

表面工程的发展及思考

涂铭旌¹, 欧忠文²

(1. 重庆文理学院, 重庆 402160; 2. 中国人民解放军后勤工程学院, 重庆 401311)

摘 要: 在总结表面工程特点、价值、功能和发展前景的基础上,着重从适应科学技术发展需求;支撑再制造产业发展;融合多学科成果;以及发展“设计化、智能化、自动化、绿色化、多动能化”等角度论述了表面工程的发展趋势。从分析我国表面工程发展现状入手,提出了通过加强行业宣传,完善系统理论,增强表面工程技术服务能力,增强行业凝聚力、影响力和自我约束能力,加紧编制行业相关标准、规范/规程,以及做好表面工程技术职业技术人才的培养等促推我国表面工程发展的 6 条措施。

关键词: 表面工程; 表面工程理论; 表面工程技术; 表面工程设计; 纳米表面工程

中图分类号: TG174.4

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2012)05-0001-05

Development and Consideration of Surface Engineering

TU Ming-jing¹, OU Zhong-wen²

(1. Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402160; 2. Logistics Engineering University of PLA, Chongqing 401311)

Abstract: On the basis of summing up the features, value, functions and developing prospect, the developing trends are discussed from the respects of appropriating to requirements of development of science and technology; supporting the development of remanufacturing industry; integrating multidisciplinary results; and developing the surface treatment according to design standards, intelligence, automation, green revolution, and multifunction. This paper proposes six measures including strengthening industry propaganda; improving system theory, increasing service capacity of surface engineering technology; heightening cohesion, impact and self-regulation of industry; stepping up working out the technical standards, specifications, and procedures; and training professional technicians in surface engineering, which will promote the development of surface engineering.

Key words: surface engineering; surface engineering theory; surface engineering technology; surface engineering design; nano-surface engineering

0 引 言

表面工程是多学科交叉、综合,多技术融合、集成的新兴学科^[1],表面工程的最大优势是能够以低成本、低能耗制备出优于本体材料性能、多于本体材料功能,更加适宜于服役环境要求的新表面。表面工程通过原子沉积、分子组装、颗粒喷涂、整体覆盖和表面改性提升了材料性能、增加了材料功能、提高了材料价值,拓展了材料应

用领域,符合可持续发展、低碳经济、循环经济、建设节约型社会等多种社会发展先进理念,因此,这昭示着表面工程具有强大生命力、巨大发展潜力、极富发展活力和强劲发展动力。

先进表面工程技术作为现代工业发展的关键技术之一,已成为先进制造技术的前沿技术和赶超国际先进水平的重要前沿阵地^[1-3]。不仅可为先进制造业发展提供技术支撑,而且也可传

收稿日期: 2012-06-05; 修回日期: 2012-06-12

作者简介: 涂铭旌(1928—),男(汉),四川巴县人,中国工程院院士;研究方向:金属材料、纳米材料、稀土材料

网络出版日期: 2012-09-26 10:30; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20120926.1030.001.html>

引文格式: 涂铭旌,欧忠文. 表面工程的发展及思考 [J]. 中国表面工程, 2012, 25(5): 1-5.

统工业改造及升级换代提供技术支持。社会可持续发展对表面工程的需求,呼唤我们对表面工程的发展进行深层次的战略思考。

1 表面工程的功能

装饰性:表面工程技术的传统作用之一是赋予表面更好的装饰性。不过对于金属的纯装饰性表面处理不多,很多是在兼顾表面防护性能的前提下赋予材料的装饰性,如在钢制工件上底镀 Cu、中镀 Ni、表镀 Cr, Cu 层和 Ni 层起防护作用,而表镀的 Cr 层可长久保持装饰性金属光泽。

防护性:据不完全统计,全世界每年因表面磨损、表面腐蚀、表面摩擦、表面缺陷造成对金属、非金属损失约 3.0 万~3.5 万亿美元,约占全世界 GDP 的 10%~12%。表面工程技术的主要作用是:经表面改性、表面处理、表面涂覆或表面复合处理,解决材料表面磨损、表面腐蚀、表面摩擦、表面缺陷造成的破坏,从而延长材料的有效服役时间。这既是表面工程存在的价值体现,也是表面工程发展的根本动力。

修复性:工件因腐蚀、磨损或其他原因造成工件表面基体材料或表面处理层失效后,可通过单一或复合表面工程技术的应用,恢复其表面应有的尺寸精度,兼或重新赋予与新品相当,甚至超过新品的表面性能及功能,实现工件、总成或产品的再制造。

功能性:表面工程技术除了具有以上主要作用外,还可赋予材料表面耐高温或耐低温、导电或绝缘、导磁或磁屏蔽、增光或反光、润湿或憎水、生物相容性或生物排他性等新的功能,发挥新的作用。

表面工程技术除上述功能以外,还有其他功能,如利用表面工程技术中的电沉积技术、磁控溅射技术可以用来制备纳米粒子、纳米膜,利用热喷涂技术制备纳米结构材料等^[4]。

2 表面工程发展趋势

2.1 顺应“大”趋势,追求大发展

爱因斯坦曾预言:“未来科学的发展无非是继续向宏观世界和微观世界进军”。正如爱因斯坦所言,当今科技的确呈现出两大特点:一是大,二是小(介观和微观)。表面工程的发展就是要顺应当今“大科技、大工程、大市场、大竞争、大联合、大发展”的特点,利用大科技的系统方法,集

成其他学科、其他技术门类的新思想、新理论、新学说、新技术、新工艺、新装备,为用表面工程解决大科学、大工程及复杂、苛刻、极端环境中的复杂科学问题和核心共性关键技术提供理论支持与技术支持。如,如何顺应航天科技的发展,创建适合太空高真空、微重力、强辐射、超低温环境的表面工程理论,开发与之相适应的满足太空苛刻服役环境的表面工程覆层,是表面工程发展面临的一项任务。

2.2 进军“小”天地,展示大作为

随着纳米科技的发展,微型装备、微型武器、纳米器件、纳米计算机、纳米物理药物等不断涌现,开启了表面工程发展的崭新领域,这对其发展既是前所未有的机遇,又是前所未有的挑战。徐滨士院士和欧忠文教授提出并发展的纳米表面工程为此奠定了坚实基础^[5],也必将在巨大的需求牵引下,在用纳米科技、纳米材料改造传统表面工程、组装纳米结构涂层,解决介观及微观尺度表面工程理论与技术问题,以及应用物理、化学方法解决纳米材料的团聚、修饰、活化等表面工程问题方面发挥更大的作用。

2.3 支撑再制造,迎接大繁荣

传统表面处理主要服务于机械加工行业,是机械工程行业的四大工艺之一。对废旧机械产品再制造在国外已有 50 多年的历史,但以更换新件和尺寸修理法为主。徐滨士院士把表面工程引用到机械产品再制造中,大大提高了旧件利用率,展现出了表面工程对节能、节材、保护环境的巨大贡献。也使表面工程发生了一个新的转变,即从服务机械加工行业的主要技术转变为支撑再制造产业发展的主导技术和关键核心技术^[6]。尽管再制造在我国刚刚起步,但不难判断在可以预见的将来,再制造产业必将迎来快速发展,作为支撑再制造产业发展关键核心技术的表面工程技术,也必将迎来前所未有的大发展、大繁荣,表面工程技术的应用将会成倍增长,表面工程技术的研究开发必将得到前所未有的重视。

2.4 融合多学科,催生新技术

传统的表面工程和化学、材料学、物理学、摩擦学、机械工程、热处理工程等学科进行了较多的交叉融合,为表面工程的发展奠定了理论、技术和工程应用基础,其应用领域主要局限在机械加工行业金属材料的表面处理。但随着表面工程的发展,其应用领域从机械加工扩展到电子信

息,从装备制造扩大到土木工程,从金属材料扩展到非金属材料,从非生命界扩展到生物医药工程,从宏观扩展到介观和微观。从当代科技架构分析,表面工程的研究和应用已从第三层次——传统科学技术渗透到包括航天、航空、新能源、新材料、环保、物质循环的第二层次——高新技术和包括信息技术(IT)、生物技术(BT)、纳米科技(NT)的第一层次——三大前沿领域^[4]。

在科学技术突飞猛进的今天,表面工程技术要满足不同服役环境、不同材料、不同使用条件等上万种表面处理需求,除了与上述学科进行深度融合交叉外,还应该加强表面工程与微电子学、仿生学、信息学、生物工程学、环境工程学、纳米科技等学科的交叉融合,发展表面工程新理论、开发表面工程新技术。

2.5 向“五化”迈进,向高峰攀登

发展“设计化、智能化、自动化、多功能化和绿色化”是先进表面工程技术发展的永恒主题,在理论研究、工艺设计、技术研发、设备研制,以及在表面工程需求论证、规划制定时均应考虑“五化”。

设计化是满足材料表面处理需求和实现表面工程技术产业化的基本要求与根本要求,按需求设计、按设计施工既有技术问题、工艺问题、还有设备问题。设计化的主要内容包括:根据基体材料目标表面失效形式、所应具有的功能和服役环境特点,设计表面处理的前处理方法、功能、材料、结构、处理技术、工艺、检测方法、寿命及成本等。要实现表面处理设计化除了必须要有坚实的表面工程基础理论支撑外,还必须要有完善的标准、规范的依据约束,大量基础数据库、仿真系统的建立与应用,以及有效的检测、评价手段保障,只有这样才能彻底摆脱目前表面处理靠经验进行的局面。CAD、CAE、计算机仿真技术、虚拟技术的存在及发展为表面处理设计化奠定了坚实基础。这些技术的应用可大大加快表面处理设计的速度,并相应减少设计风险。表面处理虚拟技术包括表面设计中的拟实技术和表面处理过程的虚拟技术两部分,前者以表面处理层的结构和性能为分析对象,通过运动仿真和干涉检验、动力学分析、人体工程学分析、强度和刚度有限元计算等手段,达到优化表面处理层性能和降低处理成本的目的。后者以表面处理过程的模拟和检验为分析对象,以优化表面处理工艺、保证表面处理质量、生产周期和最低成本为目标,

进行表面处理过程计划、组织管理、车间调度、供应及物流设计的建模和仿真等。虚拟技术的核心是计算机仿真,通过仿真软件来模拟真实系统,以确保表面处理设计和处理工艺的合理性,保证表面处理的成功和生产周期,找出设计和生产中不可避免的缺陷和错误。

智能化是表面工程发展的高端目标^[3],其目的是研究开发具有自诊断、自修复、自适应功能的智能化表面涂覆层材料,从而最终实现材料表面的智能化。美国橡树岭国家实验室(ORNL)制造了一种以 Al_2O_3 为基层的纳米复合结构表面,该表面是能自动识别激光并做出反应的纳米复合智能表面。若是激光照射到该智能表面时,表面会在瞬间变为镜面反射激光,保护表面。美国弹道导弹防御局正在为导弹预警卫星和天基防御系统空间平台研制含有多种传感器的智能蒙皮;美空军莱特实验室正在把天线与蒙皮结构融合在一起做成智能蒙皮天线;美海军则重点研究舰艇用智能蒙皮,以提高舰艇的隐身性能。意大利比萨大学的科研人员为了使机器人与真人更接近,让它的皮肤具有感觉功能,研制成功一种具有感知温度、热流变化以及各种应力大小,并且有良好的空间分辨力和表面状况分辨能力(如表面粗糙度、摩擦力等)性能的人造皮肤智能材料。

自动化是提高表面处理效益、保证处理质量和大规模连续生产的重要手段,如装备再制造技术国防科技重点实验室研究开发的成套自动化纳米复合电刷镀技术,不但使镀层硬度提高 1.6 倍、抗接触疲劳性能提高 70%、耐磨性提高 4 倍、镀液消耗降低 90%,而且施镀效率提高约 10 倍。表面处理自动化包括设计自动化、处理自动化、过程检测自动化、质量评定自动化及处理装备的自动化等。在现代工业体系中,汽车行业和微电子行业表面处理的自动化程度相对较高。

绿色化已成为 21 世纪表面处理行业的主题,是人类社会可持续发展战略在表面处理行业的具体体现。在资源供应日益紧张、资源成本不断提高,环保意识逐渐深入人心、环保法规越来越苛刻的严峻现实面前,如何最有效地利用资源和最低限度地产生环境污染,是摆在表面处理企业面前的一个重大课题。绿色化不仅会影响企业发展,还会影响企业的生存。就国与国之间而言,资源利用率和环保限制性或禁止性法规会成为贸易壁垒。目前,表面处理行业推行的清洁生产就是贯彻表面处理绿色化的集中体现,而表面

处理废水处理中的微排放技术、零排放技术、封闭循环技术、槽液再线净化技术等就是表面处理绿色化的具体体现。

多功能化是表面工程发展的一个主要特点,往往单一功能的表面其性能、适应性和寿命等都难以满足实际需求,多功能化和功能之间的平衡设计如许多金属摩擦副表面的涂覆层,既要求有低的摩擦因数,好的耐磨性、耐腐蚀性和优异的抗挤压、抗冲击性能;一个好的耐磨镀层,除了具有高硬度外,还应具有好的韧性。一般说来抗磨和减摩,高硬和增韧,防腐和抗冲击、抗划擦,耐高温和隔热保温等性能是联系在一起的。

3 关于促进表面工程发展的几点思考

3.1 做好行业宣传工作,提高社会对表面工程的重视程度和作用定位

社会上对表面行业存有偏见,在许多人眼里,表面工程行业就是做电镀的,而把电镀又看成环境差、效益差、没有技术含量、作坊式和高污染工业的代名词,所以很多地区对从事表面工程行业的企业都采取限批、排挤手段,限制了表面工程的发展。这些现象的存在,一方面由于准入条件苛刻,有的倒卖资质,有的采用非法生产、无证生产,在社会上造成不良影响,污损了表面工程的声誉;另一方面,造成愿意从事表面工程行业的人少,愿意从事表面工程行业的专业人才更少。以上情况容易造成表面工程行业发展的恶性循环,对行业发展极为不利。

为改变上述现状,要通过从业人员、专业人士、行业组织等利用网络、报刊、会议等媒介正面宣传表面工程行业的发展现状、作用、价值和未来发展前景,提高社会对表面工程的重视程度和作用定位^[7],促进表面工程学科、技术和产业的良性发展。

3.2 重视和完善系统理论,打牢技术发展根基

应该看到,表面工程是一门应用性很强的学科,和其他应用性很强的学科一样,这类学科往往技术先行,理论研究滞后,重技术轻理论。再加上,表面工程成为一门独立学科时间不过 20 余年时间,本身处于不断发展和快速发展阶段,所以表面工程至今没有形成一套完整而系统的理论,表面工程现存理论大部分是从表面化学、电化学、摩擦学、金属腐蚀与防腐、金属热处理等交叉学科直接引用而来,纳米表面工程理论、纳

米摩擦学理论、喷涂成型理论、表面改性理论、表面高能熔覆理论、表面超微细加工理论等都有待建立或完善,贯穿于表面工程各领域的基本科学技术问题更需要归纳和探讨。表面工程技术设计是表面工程理论的另一重要组成部分,目前,表面工程技术设计仍基本停留在经验设计阶段,尽管有些企业有针对性地开发了一些表面工程技术设计软件,但局限性较大、水平也不尽如人意。计算机技术、仿真技术和虚拟技术等的发展为表面工程技术设计创造了良好条件,只要广泛搜集表面材料成分、加工工艺、加工装备、表面性能、服役条件、服役寿命等之间的关系,并完善理论、评估方法以及相关经验公式,建立与之相应的逻辑关系或数学表达关系,并最终形成大型的表面工程数据库,为表面工程技术设计水平的提高奠定坚实基础。不过以上工作单靠个人或少数几家企业是难以完成的,必须汇集行业力量,通过充分的信息、数据交换和资源、成果的共享,才能最终完成这一庞大的系统工程,并随着时间的推移,及时修补、更新、完善。

另外,需特别强调的是表面工程技术设计要改变观念,不能仅仅考虑基体材料、服役条件、服役环境等要素,应该在材料设计、加工阶段就要系统考虑表面工程技术设计、表面处理的要求,即应该树立表面处理全寿命周期设计的观点,这样材料才能达到表面加工处理的理想效果。如在考虑镁合金的防腐处理时,就应该考虑镁合金合金含量高低、杂质种类及含量、加工方法等对镁合金耐腐蚀性能、耐腐蚀表面处理的影响。

为加快表面工程系统理论研究步伐,平台建设和机制建构十分重要,从长远谋划,可考虑组建“中国表面工程学会”,当前比较现实的办法是建立联盟,统合全国表面工程学术资源,搭建全国性表面工程学术、技术交流平台,建立常态化的国际学术交流机制。

加快表面工程系统理论构建的另一途径是,分阶段汇集、梳理表面工程理论,以表面工程学术论著《表面工程学》编辑出版发行。

3.3 珍视新一轮高新技术发展机遇,增强表面工程技术服务能力

由于表面工程符合世界知识经济、循环经济、低碳经济发展潮流,与国家发展战略吻合,再加之信息技术、生物技术、纳米科技的兴起,新能源、新材料、节能环保技术、电动汽车、高端装备

制造等战略性新兴产业蓬勃发展,再制造产业从无到有,不断壮大,为表面工程的发展带来了前所未有的大好机遇,为了更好地抓住发展机遇、增强行业发展后劲和技术服务能力,当前需做好以下几项工作:①整合力量,组织表面工程技术联盟和各种表面处理产业集群;②做好表面工程技术开发及产业发展的顶层设计;③有目标地组织重大表面工程的政产学研协同创新;④通过国家重大专项、863 计划项目、973 计划项目、国家科技支撑计划项目等,有计划、有步骤地组织表面工程理论与技术的重大科技攻关,突破影响产业发展的重大关键共性技术和共性核心技术。

3.4 增强行业凝聚力、影响力和自我约束能力,改变社会对表面处理行业的一些偏见

传统的表面处理企业或厂点,尽管数量大、分布广,但普遍由于规模较小、环保要求日趋严格,或因搬迁或面临搬迁等因素,造成其运行成本较高、效益偏差。这些问题的存在导致行业凝聚力不大、影响力弱。对于表面处理企业而言,一是要正确面对存在的问题;二是要加强企业运行管理,向管理要效益;三是要从创新技术、提高质量等方面提高企业的竞争能力和效益。就行业而言,从夯实发展基础出发,当前需做好以下 4 项工作:①立足于改造和提升传统表面处理产业;②立足于表面工程技术的自主创新;③立足于科技成果的产品化、商品化、产业化和规模效益化;④立足于表面工程绿色环保及清洁生产。

3.5 加紧编制行业相关规程、标准、规范

标准是影响行业发展的基础性、战略性、全局性、长期性工作,是规范行业持续健康发展的“法律”,是表面工程技术的重要支撑,是走向国际市场的“通行证”,是市场竞争的制高点,是表面处理信息集成、功能集成、过程集成和企业集成的基础与关键。目前,许多表面处理从技术设计、材料保障、工艺实施到产品检验等靠经验进行,随意性大,质量波动大,缺乏技术、质量方面的外部约束,严重影响了行业可持续发展。因此,我国应根据表面工程技术、工艺成熟程度,实时、动态的制定或修订相关规程、标准和规范。

3.6 做好表面工程技术职业技术人才的培养,确保行业持续发展能力

人才是行业发展的第一资源。由于种种原因,表面处理行业技术工人、技术人才缺乏,在岗人员普遍存在人员素质偏低,专业知识、专业技

能缺乏,且流动性大,这严重影响了表面处理企业的生存和行业的发展,可以说表面工程技术人才的培养已迫在眉睫。为此,可通过以下途径尽快改变这种现状。

(1) 根据企业分布情况,依托高校、职业技术学校、行业学会或产业技术联盟等机构,建立区域级表面工程专业技术人才培训机构,开展职业资格培训、脱产培训、短期轮训、专题培训;

(2) 面向全国、面向行业,筹建表面工程职业技术学院,培养初级、中级专业技术人才;

(3) 根据需要,建立区域级、国家级职业技术人才鉴定、评定机构,鼓励、促进人才的成长,形成人才培养、培训、鉴定的完整链条。

4 结 语

表面工程的提出尽管不到 30 年的时间,由于表面工程契合了社会可持续发展的需求,可以肯定的是表面工程及其技术的发展潜力很大,发展速度也将会大大加快,为了促进表面工程的持续健康发展,越是在这个时候,我们越是要正视其发展存在的问题,从理论研究、技术开发及产业化应用等多个环节做好顶层设计,找准解决现实问题的应对措施、发展方向、发展目标,促进表面工程又好又快的发展。

参考文献

- [1] 师昌绪,徐滨士,张平,等. 21 世纪表面工程的发展趋势 [J]. 中国表面工程, 2001, 14(1): 6-11.
- [2] 徐滨士,谭俊,陈建敏. 表面工程领域科学技术发展 [J]. 中国表面工程, 2011, 24(2): 5-16.
- [3] Ou Zhong wen, Mo Jin chuan, Zhao Xu xin, et al. Advance surface and advance surface treatment technology [C]. Proceedings of 2011 China Functional Materials Technology and Industry Forum (CFMTIF), Chongqing: 2011, 1070-72.
- [4] 闻立时,黄荣芳. 先进表面工程技术发展前沿 [J]. 真空, 2004, 41(5): 1-6.
- [5] 徐滨士,欧忠文,马世宁,等. 纳米表面工程 [J]. 中国机械工程, 2000, 11(6): 116-121.
- [6] 徐滨士. 再制造工程基础及其应用 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2005.
- [7] 王铀,张成连,陈正基,等. 用先进表面工程服务新材料产业发展 [J]. 黑龙江冶金, 2010, 30(1): 5-9.

作者地址: 重庆市沙坪坝区大学城
后勤工程学院 化学与材料工程系
Tel: (023) 8673 1225 (欧忠文)
E-mail: ouzhongwen@sina.com

401311