

材料加工技术在低碳经济中的应用及发展

王鑫 余心宏 叶奇

(西北工业大学材料学院,西安 710072)

文 摘 介绍了低碳经济形势下的薄坯铸轧、精密成形加工、闪光焊、无模成形、内高压成形以及其他先进成形加工技术,并展望了先进材料加工技术的发展趋势。

关键词 低碳经济,薄坯铸轧,精密成形加工,闪光焊,无模成形,内高压成形

Application and Development of Materials Processing Technology in Low-Carbon Economy

Wang Xin Yu Xinhong Ye Qi

(School of Materials Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

Abstract Thin slab casting-rolling, precision processing, flash welding, no mold forming, hydroforming and other advanced processing technologies in low-carbon economy are introduced, and the developing prospects of advanced materials processing technology are analyzed.

Key words Low-carbon economy, Thin slab casting-rolling, Precision processing, Spash welding, No mold forming, Hydroforming

0 引言

在低碳经济形势下,通过技术创新、制度创新、新能源开发等多种手段,尽可能地减少高碳能源消耗,减少温室气体排放^[1],从而促进经济社会可持续发展。

谈到减排,不少人首先想到的是可再生资源和清洁能源供应,实际上,减排最大的潜力在于开发新型材料和先进的材料加工技术,新型材料包括碳纤维复合材料,节能建筑材料,纳米材料、新能源材料等。

材料加工技术是航空航天、汽车、电力、石化及机械等产业的基础制造技术,新一代材料加工技术是先进制造技术的重要内容^[2]。当今时代,高速发展的工业技术要求加工制造的产品精密化、轻量化、集成化;国际竞争更加激烈的市场要求产品性能高、成本低、周期短;日益恶化的环境要求材料加工中能耗低、污染少。为了生产高精度、高质量、高效率的产品,材

料正由单一的传统型向复合型、多功能型及低碳型方向发展;材料成形加工制造技术逐渐综合化、多样化、柔性化、多学科化。本文主要分析研究了材料加工技术的发展状况和趋势。

1 新一代材料成形加工技术

1.1 薄坯铸轧技术

连铸连轧巧妙地把铸造和轧制结合起来,是轧钢生产中的一项重大技术革新,突出的优点是节能和生产连续化。据统计,熔化每吨钢需要消耗约 2 ~ 3 MW·h 的电能,钢锭与钢坯的加热能量相当于每吨消耗电能 400 ~ 700 kW·h,轧制每吨耗电约 120 ~ 140 kW·h。采用连铸连轧技术,不仅取消了钢锭和钢坯加热,还由于取消了大直径的初轧机而使轧制力大幅下降,变形更加均匀。

由于结晶的技术限制,以前所能获得的连续铸造钢坯厚度一般在 250 mm 左右,需要通过大量的后续

收稿日期:2010-12-28;修回日期:2011-01-25

基金项目:国家自然科学基金资助(51075333)、西安市科协资助课题(xkx05)

作者简介:王鑫,1987年出生,硕士,主要从事先塑性加工工艺及数值模拟方面的研究。E-mail: wangxin870120@sina.com

热轧和冷轧才能获得约 1 mm 厚的薄板。近几年,将先连铸后连轧的技术改进为铸轧薄坯再进行轧制的方式^[3],即先通过边凝固边轧制得到约 1~3 mm 厚的铸轧坯,接着再通过后续轧制成材,这样大大减少了总变形量,后续轧制生产线也可以得到大幅的简化。图 1 为薄坯连铸连轧的生产线,目前世界上的主流生产线有德国西马克公司 CSP,意大利达涅利公司 FTSC,奥钢联公司 CONROLL 等^[4]。

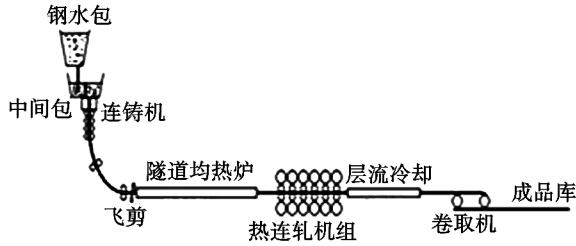


图 1 薄坯连铸连轧生产线

Fig. 1 Production line of thin slab continuous casting-continuous rolling

1.2 精密成形加工技术

精密成形加工技术使机械产品毛坯成形实现由粗放到精化的转变,使外部质量做到无余量或接近无余量,内部质量做到无缺陷或接近无缺陷,实现了零件的近净成形或净成形,达到了优质、高效、低能耗、低成本、污染少的加工目的。

1.2.1 精密锻造技术

精锻技术制造的工件毛坯接近零件的最终形状,只需少量加工或不再加工即符合零件要求,后续切削量小,减少了材料和能源的消耗,并且对环境污染小,是一种清洁的生产加工技术^[5]。

随着精锻工件的日趋复杂及精度要求的提高,单纯的冷、温、热锻工艺已不能满足要求,需要开发复合成形工艺。复合精锻工艺将冷、温、热锻工艺进行组合共同完成一个工件的锻造,能发挥其各自的优点,是锻造业实现节能减排增效的一种先进制造技术。德国蒂森克虏伯公司采用的温锻/冷精整成形工艺代表了世界的领先技术,上海铁福传动轴公司用温锻/冷整形工艺大批量生产轿车等速万向节外星轮,江苏太平洋精锻公司采用热(或温)锻/冷整形大批量生产齿轮等精锻件^[6]。另外,也可以将精锻与其他精密成形工艺如精密铸造、精密焊接等工艺进行组合,提高精密成形工艺的应用范围和加工能力。如:采用精密辊锻和模锻复合工艺生产大叶片,锻件单边抛磨余量可控制到 0.3 mm,所需锻造压力只有精锻的 10%~20%,设备投资只有精锻的 5%~10%,且综合机械性能良好^[7]。

1.2.2 快速精密铸造技术

快速成型技术与精密铸造技术相结合,可以扬长

避短,充分体现快速精密铸造技术快速敏捷制造的优势。其工艺过程是利用快速成型技术制得的原型(如 SLA 法的光固化树脂原型)代替熔模铸造中的蜡模,在其上涂挂耐火型壳,高温焙烧使树脂原型燃烧去除,最后造型浇注,是一种发展迅速的高新精密金属铸件制造技术。

由于快速精密铸造技术直接采用快速成型技术制作可熔模型,减少了制造压型和由压型制作可熔模型的过程,大大缩短了生产周期(只需几小时),极大地降低了生产成本,这在新产品的快速试制与修改定型、小批量多品种及具有自由曲面的复杂结构的中小型铸件的生产等方面具有无可比拟的优势^[8]。美国、日本等^[9]利用快速精密铸造技术加工制造汽车模具、飞机用高强超硬铝合金及铝锂合金零部件,取得了巨大的经济效益,如汽车缸体铸件已经做到壁厚在 3~4 mm。

1.3 闪光焊技术

在无缝铁路建设中,采用闪光焊连接钢轨,具有能耗较低、焊接效率高、焊接质量好等优点。其中,脉动闪光焊是 K 系列焊机独特的焊轨工艺,可实现高效焊接,改善焊接变压器的工作条件,减少钢轨焊接消耗量,节约工程成本,在轨道焊接工程中推广应用。2003 年,济南局换轨段将脉动闪光焊技术应用到无缝线路的生产,迄今共焊接 U75V 无缝线路超过 210 km^[10]。为了实现钢轨高效化焊接,其有效途径为:一是设法提高焊机输出功率;二是尽量减少焊接过程中热量的散失。一旦选定焊机,只有设法控制好闪光烧化过程中的动夹钳运动速度、方向,才能达到减少闪光飞逸金属量、缩短焊接时间、减少热辐射和电极散失热量的效果。

现阶段钢轨闪光焊机电源均向节能化、高效化、小型化、智能化、高频化、绿色环保方向发展,随着计算机、嵌入式系统、大功率器件、电磁仿真优化软件、电路仿真软件的普及和发展,采用计算机优化设计、嵌入式处理器控制的全数字化钢轨闪光焊机必将广泛应用于高速铁路建设^[11]。其控制系统较模拟系统稳定可靠,人机界面友好;采用模块化设计并具有自检系统,查找、排除故障容易,部件维修快捷,对生产影响小、低污染、低谐波或无谐波,可有效提高电源利用率,在很大程度上节约能源,有效提高焊接质量,使高速铁路建设得以快速健康发展。

1.4 无模成形技术

无模成形技术是一种板料的柔性加工工艺,基本无需模具或只需简单模具,成本低、周期短,显著提高塑性成形的精度和效率。另外,由于是一种局部成形工艺,模具与板料的接触面积小,变形抗力小,能耗低。

1.4.1 数字化渐进成形

数字化渐进成形是 20 世纪 90 年代日本学者松原茂夫^[12]提出的一种新型的金属板料成形工艺,即采用快速成型制造技术“分层制造”的思想,将复杂的三维模型沿高度方向离散化,分解成一系列二维层,并用工具头在二维层上对板料进行局部的塑性成形,实现了板料柔性快速制造(图 2)。该工艺不需要专用模具,成形极限大、重复性好,可以控制金属流动,能加工出形状复杂的自由曲面,适合于解决小批量多样化、回弹大和难成形问题。

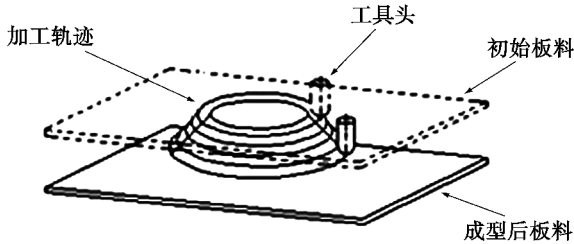


图 2 单点渐进成形原理

Fig. 2 Single-point incremental forming principle

数字化渐进成形易于实现自动化,能够填补传统快速原型制造方法的空白,是一种全新的塑性成形技术。迄今为止,国内外对单点渐进成形的研究尚处于探索阶段,对该工艺的成形和控制方面还有待发展完善^[13]。主要问题有:(1)成形零件的尺寸精度差,其曲率半径受到工具头半径的限制,且划痕严重,表面质量较差;(2)易起皱和拉裂;(3)成形零件的尺寸受到限制。

1.4.2 无模多点成形

多点成形是板料三维曲面数字化成形新技术,由一系列规则排列的基本体点阵代替整体式冲压模具,通过调整基本体单元高度形成所需要的成型面,从而实现板料的无模、快速、柔性化成形^[14],见图 3。

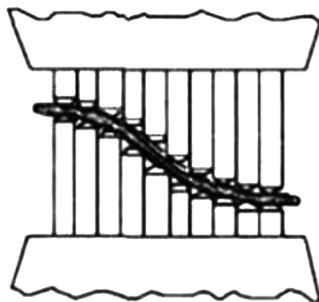


图 3 无模多点成形原理

Fig. 3 Multi-point without mold forming principle

与传统模具成形相比,多点成形具有显著的“柔性”特点,即可控制各基本体单元的高度,可以在成形前也可在成形过程中改变基本体的相对位移状态,不仅可以实现无模成形,还可以改变被成形件的变形

路径及受力状态,从而达到不同的成形结果。此工艺特别适合于多品种小批量生产,体现了敏捷制造的理念。

20 世纪 70 年代,日本造船界开始研究多点成形压力机,并成功应用于船体外板的曲面成形^[15]。此后许多学者为开发多点成形技术进行了大量的探讨与研究,制作了不同的样机,但大多只能进行变形量较小的整体变形。吉林大学李明哲等^[16]对无模多点成形技术进行了较为系统的研究,已自主设计并制造了具有国际领先水平的无模多点成形设备,目前正向推广应用方面发展。

1.5 内高压成形技术

减轻质量以节约能耗、降低排放是目前航空航天领域及汽车工业应对全球能源危机和环保压力的主要措施,而内高压成形技术是实现结构轻量化的理想方法^[17]。

内高压成形技术主要用于管材的成形,通过管材内部施加高压液体和轴向补料把管材压入到模具型腔使其成形为所需形状的工件。内高压成形技术可以用来整体成形轴线为二维或三维曲线的异型截面空心零件^[18],其成形精度高、制造柔性化、节省能源、大大减轻了结构零件的质量。在 20 世纪 90 年代,德国将管材内高压成形技术首先用于汽车结构件生产并大量推广^[19];美国 Vari-Form 公司^[20]用内高压成形技术生产了克莱斯勒 300C 仪表盘支架和底盘零件。哈尔滨工业大学^[21]于 20 世纪 90 年代末开展内高压成形技术的研究,自行研制了最高内压 400 MPa、最大合模力 10 MN 的液压成形机。

近年来,内高压成形技术已经应用于铝合金及镁合金等轻质材料的成形,图 4 是实现双台阶变径管的内高压成形原理图。目前,对减轻质量和降低成本的需求促使内高压成形技术朝着超高内压成形、超高强度钢成形、热态内高压成形方向发展。

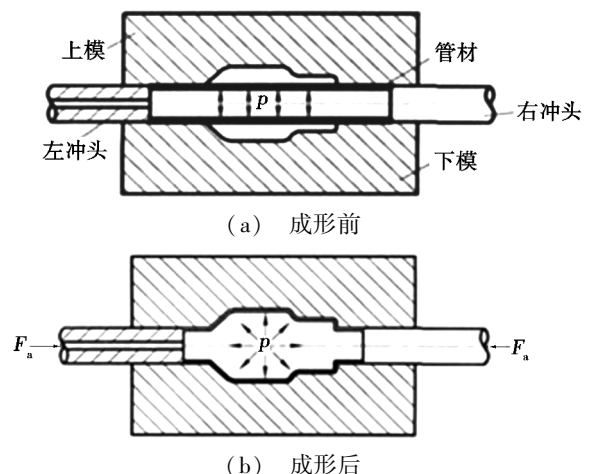


图 4 双台阶变径管的内高压成形原理

Fig. 4 Two-step adjustable tube hydroforming principle

1.6 其他成形加工技术

除了上述几方面外,近几年在以下各成形加工技术方面也开展了很多研究工作:采用超声塑性成形^[22]对变形体或工装模具施加高频振动以减少其摩擦力,降低坯料变形阻力和设备载荷进而提高产品质量和成形极限,已成为新型材料的最有效加工途径;喷射成形技术^[23]作为一种生产工程材料的加工技术,生产铝合金板坯和各种形状的锻造坯料,可以省去以往从液态金属到固体坯料之间的铸造、热轧过程,进一步简化工艺,大大降低了能耗和成本;超高速加工技术^[24]是近年来发展起来的一种集高效、优质和低耗于一身的先进制造工艺技术,既可保证加工质量和提高加工效率,又能降低能源消耗,减少碳的排放,是绿色制造技术未来的发展方向。

2 先进材料加工技术发展趋势的展望

材料加工技术既是材料制备的主要手段,又是装备制造的重要环节,随着新材料的出现及装备性能的提高而面临着诸多挑战与机遇,其发展的方向将更加突出“精、省、净”的需求。

2.1 结构件轻量化成形

实现结构轻量化有两条主要途径^[25]:一是材料途径,采用铝合金、镁合金、钛合金和复合材料等轻质材料;二是结构途径,采用空心变截面、变厚度薄壁壳体等结构,既可以减轻质量节约材料又可以充分利用材料的强度和刚度。应当指出,结构件轻量化成形不仅是为了减轻产品的质量,而且在运行过程中带来显著的节能效果。

2.2 柔性化成形

柔性化是制造业的总趋势,是一种迅速适应产品多变性的制造方式。这不仅是市场竞争的需求,也是成形技术发展的趋势,将会越来越受到重视。

2.3 低载荷、节能化成形

塑性加工往往需要很大的动力,成形过程中浪费很多的能量。因此,如何省力与节能是塑性加工界备受关注的问题。降低变形力的主要途径^[26]:一是降低流动应力,如固-液态成形;二是减少接触面积,如单点成形;三是减少摩擦,如液压成形。

2.4 复合成形技术

以复合工艺为基础的先进成形技术正在从制造毛坯向净成形方向发展,多种工艺技术的复合常可导致制造技术的突破,因而要重视复合成形技术的发展。

2.5 无废弃物成形加工技术

所谓“无废弃物加工”的新一代制造技术是指加工过程中不产生废弃物,或产生的废弃物能被整个制造过程中作为原料而利用,并在下一个流程中不再产生废弃物。由于无废物加工减少了废料、污染和能量消耗,并对环境有利,从而成为今后推广的重要绿色制造技术。

2.6 虚拟制造技术

虚拟制造技术^[27]实现了从产品的设计、造型到

加工过程的动态模拟、成形分析,从而对企业的生产模式和运作方式赋予了全新的概念。虚拟制造技术的成功应用,将改变材料加工工艺设计长期依赖经验的落后状况,使工艺设计由经验判断走向定量分析,从而缩短产品开发周期、降低成本以及保证产品质量。

3 结语

低碳经济是世界经济可持续发展的必由之路,也是现阶段经济社会发展的内在要求。在全球气候变暖、环境恶化与资源面临枯竭的形势下,必须将材料科学技术和低碳经济紧密结合起来,开发新型材料和先进材料加工技术,以促进低碳经济快速稳定的发展。

目前,计算机的发展、非线性问题计算方法的改进,推动了非线性有限元等技术发展,材料加工技术正向虚拟制造和网络制造方向发展,并且将由宏观模拟进一步向微观的组织模拟和质量预测方向发展。在低碳经济形势下,新一代材料加工技术改善了生产条件,减少对环境的污染,成为一种清洁的绿色生产技术,为可持续发展创造有利条件。随着人们环保意识的加强,清洁、高效、无污染的材料加工技术也将越来越受到重视,将会不断地发展而成熟。

参考文献

- [1] Zhang Zhongxiang. China in the transition to a low-carbon economy[J]. Energy Policy, 2010, 38(11): 6638-6653
- [2] 柳百成. 21世纪的材料成形加工技术[J]. 航空制造技术, 2003(6): 17-21
- [3] Kopp R. Innovations in metal forming in the world[C] //The 9th International Conference on Technology of Plasticity, Gyeongju, Korea, 2008: 5-21
- [4] 宋波, 张可建. 薄板坯连铸连轧生产线工艺技术及应[J]. 武钢技术, 2006, 44(2): 50-53
- [5] Shan D B, Xu W C, Lu Y. Study on precision forging technology for a complex-shaped light alloy forging [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 151(1-3): 289-293
- [6] 王忠蕾, 赵国群. 精密锻造技术的研究现状及发展趋势[J]. 精密成形工程, 2009, 1(1): 32-38
- [7] 胡亚民, 付传锋, 赵军华. 精密成形技术 60 年的发展及进步[J]. 金属加工(热加工), 2010(5): 1-5
- [8] Hague R. Structural design and resin drainage characteristics of quick cast 2.0 [J]. Rapid Prototyping Journal, 2001, 7(2): 66-72
- [9] 刘晓秋, 陈敏, 张宇. 制造加工中的金属近净成形技术[J]. 科技信息, 2007(26): 290-291
- [10] 王新年, 戴虹, 吕其兵. 钢轨高效化闪光焊技术[J]. 电焊机, 2005, 35(5): 50-54
- [11] 王志伟, 戴虹, 王志英. 国内外钢轨闪光焊机电源技术现状与发展[J]. 电焊机, 2007, 37(2): 23-27
- [12] Martins P A F, Skjoedt N Bay, Silva M B. Theory of single point incremental forming[J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2008, 57(1): 247-252

(下转第 15 页)