

切削刀具新的发展方向

〔美〕 G. E. 凯恩 编



FIRST
EDITION

机械工业出版社

切削刀具新的发展方向

〔美〕 G.E.凯恩 编

赵广兴 陆 贲 译

林 佩 珊 校



机械工业出版社

内 容 简 介

本书是从1971~1982年出版的有关金属切削的杂志、论文和手册中节选汇编而成的。内容新颖、丰富,涉及面广。其中包括刀具损坏的形式、刀具材料的种类、刀具几何形状、刀具切削刃的制备、切削参数的选择、断屑机理和金属切削加工经济学等。

本书第一、二、三章由赵广兴翻译,第四、五、六、七章由陆贲翻译。

本书可供从事金属切削刀具的研究人员、工程技术人员和有关大专院校的师生参考。

MODERN TRENDS IN CUTTING TOOLS

George E. Kane

Society of Manufacturing Engineers

1982

* * *

切削刀具新的发展方向

〔美〕 G.E. 凯恩 编

赵广兴 陆 贲 译

林佩珊 校

*

责任编辑: 刘志东

封面设计 郭景云

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 ¹/₁₆·印张15·字数 345千字

1987年10月北京第一版·1987年10月北京第一次印刷

印数 0,001—5,150·定价: 3.90元

*

统一书号: 15033·6792

前 言

制造工艺工程师的职责是把原材料变成产品。在生产金属零部件的各工业部门中，这一职责就是：选用最适宜的刀具材料、提出最理想的刀具几何形状和选择最佳切削用量，以祈获得经济效益高、质量好的产品。本文集拟在这方面对读者有所裨益。书中内容是按有助于阅读的顺序编排的。全书共分七章，涉及刀具的种种题材，从刀具断裂到加工经济性等等。

制造工艺工程师要编制详细的生产工艺规程，确定高效切削金属的具体参数。为了保证工件质量，首先要根据工件材料选择适宜的刀具材料。选出刀具材料以后，再根据加工条件和刀具材料选择相应的刀具几何形状。

最近，人们已把刀刃加工作为详细制定工艺规程的重要组成部分。在第四章中将对对此作深入、明了的介绍。切削用量的选择是工艺规程最主要的内容。在第五章中以常见的各种加工情况为例，介绍这方面的资料。

加工时常常会产生连续不断的长切屑，这种切屑既可能伤害工人，又会刮伤已加工好的工件表面。第六章向读者提供了避免出现这种不良现象的方法。最后，从理论上和应用上介绍了各种加工的所有重要而实用的结论。

通过对各种刀具的论述，希望能给读者提供所需要的资料，以便各工业部门采用适当、经济的加工方法把原料变成有用的工件。

编者愿在此向文章的每位作者表示感谢。并对为本书慷慨提供资料的以下出版部门和机构表示感谢：国际机械加工技术研究学会年刊，工业金刚石评论，工业工程杂志，制造工程，现代金工车间，硬质合金和刀具杂志，刀具和生产，机器和刀具，美国机械工程师学会，切削刀具工程，通用电气和汽车工程师学会。

最后，对给予本书帮助的美国制造工程师学会市场部的全体工作人员致谢。

关于编者

G. E. 凯恩 (George E. Kane) 教授自1950年以来就是利哈伊 (Lehigh) 大学工业工程系的成员。1964年晋升为教授, 1974年成为系主任。1976~1977学年他是利哈伊的麦克·特鲁克思 (Mack Trucks) 特聘工程教授。凯恩教授由于教学成绩突出, 曾三次被利哈伊大学教职员组织和学生组织授予荣誉。

凯恩教授出生于宾夕法尼亚州的约克。他在宾夕法尼亚州立大学获得了工业工程学士学位, 在利哈伊大学获得硕士学位, 在到利哈伊学院之前, 他受雇于西部电气公司。

凯恩教授主要从事的领域是金属加工。他指导几项研究课题, 包括多成分陶瓷的性能机理和陶瓷刀具, 金属切削温度的遥测, 碳化钨硬质合金刀具材料的性能和钢的可加工性等。他还担任政府机构和工业财团的顾问。他是“生产手册”的执笔者, 并为一些专业杂志和学会写过许多文章和论文。

凯恩教授是美国工业工程师学会、加工工程师学会、美国机械工程师学会、刀具和硬质合金工程师协会以及美国工程教育学会的活跃成员。

目 录

第一章 刀具损坏的形式	1
高速钢刀具的寿命	
作者 B. F. 冯特科维切 (B. F. Von Turkovich) 和 W. E. 亨德厄尔 (W. E. Henderer)	
选自《Annals of the CIRP》, Vol. 27, No. 1, 1978	1
刀具损坏形态的识别和控制	
作者 K. 马特苏夏马 (K. Matsushima), T. 卡瓦巴塔 (T. Kawabate) 和 T. 萨塔 (T. Sata)	
选自《Annals of the CIRP》, Vol. 28, No. 1, 1979	6
金属切削刀具的断裂	
作者 M. C. 肖 (M. C. Shaw)	
选自《Annals of the CIRP》, Vol. 28, No. 1, 1979	12
第二章 刀具材料的种类	17
高速钢钻头	
作者 R. O. 伯兰特 (Robert O. Burant) 和 M. J. 麦金 (Michael J. McGinty)	
选自《Manufacturing Engineering》, April 1979	17
用硬的刀具涂层来提高耐磨性	
选自《Tooling & Production》, March 1981	19
粉末冶金刀具: 高密度起了很大作用	
作者 G. S. 瓦西拉什 (Gary S. Vasilash)	
选自《Manufacturing Engineering》, January 1981	22
涂层可转位硬质合金刀片的发展	
作者 S. 伊克马 (Sven Ekemar)	
选自《SME's Westec 77 Conference》, March 1977	24
碳化钛硬质合金在汽车工业中的应用	
作者 H. S. 卡利叶 (Herbert S. Kalish)	
选自《1975 Society of Automotive Engineers, Inc》	33
涂层刀具	
作者 B. N. 科尔丁博士 (Dr. Bertil N. Colding)	
选自《SME's cutting Tools Clinic》 March 1980	44
硬质合金涂层的效能	
作者 T. 哈利 (Thomas Hale) 和 D. 格雷厄姆 (Donald Graham)	
选自《Modern Machine Shop》, April 1981	62
TiC、TiN 和 Al_2O_3 涂层硬质合金的结构和磨损	
作者 A. S. 小盖茨 (A. S. Gates, Jr) 和 R. L. 彼得斯 (R. L. Peters)	
选自《Carbide and tool Journal》, Vol. 14, No. 1, Jan/Feb. 1982	67
超薄涂层起很大的作用	
作者 G. S. 瓦赛拉希 (Gary S. Vasilash)	
选自《Manufacturing Engineering》 January 1981	77

关于氮化铝涂层的情况	
选自《Manufacturing Engineering》January 1981	74
陶瓷刀具的新进展	
作者 E. D. 惠特尼 (E. Dow Whitney)	
选自Submitted for Publication, November 1976	80
加工镍铬冷硬铸铁: 一种粘性大、硬度高的材料的间断切削	
作者 B. 菲尔莫尔 (Bruce Fillmore) 和 R. C. 莱德 (Richard C. Ladd)	
选自《Manufacturing Engineering》August 1981	92
辛迪特刀具的制造和使用	
作者 P. A. 贝克斯 (P. A. Bex)	
选自《Industrial Diamond Review》, August 1979	96
NIS——磨削硬质合金用的一种改进的金刚石涂层	
作者 P. 斯特拉克 (Philip Stark)	
选自《Cutting Tool Engineering》, January-February 1981	109
第三章 刀具几何形状	112
来自Carmet 的新竞争	
作者 G. S. 瓦赛拉希 (Gary S. Vasilash)	
选自《Manufacturing Engineering》, January 1981	112
排屑槽的几何形状	
经通用电气公司的同意, 选自他们的《Turning Handbook of High Efficiency Metal Cutting》	114
高速 (大进给量) 铣削	
作者 A. 戈弗雷 (Alan Godfrey)	
选自《SME's Machining With High Speed and Feeds Clinic》, September 1977	118
第四章 刀具切削刃的制备	128
金属切削刀具的刃区参数选择	
作者 J. D. 安格纽 (John D. Agnew)	
选自《Tooling & Production》, February 1973	128
金属切削刀具的刃区参数与耐用度的关系	
作者 E. 勒兹 (E. Lenz), D. 莫斯科威兹 (D. Moskowitz), J. E. 小麦叶尔 (J. E. Mayer, Jr) 和 D. J. 斯道菲 (D. J. Stauffer)	
选自《American Society of Mechanical Engineers》, Preprint number 77-WA/Frod-43	132
陶瓷切削刀具的应用	
作者 C. J. 谷里 (Charles J. Koehler)	
选自《Carbide and Tool Journal》May-June 1973	140
第五章 切削参数的选择	143
新的车削切除率	
作者 R. O. 希尔兹 (Roger O. Schultz)	
选自《Carbide and Tool Journal》, September-October 1979	143
进给量和切削速度的计算机辅助选择	
选自《Manufacturing》, May 1979	152
陶瓷切削刀具的应用前景	
作者 R. D. 巴克 (Ronald D. Baker)	

选自《Carbide and Tool》, September-October 1981	156
具有最佳生产率的加工能力山和墙	
作者 B. N. 柯林 (Bertil N. Colding)	
选自 SME's Westec' 80 Conference, March 1980	169
第六章 断屑机理	183
关于断屑机理	
作者 S. 喀杜 (S. Kaldor), A. 贝尔 (A. Ber) 和 E. 利兹 (E. Lenz)	
选自《Journal of Engineering for Industry》, August 1979	183
可转位刀片的断屑槽设计	
作者 J. 爱戈马 (Joseph Elgomayel), J. G. 品托 (Joseph Gamini Pinto)	197
刀具几何参数对断屑的影响	
作者 G. E. 卡南 (George E. Kane)	
选自 SME's 1st International Cemented Carbide Conference, February 1971	205
第七章 加工经济学	213
加工数据在工艺规程制订中的应用	
作者 V. A. 梯纳斯 (Vijay A. Tipnis), M. 菲尔德 (Michael Field) 和 M. Y. 菲利曼 (Moshe Y. Friedman)	
选自 SME's CAD/CAM II Conference, February 1975	213
可加工性对生产率和加工成本的影响的分析	
作者 J. E. 小马易 (J. E. Mayer, Jr.) 和 D. G. 李 (D. G. Lee)	
选自 NAMRC IV, May 1976	221
超硬质刀具的应用及其经济性	
作者 A. S. 加米柯文楔 (A. S. Kamenkovich)	
选自《Machines & Tooling》Vol. 48, №. 2	229

第一章 刀具损坏的形式

高速钢刀具的寿命

摘要: 本文是从冶金学的观点来探讨高速钢刀具的磨损和控制问题的, 重点放在丝锥和钻头等成形切削刀具上。业已证明, 回火温度对机械性能和切削性能具有重要的影响。通过用以马氏体硬化和沉淀硬化的位移理论为基础的屈服强度理论来分析, 发现丝锥切削刃发生脆性破裂时, 显然是与其屈服强度有关。

引言

众所周知, 刀具的有效寿命受到主刀刃磨损的限制, 这种磨损是连续而迅速的。这种现象通常称为刀具磨损。因为刀具有效寿命的长短与加工生产中的经济性密切相关。故人们一直在探索提高刀具寿命的方法; 或者尽量减少刀具的磨损; 或者尽可能用一种切削性能更好的工件材料代替原有的工件材料; 或者对磨损过程进行模拟试验, 以寻找出合理的切削速度和进给量。还可用有关刀具寿命的各种数据资料对切削过程进行经济估价, 并有效地用于工艺设计中, 以选择最佳参数。但是, 要研究更好、更耐磨和可预测的刀具性能, 这些资料却没有多大帮助。

从最基本的意义上来说, 刀具寿命既是工件材料性能的函数, 又是刀具材料本身金相组织的函数。问题是要找出和控制最影响刀具-工件耐磨性的那些性质, 并找出提高耐磨性的方法。本文涉及的只是各种高速钢刀具材料, 以及丝锥和一些钻头等复杂的成形刀具。如何确定这些刀具的磨损量尚是一个待考虑的问题, 因为它不象单刃刀具那样可通过简单的测量求得。修磨这些复杂的刀具常常是难以做到的, 因为需要有特殊的技术和装备。当这些刀具在切削过程中折断时, 要把它们从工件中取出也是非常困难的, 需要高度自动化设备并耗费昂贵的工时。

还有一个常见的经验, 丝锥和钻头由于切削刃的逐渐磨损而造成的损坏比由于折断而造成的损坏要少, 也就是说微小的碎裂可以很快造成刀具的整个报废。本文是从金相的观点来分析这些问题的。刀具的微观组织及其形成过程是制造切削性能良好的刀具的基本因素。目前, 这些刀具是用两种材料制造的: 1. 普通的毛坯(锻件), 经热压、工序间退火而精磨到尺寸。2. 粉末冶金毛坯, 经冷、热均衡压制, 然后再经进一步的挤压、退火和校整。对尺寸较大的刀具来说, 直接用粉末冶金制造比较困难, 因此用得较少, 而往往用热锻棒料来制造。若刀具材料的硬度和合金含量太高, 则在制造中其磨削工艺是一难题, 因为砂轮的高速磨削往往使刀具表面烧伤。

虽然合金成分是决定高速钢性能的主要因素, 但从泰勒(Taylor)和怀特(White)早期的研制工作中得知, 改变刀具切削性能的最有效方法是热处理⁽¹⁾⁽²⁾。

在这种特殊工序中, 通过回火, 可直接影响刀具的硬度、耐磨性和韧性。

本文着重论述回火温度对某些高速钢的切削性能(即寿命)的影响。这项研究工作的

主要目的不是研究刀具自身的磨损过程，而是通过冶金技术探索提高刀具寿命的方法。

主要的冶金学参数

已知合金的成分，便可以控制热处理的三个基本变量：奥氏体化温度、回火温度、回火时间和程序。

奥氏体化温度对断裂韧性和晶粒大小都有影响^[2]。对M2和M7高速钢来说，此温度越低，所得的硬度和韧性越高^[3]，且形成的晶粒较细^[4]。然而，晶粒的大小更受奥氏体化前退火处理的影响^{[4][5]}。本研究对此未作进一步的探讨。

回火热处理可以消除应力，使残留奥氏体转变，使再生碳化物析出，该碳化物产生再生硬度。出现再生硬度的现象是高速钢的一个显著特点，它是决定切削性能的主要因素。回火一般进行两次或三次，每次持续两小时。有时采用冷处理与回火处理相配合，在形成奥氏体以后继续迅速冷却到0℃以下。

各种高速钢回火后的机械性能是按照格罗比 (Grobe) 和罗伯茨 (Roberts) 的程序进行双点弯曲试验来确定的^[6]。通过这些试验确定以下性能：

- a) 横向断裂强度
- b) 屈服强度
- c) 弯曲时总的挠度
- d) 弯曲时的塑性挠度

回火处理后所产生的屈服强度可以用塑性流动位移理论和基体沉淀强化机理来进行解释。强化过程的几部分可以定性地进行判断。马氏体在转变过程中，由于产生了晶粒很细的碳依存固溶体硬化伴生物而产生了强化组分。低碳马氏体基体中的合金碳化物的二次沉淀是引起屈服强度强化的第二个（也许是主要的）原因。第三个原因是基体中的位错密度大。此外，还加上边界效应的影响。当晶粒直径很小时，边界效应相当显著。详细的理论分析见参考文献^[7]。

除了对高速钢刀具毛坯进行大批量热处理外，还经常要对成品刀具进行各种各样的表面处理，以改变刀具钢材的表层和相邻层的金相状态。有些表面处理，例如渗氮可以提高表面硬度，蒸气氧化处理可以提高排屑性能和抗氧化能力。最近在表面涂层中采用的电化学法，化学气相沉积法和离子移植等技术仍处于试验阶段。这些表面处理对于机械性能的影响由于无专门资料可查，故没有充分依据以确定其真正价值。

M-1 高速钢的机械性能

为了获得性能良好的机械试样和丝锥试样，选用了具有下列成分（按重量百分比计）的M-1高速钢：

C	W	Cr	V	Mo	Si	Mn	Fe
0.82	1.89	3.75	1.26	8.50	0.30	0.29	其余部分

奥氏体淬火处理是在提纯的盐浴炉中按下列工艺过程进行的。

在650℃预热， 6 min

在845℃预热， 6 min

在1190℃高温加热， 3 min

在590℃淬火

在静止的空气中冷却到室温。

回火是在空气循环炉中进行的，在两次回火之间（两次回火，每次两小时）该炉冷却到室温。使用的七种回火温度是 454°C；482°C；510°C；538°C；566°C；593°C 和 607°C。

在热处理以后，试样（长 5.72cm）在无芯磨床上磨至直径 5.92mm，磨削时使用非常低的磨削进给量，以便使磨削破坏减到最低程度^[8]。按同样工艺过程处理的丝锥毛坯被加工成 1/4—20 $\ominus$ 的直槽丝锥。

把二点加载夹具安装在英斯特朗（Instron）TT-C 型试验机上，以获得圆棒形试样的下列机械性能：

TRS——横向断裂强度，GPa

YS——屈服强度，GPa

δt ——纯弯曲中的总挠度，mm

δp ——纯弯曲中的塑性挠度分量，mm

用 1000gf 载荷的维氏压痕法获得硬度值。

对经同样回火处理的 12 个试样进行了试验。

通过试验得到的机械性能综合在图 1 和图 2 中。

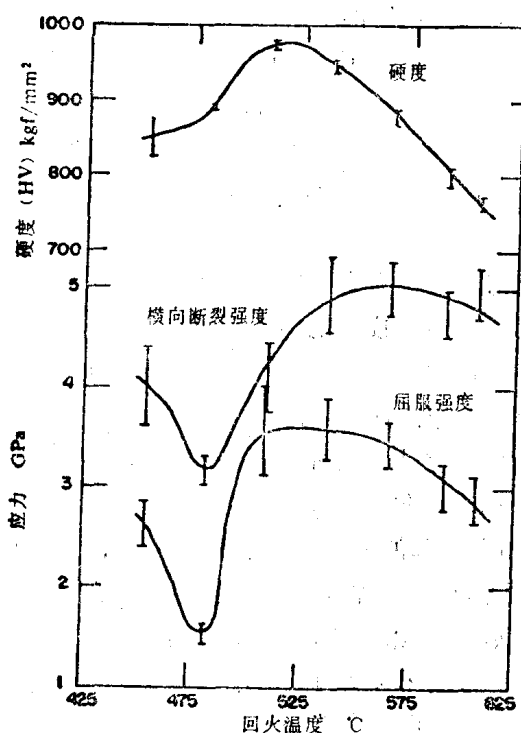


图 1

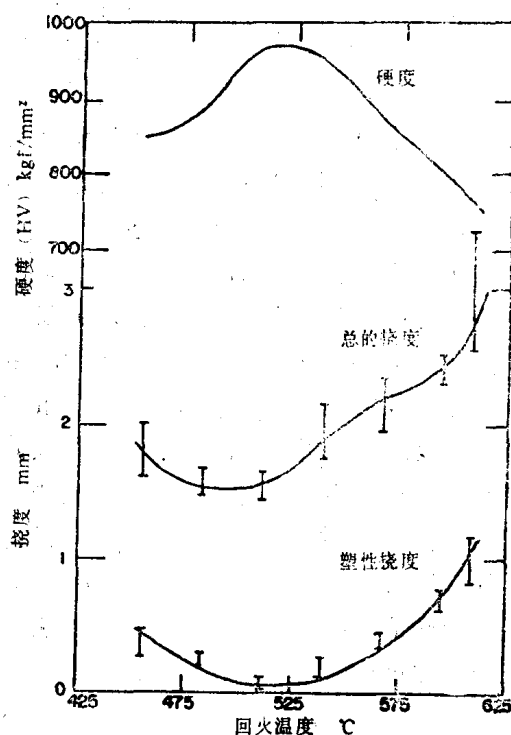


图 2

作为 M 级高速钢的二次硬化特性，这条硬度曲线是很典型的。最大的硬度约与 510°C 的回火温度相对应。在 482°C 时，横向断裂强度和屈服强度最小。最大的屈服强度发生在与最大硬度相对应的 510°C 处，而最大的横向断裂强度移到温度较高的 566°C 处。

$\ominus$ 表示直径为 1/4 英寸，每英寸 20 牙（即粗牙螺纹）——校者注。

从图2中可知,最小的塑性偏移发生在510°C处,也是与最大的硬度相对应。在482°C至510°C之间,屈服强度的急剧增加表明这是回火的温度敏感区。这与碳化物的沉淀有关^[7]。这些结果与乔治和罗伯茨对M-2和T1高速钢试验获得的结果大致相似^[9]。赫尔曼(Hellman)对几种粉末冶金和普通的(锻造)钢材所作的试验也得出同样的数据^[9]。

根据早期发表的论文^[7],屈服强度的理论估计值,大约是4.3GPa;通过实验,确定屈服强度是3.6GPa,横向断裂强度是5.4GPa。

刀具寿命试验

到目前为止,丝锥的寿命试验还没有标准。选择刀具寿命的标准有各种可行的方案。由于丝锥几何形状复杂,所以,没有直接的和系统的测量其磨损型式的实用方法。试验研究表明,其磨损型式即使对一个简单的丝锥来说也是太复杂了。此外,据观察,丝锥切削刃的破坏主要是由于破碎而不是由于逐渐磨损。为了研究和评价这种磨损型式(破碎),找出与其相关的机械性能,选择一种特定的工件材料,即美国钢铁学会(AISI) E52100钢,经调质处理,硬度达到HRC 32~34。这种高含碳量的铬合金钢磨削性良好。切削试验是在一个能够顺序对一系列孔进行钻、铰和攻丝的自动机床上进行的。扭矩由测力计不断地监视。选择的寿命标准或者是连续扭矩的3倍,或者大于9.6N·m,或者是丝锥完全损坏。攻丝的切削速度比加工同样材料的车削、钻削和铣削都低。试验是在8.23m/min的速度下进行的。使用氯化油(Chlorinated oil)润滑,孔径是5.18mm,孔深为12.5mm,带有71%的螺纹深度(1/4-20GH,4槽丝锥)。在这些试验中,由于刀具寿命的数据很分散,所以使用韦布尔(Weibull)的统计法把数据系统化。具体的数据及数据分析在以前已论述^[10]。

从这些试验中可以知道,通常是在丝锥倒棱部分的不完全螺纹处开始微量切削,然后逐渐扩展到整个螺纹部分。然而,此切削过程通常不是攻丝的主要现象。

在较软和摩擦力较小的工件材料中,主要存在偶尔带微量切屑引起的逐渐磨损的型式。根据参考文献^[11]的一位作者所研究的攻丝理论,人们可以估计主要受力的参数及其相应的数值。分析表明,切削刃上的载荷的确可以促使切屑进入微细的裂缝中去。

在这些试验中可以看到切削刃上的裂纹,这和多伊尔(Doyle)在他的攻丝试验中发现的一样^[12]。裂纹有两种形式,即发生在前倾面底部的劈裂(脆裂)和发生在螺纹牙顶的起波纹状气蚀(可延展的)。多伊尔解释了这些观察结果,认为拉伸应力存在于前倾面的底部,产生劈裂,然后,该劈裂很快扩展到牙顶。挤压应力改变了裂纹扩展到塑性破坏的进程。韦布尔在目前的试验中采用的累积分布函数表示为:

$$F(X) = 1 - \exp\{-(X-X_0)/(\theta-X_0)\}^b \quad (X \geq X_0)$$

$$F(X) = 0 \quad (X < X_0)$$

式中 X ——工具寿命(成功地攻丝孔数);

θ ——特性工具寿命;

X_0 ——工具寿命的下界;

b ——韦布尔斜率。

从相应于26或大于26的丝锥试件的最好的直线中知道 $X_0=2.9$ 孔。在七组回火处理的三个组中,丝锥损坏不到三个。在这些试样中 $X_0=0.9$ 。有实际意义的拉马林拉姆

(Ramalingam) 处理在金属切削中起作用^{[13][14]}, 这表明在这些试验中的韦布尔分布函数可以从事故率演变而来。

$$H(x) = \frac{b}{\theta - X_0} \left(\frac{X - X_0}{\theta - X_0} \right)^{b-1} \quad (X \geq X_0)$$

$$H(X) = 0 \quad (X < X_0)$$

当 $X_0 = 2.9$ 孔时, 数据表明韦布尔斜率 $b < 1$ 。在 $X = X_0 \approx 3$ 时, 事故率是最大的。因此, 平均的刀具寿命(刀具寿命通常的度量标准)由经受得住前三个孔试验的丝锥百分率决定。如图3所示。它是工具寿命与机械性能相互关系实验数据的总合。

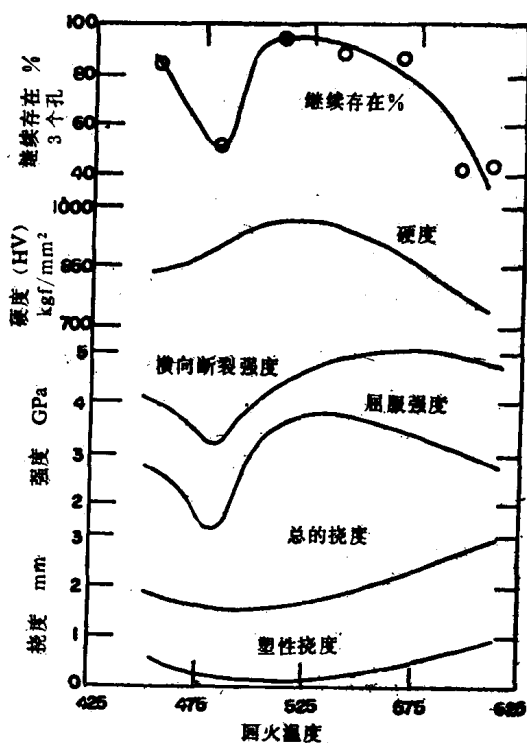


图 3

从图3中可知, 当丝锥的寿命受碎裂控制时, 刀具的寿命显然不与任何单一的机械性能有关。然而, 从定性来看, 合格率与回火温度的关系和屈服强度与回火温度的关系一样。这样, 切削刃承受永久变形的能力显然可用以确定其切削开始阶段的完好率, 从而也就决定了刀具的平均寿命。由于硬度也与屈服强度有关, 所以在切削如美国钢铁学会E52100等合金材料时, 建议应对M1高速钢丝锥回火到最高硬度。但随着回火温度的提高所带来韧性的显著增大, 对于刀具寿命是一个不利的因素。为对此作一有实际意义的说明, 把 $F(X)$ 作为回火温度的函数, 表1列出了50%保持完好丝锥的孔数。

很明显, 对于那些用于加工摩擦力大和韧性高的合金的丝锥, 正确的方法是把丝锥回火到最高硬度。这在刀具制造业中是众所周知的。

小结

1. 美国钢铁学会M1高速钢的机械性能是可以确定的, 因为再生硬度与温度范围

表 1

回火温度°C	损坏前的孔数
454	5
482	2
510	超过100
538	15
566	5
593	2
607	2

有关。

2. 通过切削试验表明, 回火温度对刀具性能有很大的影响。
3. 当刀具由于刀刃断裂而报废时, 经受住早期切削的丝锥是具有最大再生硬度的。
4. 刀具寿命与屈服强度的关系比任何其它机械性能都大。

鸣谢

作者对给予这次研究的佛蒙特州 (Vermont) 美国的公司。佛蒙特州丝锥和模具公司表示深深的感谢。

对给本文打印的玛格丽特德鲁夫人 (Mrs. Margaret Drew) 表示谢意

参 考 文 献

- [1] Roberts, G. A., Hamaker, J. C. and Johnson, A. R., Tool Steels, 3rd Ed. 1962, ASM, Metals Park, Ohio.
- [2] Wilson, R., Metallurgy and Heat Treatment of Tool Steels, 1975, McGraw-Hill Book Co. (UR).
- [3] Johnson, A. R., Metallurgical Trans. 8A, 1977, p. 891.
- [4] Neumeyer, T. A. & Kasak, A., Metallurgical Trans., 3, 1972, p. 2781.
- [5] Bhattacharyya, D., Hajra, A., Basu, A., and Jana, S., Wear, 42, 1977, 63.
- [6] Grobe, A. H., Roberts, G. A., Trans. ASME, 40, 1948, p. 435.
- [7] Henderer, W., Ph. D. Dissertation, The University of Vermont, Burlington, Vt., 1976.
- [8] Field, M., and Koster, W. P., in New Developments in Grinding, M. C. Shaw, ed. Carnegie Press, Pittsburgh, PA., 1972, p. 666.
- [9] Hellman, P., Metal Powder Report, 32, 1977, #3.
- [10] Henderer, W., von Turkovich, B. F., Influence of Metallurgy in Hole Haking Operations, V. A. Tipnis, ed., ASM, 1977, p. 17.
- [11] Henderer, W., Trans. ASME, Series B, 99, 1977, p. 257.
- [12] Doyle, E. D., "Fractographic Study of the Failure of High Speed Steel Taps Using the Scanning Electron Microscope", Harold Armstrong Conference in Production Science in Industry, Melbourne, Australia, 1971.
- [13] Ramalingam, S., Trans. ASME, Series B, 99, 1977, p. 519.
- [14] Ramalingam, S., Trans. ASME, Series B, 99, 1977, p. 523.

刀具损坏形态的识别和控制

摘要: 本文介绍操作工人需要掌握的关于刀具方面的知识, 例如识别刀具的磨损型式和选择适当的刀具。在每次更换刀具时, 磨损的刀具都用电视摄象机检查, 并用图象识别技术对刀具损坏形态进行分类。当出现不合乎要求的形态时, 应根据事先准备好的判定表中的数据改变刀具材料和刀具形状。该判定表是根据示教方法确定的。业已证明, 在车削操作中采用这种方法是正确的。

1. 引言

为了提高切削加工的生产率需要减少刀具磨损。通常, 需要测量刀具后面的磨损宽度或月牙洼的深度。然而, 切削刃的磨损部分可能出现各种形状, 包括刀具的崩刃。有时, 在切削条件达到经济上最佳化之前, 可采用适当的方法改进刀具形状。可以认为, 刀具磨损的形状取决于刀具材料、工件材料、切削条件和所使用机床的动态特性; 由于

对这些因素与刀具损坏形态的关系还没有完全弄清,因此,当出现不符合要求的形态时,操作工人和生产工程师应根据经验知识采用适当的办法,以改善这种不良状况。

本文介绍的是采用电视摄象机来观察刀刃磨损的形态,并采用图象处理技术按预定的5级进行分类。如果需要,可采用适当办法改进刀具的形态。这里所采用的方法是根据判定表确定的。而判定表是通过示教方法所获得的经验知识确定的。试验研究表明,采用这种方法是成功的。

2. 刀刃磨损区域的确定

2.1 方法

刀刃磨损形式的图象是采用装有光导摄象管的电视摄象机来观察的。光导摄象管系统尽管精度稍差一些,但优点很多,如,它们是市场上最便宜的图象数字转换器。在这项研究中使用的图象处理系统方框图见图1。

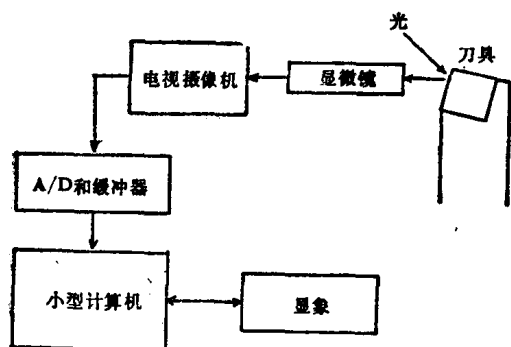


图1 图象处理系统的布置

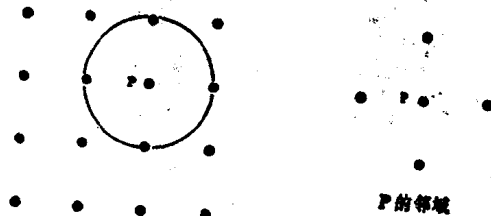


图2 点的邻域

在图象中,刀具后面磨损区位于反光的明亮区。因此,在观察之前,应当仔细调整光的亮度和方向。

从摄象管观察到的扫描视频信号用快速模拟数字转换量化为128个等级(最大脉冲频率是10MHz),数字数据以行式数据块存储在缓冲存储器中。然后,通过DMA(直接存取器)将数据块送给微型计算机。为了减少时间和节省用于处理的计算机存储器,只取在照亮的中心区域的数据(96点 $\times$ 128线);此外,将图象数据灰度减少到16级(4比特)。

为了得到磨损区域,图象数据用图象处理技术来处理,过程如下:首先进行修匀,以减少在数字化的图象中由于光的不稳定而可能造成的虚假现象。用“邻域平均技术”^[1]来修匀图象。如图2所示,修匀图象数据是通过平均邻域点的灰度值得到的。

然后,通过使用阈值的方法,把刀具后面磨损的区域变成一个二进制的图象^[1]。即每个点的灰度值根据是比阈值大还是小而用1或0来代替。这里,阈值是自动确定的。方法如下:刀具后面的磨损区域是由明亮部分组成的(相对于其余黑暗部分)。如果该图象部分的频率曲线对应于所取的各个灰度,则多半能看到两个突出的峰值,如图3所示。在两个峰值间的

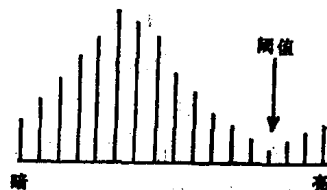


图3 频率曲线阈值

最低点作为临阈级。

从得到的二进制图象中, 通过数后面磨损宽度范围内的图象单元数就可以容易地计算出后面磨损宽度。在本系统中, 由光学系统确定的测量分辨率为30。

2.2 结果

实验结果如图4所示。在图4(a)中用印刷符号表示原始的图象; 图4(b)表示修正图象的频率曲线, 图中自动测定的阈值用箭头来指示。结果, 所得的刀具后面的磨损区域如图4(c)所示; 图中实线表示最初的刀刃线, 虚线表示通过跟踪磨损了的刀刃线而得到的实际刀刃线。从这两根线的差别中可以看出刀刃的变形或断裂。图5表明用这种方法测量的后面磨损值与用手动的方法测量的后面磨损值完全一致。

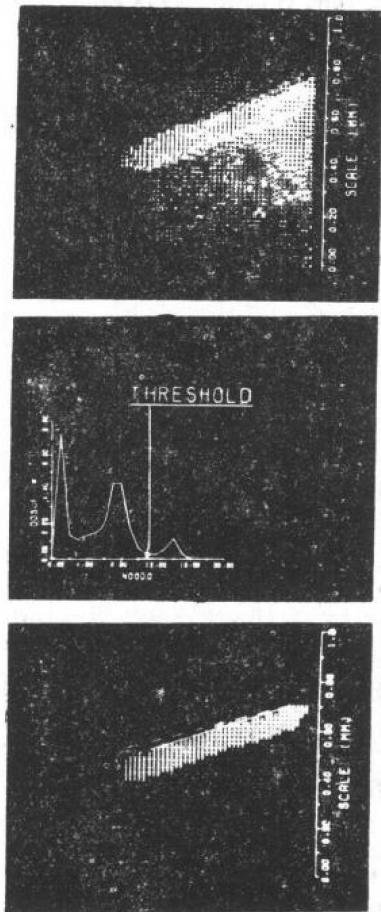
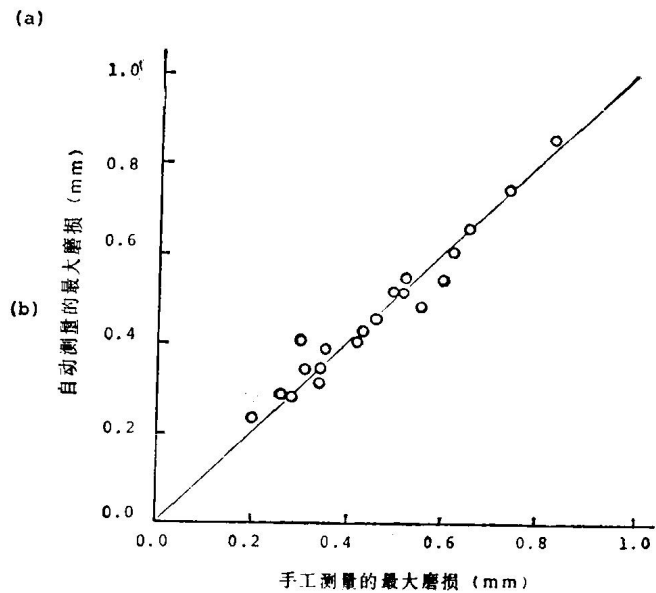


图4 得到的磨损区域的一个例子

3. 刀具损坏形态的分类

3.1 刀具磨损的型式

可把观察到的各种形态分成5种型式:(1)断裂,(2)均匀磨损,(3)刀尖磨损,(4)边缘磨损和(5)中心磨损,如图6所示。这些型式可以粗略地分成两类:允许的磨损和不允许的磨损。均匀磨损和刀尖磨损,若无过度的变形或刀刃断裂就属于允许的磨损。可是,如果刀具是已使用过的话,则很少是均匀磨损,而通常是刀尖磨损。另



(c)

图5 后面磨损的图表: 自动的与手动的比较

一方面, 边缘磨损和中心磨损属于不允许磨损, 除非其磨损极小。在边缘磨损中, 由于边缘发生裂纹可能引起刀刃断裂。如果仔细地分析磨损区域的特征, 则刀具磨损的型式还可分成更多的种类。

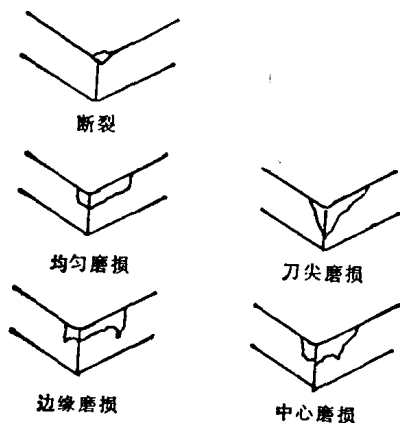


图6 刀具损坏的型式

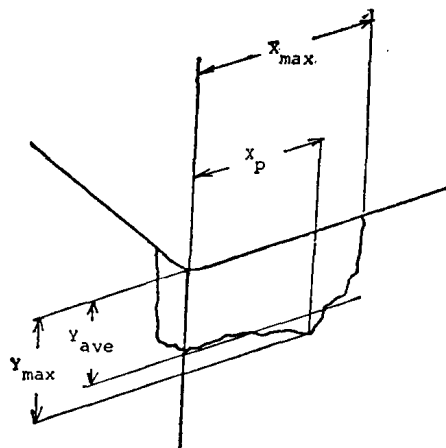


图7 后面磨损的特征

3.2 刀具损坏形态的分类

通过图形识别技术, 我们研究了刀具磨损分类的方法。通常, 图形识别分为两步, 即: 找出特征和进行分类。换句话说, 从作为特征的目标中得到有用的信息, 由判别规则系统确定该目标所属的种类。

这里, 根据磨损区域的形状, 刀具磨损的图形特征分为: 最大后面磨损宽度和最大磨损位置, 如图7所示。这两个值分别由后面磨损的平均值和切削宽度来校正, 如下所示:

$$X = X_p / X_{max} \quad (1)$$

$$Y = Y_{max} / Y_{ave} \quad (2)$$

式中 X_p 是最大后面磨损位置; X_{max} 是切削宽度; Y_{max} 是最大后面磨损; Y_{ave} 是平均后面磨损; X 和 Y 是标准特征。如果把四种磨损型式(均匀磨损A, 刀尖磨损B, 边缘磨损C和中心磨损D)的参数 X 和 Y 在 X - Y 平面图上标出, 如图8所示, 则通过图中的直线很容易识别刀具的磨损型式。

此外, 还可通过跟踪二进制图象的刀刃线来检查刀刃, 以发现断裂和变形。如果跟踪的刀刃线有大的变化, 超过三个图象元素时, 则可以确定刀刃已发生了断裂。而且, 如果初始刀刃线和实际刀刃线之间的差别超过一定值时, 就可识别出刀刃的变形。

这样, 借助于图9所示的判定树, 可以对刀具磨损的形态进行分类:

- 1) 通过检查刀刃线发现刀刃的断裂。
- 2) 根据正常的最大磨损, 把刀具磨损的型式分成平均磨损和其它磨损。
- 3) 根据最大磨损的相对位置分成刀尖磨损、中心磨损和边缘磨损。

4. 刀具损坏形态的控制

4.1 控制系统图

识别刀具损坏形态的控制系统和为了改善这些形态, 使之从不允许的磨损变为允许磨损的操作已经研制出来了。熟练的工人和切削操作经验丰富的生产工程师, 完全可以