钢和超高强度钢的钻孔、铰孔和攻螺纹	89
4.3.6	切削加工高强度钢和超高强度钢的实例	92
4.4	高强度钢和超高强度钢的磨削	93
4.4.1	高强度钢和超高强度钢磨削的特点	93
4.4.2	高强度钢和超高强度钢的磨削力和磨削温度	94
4.4.3	磨削表面质量	99
4.4.4	磨削工艺参数的选择	102

第5章 高锰钢的切削加工

110

5.1	高锰钢的分类及材料特性	110
5.2	高锰钢的切削加工特点	110
5.3	改善高锰钢切削加工性的途径	111
5.4	切削高锰钢的刀具及切削参数的选择	112
5.4.1	切削高锰钢刀具材料的选择	112
5.4.2	切削参数的选择	112
5.5	高锰钢的钻削	115
5.6	高锰钢的镗削	117

第6章 不锈钢的切削加工

120

6.1	不锈钢的特性及切削加工特点	120
6.1.1	不锈钢的分类	120
6.1.2	不锈钢的特性	121
6.1.3	不锈钢的切削特点	123
6.2	切削不锈钢的刀具及切削参数的选择	124
6.2.1	切削不锈钢的刀具材料的选择	124
6.2.2	刀具几何参数的选择	124
6.2.3	切削不锈钢时刀具断(卷)屑槽和刃口形式	126
6.2.4	切削不锈钢时切削用量的选择	127
6.2.5	切削不锈钢时切削液的选择	128
6.2.6	不锈钢的铣削加工	128
6.2.7	不锈钢的钻孔、铰孔和攻螺纹加工	129
6.3	不锈钢的磨削	134
6.3.1	不锈钢的磨削特点	134
6.3.2	不锈钢磨削的表面质量	135
6.3.3	磨削不锈钢时工艺参数的选择	138

第7章 硬质合金的切削加工

144

7.1 硬质合金的分类及材料特性	144
7.1.1 硬质合金的分类	144
7.1.2 硬质合金的材料特性	146
7.2 硬质合金的切削特点	148
7.3 切削硬质合金的刀具及切削参数的选择	148
7.4 硬质合金的磨削	149

第8章 工程陶瓷的切削加工

152

8.1 工程陶瓷的分类和特性	152
8.1.1 工程陶瓷的分类	153
8.1.2 结构陶瓷	153
8.1.3 功能陶瓷	154
8.1.4 工程陶瓷的材料特性	155
8.2 工程陶瓷的切削加工特点	156
8.3 切削工程陶瓷的刀具及切削参数的选择	157
8.4 工程陶瓷的高效切削加工方法	157
8.5 工程陶瓷的切削加工实例	158
8.6 工程陶瓷的磨削	158
8.6.1 工程陶瓷的磨削特点	158
8.6.2 工程陶瓷的磨削力	159
8.6.3 工程陶瓷的磨削温度	164
8.6.4 磨削工程陶瓷时工艺参数的选择	166
8.6.5 工程陶瓷的高效磨削方法	174

第9章 单晶硅的切削加工

181

9.1 单晶硅的特性及切削加工特点	181
9.1.1 单晶硅的材料特性	181
9.1.2 单晶硅的切削特点	184
9.2 切削单晶硅的刀具和切削参数的选择	184
9.2.1 采用金刚石车刀切削	184
9.2.2 采用电镀金刚石超薄切割片切削	185
9.2.3 采用线锯切削	188
9.3 单晶硅的磨削	189
9.3.1 单晶硅的磨削特点及磨削方法	189
9.3.2 单晶硅片超精密磨削技术	193
9.3.3 磨削单晶硅时工艺参数的选择	195

第 10 章 热喷涂（焊）材料的切削加工

198

10.1 热喷涂（焊）材料的分类和性能	198
10.2 热喷涂（焊）材料的切削加工特点	201
10.3 切削热喷涂（焊）材料的刀具及切削参数的选择	202
10.3.1 刀具材料的选择	202
10.3.2 切削参数的选择	203
10.4 热喷涂（焊）材料的切削加工实例	205
10.5 热喷涂（焊）材料的特种加工方法	206
10.6 热喷涂（焊）材料的磨削	207

第 11 章 复合材料的切削加工

209

11.1 复合材料的定义和分类	209
11.1.1 复合材料的定义	209
11.1.2 复合材料的分类	210
11.2 复合材料的性能和用途	213
11.3 复合材料的切削加工特点	214
11.3.1 聚合物基纤维增强复合材料的切削特点	214
11.3.2 纤维增强复合材料的纤维角对切削性能的影响	214
11.3.3 金属基复合材料的切削特点	215
11.4 切削复合材料的刀具及切削参数的选择	216
11.4.1 玻璃钢的车削加工	216
11.4.2 聚合物基纤维增强复合材料（FRP）的切削加工	216
11.4.3 金属基纤维增强复合材料（FRM）的切削加工	217
11.4.4 晶须增强复合材料 SiCw/6061 的平面铣削	217
11.4.5 复合材料的钻削加工	218
11.4.6 复合材料的切削加工实例	218
11.5 复合材料的特种加工	220
11.6 复合材料的磨削	221
11.6.1 金属基复合材料的磨削	221
11.6.2 碳纤维增韧碳化硅陶瓷基复合材料（C/SiC）的磨削	223

参考文献

225

第 1 章

超硬与难磨削材料切削加工性评定

1.1 材料切削加工性概述

1.1.1 切削加工性的概念

切削加工性 (Machinability) 是指工作材料切削加工的难易程度。由于切削加工的具体情况和要求不同, 所谓切削加工的难易程度就有不同的内容。例如, 粗加工时, 要求刀具的磨损慢和加工生产率高; 而在精加工时, 则要求工件有高的精度和较小的表面粗糙度。显然, 这两种情况所指的切削加工的难易程度是不相同的。此外, 如普通机床与自动化机床, 单件小批与成批大量生产, 单刀切削与多刀切削, 工件尺寸和工序不同等, 都使切削加工性的衡量标志不同。因此, 切削加工性只能是相对概念。

1.1.2 常用的切削加工性衡量指标

常用的切削加工性衡量指标是 v_T 。它的含义是: 当刀具耐用度为 T (min 或 s) 时, 切削某种材料所允许的切削速度。 v_T 越高, 则材料的切削加工性越好。一般情况下, 可取耐用度 $T=60\text{min}$, 对于一些难切削材料, 可取 $T=30\text{min}$, 或取 $T=15\text{min}$ 。对机夹可转位刀具, 耐用度 T 可以取得更小一些。如果取 $T=60\text{min}$, 则 v_T 写成 v_{60} 。

通常以强度 σ_b (637MPa) 的 45 钢的 v_{60} 作为基准, 写作 v_{60j} , 其他被切削的工件材料的 v_{60} 与之相比, 则得相对加工性 k_v , 即

$$k_v = v_{60} / v_{60j} \quad (1-1)$$

当 $k_v > 1$ 时, 表明该材料比 45 钢易切, 如有色金属, 易切钢 (也称易削钢), 较易切钢等;

当 $k_v < 1$ 时, 表明该材料比 45 钢难切, 如调质的 2Cr13、45Cr、50CrV 钢等。

各种材料的相对加工性 k_v 乘以 45 钢的切削速度, 即可得出切削各种材料的可用速度。

目前常用的工件材料, 按相对加工性可分为八级, 如表 1-1 所示。

表 1-1 材料切削加工性等级

加工性等级	名称及种类		相对加工性 k_v	代表性材料
1	很容易切削材料	一般有色金属	>3.0	5-5-5 铜铝合金, 铜铝合金, 铝镁合金
2	容易切削材料	易削钢	2.5~3.0	退火 15Cr $\sigma_b=0.372\sim0.441\text{GPa}$ 自动机钢 $\sigma_b=0.392\sim0.490\text{GPa}$
3		较易削钢	1.6~2.5	正火 30 钢 $\sigma_b=0.441\sim0.549\text{GPa}$ 45 钢, 灰铸铁, 结构钢
4	普通材料	一般钢及铸铁	1.0~1.6	2Cr13 调质 $\sigma_b=0.8288\text{GPa}$ 85 钢轧制 $\sigma_b=0.8829\text{GPa}$
5		稍难切削材料	0.65~1.0	45Cr 调质 $\sigma_b=1.03\text{GPa}$ 65Mn 调质 $\sigma_b=0.9319\sim0.981\text{GPa}$
6	难切削材料	较难切削材料	0.5~0.65	50CrV 调质, 1Cr18Ni9Ti 未淬火 α 相钛合金
7		难切削材料	0.15~0.5	
8		很难切削材料	<0.15	β 相钛合金, 镍基高温合金

1.2 影响切削加工性的因素

1.2.1 工件材料物理力学性能对切削加工性的影响

1.2.1.1 硬度对切削加工性的影响

(1) 工件材料常温硬度的影响

一般情况下, 同类材料中硬度高的加工性低。材料硬度高时, 切屑与前刀面的接触长度减小, 因此前刀面上法应力增大, 摩擦热量集中在较小的刀屑接触面上, 促使切削温度增高和磨损加剧。工件材料硬度过高时, 甚至引起刀尖的烧损及崩刃。

对 0.2%C 的碳素钢 (115HB)、中碳镍铬钼合金钢 (190HB)、淬火回火后的中碳镍铬钼合金钢 (300HB)、淬火及回火后的中碳镍铬钼高强度钢 (400HB) 进行切削试验, 得到曲线如图 1-1 所示。

(2) 工件材料高温硬度对切削加工性的影响

工件材料的高温硬度越高, 切削加工性越低。刀具材料在切削温度的作用下, 硬度下降。工件材料的高温硬度高时, 刀具材料硬度与工件材料硬度之比下降, 这时刀具的磨损有很大影响。高温合金、耐热钢的切削加工性低, 这是一个重要的原因。

(3) 工件材料中硬质点对切削加工性的影响

工件材料中的硬质点形状越尖锐, 分布越广, 则工件材料的切削加工性越低。硬质点对刀具的磨损作用有二: 其一是硬质点的硬度都很高, 对刀具具有擦伤作用; 其二是工件材料晶界处微细硬质点能提高材料的强度和硬度, 而使切削时对剪切变形的抗力增大, 使材料的切削加工性降低。

(4) 材料的加工硬化性能对切削加工性的影响

工件材料的加工硬化性能越高, 则切削加工性越低。某些高锰钢及奥氏体不锈钢切削后

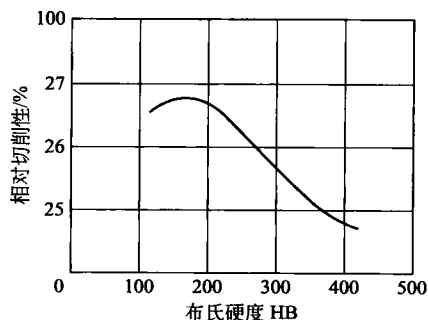


图 1-1 碳钢硬度与切削加工性关系

的表面硬度，比原始基体高 1.4~2.2 倍。材料的硬化性能高，首先使切削力增大，切削温度增高；其次，刀具被硬化的切屑擦伤，副后刀面产生边界磨损；第三，当刀具切削已硬化表面时，磨损加剧。

1.2.1.2 工件材料强度对切削加工性的影响

工件材料的强度包括常温强度和高温强度。

工件材料强度越高，切削力就越大，切削功率随之增大，切削温度因之增高，刀具磨损增大。所以在一般情况下，切削加工性随工件材料强度的提高而降低。

合金钢与不锈钢的常温强度和碳素钢相差不大，但高温强度却比较大，所以合金钢及不锈钢的切削加工性低于碳素钢。

1.2.1.3 工件材料的塑性与韧性对切削加工性的影响

工件材料的塑性以伸长率 δ 表示。伸长率 δ 越大，则塑性越大。强度相同时，伸长率 δ 越大，则塑性变形的区域也随之扩大，因而塑性变形所消耗的功率越大。

工件材料的韧性以冲击值 α_k 值表示。 α_k 值大的材料，表示它在破断之前所吸收的能量越多。塑性大的材料在塑性变形时因塑性变形区域增大而使塑性变形功增大；韧性大的材料在塑性变形时，塑性区域可能不增大，但吸收的塑性变形功却增大。尽管原因不同，但塑性和韧性的增大都会导致同一后果，即塑性变形功增大。

同类材料，强度相同时，塑性大的材料切削力较大，切削温度也较高，而且容易与刀具发生黏结，因而刀具的磨损大，已加工表面也粗糙。所以工件材料的塑性越大，它的切削加工性也越低。有时为了改善塑性材料的切削加工性，可通过硬化或热处理来降低塑性（如进行冷拔等塑性加工等使之硬化）。

但塑性太低时，切屑与前刀面的接触长度缩短太多，使得切屑负荷（切削力和切削热）都集中在刀刃附近，这将使得刀具磨损加剧。由此可见，塑性过大或过小都使切削加工性下降。

材料的韧性对切削加工性的影响与塑性相似。韧性对断屑的影响比较明显，在其他条件相同时，材料的韧性越高，断屑越困难。

1.2.1.4 工件材料的热导率对切削加工性的影响

在一般情况下，热导率高的材料，它们的切削加工性都比较高，而热导率低材料，切削加工性都低。但热导率高的工件材料，在加工过程中温升较高，这对控制加工尺寸造成一定困难，所以应加以注意。

1.2.2 化学成分对切削加工性的影响

(1) 钢的化学成分的影响

为了改善钢的性能，钢中可加入一些合金元素如铬（Cr），镍（Ni），钒（V），钼（Mo），钨（W），锰（Mn），硅（Si）和铝（Al）等，其中 Cr、Ni、V、Mo、W、Mn 等元素大都能提高钢的强度和硬度，Si 和 Al 等元素容易形成氧化硅和氧化铝等硬质点使刀具磨损加剧。这些元素含量较低时（一般以 0.3% 为限），对钢的切削加工性影响不大，超过这个含量水平，对钢的切削加工性是不利的。钢中加入少量的硫、硒、铅、铋、磷等元素后，能略降低钢的强度，同时又能降低钢的塑性，故对钢的切削加工性有利。例如硫能引起钢的红脆性，但若适当提高锰的含量，可以避免红脆性。硫与锰形成的 MnS 以及硫与铁形成的 FeS 等，质地很软，可以成为切削时塑性变形区中的应力集中源，能降低切削力，使切

屑易于折断，减少积屑瘤的形成，从而使已加工表面粗糙度减小，减少刀具的磨损。硒、铅、铋等元素也有类似的作用。磷能降低铁素体的塑性，使切屑易于折断。

根据以上事实，研制出含硫、硒、铅、铋或钙等的易削钢，其中以含硫的易削钢用得较多。图 1-2 是各种化学元素对结构钢切削加工性影响的大致趋势。表 1-2 指出了几种常用结构钢车削时的相对加工性。

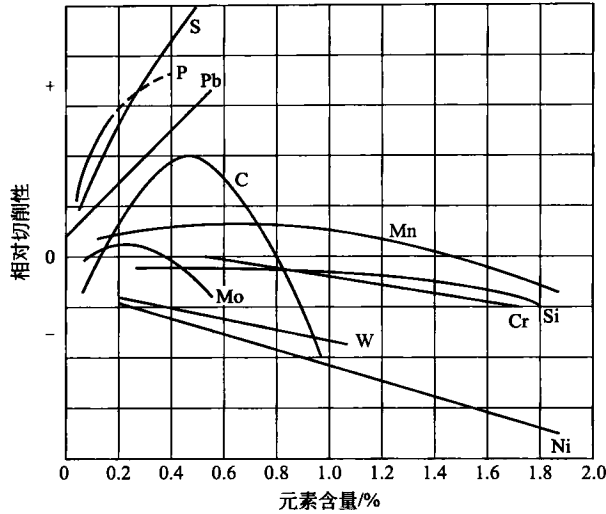


图 1-2 各元素对结构钢切削加工性的影响

+表示切削加工性改善；-表示切削加工性恶化

表 1-2 几种常用结构钢车削时的相对加工性

钢种	钢号	热处理方式	抗拉强度 σ_b /GPa /($\text{kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$)	相对加工性		切削力修正系数
				高速钢车刀 $T=60\text{min}$	硬质合金车刀 $T=60\text{min}$	
碳素钢	8	正火或高温回火	0.313~0.411 (32~42)	0.88	0.88	1.0
	20	正火或轧制	0.411~0.539 (42~55)	1.0	1.0	1.0
	30	正火	0.441~0.589 (45~56)	2.0	2.0	0.75
	45	调质	0.637~0.727 (65~75)	1.25	1.25	0.95
		退火	0.588~0.686 (60~70)	1.25	1.25	0.9
		调质	0.686~0.784 (70~80)	1.0	1.0	1.0
		调质	0.784~0.833 (80~85)	0.83	0.83	1.05
	50	调质	0.833 (85)	0.77	0.77	1.10
80	轧制	0.882 (90)	0.70	0.70	1.15	

续表

钢种	钢号	热处理方式	抗拉强度 σ_b /GPa (kgf·mm ⁻²)	相对加工性		切削力修正 系数
				高速钢车刀 T=60min	硬质合金车刀 T=60min	
铬 钼 钢	30CrMo	正火调质	0.686~0.784 (70~80)	1.1	1.20	1.0
			0.882~0.980 (90~100)	0.77	0.73	1.2
锰 钢	50Mn	退火调质	0.686~0.784 (70~80)	0.88	0.88	0.9
			0.838~0.931 (85~95)	0.70	0.70	1.15
镍 铬 钢	30CrNi3	调质	0.882~0.980 (90~100)	0.77	0.77	1.20
铬 钢	45Cr	退火调质	0.784 (80)	1.0	0.93	1.03
			1.039 (105)	0.60	0.60	1.30
铬 锰 硅 钢	30CrMnSi	正火回火调质	0.637~0.727 (65~75)	1.05	1.1	0.95
			0.980~1.078 (100~110)	0.55	0.60	1.30
铬 钒 钢	50CrV	退火调质	0.882 (90)	0.83	0.83	1.15
			1.274~1.372 (130~140)	—	0.40	1.15

(2) 铸铁的化学成分的影响

铸铁的化学成分对切削加工性的影响，主要取决于这些元素对碳的石墨化作用。铸铁中碳元素以两种形式存在：与铁结合成碳化铁，或作为游离石墨。石墨硬度很低，润滑性能很好，所以碳以石墨形式存在时，铸铁的切削加工性就高，而碳化铁的硬度高，加剧刀具的磨损，所以碳化铁含量越高，铸铁的切削加工性越低。因此，应该以结合碳（碳化铁）的含量来衡量铸铁的加工性。铸铁的化学成分中凡能促进石墨化的元素，如硅、铝、镍、铜、钛、硫等都会提高切削加工性。

1.2.3 金属组织对切削加工性的影响

金属的成分相同，但组织不同时，其力学物理性能也不同，自然也使切削加工性不同。

(1) 钢的不同组织对切削加工性的影响

图 1-3 为各种金属组织的 $v-T$ 关系。一般情况下，铁素体的塑性较高，珠光体的塑性较低。钢中含有大部分铁素体和少部分珠光体时，切削速度及刀具耐用度都较高。纯铁（含碳量极低）是完全的铁素体，由于塑性太高，其切削加工性十分低，切屑不易折断，切屑易黏结在前刀面上，已加工表面的粗糙度极大。

珠光体呈片状分布时，刀具在切削时，要不断与珠光体中硬度为 800HB 的 Fe_3C 接触，因而刀具磨损较大。片状珠光体经球状化处理后，组织为“连续分布的铁素体+分散的碳化物颗粒”，刀具的磨损较小，而耐用度较高。因此，在加工高碳钢时，希望它有球状珠光体

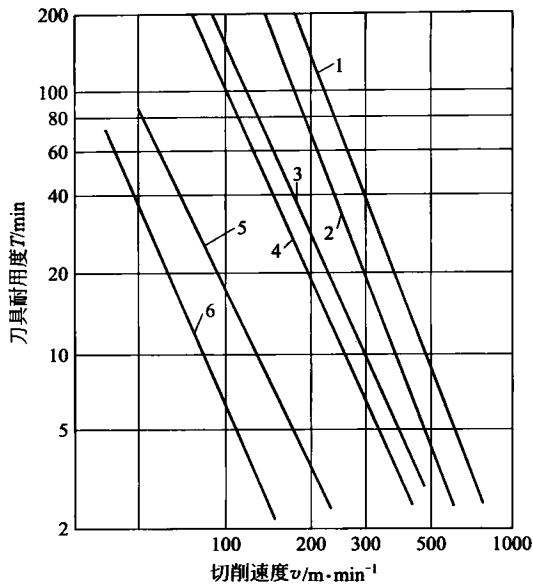


图 1-3 钢的各种金属组织的 $v-T$ 关系

1—10%珠光体；2—30%珠光体；3—50%珠光体；4—100%珠光体；
5—回火马氏体 300HB；6—回火马氏体 400HB

组织。切削马氏体、回火马氏体和索氏体等硬度较高的组织时，刀具磨损大，耐用度很低，宜选用很低的切削速度。

如果条件允许，可用热处理的方法改变金属组织来改善金属的切削加工性。

(2) 铸铁的金属组织对切削加工性的影响

铸铁按金属组织来分，有白口铁、麻口铁、珠光体灰口铁、灰口铁、铁素体灰口铁和各种球墨铸铁（包括可锻铸铁）等。

白口铁是铁水急骤冷却后得到的组织，它的组织中有少量碳化物，其余为细粒状珠光体。珠光体灰口铁的组织是珠光体及石墨。铁素体灰口铁的组织为铁素体及石墨。球墨铸铁中碳元素大部分以球状石墨的形态存在，这种铸铁的塑性较大，切削加工性也大有改进。

铸铁的组织比较疏松，内含游离石墨，塑性和强度也都较低。铸铁表面往往有一层带型砂的硬皮和氧化层，硬度很高，对粗加工刀具是很不利的。切削铸铁时常得到崩碎切屑，切削力和切削热都集中作用在刀刃附近，这些对刀具都是不利的，所以加工铸铁的切削速度都低于钢的切削速度。

铸铁的相对加工性如表 1-3 所示。

表 1-3 铸铁的相对加工性

铸铁种类	铸铁组织	硬度 HB	伸长率 $\delta/\%$	相对加工性 k_v
白口铁	细粒珠光体+碳化铁等碳化物	600	—	难切削
麻口铁	细粒珠光体+少量碳化物	263	—	0.4
珠光体灰口铁	珠光体+石墨	225	—	0.85
灰口铁	粗粒珠光体+石墨+铁素体	190	—	1.0
铁素体灰口铁	铁素体+石墨	100	—	3.0

续表

铸铁种类	铸铁组织	硬度 HB	伸长率 $\delta/\%$	相对加工性 k_v
石墨铸铁(或可锻铸铁)	石墨为球状(白口铁经长时间退火后变为可锻铸铁,碳化物析出球状石墨)	265	2	0.6
		215	4	0.9
		207	17.5	1.3
		180	20	1.8
		170	22	3.0

微量稀土元素对金属的力学物理性能及组织有很大的影响,所以稀土元素对切削加工性的影响,应该另行分析。

1.3 改善切削加工性的途径

改善难切削材料切削加工性的途径是多方面的,由于材料的成分与组织对切削加工性影响最大,首先可以从改善材料的成分与组织两个方面考虑。

(1) 调整材料的化学成分

调整材料的化学成分是改善切削加工性的根本措施。但是,材料的加工性往往与其使用性能相矛盾。因此,只能在不影响材料使用性能的前提下,力求有较好的切削加工性。

以改善切削加工性为目的,在钢中加入一种或几种合金元素,如 S、Pb、Ca、P 等,这类钢称为易切钢。

硫易切钢以碳钢为基材,加入 0.1%~0.35% 的 S,因 FeS 在晶界上析出,而引起热脆性,故应同时加入少量的 Mn,以生成 MnS (熔点高达 1600℃)。硫以 MnS 的形式存在于钢中,有润滑断屑作用,缩短刀具和切屑的接触长度,减小了变形,减缓了工件对刀具的擦伤与磨损,从而改善了材料的切削加工性。

此外,还有铅易切钢和钙易切钢等,都是调整化学成分发展的易切削材料。

(2) 改变金相组织

相同成分的材料,当金相组织不同时,加工性有差别。所以用热处理控制金相组织,可以改善材料的切削加工性。

材料硬度太高或太低都不易切削。实践证明,把材料硬度控制在 170~230HB 范围内,加工性最好。或者说,对切削加工性而言,这是最佳硬度范围。为改善表面粗糙度,硬度可适当提高到 250HB。生产中经常采用的预备热处理,其目的就是通过控制硬度改善材料加工性。例如:低碳钢退火处理后塑性好,加工性差,改用正火处理(或冷拔塑性变形),使其硬度略有提高,改善加工性。高碳钢,通过退火后组织中碳化物为片状,硬度较高不易加工,改用球化退火可使硬度降低,有利于切削加工。含碳量较低的中碳钢,为改善表面粗糙度,常用正火处理以适当提高硬度;中碳钢则采用退火或调质处理,降低硬度,有利于切削加工。

总之,通过热处理来控制金相组织,从而改善材料的切削加工性,既行之有效,又便于实施,故能得以广泛应用。

其次,从切削加工上去考虑。

① 选用合理的刀具材料。根据被加工材料的性能、加工方法、加工的技术条件和现在

采购供应的刀具材料,进行合理选用。很多难切削材料在切削时,刀具材料十分关键。

② 改善切削条件。切削难切削材料时,由于切削力大,应选择有良好技术状态,而且有足够功率和刚性的机床及工艺装备。

③ 选择合理的刀具几何参数和切削用量。根据不同的刀具材料、工件材料的性能和工艺条件,进行综合考虑,选择合理的刀具几何参数与切削用量,做到既发挥刀具材料的切削性能,又保证一定的刀具耐用度,使切削顺利进行,获得合理的加工质量和效率。

④ 重视切屑控制。由于难切削材料特有的性能和切削特点,切屑控制是普遍存在的问题。特别是自动化程度高的机床,更为重要。只有具有可靠的断屑措施,才能顺利地进行切削。

⑤ 采用其他加工措施。如采用等离子加热切削、振动切削、电熔爆切削,都可以获得较高的切削效率。

1.4 超硬与难磨削材料的分类及切削特点

1.4.1 超硬与难磨削材料的分类

一般将相对切削加工性等级在5级以上的材料称为难加工材料。难切削材料,科学地说,就是切削加工性差的材料,即硬度 $>250\text{HB}$,强度 $\sigma_b > 1000\text{MPa}$,伸长率 $>80\%$,冲击值 $\alpha_k > 0.98\text{MJ/m}^2$,热导率 $k < 41.8\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 的材料。但在日常生产中,切削加工所用的材料种类繁多,性能各异。对某一种材料性能的有关数据并非全面达到或超过以上指标,有一项以上者超过上述指标,也属于难切削材料。

难切削材料种类很多,从金属到非金属材料的范围也很广,初步可分为以下八大类。

① 微观高硬度材料。如玻璃钢、岩石、可加工陶瓷、碳棒、碳纤维、各种塑料、胶木、树脂、合成材料、硅橡胶、铸铁等。这类材料的特点是含有硬质点相,其中有的研磨性很强。由于这些材料的耐磨性很好,切削时起磨料作用,故刀具主要承受磨料磨损,在高速切削时也同时伴随着物理、化学磨损。

② 宏观高硬度材料。如淬火钢、硬质合金、陶瓷、冷硬铸铁、合金铸铁、喷涂材料(镍基、钴基)等。这类材料的主要特点是硬度高(55~66HRC)。切削这类材料时,由于切削力大,切削温度高,刀具主要是磨料磨损和崩刃。

③ 加工时硬化倾向严重的材料,如不锈钢、高锰钢、耐热钢、高温合金等。这类材料的塑性高、韧性好、强度高、强化系数高(一般为100%以上)。切削加工时的切削表面和已加工表面硬化现象严重。由于这类材料的强度高,热导率低,切削温度高,切削力大,刀具主要承受磨料磨损、黏结磨损和热裂磨损。

④ 切削温度高的材料。如合成树脂、硬质橡胶、石棉、酚醛塑料、高温合金、钛合金等。这类材料的热导率很低。切削这类材料时,刀具易产生磨料磨损、黏结磨损、扩散磨损和氧化磨损。

⑤ 高塑性材料。如纯铁、纯镍、纯铜等。由于这类材料伸长率大于50%,塑性很高,切削时塑性变形很大,易产生积屑瘤和鳞刺,刀具主要是磨料磨损和黏结磨损。

⑥ 高强度材料。是指强度 $\sigma_b > 1000\text{MPa}$ 的材料,如奥氏体不锈钢、高锰钢、高温合金和部分合金钢。由于它们的强度高,切削时的切削力大,切削温度高,不仅刀具易磨损,而