

• 综述 •

镁合金化学镀的研究进展

Research Progress of Electroless Plating on Magnesium Alloy

梁平, 张云霞

(辽宁石油化工大学 机械工程学院, 辽宁 抚顺 113001)

LIANG Ping, ZHANG Yun-xia

(School of Mechanical Engineering, Liaoning Petrochemical University, Fushun 113001, China)

摘要: 综述了镁合金化学镀的预处理工艺的研究现状;介绍了镁合金化学镀镍及镍基合金、复合镀层以及化学镀铜和银等方面的研究进展,并指出了镁合金化学镀的发展趋势。

关键词: 化学镀; 镁合金; 镍基合金镀层; 复合镀层; 耐腐蚀性

Abstract: A review is made on the current status of the pretreatment process for electroless plating on magnesium alloy. The research progress in electroless nickel plating on magnesium alloy, nickel-based alloy coating, composite coating, and electroless copper and silver plating is presented. The development tendency of the electroless plating on magnesium alloy is also prospected.

Key words: electroless plating; magnesium alloy; nickel-based alloy coating; composite coating; corrosion resistance

中图分类号:TQ 153

文献标识码:A

文章编号:1000-4742(2010)02-0001-04

0 前言

镁及其合金具有密度低、比刚度和比强度高、减震性好、电磁屏蔽与抗干扰能力强、切削加工性能和热型性好、稳定性高等优点,在航空、航天、汽车、电子、军工、通信、能源、生物医学等领域有着广泛的应用。

镁的标准电极电位为 -2.37 V ,是电负性很高的一种金属,在室温下易被空气氧化生成一层薄的氧化膜^[1]。该氧化膜多孔、疏松,防护性很差^[2],是限制镁合金应用的主要原因之一^[3-5]。采用化学转化、阳极氧化、电镀、化学镀、有机涂层以及热喷涂等表面处理方法是提高其耐腐蚀性的有效途径之一^[6]。而在众多的表面处理方法中,化学镀技术具有镀层均匀、工艺简单、操作方便、不受待镀材料形状限制等优点^[7],可使镁合金的耐腐蚀性和耐磨性有较大幅度的提高,因此,倍受人们青睐^[8-11]。

本文主要对目前国内外有关镁合金表面的预处理工艺,镁合金表面化学镀镍及镍基合金、复合镀层以及化学镀铜和银等方面的研究现状进行了概述,并指出了镁合金化学镀中应着重解决的一些问题,对其应用前景进行了展望。

1 预处理工艺

镁合金表面易氧化形成保护性较差的氧化膜,

且这层膜的存在导致镀层很难沉积,因此,必须对其进行适当的预处理。预处理包括:打磨、有机物除油、除脂、酸洗、活化、预浸中间层等步骤。目前国内在这方面开展了很多研究。

Huo等^[12]在对AZ 91D镁合金进行化学镀镍预处理时,先用 SnCl_2 , HCl 进行酸洗,然后用 PdCl_2 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 活化,最后进行化学镀镍。结果表明:锡酸盐处理后的镁合金表面生成了一层多孔的 $\text{MgSnO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。这不仅有利于化学镀前的敏化处理,而且也降低了Ni-P镀层与基体之间的电位差,避免镍镀层失效后发生强烈的电偶腐蚀,提高了镁合金的耐腐蚀性。Song等^[13]采用SEM和EDAX测试,考察了碱液清洗、铬酸刻蚀和氢氟酸活化等预处理方式对基体形貌和成分的影响。碱液清洗主要去除了镁合金表面的油脂,但表面形貌没有发生明显变化。铬酸化学刻蚀是一个关键步骤,最佳时间为1 min,刻蚀后在表面主要形成了铬的化合物。电位-时间曲线确定了氢氟酸活化时间为8 min。氢氟酸活化时在表面形成了白色的氟化镁,基体表面形貌发生明显变化。

Chen等^[14]对AZ 91D镁合金进行除油、酸洗、活化处理,将其放入含有 FeCl_3 的浸锌溶液中获得锌过渡层,之后电镀锌,最后化学镀Ni-P合金层。腐蚀测试和SEM测试表明:在改进后的浸锌溶液中所获得的锌过渡层更加致密,且与紧接着的电镀锌

层之间有着良好的结合力。同时,电镀锌也进一步促进了锌过渡层在镁合金表面的覆盖率,降低 Ni-P 合金层与镁合金基体之间的电偶腐蚀效应。这种改进工艺获得的锌过渡层可以取代铜过渡层。Zhang 等^[15]首先将 AZ 91D 镁合金在磷酸锰溶液中磷化,在基体和 Ni-P 层间获得磷化膜,以此取代铬氧化物和氢氟酸这一传统的处理方法。这层磷化膜预处理层不仅降低了 Ni-P 沉积过程中对基体镁合金的腐蚀性,同时也降低了基体和第二相之间的电位差。因此,镁合金表面的 Ni-P 镀层更加致密,镀层耐蚀性更好。这种预处理方式由于不含铬、氟等有害物质,属于环保型工艺。Elsentriecy 等^[16]在 AZ 91D 镁合金基体和 Ni-P 化学镀层之间沉积了环境友好的钼酸盐转化膜作为过渡层。这层转化膜主要由 $Mg_2Mo_3O_9$ 组成,且比较粗糙,使 Ni-P 镀层与基体之间结合力达到了 18 MPa 以上,钼酸盐转化膜上 Ni-P 镀层紧凑、致密、无孔,大大提高了基体在质量分数为 3.5 % 的 NaCl 溶液中的耐蚀性。

He 等^[17]将机械摩擦应用于镁合金表面的化学沉积上,进一步改进了化学镀工艺。结果表明:在 Ni-P 镀层和镁合金基体之间形成了一个合金层。Ni-P 镀层光滑、致密,晶粒得到细化,且不存在裂纹和孔洞等缺陷。镀层的结合力、显微硬度以及耐蚀性等都得到了明显提高。Sun 等^[18]在 AZ 91D 镁合金表面用 TiB_2 粉末催化层取代了传统的钨盐催化沉积化学镀镍。研究表明:镍离子可以在 TiB_2 粉末层上沉积,催化层与基体的结合力可达 11 MPa。同时,阳极大化表明:镀层在质量分数为 3.5 % 的 NaCl 溶液中具有更高的腐蚀电位(-0.323 V),钝化区间更为明显,对基体起到了良好的保护作用。Liu 等^[19]首先对镁合金基体进行了等离子体电解氧化处理,然后再进行化学镀。这层等离子体电解氧化层(PEO)降低了镍镀层的孔隙率,同时对镍的沉积也起到了催化作用,最终获得的镍镀层的耐蚀性比常规方法获得的镍镀层的耐蚀性提高了两个数量级。而且,这种预处理方法没有采用铬氧化物和氢氟酸,对环境不会产生污染。

2 镁合金化学镀层的研究进展

2.1 化学镀镍及镍基合金

化学镀镍及镍基合金镀层均匀、致密、沉积速率较快;该镀层可能为非晶态,使其表现出良好的耐蚀性、耐磨性、焊接性和装饰性等,促进了其在许多合金基体表面上的沉积。相对其他镀层而言,镁合金

表面镍镀层的研究比较多。

Ambat 等^[20]考察了基体组织和施镀参数对 AZ 91D 镁合金上化学镀镍及镍基合金的影响。采用 SEM 和 EDS 分析了镀层沉积的初期过程。结果表明:基体组织对沉积初期阶段晶粒的长大有很大影响。在沉积初始阶段,由于 β 相和共晶 α 相之间形成了电偶对,镍主要在 β 相形核。一旦 β 相被完全覆盖以后,镀层开始在共晶 α 相和主 α 相上沉积长大。当镀层中磷的质量分数为 7 % 时,其显微硬度可达 6 000~7 000 MPa。溶液中的配位体:金属离子=1:1.5(质量浓度比)时,镀层质量最好。此时硫脲的质量浓度为 0.5~1.0 mg/L,镀液中的氟化物的最佳质量浓度为 7.5 g/L。Gu 等^[21]对 AZ 91D 镁合金进行碱洗、酸洗(CrO_3 和 HNO_3 混合液)及表面活化处理后,直接进行化学镀镍。镀液中镍离子由 $NiSO_4 \cdot 6H_2O$ 提供, $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$ 为还原剂,加入氢氟酸等氟化物以抑制镁合金的腐蚀。实验表明: Ni-P 首先在 $\beta-Mg_{17}Al_{12}$ 相形核,并在共晶 α 相长大。这一研究结果与 Anik 所得到的结果相似^[22]。最终获得的 Ni-P 镀层致密、均匀,无明显缺陷。镀层与镁合金基体结合更好,显微硬度可以达到 6 600 MPa,且不受预处理的影响,镁合金的耐蚀性和耐磨性均得到提高。

Gao 等^[23]研究了多种配位剂对镁合金表面镀层的影响。结果表明:在 70 °C, pH 值为 5.5,采用柠檬酸、丁二酸和氨基乙酸三者作为混合配位剂时,可以获得致密、覆盖率好的镀层。镀液中的三种有机物对镀层的质量和镀液稳定性有明显的协同效应,施镀温度也下降,降低了成本。Wu 等^[24]研究表明:随着镀液中配位剂的质量浓度减小,还原剂的质量浓度和 pH 值增大,镀层沉积速率增加。改变上述三个参数,镀层中磷的质量分数也随之改变,镀层结构随着磷的质量分数增加从晶态转变到非晶态。Li 等^[25]以硫酸镍为主盐,柠檬酸三钠为还原剂,对经过 CrO_3 和 HNO_3 混合液酸洗及表面活化的 AM 60B 铸造镁合金进行化学镀镍,对比了分别以 Na_2CO_3 , $Na_2B_4O_7$, CH_3COONa 为缓冲剂时镁基体的腐蚀率。结果表明:缓冲剂 Na_2CO_3 可以增加镀层的长大速率;采用硫酸镍为溶液的主盐沉积时,镀液的 pH 值应维持在 8.5~11.5,镀层为晶态,且具有低磷、强度和密度高、孔隙率低和耐蚀性好等特点。El-Mahallaw 等^[26]采用化学镀技术在 AZ 31B, AE 42 和 ZRE1 锻造镁合金上沉积了非晶态的镍层,镀层表现出良好的结合力。当在 400 °C 处理 1 h

时,镀层由Ni和Ni₃P组成。随着沉积层厚度的变化,镀层中磷的质量分数可达10%~18%。镀层经热处理后,其显微硬度增大。电化学结果也表明:在质量分数为3.5%的NaCl溶液中,镀层使镁合金的耐蚀性有了很大提高。

为了改善二元合金镀层的性能,双镀层和三元合金镀层也得到了发展,其综合性能得到提高。Zhang等^[27]在AZ91D镁合金上沉积了Ni-P/Ni-B化学镀合金层,Ni-P为内层,Ni-B为外层,镀层为非晶态,热处理后变成晶态。Ni-P/Ni-B双镀层比Ni-P镀层具有更好的耐蚀性和更高的显微硬度,这将进一步扩大镁合金的应用范围。Zhang等^[28]以硫酸镍和钨酸钠为主盐,次磷酸钠为还原剂,在AZ91D镁合金上采用碱性的柠檬酸盐镀液沉积了Ni-W-P三元合金化学镀层。SEM测试表明:镀层均匀、致密,镀层中钨的质量分数约为4.5%。在体积分数为10%的盐酸中进行浸泡和电化学实验。结果表明:三元合金镀层表现出良好的耐蚀性。采用相似的方法在AZ91D镁合金上也制备了Ni-Sn-P镀层^[29],镀层中锡的质量分数为2.48%,且为非晶态。在体积分数为10%的盐酸溶液中,Ni-Sn-P比Ni-P镀层表现出更好的耐蚀性,对AZ91D镁合金起到了良好的保护作用。

2.2 化学镀复合镀层

二元或三元合金镀层中加入一些微米或纳米级的微粒,如:SiC,Al₂O₃,MoS₂,PTFE等,将使镀层表现出更好的耐蚀性、耐磨性及润滑性等。镁合金复合镀层的研究也逐渐成为镁合金表面处理领域的研究热点。

Song等^[30]在AZ91D镁合金上沉积Ni-P-ZrO₂复合镀层,并对其形貌、组织结构和耐蚀性等进行了研究。结果表明:当在350℃下进行热处理时,复合镀层的硬度达到了最大值;当温度达到400℃时,开始下降。Ni-P合金起到了固溶强化和沉淀强化的作用;而纳米ZrO₂则起到了弥散强化的作用。它使复合镀层比Ni-P合金镀层具有更高的硬度。特别是随着摩擦时间的延长,复合镀层比Ni-P合金镀层具有更好的耐磨性。这主要是因为ZrO₂表现出弥散效应和承载效应。而且纳米微粒和Ni-P合金镀层的复合沉积使镀层更加紧密,这使复合镀层比Ni-P合金镀层具有更好的耐蚀性。作者进一步改进工艺^[31],将电镀和化学镀技术相结合,制备了多层复合镀层。结果表明:由Ni-P-ZrO₂/电镀Ni/Ni-P组成的多层沉积层,使镁合金的耐盐雾腐蚀性能达

到1000h以上,耐蚀性更加优异。

2.3 化学镀银和铜

Zhao等^[32]采用化学镀和有机涂层相结合的方法在AZ31镁合金表面沉积了银膜。有机涂层是通过将试样放入耐热的有机硅油漆中制备的,它在银镀层和基体之间作为中间层,与基体有着良好的结合力,银镀层沉积在中间层上。动电位极化曲线表明:在质量分数为3.5%的NaCl溶液中,与基体相比,银镀层提高了基体的耐蚀性。采用相似的方法^[33-34],在AZ31镁合金表面也沉积了铜镀层,铜镀层也明显提高了镁合金的耐蚀性,同时,铜镀层也表现出良好的抗生物腐蚀性和装饰性。

3 结语

镁合金具有的许多优点使其成为有色金属材料中最具开发和应用前途的材料。尽管镁合金耐蚀性差的缺陷限制了其应用,但对其进行表面处理则可以大幅提高其耐蚀性和其他性能。化学镀技术的特点使其成为了重要的镁合金表面处理方法。在以后的研究和应用中应着重以下几个方面工作:

(1)目前大多采用含铬酸和氢氟酸的混合液对镁合金进行前处理,这种混合液对人体有害,对环境也易造成污染,因此,有必要开发一些环保型的酸洗液和活化液。此外,镀层和镁合金基体之间的浸锌层虽然能保证结合力,但工艺较为复杂,因此,开发新的中间镀层也有其必要性。

(2)复合镀层能进一步提高合金镀层的综合性能。目前有关镁合金表面化学镀复合镀层的研究还相当有限,加大这方面的研究工作有利于进一步扩展镁合金的应用领域。

参考文献:

- [1] McIntyre N S, Chen C. Role of impurities on Mg surfaces under ambient exposure conditions [J]. Corrosion Science, 1998, 40(10): 1697-1709.
- [2] Makar G L, Kruger J. Corrosion of magnesium [J]. International Materials Reviews, 1993, 38(3): 138-153.
- [3] Song G L, Arens A J, Darusch M. Influence of microstructure on the corrosion of die cast AZ91D [J]. Corrosion Science, 1999, 41(2): 249-273.
- [4] Gebert A, Wolff Y, John A, et al. Corrosion behavior of Mg65Y10Cu25 metallic glass [J]. Scripta Material, 2000, 43(3): 279-283.
- [5] Inoue H, Sugahara K, Yanamoto A, et al. Corrosion rate of magnesium and its alloys in buffered chloride solutions [J]. Corrosion Science, 2002, 44(3): 603-610.

- [6] Gray J E, Luan B. Protective coatings on magnesium and its alloys — A critical review [J]. *Journal of Alloys and Compound*, 2002, 336(2): 88-113.
- [7] Bolger P T, Szlag D C. Current and emerging technologies for extending the lifetime of electroless nickel plating baths [J]. *Clean Products and Processes*, 2001, 2(4): 209-219.
- [8] Li J Z, Tian Y W, Huang Z Q, *et al.* Studies of the porosity in electroless nickel deposits on magnesium alloy [J]. *Applied Surface Science*, 2006, 252(8): 2 839-2 846.
- [9] Gu C D, Lian J S, He J G, *et al.* High corrosion resistance nanocrystalline Ni coating on AZ 91D magnesium alloy [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2006, 200(18): 5 413-5 418.
- [10] Song Y W, Shan D Y, Han E H. Corrosion behaviors of electroless plating Ni-P coatings deposited on magnesium alloys in artificial sweat solution [J]. *Electrochimica Acta*, 2007, 53(4): 2 009-2 015.
- [11] Shartal K M, Kipouros G J. Electroless nickel-phosphorus plating on AZ31 [J]. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 2009, 40(2): 208-222.
- [12] Huo H W, Li Y, Wang F H. Corrosion of AZ91D magnesium alloy with a chemical conversion coating and electroless nickel layer [J]. *Corrosion Science*, 2004, 46(6): 1 467-1 477.
- [13] Song Y W, Shan D Y, Han E N. A study on the pretreatment of direct electroless nickel plating on magnesium [J]. *Materials Science Forum*, 2005, 488: 835-838.
- [14] Chen J L, Yu G, Hu B N, *et al.* A zinc transition layer in electroless nickel plating [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2006, 201(3): 686-690.
- [15] Zhang W X, He J G, Jiang Z H, *et al.* Electroless Ni-P layer with a chromium-free pretreatment on AZ 91D magnesium alloy [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2007, 201(8): 4 594-4 600.
- [16] Elsentriecy H H, Azumi K. Electroless Ni-P deposition on AZ 91D magnesium alloy prepared by molybdate chemical conversion coatings [J]. *Journal of the Electrochemical Society*, 2009, 156(2): D70-D77.
- [17] He Y D, Fu H F, Li X G, *et al.* Microstructure and properties of mechanical attrition enhanced electroless Ni-P plating on magnesium alloy [J]. *Scripta Materialia*, 2008, 58(6): 504-507.
- [18] Sun S, Yan C W, Wang F H. A novel process for electroless nickel plating of magnesium alloy [J]. *Applied Surface Science*, 2008, 254(16): 5 016-5 022.
- [19] Liu Z M, Gao W. A novel process of electroless Ni-P plating with plasma electrolytic oxidation pretreatment [J]. *Applied Surface Science*, 2006, 253(5): 2 988-2 991.
- [20] Ambat R, Zhou W. Electroless nickel-plating on AZ91D magnesium alloy; Effect of substrate microstructure and plating parameters [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2004, 179(2): 124-134.
- [21] Gu C D, Lian J S, Li G Y, *et al.* Electroless Ni-P plating on AZ 91D magnesium alloy from a sulfate solution [J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2005, 391(1): 104-109.
- [22] Anik M, Korpe E. Effect of alloy microstructure on electroless Ni-P deposition behavior on alloy AZ91D [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2007, 201(6): 4 702-4 710.
- [23] Gao X L, Yu G, Ouyang Y J. Effects of multiple ligand coordinations on electroless nickel plating on magnesium alloys [J]. *Surface Engineering*, 2008, 24(4): 295-300.
- [24] Wu Y, Xiang W, Hu W, *et al.* Study on the process of electroless nickel plating on magnesium alloys [J]. *Transactions of the Institute of Metal Finishing*, 2005, 83(2): 91-94.
- [25] Li J Z, Shao Z C, Zhang X, *et al.* The electroless nickel plating on magnesium alloy using $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ as the main salt [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2006, 200(9): 3 010-3 015.
- [26] El-Mahallawy N, Bakkar A, Shoeib M, *et al.* Electroless Ni-P coating of different magnesium alloys [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2008, 202(21): 5 151-5 157.
- [27] Zhang W X, Jiang Z H, Lian J S. Electroless Ni-P/Ni-B duplex coatings for improving the hardness and the corrosion resistance of AZ91D magnesium alloy [J]. *Applied Surface Science*, 2008, 254(16): 4 949-4 955.
- [28] Zhang W X, Huang N, He J G, *et al.* Electroless deposition of Ni-W-P coating on AZ91D magnesium alloy [J]. *Applied Surface Science*, 2007, 253(11): 5 116-5 121.
- [29] Zhang W X, Jiang Z H, Li G Y, *et al.* Electroless Ni-Sn-P coating on AZ91D magnesium alloy and its corrosion resistance [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2008, 202(12): 2 570-2 576.
- [30] Song Y W, Shan D Y, Chen R S. Study on electroless Ni-P-ZrO₂ composite coatings on AZ 91D magnesium alloys [J]. *Surface Engineering*, 2007, 23(5): 334-338.
- [31] Song Y W, Shan D Y, Han E H. High corrosion resistance of electroless composite plating coatings on AZ 91D magnesium alloys [J]. *Electrochimica Acta*, 2008, 53(5): 2 135-2 143.
- [32] Zhao H, Cui J Z. Electroless plating of silver on AZ31 magnesium alloy substrate [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2007, 201(8): 4 512-4 517.
- [33] Zhao H, Huang Z H, Cui J Z, *et al.* Electroless plating of copper on AZ31 magnesium alloy substrates [J]. *Microelectronic Engineering*, 2008, 85(2): 253-258.
- [34] Zhao H, Huang Z H, Cui J Z. A novel method of electroless plating on AZ31 magnesium alloy sheet [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2008, 203(1): 310-314.

收稿日期: 2009-09-07

作者: 梁平, 张云霞, LIANG Ping, ZHANG Yun-xia
作者单位: 辽宁石油化工大学机械工程学院, 辽宁, 抚顺, 113001
刊名: 电镀与环保 **ISTIC** **PKU**
英文刊名: ELECTROPLATING & POLLUTION CONTROL
年, 卷(期): 2010, 30 (2)

参考文献(34条)

1. McIntyre N S, Chen C [Role of impurities on Mg surfaces under ambient exposure conditions](#) 1998(10)
2. Makar G L, Kruger J [Corrosion of magnesium](#) 1993(3)
3. Song G L, Arens A J, Darusch M [Influence of microstructure on the corrosion of die cast AZ91D](#) 1999(2)
4. Gebert A, Wolff Y, John A [Corrosion behavior of Mg65Y10Cu25 metallic glass](#) 2000(3)
5. Inoue H, Sugahara K, Yanamoto A [Corrosion rate of magnesium and its alloys in buffered chloride solutions](#) 2002(3)
6. Gray J E, Luan L [Protective coatings on magnesium and its alloys-A critical review](#) 2002(2)
7. Bolger P T, Szlag D C [Current and emerging technologies for extending the lifetime of electroless nickel plating baths](#) 2001(4)
8. Li J Z, Tian Y W, Huang Z Q [Studies of the porosity in electroless nickel deposits on magnesium alloy](#) 2006(8)
9. Gu C D, Lian J S, He J G [High corrosion resistance nanocrystalline Ni coating on AZ 91D magnesium alloy](#) 2006(18)
10. Song Y W, Shah D Y, Han E H [Corrosion behaviors of electroless plating Ni-P coatings deposited on magnesium alloys in artificial sweat solution](#) 2007(4)
11. Shartal K M, Kipouros G J [Electroless nickel-phosphorus plating on AZ31](#) 2009(2)
12. Huo H W, Li Y, Wang F H [Corrosion of AZ91D magnesium alloy with a chemical conversion coating and electroless nickel layer](#) 2004(6)
13. Song YW, Shan D Y, Han E N [A study on the pretreatment of direct electroless nickel plating on magnesium](#) 2005
14. Chen J L, Yu G, Hu B N [A zinc transition layer in electroless nickel plating](#) 2006(3)
15. Zhang W X, He J G, Jiang Z H [Electroless Ni-P layer with a chromium-free pretreatment on AZ 91D magnesium alloy](#) 2007(8)
16. Elsentriecy H H, Azumi K [Electroless Ni-P deposition on AZ 91D magnesium alloy prepared by molybdate chemical conversion coatings](#) 2009(2)
17. He Y D, Fu H F, Li X G [Microstructure and properties of mechanical attrition enhanced electroless Ni-P plating on magnesium alloy](#) 2008(6)
18. Sun S, Yan C W, Wang F H [A novel process for electroless nickel plating of magnesium alloy](#) 2008(16)
19. Liu Z M, Gap W [A novel process of electroless Ni-P plating with plasma electrolytic oxidation pretreatment](#) 2006(5)
20. Ambat R, Zhou W [Electroless nickel-plating on AZ91D magnesium alloy:Effect of substrate](#)

microstructure and plating parameters 2004(2)

21. Gu C D, Lian J S, Li G Y Electroless Ni-P plating on AZ 91D magnesium alloy from a sulfate solution 2005(1)
22. Anik M, Korpe E Effect of alloy microstructure on electroless Ni-P deposition behavior on alloy AZ91D 2007(6)
23. Gap X L, Yu G, Ouyang Y J Effects of multiple ligand coordinations on electroless nickel plating on magnesium alloys 2008(4)
24. Wu Y, Xiang W, Hu W Study on the process of electroless nickel plating on magnesium alloys 2005(2)
25. Li J Z, Shao Z C, Zhang X The electroless nickel plating on magnesium alloy using NiSO₄ @ 6H₂O as the main salt 2006(9)
26. El-Mahallawy N, Bakkar A, Shoeib M Electroless Ni-P coating of different magnesium alloys 2008(21)
27. Zhang W X, Jiang Z H, Lian J S Electroless Ni-P/Ni-B duplex coatings for improving the hardness and the corrosion resistance of AZ91D magnesium alloy 2008(16)
28. Zhang W X, Huang N, He J G Electroless deposition of Ni-W-P coating on AZ91D magnesium alloy 2007(11)
29. Zhang W X, Jiang Z H, Li G Y Electroless Ni-Sn-P coating on AZ91D magnesium alloy and its corrosion resistance 2008(12)
30. Song Y W, Shan D Y, Chen R S Study on electroless Ni-P-ZrO₂ composite coatings on AZ 91D magnesium alloys 2007(5)
31. Song Y W, Shan D Y, Han E H High corrosion resistance of electroless composite plating coatings on AZ 91D magnesium alloys 2008(5)
32. Zhao H, Cui J Z Electroless plating of silver on AZ31 magnesium alloy substrate 2007(8)
33. Zhao H, Huang Z H, Cui J Z Electroless plating of copper on AZ31 magnesium alloy substrates 2008(2)
34. Zhao H, Huang Z H, Cui J Z A novel method of electroless plating on AZ31 magnesium alloy sheet 2008(1)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_ddyhb201002001.aspx