

现代制造 及其优化技术

Xiandai Zhizao Jiqi Youhua Jishu

颜 伟 / 著



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

现代制造及其优化技术

颜 伟 著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

本书采用系统论的观点和方法,研究现代制造及其优化技术,为理解和实践制造过程自动化奠定基础。作者收集、提炼近年发表的许多技术文献资料,并融入个人的思考和研究,论述了现代先进制造理念、制造技术,机械制造系统的内涵、结构和管理,机械制造过程中的诸多参数检测及数据处理,制造过程优化技术等,反映了机械制造及其优化技术领域的最新进展和研究成果。

本书可供机械制造类专业研究生或本科高年级学生课外阅读,也可供机械制造领域的教师、研究人员和技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代制造及其优化技术 / 颜伟著. —成都: 西南交通大学出版社, 2011.1
ISBN 978-7-5643-1015-8

I. ①现… II. ①颜… III. ①机械制造工艺—研究
IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 258861 号

现代制造及其优化技术

颜 伟 著

*

责任编辑 孟苏成

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 170 mm×230 mm 印张: 13.25

字数: 236 千字

2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-1015-8

定价: 30.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

制造技术历史悠久，内容丰富，可以说它是伴随着人类的诞生而出现，伴随着人类的进步而发展，走过了漫长的历程。人类与猿相分离，是由于人学会了双足行走和用手制造并使用工具；人类社会能够创造今天辉煌的经济成就，能够享受现代化的生活方式，能够登上月球、探索太空，从根本上讲是由于制造技术获得重大发展的缘故。人类已经从当初只会加工出带刃的石器，发展到今天可以操纵单个原子实现纳米加工。

如今，人类历史已走进 21 世纪， $0.03\ \mu\text{m}$ 线宽的半导体加工技术已在实验室中诞生；主轴转速 $100\ 000\ \text{r/min}$ 的铣削加工技术已进入应用；进给精度达 $1\ \text{nm}$ 的三坐标加工机床已被开发成功，实现了真正意义上的纳米切削加工。加工技术正伴随着人类历史前进的脚步，依靠人类的睿智，不断地挑战新的极限。同时，加工技术的发展极大地提高了人类的生活质量，加快了人类的发展速度，拓宽了人类的活动空间，并不断地为人类认识自身、认识宇宙世界提供新的手段。在人类社会充分享受着工业文明所带来恩惠的今天，现代制造技术已成为人类赖以生存和发展的核心基础技术。

今天，现代制造技术仍不断追求更高的加工质量、更低的加工成本、更高的加工效率和自动化水平，同时，注重环保，努力实现绿色加工，不断走向更高水准。

一方面，由于人类社会在发展中不断发明新的产品、新的材料，对制造技术不断提出新的需求，因而促成了新的加工原理和方法不断诞生和成长，使得制造技术生机勃勃，持续发展。尤其是人类社会进入 20 世纪以后，现代数学、系统论、控制论和信息论等理论和学科的创建和发展，新材料技术、数控技术、自动化技术和微电子技术的诞生和发展从根本上改变了制造技术的手工、低效的传统面貌，使之迈向自动、高效的现代化技术体系。

另一方面，由于制造技术的发展，新的加工方法不断涌现，从而在效率、精度、成本等诸多方面都在难以想象的程度上拓展了人类开发和制造新产品的能力。今天，人们依托先进的制造技术，以前所未有的速度更新现有的产品，不断创造新的产品，从而极大地丰富了人类社会的

物质生活，有力地推动了科学技术的整体发展，加快了人类认识自我和外部世界的进程。

当前，在我国，人们已经逐渐认识到，其他学科和工业的快速发展往往是以制造技术的不断发展为前提的这样一个事实，如在半导体制造领域，随着加工技术的进步，在单位面积上可以制造出的电子元件数量成百上千倍地增长，集成电路芯片的集成度越来越高，使得计算机以及其他电子产品的体积不断减小，而性能却不断提高。在我国航空航天、国防等某些特殊领域，加工制造技术常常成为瓶颈，产品在性能设计上虽然和工业先进国家相比相差不大，但是“做不好”的现象时有发生。我国民用产品的加工制造水平和工业发达国家相比，仍有很大差距。

因此，近年来我国政府提出采用信息科学、材料科学、控制科学、管理科学等领域的先进成果对制造工业进行升级改造，积极提升我国加工制造技术的整体水平。尤其在国防工业中，结合我国国防武器装备的研发和生产，已经开始大力加强先进加工技术的研究和开发工作。

如今，制造科学在世界上已广泛被认为与信息科学、材料科学、生物科学并列为当今时代的四大支柱学科。

制造工业的基础和核心是制造技术，它由设计技术、加工工艺技术、基础设施及其支撑技术组成。其中，加工工艺技术又是制造技术的核心，它由各种加工方法及其制造过程所决定。

所谓制造技术是指采用某种工具（包括刀具）或能量流通过变形、去除、连接、改性或增加材料等方式将工件材料制成满足一定设计要求的半成品或成品的过程技术的总称。制造的目的是获得一定的表面几何形状，并具有一定的几何精度，有时还必须保证制造后的表面（或表面层）满足一定的力学、光学、组织、成分等物理方面的要求，尤其在航空航天、国防等特殊领域更是如此。现代制造技术则是指满足“高速、高效、精密、微细、自动化、绿色化”特征中一种以上特征的制造技术。

在制造装备（机床、工具、夹具等）以及制造任务已定的条件下，制造过程中可以控制的变量就是加工参数。加工参数的选择是否合理将直接影响到加工的安全性、质量、效率和效益，因此，在制订工件加工工艺方案时，需要优化加工参数。

加工参数优化就是寻求一组最优的加工参数使得加工过程中某一指标达到最佳状态。通常，首先选择一个优化目标，如最大利润率、最低成本或最大生产率；其次，对加工参数优化范围提出一些制约条件，如来自切削功率或工件表面粗糙度的制约等。在切削加工中，一般情况下将切削用量作为被

优化参数，但也有一些学者把刀具磨损限度、刀尖圆弧半径和换刀间隔等作为被优化参数，在铣削加工中被优化的参数还包括铣刀直径、铣刀齿数、刀具轨迹、刀具类型、刀具的偏置量等。

加工数据库技术是加工技术与计算机数据库技术相结合的产物，是实现柔性制造和敏捷制造的基础。通过建立优化的加工数据库，可以在加工中很方便地获得最佳加工参数，能够更有效地提高加工质量和生产效率。

作 者

2010 年 11 月

目 录

第 1 章 现代制造技术	1
1.1 切削加工技术	5
1.2 磨削加工技术	19
1.3 高能束流加工技术	30
1.4 微细加工技术	42
第 2 章 现代制造系统	58
2.1 现代制造模式	59
2.2 现代制造系统	65
2.3 制造资源系统	87
2.4 制造信息系统	99
2.5 柔性制造系统 (FMS)	112
2.6 计算机集成制造系统	118
2.7 智能制造系统 (IMS)	125
第 3 章 制造系统参数检测与数据处理	128
3.1 制造过程变量检测	129
3.2 刀具磨损、破损检测及信号处理	135
3.3 制造精度检测	147
3.4 制造设备工作状况检测	154
第 4 章 加工参数优化技术与数据库	160
4.1 加工参数优化的方法	160
4.2 加工参数解析优化技术	162
4.3 加工参数拉格朗日优化	174
4.4 机床加工参数可行方向搜索优化	178
4.5 机床加工参数神经网络非线性规划	182
4.6 机床加工参数遗传算法优化	186
4.7 加工参数数据库	188
参考文献	201

第1章 现代制造技术

现代制造技术需要关注的核心问题是加工质量、加工成本、加工效率、加工的绿色性以及制造的自动化水平，在实际生产中采用何种具体的制造技术必须考虑这些问题，而且往往还要考虑它们之间的协调性。为了以更低的加工成本获得更高的加工质量和加工效率，并节省劳力和保证加工过程中尽可能地不对环境产生有害影响，制造技术走过了漫长的发展经历，逐步走向更高水准。

现代制造技术的发展是人们不断追求加工自动化的结果；是人们不断将不同加工方法进行综合、复合的结果；是人们不断挑战加工精度极限、加工对象微小化极限的结果；是人们不断思索与环境和谐发展的结果。

现代制造技术发展到今天，一方面，随着全球化市场经济的发展，各国、区域间的产品竞争不断加剧，因此，围绕新产品研制和批量化生产，提高企业快速响应市场变化的能力，对制造技术的效率、精度、成本、柔性等已提出越来越高的要求；另一方面，随着人类认识自身、认识自然的步伐不断加快，对人与自然和谐发展的认识不断加深，要求制造技术能够更方便地制造出能够进入人体的微小零件与设备，制造出更加低廉的安全载人飞船和太空探索机器，同时保证制造过程的安全、绿色。

现代制造技术的发展趋势已呈现出以下几个重要特征：

1. 追求更高的制造精度

获得更高的制造精度一直是制造技术孜孜不倦追求的目标。200多年前，在工业革命时代，去除加工技术的大家族中仅有普通的切削加工，其加工精度最高约为1 mm；而进入21世纪，在工业发达国家即使对于大批量生产的普通零件，其加工精度也可达到1 μm。200年间，普通加工的精度提高了约三个数量级，而精密加工的精度已达到10 nm水准，更是提高了约五个数量级。

1983年，日本的谷口纪男（N: Taniguchi）教授在分析研究了诸多精密超精密加工实例的基础上，对精密超精密加工技术的现状进行了归纳总结，并对其发展趋势进行了预测。他把普通、精密与超精密加工技术的过去、现

状和未来系统地归纳为图 1.1 所示的三条曲线。20 年后的今天，精密与超精密加工技术基本上仍沿着图中几条曲线所示的趋势发展。

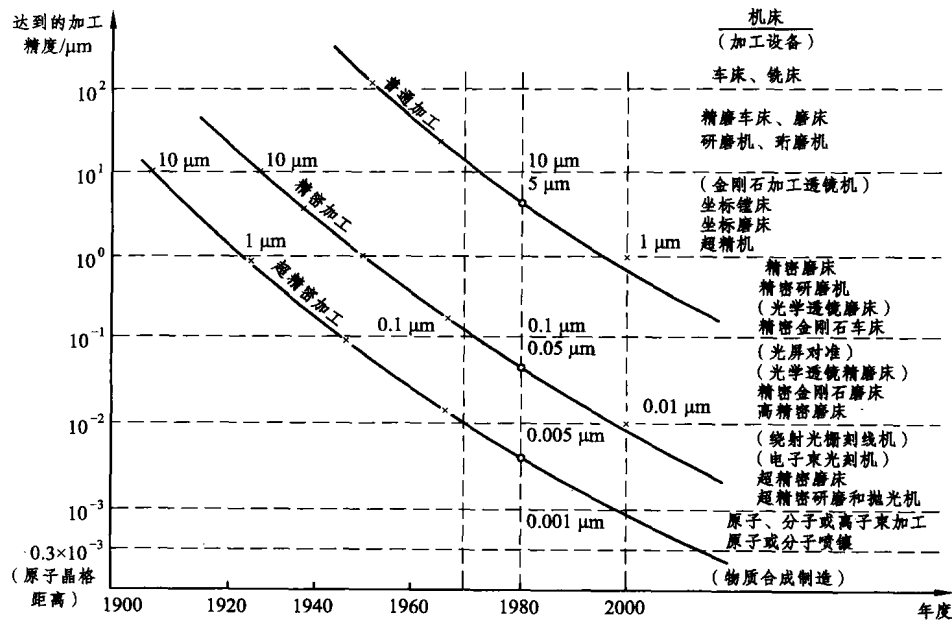


图 1.1 制造精度的发展趋势

该图对于我们今天讨论精密与超精密加工技术的范畴仍具有重要的参考价值。虽然该图表明，超精密加工的精度将很快达到原子晶格距离这一极限水准，但是，对于普通加工来说，精度的提高仍有很大的空间，加工精度的进一步提高仍然是加工技术发展的重要趋势特征。

2. 以高速实现高品质高效加工

随着航空和航天工业、轿车工业的迅猛发展，集成电路制造等电子工业的日新月异都迫切要求实现高效率生产，而实现高效率生产首先应实现高效率加工。目前，由于高速主轴技术、直线电机技术、高速控制技术以及刀具技术的发展和进步，以加工的高速化实现加工的高品质、高效率已成为切削加工技术发展的重要特征。

特别需要指出的是，进入 20 世纪 90 年代以来，随着电主轴和直线进给电机在机床上成功而广泛的应用，使得加工机床的主运动和进给运动速度提高了一个数量级。近年来，高速切削加工技术已经在航空、航天、汽车、模具等工业领域中获得了极其成功的应用。

在飞机制造业中,为了降低飞机机身的重量,提高飞机的速度、机敏性以及载重能力等性能,目前广泛采用整体结构代替传统的组装结构。飞机机身、机翼中的框、梁等大型零件采用一块整体毛坯件直接去除多余的部分,“掏空”而成。因此,加工余量非常之大,最多时需要去除毛坯 95% 以上的部分;同时,加工结构也非常复杂,加工变形问题突出。所以,不仅对加工效率要求非常之高,而且对切削力、切削温度要求也很苛刻。

目前,为保证获得高品质的同时获得足够高的加工效率,已广泛采用高速切削加工技术,且加工速度越来越高。例如,美国 Cincinnati 公司以往用于飞机制造的铣床主轴转速为 15 000 r/min,现在已经提高到了 40 000 r/min,功率从 22 kW 提高到了 40 kW。该公司的 Hyper Mach 铣床已将主轴转速提高到了 60 000 r/min,功率达 80 kW。Hyper Mach 铣床采用直线电机,工作行程进给速度最大可达 60 m/min,空行程快速则达到 100 m/min,加速度达 2 g,由于采用高速的电主轴和高速的直线电机进给,使得加工时间减少了 50%。高速铣削加工还成功应用于典型薄壁零件——雷达天线的生产制造中,较好地解决了薄壁加工容易变形的难题。

汽车工业也是高速加工技术应用的一个重要领域,目前很多汽车制造商已采用高速加工中心代替多轴组合机床,不仅可以保证加工质量,提高加工效率,而且还可以提高产品生产的柔性,有利于产品的更新换代。

高速切削加工技术另一个应用得比较成功的领域是模具制造业,尤其是塑料模具业,其所有的先进企业均已采用高速铣削加工技术。同时,直线电机技术在电加工机床上也开始应用,从而大大提高了电加工效率,有力地推动了模具加工技术的发展。

加工速度正在向更快的方向发展,目前正在研制的高速切削加工中心,其主轴转速已达 300 000 r/min,直线进给速度达 200 m/min。随着高速切削机床技术、高速刀具技术的发展以及人们对高速切削机理认识的不断加深,高速切削加工技术的应用一定会越来越广泛。

3. 微细与纳米加工快速发展

从集成电路的诞生算起,微细加工技术的历史还不到半个世纪,可是微细加工技术的发展却表现出惊人的速度。它的发展不仅使集成电路的集成度越来越高,使得微电脑的功能越来越强大,而且满足了人们对许多工业产品功能集成化和外形小型化的不断需求。目前生产的便携式录音机的机械和电路所占空间容积仅为 20 世纪 60 年代产品的 1%;光通信机器中激光二极管所需非球面透镜的尺寸仅为 0.1~1 mm,其模具制造必须采用微细加工技术。

此外,进入人体的医疗机械和微管道自动检测装置等都需要微型的齿轮、电机、传感器和控制电路,它们的加工制造已逐渐成为现实。

微细加工技术的发展促进了微型机械的系统化,从而催生了微机电系统(MEMS)技术。在传感器制造中采用 MEMS 技术,将传感器和电路蚀刻在一起,不仅大大减小了其体积,而且可以大幅度降低加工成本。如汽车安全气囊中的传感器制造,采用 MEMS 技术后可将其成本降低到原来的 40%。

微细加工技术由于其加工对象尺度小到微米级,所加工的尺寸公差及形位公差小至数十纳米,表面粗糙度则低达纳米级,所以它往往兼具微小和超精密加工的特征,和纳米加工正逐渐融合。

今天,人们已在实验室实现了单个原子的搬迁和排列,批量生产的集成电路其线宽也已突破 100 nm。另外,纳米材料制备技术不断成熟,纳米进给工作台已形成批量生产能力,纳米切削机床已经诞生。这些技术的发展不仅极大地丰富了纳米加工技术的内涵,而且为纳米加工技术的发展提供了良好的基础。随着现代加工技术的进步,微细加工和纳米加工技术有着广阔的发展前景。

4. 追求加工智能化

随着自动化技术、现代控制技术、计算机技术以及人工智能技术的发展,智能在制造中的应用越来越受到学术界和企业界的重视,智能制造技术与系统的研究已在世界范围内展开。智能加工技术的概念就是在这样的大背景下诞生的。

智能加工是一种基于多传感融合以及知识处理理论和技术的加工方式,以满足人们所要求的高效益、低成本、操作简便等需求,解决加工过程中众多不确定性的、要求人工干预才能解决的问题。它的最终目的是要由计算机取代或延伸加工过程中人的部分脑力劳动,实现加工过程中决策、监测与控制的自动化。智能加工技术的基本特征可以概括为以下几点:

① 基于人工知识系统,部分代替人的决策,自动产生零部件的加工方案和初步的加工参数。

② 具有根据外部传感信号的变化,实时监测加工过程的能力。

③ 具有根据工件形状变化实时优化调整加工参数,使加工系统始终处于最优工作状态的能力。

④ 根据加工状态的监测,能对机床故障进行自我诊断、自我排除、自我修复等。

⑤ 能为操作人员提供人机一体化的智能交互界面。

⑥ 具有加工经验的自我积累能力,通过加工过程的延续,不断获取加工知识、丰富原有的知识系统。

目前,真正的智能加工系统还没有建立起来,但是由于机床熟练操作人员在世界范围内的缺乏以及工业对加工技术提出越来越高的要求,因此,提高加工的智能化水平势在必行,加工的智能化是现代加工技术发展的必然趋势。

5. 更加注重加工的绿色化

加工技术和很多其他科学技术一样,具有“双面刃”特性,即:它一方面极大地提高了人类大量生产物质产品的能力,从而丰富了人类的物质生活;但另一方面,却由于大量生产加快了人类向大自然索取资源的速度,又由于产品更新换代的快节奏加快了人类向自然界排放“工业垃圾”的步伐。另外,在加工过程中,也时有对人体有害的气体释放和噪声的产生。例如,在切削加工中冷却液的雾化、气化,电加工中电解液、电镀液的分解、蒸发,激光加工中有害气体的产生,还有各种加工噪声等都对操作者和环境造成危害。在加工结束之后,还有废液、废渣的排放等环境问题。

绿色加工技术的概念已经随着绿色制造理念的提出而出现,它追求在产品的加工过程中,采用先进的少、无污染加工工艺方法,并尽可能地节省资源。它的主要特征表现为节能、低耗和无废排放。

节能是指在加工过程中,尽量降低能量损耗。如在切削加工中,可以通过降低切削力来降低切削功率消耗;一般的去除加工中,应尽量降低去除单位体积材料所需的能量,即材料去除比能。低耗是指在生产过程中通过简化工艺系统组成、节省原材料的消耗。可以通过优化毛坯加工技术、优化下料技术,以及采用少无屑加工技术、干式加工技术、新型特种加工技术、再制造技术等方法降低材料消耗。

另外,应努力实现“无废”加工,即采用先进的加工方法或采取某些特殊措施,使生产过程中产生的废液、废气、废渣、噪声等对环境和操作者有影响或危害的物质尽可能减少或完全消除。现代加工技术必须注重绿色环保,这样才能实现可持续发展,才能最终实现人与自然的真正和谐。随着科学技术的发展和人类社会的进步,加工技术的绿色化已经成为必然的要求和趋势。

1.1 切削加工技术

切削加工技术在材料去除类加工技术中占据主导地位,是历史悠久、应

用最广泛的制造技术。随着科技的进步，现代切削加工技术正朝着高速、高效、精密、微细、智能、绿色的方向发展。

1.1.1 高速切削

高速切削的起源可追溯到 20 世纪 20 年代末期。德国的切削物理学家萨洛蒙 (Carl Salomon) 博士于 1929 年进行了超高速切削模拟试验, 1931 年 4 月发表了著名的超高速切削理论。萨洛蒙指出: 在常规的切削速度范围内, 切削温度随着切削速度的增大而提高 (图 1.2 中 A 区); 当切削速度增大到一定范围后, 切削温度太高, 任何刀具都无法承受, 切削加工不可能进行 (图 1.2 中 B 区); 但是, 当切削速度进一步提高, 超过这个速度范围后 (图 1.2 中 C 区), 切削温度反而降低, 同时, 切削力也会大幅度下降。按照他的切削理论, 在具有一定速度的高速区进行切削加工, 会有比较低的切削温度和比较小的切削力, 有可能用现有的刀具进行超高速切削, 从而大幅度减少切削时间, 成倍地提高机床的生产率。

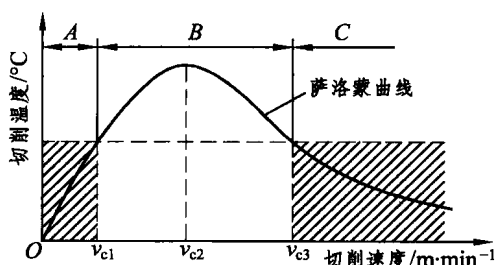


图 1.2 切削速度与切削温度的关系 (萨洛蒙曲线)

美国于 1960 年前后开始进行超高速切削试验。德国国家研究技术部于 1984 年组织了以 Diarmstadt 工业大学的生产工程与机床研究所 (PTW) 为首, 包括 41 家公司参加的两项联合研究计划, 全面而系统地研究了超高速切削机床、刀具、控制系统以及相关的工艺技术, 分别对各种工件材料 (钢、铸铁、特殊合金、铝合金、铝镁铸造合金、铜合金和纤维增强塑料等) 的超高速切削性能进行了深入的研究与试验, 取得了国际公认的高水平研究成果, 并在德国工厂得到了广泛应用, 获得了好的经济效益。日本于 20 世纪 60 年代就着手超高速切削机理的研究。日本学者发现在超高速切削时, 切削热的绝大部分被切屑带走, 工件基本保持冷态, 其切屑要比常规切屑热得多。日本在

高速切削机床的研究和开发方面后来居上，现已跃居世界领先地位。进入20世纪90年代以来，以松浦（Matsuura）、牧野（Makino）、马扎克（Mazak）和新泻铁工（Niigata）等公司为代表的一批机床制造厂，陆续向市场推出不少超高速加工中心和数控铣床，日本厂商现已成为世界上超高速机床的主要提供者。

高速切削机理的研究和实践表明，当切削速度达到相当高的区域时，出现切削力下降、工件温升降低、热变形小、刀具耐用度提高等现象。高速切削不仅可以大幅度提高单位时间材料切除率，而且还会带来一系列的其他优良特性。各国对超高速切削的速度范围迄今尚未作出明确统一的规定，但是通常把切削速度比常规高出5~10倍以上的切削加工叫做高速切削或超高速切削。

按不同加工工艺规定的高速切削范围：车削 700~7 000 m/min；铣削 300~6 000 m/min；钻削 200~1 100 m/min；磨削 150~360 m/s。这种划分比常规切速几乎提高了一个数量级，而且还有继续提高的趋势。

按加工不同材料划定高速切削范围：德国 Darmstadt 工业大学对钢、铸铁、镍基合金、钛合金、铝合金、铜合金和纤维增强塑料等材料分别进行高速切削试验，得到上述七种材料适合于高速切削的速度范围（见图 1.3）。其研究结果得到了国际上的公认，至今仍是大家认可的高速切削速度。

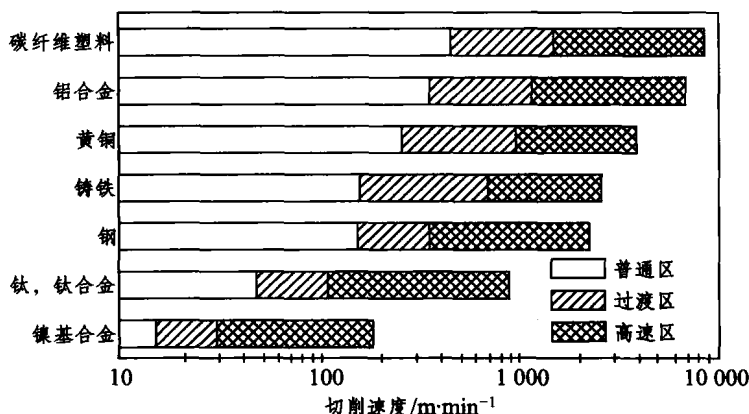


图 1.3 七种典型工件材料的高速切削速度范围

高速切削加工技术和常规切削相比，具有以下方面的优势：

(1) 随切削速度的大幅度提高，进给速度也相应提高 5~10 倍。这样，单位时间内的材料切除率可大大增加。同时机床快速空程速度大幅度提高，

也大大减少了非切削的空行程时间,从而极大地提高了机床的生产率。

(2) 切削速度达到一定值后,切削力可降低 30%以上,尤其是径向切削力的大幅减少,特别有利于提高薄壁细肋等刚性差零件的高速精密加工。

(3) 在高速切削时,95%~98%以上的切削热来不及传给工件,被切屑飞速带走,工件基本上保持冷态,因而特别适合于加工容易热变形的零件。

(4) 高速切削时,机床的激振频率特别高,它远远离开了“机床-刀具-工件”工艺系统的固有频率范围,工作平稳,振动小,因而可加工出非常精密、非常光洁的零件,零件经高速车、铣加工的表面质量常可达到磨削的水平,且残余应力很小,故可省去铣削后的精加工工序。

(5) 高速切削可以加工难加工材料。例如,航空和动力部门大量采用镍基合金和钛合金,这类材料强度大、硬度高、耐冲击,加工中容易硬化,切削温度高,刀具磨损严重。在普通加工中一般采用很低的切削速度。如采用高速切削,则其切削速度可提高到 $100\sim 1\,000\text{ m/min}$,为常规切速的 10 倍左右,不但可大幅度提高生产率,而且可以提高零件加工表面质量。

(6) 高速切削可降低加工成本,主要原因包括:零件的单件加工时间缩短;可以在同一台机床上,一次装夹完成零件的粗加工、半精加工和精加工。虽然高速机床的价格高于普通的机床,但综合上述因素,仍可大幅度降低加工成本。

高速切削加工涉及下列四个方面的关键技术:

1.1.1.1 高速切削机理的研究

高速切削技术的应用和发展是以高速切削机理为理论基础的。通过对高速加工中切屑形成机理、切削力、切削热、刀具磨损、表面质量等技术的研究,也为开发高速机床、高速加工刀具提供理论指导。高速切削机理的研究主要有以下几个方面:

1. 高速切削过程和切屑形成机理

对高速切削加工中切屑形成机理、切削过程的动态模型、基本切削参数等反映切削过程原理的研究,有试验和计算机仿真两种方法。

试验表明,一般低硬度和高热物理性能的工件材料如铝合金、低碳钢和未淬硬的钢与合金钢等在很大速度范围内容易形成连续带状切屑,而硬度较高和低温物理性能的工件材料,如热处理的钢与合金钢、钛合金等,在很宽切削速度范围内均形成锯齿状切屑,随切削速度的提高,锯齿化程度增加,直至形成分离的单元切屑。

切削速度对锯齿状切屑的作用,一方面是切削速度提高,应变速度加大,导致脆性增加;另一方面切削速度提高,又会引起切屑温度增加,导致脆性减小。因此,提高切削速度对形成锯齿状切屑倾向具有综合的作用。

2. 高速加工基本规律的研究

切削力学理论分析表明,切削时切削力与工件的剪切强度、切削面积、刀具前角、后刀面与工件的摩擦系数以及剪切角有关,而剪切强度和摩擦系数直接受切削温度,也即受切削速度的影响,剪切角则与切削速度相关。因此,切削速度直接影响切削力的大小。在高速切削范围内随切削速度增加,切削温度升高,摩擦系数减小,剪切角增大,切削力降低。

切削时产生的热量主要流入切屑、刀具和工件,主要部分被切屑带走。随切削速度的提高,切屑带走的热量增加。因此,高速切削范围内,当切削速度达到一定范围后,切削温度上升缓慢,直至很少有变化为止。

高速切削时,刀具的损坏形式主要是磨损和破损,磨损的机理主要是黏结磨损和化学磨损(氧化、扩散、溶解)。金刚石、立方氮化硼和陶瓷刀具高速断续切削高硬材料时,常发生崩刃、剥落和碎断形式的破损。高速切削时,对以磨损为主损坏的刀具可以按磨钝标准,根据刀具磨损寿命与切削用量和切削条件之间的关系确定刀具磨损寿命。对于以破损为主损坏的刀具,则按刀具破损寿命分布规律,确定刀具破损寿命与切削用量和切削条件之间的关系。

3. 各种材料的高速切削加工性研究

铝合金具有极好的切削加工性,对其铣削、车削、镗削、钻削等加工时,可采用很高的切削速度($1\,000\sim4\,000\text{ m/min}$,有时高达 $5\,000\sim7\,500\text{ m/min}$)和进给速度。选用的刀具材料主要是PCD、涂层硬质合金或超细晶粒硬质合金,一般不选用陶瓷刀具。随着铝合金中硅含量的增加,所选择的切削速度要降低。镁合金的高速切削一般选用金刚石刀具和硬质合金刀具,可进行高切削速度、大进给量、大切削深度,切削用量的提高受到积屑瘤和镁合金的易燃性制约。对于大多数铜合金,选用YG类硬质合金刀具,一般能达到加工要求;选用PCD刀具切削速度可达 $200\sim1\,000\text{ m/min}$,可获得很高表面质量。锡磷青铜的加工一般选用PCBN刀具。

铸铁进行高速切削加工的转速目前为 $500\sim1\,500\text{ m/min}$,精铣灰铸铁可达 $2\,000\text{ m/min}$,切削速度的选择取决于选用的刀具材料。而刀具材料要根据工件的加工方式即工件材料的成分、金相组织和机械性能进行合理选用。

PCBN 刀具可在高于 1 000 m/min 条件下切削铸铁,低于这个速度可以选用陶瓷刀具、金属陶瓷刀具、涂层刀具、超细晶粒硬质合金刀具等。钢可以用 300~800 m/min 的速度进行高速精加工,主要选用陶瓷刀具、金属陶瓷刀具、涂层刀具。

淬硬钢 (HRC45~65) 的高速切削主要选用 PCBN 刀具和陶瓷刀具,工件材料越硬越能体现出它们高速切削加工的优越性。钢铁及其合金的高速切削加工的速度主要受刀具寿命的限制。

钛及钛合金的切削加工目前选用的刀具材料以 YG(K) 类硬质合金为主,精细 TiN 涂层硬质合金刀具、PCD 刀具高速切削加工钛及钛合金的加工效果远好于普通硬质合金;天然金刚石刀具的加工效果更好,但其应用受加工成本制约。加工钛合金,还广泛应用车铣复合加工。车铣复合加工改善了刀具散热条件,降低了切削温度并减少了刀具磨损,从而可在较高的速度下切削加工钛及钛合金。

4. 高速切削仿真技术的研究

在试验研究的基础上,利用虚拟现实技术和仿真技术,虚拟高速切削过程中刀具和工件相对运动的作用过程,对切屑形成过程进行动态仿真,显示加工过程中的热流、相变、温度及应力分布等,预测被加工工件的加工质量,研究切削速度、进给量、刀具和材料以及其他切削参数对加工的影响等。

1.1.1.2 高速切削刀具的开发

阻碍切削速度提高的关键因素是刀具能否承受越来越高的切削温度。近 30 年来世界各工业发达国家都在大力发展能适应高速切削加工条件的先进切削刀具,开发出了许多高性能的刀具材料。目前国内外用于高速切削加工的刀具材料主要有:超硬刀具材料 (PCD 和 PCBN)、陶瓷刀具、TiC (N) 基硬质合金和涂层刀具等。超硬刀具材料继续在高速切削加工中占有重要地位,尤其是超强、超硬的纳米刀具材料,将是很有前景的高速切削加工刀具材料。陶瓷刀具材料在自然界用之不竭,从资源、价格和性能等方面来看,陶瓷刀具在高速切削领域具有很大的优势;涂层刀具在高速切削领域具有巨大的潜力。

除刀具材料外,刀具结构也是刀具技术的一项研究重点。在高速切削中,常规的 7:24 锥度刀柄系统 (BT, ISO 等) 已经不适用。各国针对高速切削特点,在刀具刃型、材料、结构、夹紧方式和动平衡等方面进行了大量的研究工作,但还不够完善。在高速切削加工中,刀具结构的安全性和高精度的动平衡是至关重要的。