

# 金属表面组合加工技术中的功能创新

勾宏图, 张坤

(河南新机股份有限公司, 新乡 453002; 中国科学院力学研究所, 北京 100080)

**摘要:** 表面技术能够显著提高材料功能而成为工程和产品设计的重要组成部分, 但前提是表面技术必须具有可设计性。为此, 需要开拓和发展表面组合加工技术, 进行创新。该技术的内涵体现了新材料与新技术、基础研究与产业化有机结合的特点, 具有重要的价值和广阔的前景。

**关键词:** 表面技术; 组合加工; 价值工程

## 1 前言

在工程设计和产品设计中, 不少材料的特殊功

能需求往往在于其表面功能。例如需要具有耐磨、耐腐蚀和耐高温、耐疲劳等功能。因此, 材料表面改性实际意义和应用价值重大。

作者简介: 勾宏图, 男, 1968年3月生, 硕士。

“个体”, 定制管理必然应运而生。

## 2.2 企业及其管理的不断创新是其产生与发展的主要条件

如前所述, 新世纪的企业管理究竟怎样发展, 已经广泛引起关注。比之于人、财、物、技术与信息, 管理也是生产力, 而且还有特别作用。现代企业更注意到创新管理的决定意义, 并形成了“不创新就灭亡, 要未创新要未灭亡”的共识。当然, 这首先需要根据市场经济及其消费需求的发展而持续不断地创新概念、创新方向, 直至创新追求。当前, 在一系列新管理及其实践的继续发展中, 消费个性化的态势指引了更新的目标; 不断追求发展与创新的企业, 在完全彻底满足消费个性需求之中, 成熟了定制管理产生与发展的主要条件。

## 3 定制管理任重道远

不能不指出, 定制管理概念的新颖度高, 我国企业在思想、技术、人才等诸方面还未作好准备。我们要有任重道远的战略预期与打算。

### 3.1 要坚定不移地接受定制管理的新概念

建立并接受定制管理的新概念, 这同时具有前提作用和决定作用。我国许多企业对市场经济尚未充分了解, 适应能力也还不强。而此时又要求它们接受定制管理这一新概念会有较大困难。因此, 进一步解放思想和革新理念, 从而坚定不移地接受定制管理新概念, 不仅很重要, 而且必须列入议事日程。

### 3.2 要加紧建设必要的有关定制管理的技术

## 支持基础及系统

定制管理, 从生产经营活动的角度看, 至少要在调查、设计、制造、营销等四大环节上建立起必要的技术基础及系统。要有完备的调查系统, 以能够迅速、全面地调查和掌握顾客需求; 要有精良的设计系统, 以能够基于对顾客需求的准确理解而精确地设计出产品和服务; 要有柔性制造系统, 以能够在同一流水线或生产线上生产制造出多种多样独特产品; 还要有敏捷的网络营销系统, 以能够保证准确、及时地按顾客需要提供定制产品和服务。

### 3.3 要抓紧培育相应的人才队伍

定制管理的革命本质, 在人才这方面的要求格外迫切。迄今为止的事实也一再告诉我们, 因为管理、市场、技术等各种人才的匮乏, 我们在实行市场经济, 在参与国内外市场竞争, 在迎接知识经济、经济全球化等一系列新经济的工作中与过程中, 均感到十分被动、吃力与难堪。今天, 我们又成功进入WTO, 我国企业因此将在一个更宏大的国际背景下展开经营管理活动, 则实现定制管理, 必须在人才工程上采取更有效的行动。

## 参考文献:

- [1] 赵占波: 《定制化营销: 现代企业制胜之道》[J]; 《市场经济导报》2000 (10), 28~29。
- [2] 胡考绪、刘成: 《个性化产品走下流水线》[N]; 《经济日报》2000.10.31, 第1版。
- [3] 邵晓峰、黄培清、季建华: 《21世纪的主流生产模式: 大规模定制》[J]; 《软科学》2000 (4), 43~45。

工程和产品的构件功能失效往往从材料表面开始;而通过改变材料表面的物理、化学性质,可以使材料提高其功能的寿命周期。由此诞生的表面技术,已成为保证制品质量的基础工艺技术,应用于各行各业则创造了显著的社会经济效益。特别是对存在恶劣复杂工况的重大和尖端需求领域,由于表面技术具有协调表面和基体的性能矛盾这一特性而成为必不可少和至知重要。

人类进入 21 世纪,表面技术的应用和发展,将在工程和产品的设计中成为技术创新的亮点之一。表面技术的机遇和挑战是必须具有可设计性,包括可加工性、可靠性、经济性;即要造得出来好用,并且用得起来,才具有功能价值。特别是在满足高温、高速、高压、重载等复杂和恶劣工况方面,提出了更高的要求。而材料新技术和新材料的突破性进展可以为表面技术提供飞跃的契机。其中,金属表面组合加工技术占有重要地位,它包含了技术和材料的双重内涵,即技术组合化和材料复合化,可以对传统材料进行改造和创新,使其获得新的功能价值。

## 2 技术组合

技术组合是近十年的重要进展。根据技术组合目的,可以分为互补性组合和增强型组合。

### 2.1 互补性组合

互补性组合的技术原理是:不同的表面技术可得到不同功能层,技术组合后就可得到多功能的改性层<sup>[1]</sup>。例如,钢表面 TiN 镀膜具有低摩擦系数、高硬度、高滑动磨损抗力的优点;但由于其硬化层薄,不能承受高应力,疲劳抗力不足。表面氮化技术的优缺点正好与 TiN 涂层技术相反。将上述二者组合,则可得到抗磨损和抗疲劳层,效果是:TiN 层提高磨损性 2.5 倍,氮化层提高抗疲劳性 11 倍,组合后提高 55 倍<sup>[1]</sup>。

### 2.2 增强型组合

增强型组合的技术原理是:每一种方法都有其缺点,与另一种方法组合后可以消除其缺点以进一步发挥其优势;此时,表面功能性主要由一种方法来获得,另一种方法常作为其前处理或后处理工序<sup>[1]</sup>。例如,等离子喷涂涂层有广泛应用,但由于

与基体为异质机械结合,需要提高界面结合强度;为此,可采用喷砂对基体表面进行粗化,然后再等离子喷涂<sup>[2]</sup>。又如,电镀 Cr 可显著提高基体材料表面高温硬度,但界面强度有时不能满足要求,可以采用激光微熔进行预处理来增强界面结合。中科院力学所开发的激光微熔/电镀 Cr 技术,成功地提高了材料的抗高温磨损功能,并已应用于生产,提高了产品的价值;类似的例子还有隔热涂层的等离子喷涂/激光重熔技术等。

### 2.3 组合一体化

以上例子主要显示了如何从技术角度将不同的技术组合起来的功能优势。因此,通过深入探讨技术组合的本质,则可以从科学原理角度将不同的技术融合成一体化技术。已成功的例子有 C、N 共渗技术和激光表面改性/改形技术等。前者已为人熟知,是在渗 C 原理、渗 N 原理基础之上发展为一体化技术;后者则体现了改形原理与改性原理结合的特点,以激光加工原理和力学原理为指导,成功地发展成为激光表面改性/改形技术,并已在冶金冷轧辊上得到广泛应用<sup>[3]</sup>。

## 3 材料复合

从广义上讲,任何表面技术获得的表面改性层与基体构成的系统均可视为复合结构。根据材料复合方式,则可以分为表面复合结构和表面复合材料。而从改性机制角度,可以将这种复合分为:异类复合,如高温合金表面等离子喷涂陶瓷涂层、钢表面电弧离子镀陶瓷膜、铝合金表面微等离子氧化陶瓷层等;异种复合,如钢表面热浸镀铝、钢表面电镀 Cr 等;异质复合,如钢表面激光熔覆铸铁、低碳钢表面渗 C 等;异相复合,如钢激光表面相变硬化、金属表面非晶化等;异构复合,如喷丸变形强化、离子注入掺杂等;异晶复合,如铝表面超声喷丸纳米化、铸铁表面激光快淬表面微晶化或晶粒亚组织超细化等。

### 3.1 复合技术的特点

上述多种技术分类与通常的表面技术分类不同,它突出了以下的特点:

(1) 强调了表面功能可设计性。一般可根据功能要求选择改性机制,然后根据基体材质和工件

特点选择表面技术。当一种改性机制不能满足要求时,可采用多种机制,例如钢表面激光熔覆铸铁,就是同时利用了异质复合和异晶复合两种机制<sup>[4]</sup>;而当一种表面技术不能同时具有多种改性机制时,则就要采用组合技术,例如齿轮钢表面渗C/喷丸强化组合技术。

(2) 强调了材料复合的界面特征。材料使用时,基底/界面/改性层是作为一个系统来实现其功能的,改性层决定了表面技术提高性能的潜力,而界面决定了这种潜力的发挥程度。在异类复合中,基底与改性层性能有明显差别。由于二者存在明显的界面,界面热力失配程度大,界面问题必须解决;目前已有一些实用办法如界面毛化、施加过渡层<sup>[2]</sup>等,但它们对强外载还无能为力,对问题的解决还有相当的距离。在其它形式的复合中,界面问题也同样需要给予考虑。界面问题的起因可能是:界面反应层(如热浸镀铝)、界面热影响区(如相变硬化)、界面成分混合导致的变异区(如激光熔覆)、界面非冶金结合导致的低界面强度(电镀与化学镀等)及界面加工应力等。

(3) 给出了新材料快速实用化以及利用新材料提高改性层功能和解决界面问题的途径。目前新材料如复合材料、梯度材料、纳米材料、非晶材料、亚稳材料、金属间化合物等具有传统材料所不具备的特殊结构和功能,它们的发展态势十分强劲。但目前作为块体材料加工和使用仍有相当大的困难,故可以利用表面技术将它们复合到基底材料表面上,来发挥它们的功能作用。例如,当异类复合的界面难以解决时,可以采用梯度复合来消除界面<sup>[5]</sup>;当异种复合的界面化学相容性差时,可采用同质复合材料或不存在不利界面化学反应的异质复合材料作为表面材料<sup>[6]</sup>;当异类复合层存在功能性/结构性的协调矛盾时,可采用纳米化技术<sup>[7]</sup>。

### 3.2 性能综合化

归结起来,改性层的复合特征包括:改性层/基底复合结构;改性层的复合材料特征;改性层的复合结构特征(多层复合和梯度复合)。强调材料的复合和技术的组合,就是要利用新材料、新技术、传统材料、传统技术的交叉和融合,以满足表面性能综合化来实现其功能要求。从价值工程的角度看,实际上是通过功能分析、方案创新,有效地利用技术资源来满足功能价值更高的社会需求,这

正是价值工程技术应用的具体体现。

## 4 结束语

我国表面技术的工程界面临的两个现实问题是:基础研究深度不够,原创技术少;应用上缺乏重大突破,在重大需求领域还未体现出应有的显示度<sup>[8]</sup>。这两个问题实际上是相互关联的。单纯的工艺研究往往采用针对配菜式的经验性设计,这对于单一强化指标容易奏效。但重大需求领域的工况往恶劣且复杂,缺乏机理性研究难以达到提高表面综合性能的目标。以上两个问题都会限制表面技术及其工程应用的发展,相应的战略措施应是基础研究与重大应用突破同时推进。基础研究工作应从表面技术的若干共性关键科学问题入手,在技术组合化、材料复合化、性能综合化的思想指导下进行创新,以找到解决问题的技术途径和实施方案。在这一研究领域中,价值工程的原理和方法具有重要的指导意义和作用。

### 参考文献:

- [1] Bell T, Doug H, Sun Y. Realising the potential of duplex surface engineering. *Tribology International*, 1998, 31(1/3): 127.
- [2] Wolfe d, Singh R. Functionally gradient ceramic/metallic coating for gas turbine components by high-energy beams for high-temperature applications. *Journal of Materials Science*, 1998, 33(14): 3677.
- [3] Shen H, Chen G N, Li G C. The plastic instability behavior of laser-textured steel sheet. *Mater Sci Eng*, 1996, A219(1-2): 156.
- [4] 赵海云:《铁基激光熔覆合金设计及微观组织与性能研究》(中国科学院力学研究所博士论文);中国科学院力学研究所,2000。
- [5] 向兴华、全成军、朱景川、尹钟大:《钛合金表面等离子喷涂梯度涂层的抗热震行为》;《宇航学报》1998, 19(2), 62。
- [6] Xiaolei Wu, Guangnan Chen. Microstructure and Wear Resistance of in situ TiCp composite coating by laser cladding. *Journal of Materials Science and Technology*, 1999, 15(3): 233.
- [7] Danny Xiao T, Thermal Spray of Nanostructured Alumina/Titania coating with improved Mechanical Properties. *Materials Protection*, 32(2): 142.
- [8] 徐滨士、绍华等:《表面工程的理论与技术》国防工业出版社,1999。