

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.07.011

磁控溅射镀膜技术在高分子轻量化材料中的应用

唐飞熊¹, 但敏², 刘镜波¹, 王天石¹, 金凡亚²

(1. 中国电子科技集团第二十九研究所, 成都 610036; 2. 核工业西南物理研究院, 成都 610041)

摘要: 针对聚苯硫醚 (PPS)、聚醚醚酮 (PEEK) 高分子轻量化材料在电子产品应用中面临的表面金属化需求, 研究了金属膜层对电磁屏蔽性能的影响特点, 结合磁控溅射镀膜特点以及工艺可靠性, 表面金属化镀层选择了底层厚度为 1 μm 的 Cu、表层厚度为 0.3 μm 的 Ni 的双镀层结构, 并对 PPS, PEEK 样件表面进行了金属化镀覆处理。结果表明, 样件表面的 Cu/Ni 双镀层结构电磁屏蔽性能与铝合金相当, 镀层结合力达到 ISO 等级 1 级, 环境适应性满足 GJB 150A-2009 规定的相关要求, 达到了 PPS, PEEK 材料在有电磁屏蔽要求的电子产品中部分替代铝合金的目的。为 PPS, PEEK 等高分子轻量化材料在应用中面临的表面金属化问题提供了一种新的解决思路。

关键词: 轻量化; 电磁屏蔽; 表面金属化; 高分子材料; 磁控溅射

中图分类号: TQ323.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)07-0057-05

Application of Megnetron Sputtering Technology on Lightweight Polymers

Tang Feixiong¹, Dan Min², Liu Jingbo¹, Wang Tianshi¹, Jin Fanya²

(1. The 29th Research Institute of CETC, Chengdu 610036, China; 2. Southwestern Institute of Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract: For solving the needs of surface metallization in electronic products when using lightweight polymers such as poly(phenylene sulfide) (PPS) and polyetheretherketone (PEEK), the relationship of metal film and electromagnetic shielding effectiveness is analyzed, and while considering the characteristics of the megnetron sputtering and its reliability of process, double metal-plating, basement-plating Cu 1 μm and surface-plating Ni 0.3 μm , is applied, then metalizing on the PPS, PEEK sample is accomplished. Results show that Cu/Ni double metal-plating's electromagnetic shielding effectiveness equals aluminum alloy's, and coating adhesion achieves ISO grade 1 and above, environmental suitability meets GJB 150A-2009. Aluminum alloy is replaced by PPS, PEEK in electronic product when needs of electromagnetic shielding in some occasions. Then a new solution on the metalization on the applying of the lightweight polymers, such as PPS, PEEK, is given.

Keywords: lightweight; electromagnetic shielding; surface metallization; polymer; megnetron sputtering

传统电子装备产品结构件采用的材料主要为铝合金、铁、钢等金属材料, 这些传统材料存在着密度大的问题, 已不能适应新一代产品装备对轻量化的需求。由于聚苯硫醚 (PPS)、聚醚醚酮 (PEEK) 等高分子轻量化材料具有密度低、力学性能好、阻燃以及高温性能好等众多优点, 成为对铝合金等传统金属材料的替代材料之一。

在电子产品应用过程中, 为避免各电子元器件以及产品相互之间发生电磁干扰, 需要对各零部件进行电磁屏蔽防护处理。PPS, PEEK 等高分子轻量化材料本身导电性能差、无电磁波屏蔽能力或者达不到理想的屏蔽效果, 因此需对 PPS, PEEK 等材料结构件产品表面进行金属化处理, 使其具备电磁屏蔽能力。

国内外展开了许多高分子材料表面金属化镀膜研究^[1-2], 主要有干法镀膜、湿法镀膜和金属涂料

涂装 (包括热喷涂) 等。湿法镀膜即传统的电镀以及化学镀, 需要建设专门的生产线, 成本非常高, 并且污染环境, 工艺灵活性较差。热喷涂等涂料涂装工艺镀层厚度均匀性控制较困难, 表面质量较差, 不适合对表面精度要求高的结构。

干法镀膜工艺灵活多样, 环境相对友好, 主要有真空蒸发镀膜、化学气相沉积镀膜、蒸发性离子镀膜、磁控溅射离子镀膜及等离子化学气相沉积镀膜等^[3]。溅射镀膜是让能量足够高的粒子轰击固体靶材表面, 使靶材中的原子发射出来沉积到基片上成膜。磁控溅射镀膜是以磁场改变电子运动方向, 束缚和延长电子的运动轨迹, 提高电子对工作气体的电离率和有效利用电子的能量, 使正离子对靶材轰

联系人: 唐飞熊, 工程师, 主要从事电子装备制造工艺以及新材料、新工艺应用研究工作

收稿日期: 2016-04-25

击引起的靶材溅射更有效,是一种常见的干法镀膜。

磁控溅射镀膜具有以下显著特征^[4]:

(1) 成膜厚度工艺参数精准可控。通过调整炉内气压、溅射功率、衬底温度、磁场以及电场参数等,可方便地对镀层沉积速度和厚度进行精准控制,误差小,一致性好;

(2) 膜层灵活多样,基材适应性广。磁控溅射镀膜可生成纯金属或配比精准、恒定的合金镀膜,能满足薄膜的多样性以及高精度要求,并且基材为金属或非金属均可,灵活性好。

磁控溅射镀膜相对湿法镀膜的优势在于,针对分子结构复杂的高分子材料的表面镀膜,即使有不同表面镀覆材料要求,也无需更换生产线,只需调整不同的工艺参数,更换相应的靶材,便能快速便捷地实现针对不同基材材料的不同镀层的涂覆;相对于热喷涂等工艺,磁控溅射镀膜的镀层表面质量更好、精度高,因此适合精度要求高的电子产品的表面金属化。笔者采用磁控溅射镀膜方法对 PPS, PEEK 样件表面进行金属化镀膜,期待解决某些电子设备中 PPS, PEEK 高分子轻量化材料应用中的表面金属化需求。

1 实验部分

1.1 镀膜样件

PPS 样件:某通用标准模块外壳,采用注塑成型加工,材料为 40% 玻纤增强 PPS (牌号为 1140L4,密度为 1.65 g/cm^3 ,美国泰科纳公司),外形尺寸为 $233.4 \text{ mm} \times 160 \text{ mm} \times 24 \text{ mm}$,如图 1 所示。



图 1 PPS 模块外壳

PEEK 样件:某机箱盖板,采用机械加工成型,材料为 PEEK (牌号为 450G,密度为 1.3 g/cm^3 ,英国 Victrex 公司),外形尺寸为 $625 \text{ mm} \times 360 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$,厚度最小处为 1.2 mm ,如图 2 所示。



图 2 PEEK 机箱盖板

1.2 主要仪器及设备

复合离子镀膜机: MSP-1000 型,核工业西南物理研究院;

屏蔽性能测试设备:包括安捷伦公司的 E8357A 型矢量网络分析仪、市售标准发射接收天线(环形天线、双锥天线、对数周期天线、喇叭天线)、屏蔽暗室,中国电子科技集团公司第三十三研究所;

金相显微镜: BX51M 型, OLYMPUS 公司;

镀层结合力测试仪器: 百格刀、划格器,市售。

1.3 镀层和靶材选择

镀层选择为 Cu/Ni 双镀层结构:

(1) 底层: Cu, 厚度 $(1 \pm 0.3) \mu\text{m}$;

(2) 表层: Ni, 厚度 $(0.3 \pm 0.1) \mu\text{m}$ 。

靶材选择市售 $800 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$ 的高纯 Cu 靶、Ni 靶,纯度均为 99.99%。

1.4 样件制备

磁控溅射镀膜工艺主要分为前处理、镀膜、后处理等几个环节。样件磁控溅射镀 Cu/Ni 工艺流程如图 3 所示。

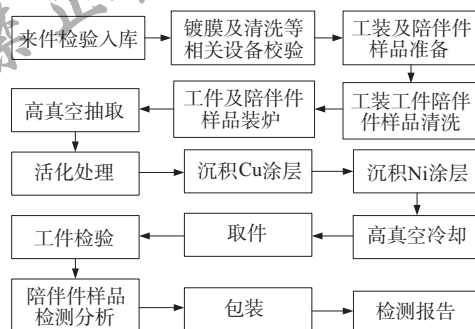


图 3 Cu/Ni 双镀层磁控溅射镀膜工艺流程

(1) 前处理。

前处理主要包括清洗基材表面,进行粗化、砂化以及活化处理等。

PPS 样件为注塑成型,表面粗糙度 R_a 在 $3.2 \sim 6.3$ 之间,不需进行砂化处理。PEEK 样件板材为模压成型,样件采用机加工成型,机加工表面粗糙度 R_a 约为 3.2 ,而模压面表面粗糙度 R_a 可达 0.8 ,其表面粗糙度 R_a 为 0.8 的面一般需进行喷砂粗化处理。

活化处理前,样件需用有机溶剂去除表面的污渍,活化处理采用等离子体的方法,对 PPS, PEEK 待镀衬底面进行 hall 离子源清洗。

(2) 镀膜。

主要工艺参数:本底真空度为 $3 \times 10^{-3} \text{ Pa}$,溅射功率为 250 W ,溅射气压为 0.1 Pa ,靶基距为 10 cm ,溅射时间为 160 min 。

(3) 后处理。

包括随炉样件的镀层厚度测试分析,工件的包装,相关的检测报告等。

1.5 性能测试

(1) 镀层厚度、外观以及结合力测试。

在镀膜过程中,随炉陪伴件与样件一起共同放入并镀膜,镀膜完成后取出随炉陪伴件作为测试镀层厚度样件。通过金相显微镜测试随炉样件截面来测试镀层厚度。

外观及结合力测试采用划格法及胶带法进行测试。划格法依据 GB/T 5270-2005 测试,胶带法依据 HB 5038-1992 测试,镀层等级划分依据 GB/T 9286-1998 测试。

(2) 镀层电磁屏蔽性能测试。

依据 GJB 6190-2008 测试。

(3) 镀层环境适应性试验。

依据 GJB 150A-2009 中典型环境指标要求测试,包括湿热、盐雾、霉菌、高低温、温度冲击。

2 结果与讨论

2.1 镀层外观、厚度和结合力测试结果及影响因素分析

(1) 镀层外观、厚度和结合力测试结果。

对 PPS, PEEK 样件表面金属化后的外观效果如图 4、图 5 所示。由图可以看出,金属镀层连续、致密、均匀,无黑斑、花纹、起泡、锈蚀、擦伤、针孔等缺陷。镀层外观满足要求。

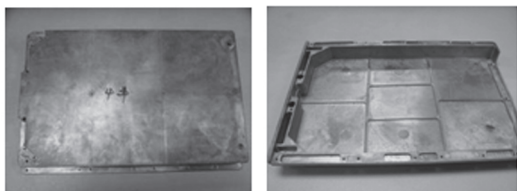


图 4 PPS 模块外壳金属化后的外观效果

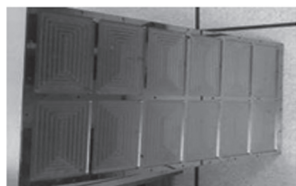
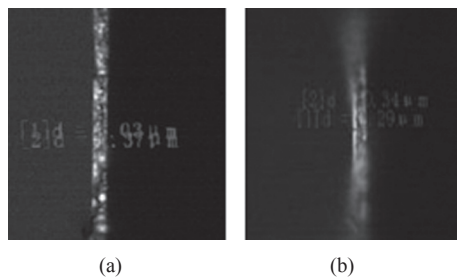


图 5 PEEK 机箱盖板表面金属化后的外观效果

对随炉样件进行金相显微镜测试,结果如图 6 所示,厚度如表 1 所示。

PPS 样件的 Cu 镀层厚度为 $1.03 \mu\text{m}$ 、Ni 镀层厚度为 $0.37 \mu\text{m}$; PEEK 的 Cu 镀层厚度为 $1.29 \mu\text{m}$ 、Ni 镀层厚度为 $0.34 \mu\text{m}$ 。样件镀层厚度满足底层 Cu 厚度为 $(1 \pm 0.3) \mu\text{m}$ 、表层 Ni 厚度



a—PPS ; b—PEEK

图 6 金相测试照片

表 1 Cu/Ni 双镀层厚度

样件	Cu 层	Ni 层
PPS	1.03	0.37
PEEK	1.29	0.34

为 $(0.3 \pm 0.1) \mu\text{m}$ 的设计要求。

镀层结合力通过划格法以及胶带粘接法进行检验,结果如图 7 所示。经 3M Scotch600 胶带粘接法测试后,镀层无变化、无脱落;经划痕法测试后,镀层表面无脱落、起泡,镀层结合力达到 ISO 标准 1 级及以上。

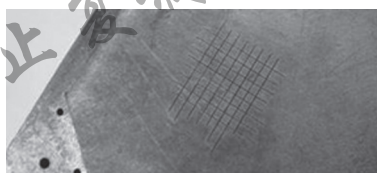


图 7 镀层结合力测试结果

(2) 镀层结合力影响因素分析。

附着力的产生来源于镀层与基材之间的相互作用,它的作用机理是吸附,并且需要形成化学键,才有牢固的附着力。影响镀层结合力的因素主要有以下几个方面:

①样件材料的影响。

样件材料的影响因素包括基材本身以及基材的表面质量两个方面。

首先,对于基材来说,其表面能量越大,附着力越好^[5-6]。PPS 以及 PEEK 等材料的表面能较小,无法直接在表面进行镀膜,因此必须进行活化处理增加表面能量。活化处理采用等离子体的方法,对 PPS, PEEK 样件基材表面进行 hall 离子源清洗,得到具有原子量级洁净的衬底表面,并改变了基材表层的分子结构,增加了表面能量,提高了镀层和基材的结合力。

其次,样件表面必须清洁处理,并且表面需保持一定的粗糙度。如果表层不经过清洁处理,将在表面留有一污染层,使样件表面的化学键达到饱和,导致镀膜后的附着力很差。粗糙度的增加相应增大

膜层的附着面积,使膜层在面对温度变化,尺寸变化时附着力更好,因此对于光洁度过高的表面一般需进行砂化处理以增加表面粗糙度。

②镀层材料影响。

膜层材料本身对附着力也有影响。Cu、Ni均为面心立方结构,硬度低,延展性好,底层Cu活性好,具有良好的延展性,并且与基材更容易结合形成牢固的化学键,此外Cu与表层金属Ni层的结合力也较好。研究表明^[7],在膜层达到纳米量级时多层膜通常表现出超模量和超硬度等特性,镀层还可以降低表面的接触应力和摩擦力,因此更容易防止由于温度的急剧变化引起的镀层起泡或脱落;Cu/Ni多层膜能够显著改善材料的抗常规磨损和微动磨损性能,因此对后续使用的适应性来说,Cu/Ni镀层也是非常良好的选择。

③镀膜工艺影响。

镀层的质量需要镀膜工艺保证,镀膜参数对镀层的影响主要表现在以下几个方面:

溅射功率:镀膜沉积速率随着功率的增加而增大;但功率太大会导致靶面温度过高,引起靶材融化或引起弧光放电,并且薄膜沉积速率过快会使基片温度升高。对于塑料产品来说,应避免温度升高导致零件受热翘曲变形,保证温度远低于塑料的玻璃化转变温度。

气压:当气压过低时,溅射粒子能量大,在基片上容易形成小丘或空洞,造成薄膜缺陷;当气压高到一定程度时,由于离子密度太大,又使溅射速率下降,溅射粒子到达基片时的能量太低,影响到薄膜的结晶。

时间:镀层厚度随溅射时间有较好的线性关系。但靶材上的 Ar^+ 离子会随着时间的增加而越来越多,导致 Ar^+ 轰击靶材的速率降低,所以单次的镀膜厚度并不能无限地增加。

其它:真空度以及靶材距离等对膜层的形成以及附着力均有一定影响。

2.2 屏蔽性能测试结果及影响因素分析

(1)屏蔽性能测试结果。

电磁屏蔽性能测试采取对比法进行测试。用2 mm厚的LY12铝板作为对比样件。测试现场如图8所示,屏蔽效能测试结果见表2。

考虑到系统测试误差一般为 ± 3 dB,由表2可知,在450 MHz~18 GHz频段内,样件表面金属镀层具有与铝合金接近的电磁屏蔽效能,达到设计使



图8 屏蔽性能测试现场

表2 电磁屏蔽性能测试结果

频率	PPS 样件	PEEK 样件	铝合金
450 MHz	45	43	40
2 GHz	43	43	42
10 GHz	52	48	57
18 GHz	64	62	69

用性能要求。

(2)屏蔽性能影响因素分析。

①屏蔽效率理论分析。

根据相关理论,入射到屏蔽材料上的电磁波,其电磁能量损耗由下式表示^[8]:

$$S = A + R + B$$

$$A = 1.13t \sqrt{\mu_r f \sigma_r}$$

$$R = 168 - 10 \lg(\mu_r f / \sigma_r)$$

$$B = 20 \lg(1 - e^{-2t/\delta})$$

式中: S ——材料总的屏蔽效率, dB;

A ——吸收损耗衰减, dB;

R ——表面反射损耗衰减, dB;

B ——多次反射损耗衰减, dB;

t ——屏蔽厚度, cm;

μ_r ——屏蔽材料与Cu的相对磁导率;

σ_r ——屏蔽材料与Cu的相对电导率;

f ——电磁波频率, Hz;

δ ——电磁波穿透材料深度, $\delta = (\pi f \mu_r \sigma_r)^{-1/2}$ 。

由以上公式以及材料的金属物理特性可知:

吸收损耗衰减 A 效果主要是由屏蔽厚度决定。

对于多次反射损耗衰减 B ,根据经验,当吸收损耗衰减大于6 dB时,则可以忽略不计。对于金属膜层来说,屏蔽主要取决于对电磁波的表面反射损耗衰减 R ,而反射衰减与镀层厚度无关。因此从理论上来说,镀层材料的电导率以及磁导率对电磁屏蔽影响相对于镀层厚度更大。

另外,采用两层甚至三层不同的屏蔽材料做成屏蔽体,能拓宽屏蔽频率范围,形成不同频段都满意的屏蔽效果,获得更良好的屏蔽效能。

②镀层材料及厚度选择。

通过以上分析,镀层材料优先选择导电性能良

好、活性强,并且工艺较成熟的材料,并优先选用多层镀层。

首先,Cu是导电性非常优异的媒质,仅次于银与金,具有优良的电磁屏蔽性能,且价格比银与金也具有很大优势。

其次,基于防护性能以及屏蔽性能考虑,Cu容易被氧化锈蚀,必须在其表面涂覆保护层。Ni具有较好的抗氧化能力,可以保护内部Cu层免遭氧化,增加防护性能;虽然Ni的导电性不及铜,相对于其它普通金属还是具有一定优势,而采用多层的屏蔽层能进一步改善屏蔽性能,增加屏蔽效果。所以优先选用多层的屏蔽层。

通过以上分析,考虑到目前国内外Cu/Ni复合双镀层的磁控溅射工艺技术成熟度高^[9-10],因此,将磁控溅射镀覆Cu/Ni双镀层应用于PPS,PEEK材料,预期工艺难度较小,因此最终选择了底层Cu厚度为 $(1 \pm 0.3) \mu\text{m}$,表层Ni厚度为 $(0.3 \pm 0.1) \mu\text{m}$ 的镀层结构。

2.3 环境适应性试验结果及影响因素分析

(1) 环境适应性试验结果。

根据产品环境试验大纲要求,对PPS,PEEK样件进行环境试验。各项试验条件及测试结果见表3。

表3 镀层环境适应性测试参数及测试结果

镀层环境	试验条件及参数	结果
湿热	GJB 150.9A-2009 24 h 为一个周期,共 10 个周期。	镀层完好
盐雾	GJB 150.11A-2009 持续 24 h 盐雾暴露和 24 h 干燥为一个周期,循环 2 次。	镀层完好
霉菌	GJB 150.10A-2009 28 d	1 级
高温贮存	GJB 150.3A-2009 温度 85℃,试件温度稳定后保持 4 h。	镀层完好
低温贮存	GJB 150.4A-2009 温度 -55℃,试件温度稳定后保持 72 h。	镀层完好
温度冲击	GJB 150.5A-2009 低温:-55℃,高温:+70℃。 上下限各保温时间:0.5 h 转换时间:不大于 1 min 冲击次数:3 次	镀层完好

结果表明,PPS,PEEK样件镀层满足GJB 150A-2009中的典型环境适应性要求。

(2) 环境适应性影响因素分析。

Cu/Ni双镀层相对于化学镀虽然膜层更薄,表面起防护作用的Ni层只有 $0.3 \mu\text{m}$ 左右,但是仍然有非常好的防护盐雾、湿热以及霉菌的能力。主要原因在于溅射过程中镀层的形成是通过原子相互一层一层堆积而成,因此金属镀层晶粒非常致密均匀,

对基材形成了一层平整致密的保护膜,水分子以及空气等难以侵入,因此不易形成电化学腐蚀的回路。并且Ni本身的抗氧化性能好,因此Cu/Ni双镀层结构能满足产品典型环境适应性要求。

3 结论

针对轻量化高分子材料PPS,PEEK在电子产品应用过程中的表面金属化需求,采用磁控溅射镀膜方式对材料表面进行了表面金属化处理,膜层采用底层Cu厚度为 $1 \mu\text{m}$ 、表层Ni厚度为 $0.3 \mu\text{m}$ 的Cu/Ni双镀层形式。经验证检测,镀层结合力达到ISO标准1级,镀层电磁屏蔽性能与铝合金相当,镀层环境适应性满足GJB 150A-2009要求。为PPS,PEEK材料在电子产品应用中的表面金属化处理提供了一种方便、可靠的解决思路。

参考文献

- [1] 王茜. 高分子导电薄膜的制备与性能研究[J]. 河北化工, 2012, 35(10):59-60, 75.
Wang Qian. Preparation and properties of conductive polymer film[J]. Hebei Chemical Industry, 2012, 35(10):59-60, 75.
- [2] 毛一帆, 董树荣. 塑料表面溅射电磁屏蔽膜的研究[J]. 真空, 2009(4):24-27.
Mao Yifan, Dong Shurong. On the electromagnetic shielding film deposited on surface of plastic by magnetron sputtering[J]. Vacuum, 2009(4):24-27.
- [3] 王福贞, 刘欢, 那日松. 离子镀膜技术的发展[J]. 真空, 2014(5):1-8.
Wang Fuzhen, Liu Huan, Na Risong. Progress of ion plating technology [J]. Vacuum, 2014(5):1-8.
- [4] 郝晓亮. 磁控溅射镀膜的原理与故障分析[J]. 电子工业专用设备, 2013(6):57-60.
Hao Xiaoliang. The principle and fault diagnosis of magnetron sputtering deposition[J]. Equipment for Electronic Products Manufacturing, 2013(6):57-60.
- [5] 王德山. 磁控溅射镀膜附着力的优化机制研究[J]. 大众科技, 2013(15):66-68.
Wang Deshan. Magnetron sputtering coating adhesion optimization mechanism research [J]. Popular Science & Technology, 2013(15):66-68.
- [6] 王会, 徐晓, 冯斌, 等. 磁控溅射银/铜双层膜的电性能和结合强度[J]. 机械工程材料, 2015(11):65-67.
Wang Hui, Xu Xiao, Feng Bin, et al. Electrical performance and adhesion strength of magnetron sputtered Cu / Ag double-layer films[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2015(11):65-67.
- [7] 张晓华, 刘道新, 刘国华, 等. Cu/Ni多层膜对Ti811合金微动磨损和微动疲劳抗力的影响[J]. 稀有金属材料与工程, 2011,

(下转第78页)

- [2] 刘建华. 汽车注塑模具设计中Moldflow软件应用的价值分析[J]. 科技资讯, 2014(21):18.
Liu Jianhua. Value analysis of the application of Moldflow software in the design of injection mould for automobile[J]. Science & Technology Information, 2014(21):18.
- [3] 吴松琪, 刘斌, 朱训民, 等. 汽车前保险杠注塑模具热流道热平衡分析及其优化设计[J]. 塑料工业, 2015, 43(12):54-59.
Wu Songqi, Liu Bin, Zhu Xunming, et al. Thermal equilibrium analysis and optimal design for hot runners of car front bumper injection mold[J]. China Plastics Industry, 2015, 43(12):54-59.
- [4] 许旭飞. 汽车零件注塑模具流道系统设计及参数优化[J]. 科技风, 2015(7):69, 77.
Xu Xufei. Design and parameters optimization of injection mold runner system for automobile parts[J]. Technology Wind, 2015(7):69, 77.
- [5] 王善凯, 李晶, 胡激涛, 等. 基于Moldflow汽车配件注塑工艺参数优化[J]. 西安工程大学学报, 2015, 29(6):692-697.
Wang Shankai, Li Jing, Hu Jitao, et al. Parameter optimization for auto part's injection process based on Moldflow[J]. Journal of Xi'an Polytechnic University, 2015, 29(6):692-697.
- [6] 宋燕星, 陈玉全, 陈永秋, 等. 汽车中央空调塑料饰件模具注塑流变分析CAE[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2004, 9(5):9-11.
Song Yanxing, Chen Yuquan, Chen Yongqiu, et al. Flow analysis CAE about moulding plastic part of car's center air-condition[J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2004, 9(5):9-11.
- [7] 朱昱. Moldflow 软件在汽车零件注塑模具设计中的应用[J]. 机械, 2009, 36(9):40-42.
Zhu Yu. The application of Moldflow software in injection mold design of lap-belt cover[J]. Machinery, 2009, 36(9):40-42.
- [8] 杨安, 肖国华, 韩立艳, 等. 汽车油封盖内螺纹脱模机构及注塑模设计[J]. 工程塑料应用, 2015, 43(4):68-72.
Yang An, Xiao Guohua, Han Liyan, et al. Demoulding mechanism of oil seal cover and screw automobile injection mold design[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(4):68-72.
- [9] 张文兵, 高慧, 沈建新, 等. 汽车配件“四爪卡子”注塑模具的设计[J]. 工程塑料应用, 2014, 42(12):71-74.
Zhang Wenbing, Gao Hui, Shen Jianxin, et al. Injection mould design of auto plastic part "four claw clip" [J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(12):71-74.
- [10] 张维合. 汽车风箱左盖注塑模设计[J]. 中国塑料, 2014, 28(4):114-118.
Zhang Weihe. Design of injection molds for cars' airtank-left[J]. China Plastics, 2014, 28(4):114-118.
- [11] 张梦梦, 陈泽中, 刘会. 基于UG与Moldflow的汽车门槛饰条工艺优化及模具设计[J]. 塑料, 2013, 42(6):106-108.
Zhang Mengmeng, Chen Zezhong, Liu Hui. Process Optimization and design for injection mold of auto sill molding based on UG & Moldflow[J]. Moldflow plastic, 2013, 42(6):106-108.
- [12] 苏瞧忠, 李志峰, 杨斌. 基于CAE的汽车档位手球结构优化及模具设计[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(3):66-68.
Su Qiaozhong, Li Zhifeng, Yang Bin. Structure improvement and mold design of automobile gear handball based on CAE technology[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(3):66-68.
- [13] 宋小辉, 苏庆勇, 唐萍. 汽车空调暖风机壳体注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(1):59-61.
Song Xiaohui, Su Qingyong, Tang ping. Injection mold design of shell on automobile air-condition heater unit[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(1):59-61.
- [14] 肖石霞. 神经网络和遗传算法在齿轮注塑成型工艺参数优化中的应用[J]. 贵州工业职业技术学院学报, 2014, 9(2):14-17.
Xiao Shixia. Application of neural network and genetic algorithm in the process parameters optimization of gear injection molding[J]. Guizhou Science and Technology Professional College, 2014, 9(2):14-17.
- [15] 刘斌, 孙加伟, 吴盛金. 基于神经网络的注塑制品表面缺陷自动识别方法的研究[J]. 塑料工业, 2012, 40(2):38-41.
Sun Jiawei, Liu Bin, Wu Shengjin. Automatic recognition of surface defect on injection product based on neural network[J]. China Plastics Industry, 2012, 40(2):38-41.
- [16] 程文博, 张云, 周华民, 等. 基于卷积神经网络的注塑制品短射缺陷识别[J]. 塑料工业, 2015, 43(7):31-34.
Cheng Wenbo, Zhang Yun, Zhou Huamin, et al. The Short shot defect recognition of injection molded plastics based on convolution neural network[J]. China Plastics Industry, 2015, 43(7):31-34.
- [9] 李兴鳌, 任明伟, 任睿毅, 等. 铜镍合金为衬底化学气相沉积法制备石墨烯研究[J]. 功能材料, 2012, 43(23):3 257-3 260.
Li Xingao, Ren Mingwei, Ren Ruiyi, et al. Study on the grapheme preparation on Cu-Ni alloy substrate by chemical vapor deposition [J]. Journal of Functional Materials, 2012, 23(43):3 257-3 260.
- [10] 顾超. Cu/Ni 和 Cu/Ag 金属多层膜制备及其性能分析[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2012.
Gu Chao. The preparation and performance analysis of Cu/Ni and Cu/Ag metal multilayer[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2012.
- (上接第 61 页)
40(2):294-300.
Zhang Xiaohua, Liu Daoxin, Liu Guohua, et al. Effects of Cu / Ni multilayer film on fretting wear and fretting fatigue resistance of Ti811 Alloys[J]. Rare Metal Materials And Engineering, 2011, 40(2):294-300.
- [8] 周旭. 电子设备防干扰原理与技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
Zhou Xu. Principle and technology of anti-interference for electronic equipment [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2004.