

新型材料与 特种加工技术的应用

陈良治 编著



西北工业大学出版社

内 容 提 要

本书阐述新型材料,包括合金、特种陶瓷、复合材料、记忆合金、贮氢合金和超导材料等的发展与应用。特种加工技术则包括超声、光整、电解、放电成型、放电线切割以及复合加工等在冷加工方面的应用。

本书结构独特,内容实用、新颖,反映现代先进科技成果,阐述系统、简明并且重点突出,可作为高等工业专科学校、职业和成人高等院校机电制造专业的教材,亦可代其它高等院校、中等专业学校师生和广大工程技术人员参考。

新型材料与特种加工技术的应用

编 著 陈良治

责任编辑 蒋相宗

责任校对 雷 鹏

西北工业大学出版社出版发行

(西安市友谊西路127号)

各地新华书店经销

西北工业大学出版社印刷厂印装

ISBN 7-5612-0268-7/TB·2

开本 787×1092 毫米 1/32 4.5 印张 93 千字

1990年6月1版 1990年6月1次印刷

印数 1-1000册 定价: 4.20元

序

《新型材料与特种加工技术的应用》一书是作者根据多年积累的研究成果和科技资料写成的，着重介绍了新型材料及特种加工技术，所介绍的新型材料包括钛合金、特种陶瓷、复合材料及其它特种用途的材料。钛合金在航空、航天、航海、化工等很多工业部门都得到了广泛的应用；复合材料在飞行器中应用日益广泛；陶瓷材料近十几年来在很多工业部门得到迅速的发展；记忆合金等特殊功能材料的应用也与日俱增。作者在书中介绍的这些材料是带有方向性的，对促进工业发展有重要意义。从加工角度出发，介绍这些材料也是十分需要的，因为它们均属难加工材料，迫切需要解决其切削加工性及表面完整性的问题。

书中阐述了应用较广的电解加工、放电成型加工和放电丝切割加工的原理、设备、应用及影响加工效果的工艺因素，所述内容是最基本的、必需的和实用的，并具有先进性。

书中简明论述了超声加工和激光加工，可帮助读者掌握其加工原理和基本的加工方法，并了解其加工的发展方向，最后一章复合加工是当前加工技术的一种发展趋势，尤其在微细加工和模具型面加工中更显得特别重要。

此书简明扼要，重点突出，便于学生学习与掌握，为高等工业专科学校、职业和成人高等院校机电制造有关专业提供了一本较为适用的教材，同时，也为其它工科院校师生和

广大工程技术人员提供了一本有实用价值的参考书。

西北工业大学教授 任敬心

1990年1月

前 言

随着现代科学技术的发展,新型材料和特种加工技术在机械创造工程中的应用日益广泛,而而掌握这方面的基本知识和技能,就成为机械创造工程智能结构中不可缺少的组成部分。鉴于这方面的教材较少,特别是适用于高等工业专科学校、职业和成人高等院校的这种教材目前尚缺,因此试编本书以适应当前教学的需要。

为适应上述高等院校教学的特点,本书内容力求实用和重点突出,并适当反映现代最新的科技成就。新型材料以钛合金、特种陶瓷、复合材料、记忆合金、贮氢合金超导材料等应用为主,特种加工技术则以超声、激光、电解、放电和复合加工等在冷加工方面的应用为重点。

为便于高等工业专科学校、职业和成人高等院校学生学习,本书采用图文并茂的表述方式,力求直观易懂、深入浅出和简明扼要。特种加工技术方面在阐明基本原理和特性的基础上,着重实际应用,并对其主要的工艺因素进行系统分析,揭示其基本规律,以利于学生掌握和运用。

本书主要拟供上述高等院校机电制造有关专业学生使用,亦可供其它高等院校、中等专业学校师生和广大工程技术人员参考,使用本书进行课堂教学约需 30 学时,有实验、实习条件者可酌增现场实践若干学时,这样,教学成果将会更好。

本书承任教心教授审阅并作序,顾曼莉同志帮助描绘全

书的插图，在此一并表示衷心的感谢。受时间、资料和编者水平所限，书中错误与不妥之处难免，敬希读者指正。

编者于江苏常州

1990年2月

目 录

第一章 绪论.....	1
§ 1-1 新型材料应用发展概况	1
§ 1-2 新型材料应用与特种加工的关系	2
§ 1-3 特种加工技术应用简述	3
第二章 新型材料的应用.....	5
§ 2-1 钛合金	5
§ 2-2 特种陶瓷	7
§ 2-3 复合材料	8
§ 2-4 形状记忆合金	10
§ 2-5 贮氢合金	14
§ 2-6 超导材料	15
第三章 超声加工.....	17
§ 3-1 加工原理及应用	17
§ 3-2 加工用设备	20
§ 3-3 工艺因素分析	25
第四章 激光加工.....	30
§ 4-1 加工原理及应用	30
§ 4-2 加工用设备	32

§ 4-3 主要工艺因素	36
第五章 电解加工	40
§ 5-1 加工原理和特点	40
§ 5-2 加工用设备	43
§ 5-3 工具阴极	49
§ 5-4 电解液	57
§ 5-5 电解加工的应用	61
§ 5-6 主要工艺因素	67
第六章 放电成型加工	73
§ 6-1 放电加工的原理和特性	73
§ 6-2 脉冲电源	76
§ 6-3 自动进给调节系统	81
§ 6-4 放电成型加工机床	85
§ 6-5 放电成型加工的应用	90
§ 6-6 主要工艺因素	97
第七章 放电线切割加工	103
§ 7-1 放电线切割加工原理和特点	103
§ 7-2 放电线切割加工的应用	104
§ 7-3 数控线切割的机床设备	107
§ 7-4 数控线切割自动编程	112
第八章 复合加工	117

§ 8-1 超声复合加工	117
§ 8-2 电解-机械加工	120
§ 8-3 放电-电解加工	126
§ 8-4 放电-电解-机械加工	127
教学参考题	129
参考文献	132

第一章 绪 论

§ 1-1 新型材料应用发展概况

材料的发展与应用在很大程度上反映人类社会的文明和进步。现代科学技术的进步和生产的发展，更是依赖新材料的不断开发。例如核能的发展始于铀等放射材料的发现，电子计算机的发展则基于硅等半导体材料的制出，大型航空与航天飞行器的制造，则应用了许多种新型合金和复合材料。现在新材料的应用已遍及国民经济各部门和生活领域的各个方面，它是科技发展的物质基础。世界科技发展史表明：谁在新材料中领先，谁就会在科技发展中占优势，因此，新材料的开发与应用备受世界各国的重视。

以往，人类长期使用自然材料，现在这种局限早已打破，人们可根据需要改变材料的基本结构和性质，使用人造材料。目前新材料不断涌现，种类繁多，如以构成的成分来分有金属、非金属、复合等材料；以功用分有结构、功能等材料；以化学性质分有无机、有机、高分子等材料；以物理性能分有磁性、非磁性、绝缘、导电、半导、超导、光导、光敏和热敏等材料；如以专门的用途来分则更是不胜枚举了。现今已经应用的材料不下 40—50 万种，并且仍以每年大约 5% 的递增速度在增加，人们对新材料开发的要求是性能优，资源富与价格低。现在新材料的发展趋向是非金属的

材料品种与数量增加较快，不过，金属材料目前仍占主要地位。

在新型金属材料的开发与应用中钛合金发展较快，由于它的性能优异和用途广泛，受到世界各国的普遍重视。据悉，地球上钛的资源极富，仅次于铝、镁、铁而居于第3—4位，因此推测钛合金在下一世纪有可能发展为世界第二钢铁。我国钛的储量居世界首位，这对我国发展钛合金应用和促进社会主义现代化建设事业特别有利。在新材料的开发应用中特种陶瓷、工程塑料、复合材料等新型结构材料以及记忆合金、贮氢合金、光导和超导等特殊功能材料都发展很快。凭它们所具有的优良特性，已在相当多的应用领域中替代了传统的金属材料，并且正在扩大应用，发展前途极为广阔。

§ 1-2 新型材料应用与 特种加工的关系

特种加工一般指的是各种新颖加工技术的统称，它们同普通机械切削和磨削加工的区别是：用以加工的能量并非单纯依靠机械能，而是由电、热、声、光、化学能或其同机械能复合的作用。第二次世界大战后，随着科学技术和工业的迅猛发展，各种耐热、耐蚀、高强度、高硬度、高韧性、高脆性金属等新材料不断涌现，同时，结构特殊，形状复杂，制造精密的制件日益增多，使得传统的机械加工难以适应或根本无法适应这类加工的需要，从而促使特种加工技术的迅速发展。

自 20 世纪 40 年代初，由苏联学者 Б.Р.拉扎连科 (Б.Р.лазаренко) 等人首创电火花放电加工以来，迄今 40 多年，特种加工已发展到几十种之多，现在世界各国广泛应用的有：放电加工、加解加工、电子束加工、离子束加工、激光加工、超声加工、液力加工、磨料喷射加工等等。它们主要是用于制件的表面光整和精密加工。

放电和电解加工对一切导电材料，不论其机械性质如何均可进行加工。其它特种加工对所有金属和非金属材料，例如耐热、耐蚀不锈钢、淬火钢、钛合金、硬质合金、玻璃、陶瓷、金刚石、塑料、复合材料等等一般都可加工。特种加工一般由于没有机械加工那样切削力和热的影响，故对刚度低的薄壁结构等制件加工特别有利，由此可见特种加工同新型材料和结构的应用有着紧密的联系。此外，特种加工还对许多产品的制造工艺产生很大的影响和变化，例如金属制件热处理位置的先后对机械加工影响甚大，而对特种加工却毫无妨碍。因此，某些易裂易变形的制件可以在加工前进行淬火等热处理，从而大大简化了工艺流程，改善了制件的质量和提高了其加工的成品率。

§ 1-3 特种加工技术应用简述

现在，特种加工技术广泛用于各种冲、压、铸、锻模具型腔和叶片等复杂型面的加工，各种异型孔的加工，深孔、弯孔、螺孔、微孔和窄缝的加工，金属、陶瓷、半导体、纺织纤维、纸张等板、片、膜的切割，零件表面去毛刺、研磨、抛光、蚀刻、镀覆、强化、焊接和热处理等等。在机

电、电子、仪器、化工、轻工、纺织等工业部门以及国防科研等许多领域发挥越来越大的重要作用。

目前，某些特种加工所获得的尺寸精度是相当高的，例如放电加工的精度平均为 0.03mm ，最高可达 0.003mm ，而电解磨削和激光加工的精度最高可达 0.001mm ，电解磨削和放电加工的表面粗糙度可达 $R_a, 0.04\mu\text{m}$ ，电解加工的生产率最高能达到 $10000\text{mm}^3/\text{min}$ 以上，比普通机械加工要高许多倍。特种加工在设备投资方面以电解加工为高，因为其设备和厂房的防腐蚀系统比较复杂。电子束和激光加工的投资属于中等，而超声和放电加工的投资并不高，是一般中小企业可以普遍采用的。

某些特种加工尚存在一定的不足，例如因工具有损耗而影响放电、超声等加工精度的进一步提高。同时，它们的加工生产率也还不够高，电解加工的废液对环境有污染等等，所有这些，均有待于进一步加以研究和改进。值得提出的是当今国内外都在大力发展两种以上加工复合的新加工技术，例如超声-激光，超声-放电，超声-电解，电解-放电，电解-机械，电解-放电-机械等复合加工。某些新的复合加工由于能发挥综合的优点取长补短，使得加工精度、表面质量和生产率等都有显著的提高，具有良好的应用发展前景。

以上简述了新型材料和特种加工技术的应用发展概况，本书将着重阐述钛合金、特种陶瓷、复合材料、记忆合金、贮氢合金、超导材料等新型材料的基本特性及其在国内外应用方面的最新成就。特种加工将重点阐述超声、激光、放电、电解及其复合加工等的基本原理、特点、设备和在冷加工方面的实际应用，并对其主要的工艺因素进行系统的分析，揭示其基本规律，以利于学习掌握和运用。

第二章 新型材料的应用

本章以现代应用发展最突出的新型结构材料如钛合金、特种陶瓷、复合材料和新型功能材料如记忆合金、贮氢合金、超导材料等为重点，对其优异特性和在国内外应用方面的最新成就分述如下。

§ 2-1 钛合金

钛及钛合金的比重较钢轻 40%，其强度比钢高 2—3 倍，并且韧性好，耐磨、耐蚀、耐热、耐超低温，具有一系列优异的特性，用途极广。美国是用钛最早的国家，50 年代起就在航空产品中开始应用钛合金。目前生产钛合金材料最多的国家是苏联，其次是美、日、英等国。我国也于 70 年代开始生产和应用钛合金，主要用于军工、机械、化工、轻工及医疗等方面。由于钛合金具有上述一系列优异的性能，它在有关产品的应用中越来越显出其特有的优越性，现在，世界工业发达国家对它都非常重视，已制出多种具有优良性能的钛合金。

1. 钛铝钒合金，目前国际间具有广泛代表性的此类合金是 Ti-6Al-4V，我国同类合金为 TC4，此种钛合金的强度、韧性、耐蚀性及热稳定性等综合性能均较好，它比钢轻，尤其是耐蚀性和热稳定性都比钢好，在 400℃ 以下工作

稳定可靠，是用于航空产品的一种好材料。美国超音速飞机上的结构材料 90% 都用钛合金，飞机上应用了大量的钛合金就能使其重量大为减轻，从而使飞机的航速、航程、有效机载和使用寿命均获显著提高，这对改善现代飞机的性能和质量具有特别重要的作用。

2. 钛镍钼合金，我国上海钢铁研究所研制成功的 Ti-0.8Ni-0.3MO 合金，是一种耐蚀的新材料。这种钛合金对湿氯、次氯酸盐、盐水、碱水和其它含氯盐的介质都具有良好的耐蚀性，其腐蚀速度每小时低于 $10^{-4}\text{g}/\text{m}^2$ ，是用于化工的一种优质耐蚀合金。

3. 钛汞合金，意大利一家公司制成一种钛汞合金替代液态汞用来制造荧光灯管的灯芯，大大减轻汞对环境的污染和对人体的毒害。钛汞合金是将金属钛和汞在真空条件下加热至 800°C 而合成，把这种合金的粉末同等量的锆铝吸气粉末混匀，再轧压到镍基合金带上，就可用来制作荧光灯管的灯芯。我国北京等地的灯泡厂也于 80 年代初期就用此合金制造荧光灯管的灯芯。

4. 铜钛合金，上海有色金属研究所制成的铜钛合金是一种高强度、高弹性、耐磨、耐蚀的新型导电弹簧材料，并且容易加工。此种合金的疲劳强度高于磷青铜和锌白铜，可与铍青铜媲美，而使用温度比铍青铜还高，可达 250°C 。用这种合金制造各种电器和电视机的弹性零件，性能优良耐用可靠。

5. 氮化钛，这是一种耐磨耐高温的优良涂料，它的硬度可达 HRC80 以上，能耐温度达 3000°C 以上。应用反应性离子镀技术把氮化钛镀到金属切削刀具、工夹模具和机器零部件表面上，将大大提高它们的工作性能与使用寿命。例

如在硬质合金刀具切削表面镀上氮化钛，就能使其切削速度提高 2 倍以上，使用寿命则可提高 3—6 倍。

氮化钛镀层表面呈金黄色，颜色鲜艳光彩夺目，可与 24K 真金媲美。上海工业机械研究所将氮化钛涂镀技术转让给江苏丹徒县一家钛金工艺厂。该厂应用氮化钛制造金首饰、表壳、表带、钢笔尖和陶瓷镀金罗汉等工艺品，耐磨、耐蚀、美观而价廉，畅销国内外深受赞誉。清华大学利用干涉原理和离子氮化钛处理制成各种山水人物水墨画，层次分明，图面清晰金光闪烁，为我国工艺美术开辟了新的领域。

§ 2-2 特种陶瓷

特种陶瓷是由碳、硅、氮、氧等化合物的微细粉末（粒度为 0.1—0.6mm）经压实后烧结而成，它的熔点达 2060℃ 以上，在 1900℃ 以上高温中它仍具有良好的强度、韧性、耐磨性和耐蚀性，并且重量轻。因此受到世界各国的重视，获得日益广泛的应用。现已应用的特种陶瓷有：碳化硅、碳化钛、碳化锆、氧化锆、氮化硅、氮化硼、氮化铝、硅化铝、硼化铝和超纯石英等等。制造特种陶瓷的原料非常丰富，例如其中的碳化硅就可用稻壳烧制。特种陶瓷的制造工艺要求高，陶瓷粉末要纯净化和微细化，成型时要高度密实化，所以成本较高。目前在特种陶瓷开发应用上日本和美国走在前面，欧洲和苏联要落后几年。

特种陶瓷的应用十分广泛，近年来获得的重大进展之一，是陶瓷发动机的研制和应用。日本已用碳化硅和氮化硅制出汽车陶瓷发动机，它同一般的柴油发动机相比，其工作

温度由 700°C 提高到 1100°C ，热效率提高到 50%，燃油消耗减少 30% 以上，而且因无需冷却系统使其结构紧凑重量轻。美国已在 1986 年用碳化硅和氮化硅等，制成 100 马力以上的全陶瓷燃气涡轮发动机，共用 55 个陶瓷部件。其中关键部件径流式涡轮转子系由氮化硅制造，它承受的入口温度高达 1376°C ，发动机能在 4 秒钟内由静止状态加速到 27m/s ，转速达每分钟数万转，在骤然停车冷却时其温度循环变化性能稳定。今后，发展趋向是用添加纤维或粒子材料的方法，来进一步提高陶瓷的韧性，以利于此种发动机在汽车、坦克和飞机上推广使用。

特种陶瓷在日本最大量地用于制造集成电路衬底及封装等器件，从而促使日本电子技术跃居世界的前列。现今，特种陶瓷还广泛用来制造切削工具、传感器、电容和压电器件、无润滑的干轴承、人造骨、牙齿以及核反应堆部分高温器件等。最近美国正在研制一种隐形飞机，即用陶瓷材料铁氧体涂覆飞机表面，利用它吸收电波的特性使防空雷达失效，成为具有战略意义的新武器。

§ 2-3 复合材料

复合材料是将两种以上不同的材料组合而成的新材料，它同金属材料相比具有重量轻、强度高、韧性好、热膨胀系数小、耐热、耐蚀、耐疲劳等一系列优异特性。世界各国都非常重视这种材料的发展，现已广泛用于航天、航空、航海、陆上交通、核能、建筑、医疗和体育等领域。科学家们预言：下一世纪将是复合材料跃居首位的时代，金属的应用