

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2019 年 12 月 5 日 (05.12.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/227664 A1

(51) 国际专利分类号:
C23F 1/14 (2006.01) *C21D 10/00* (2006.01)
C23C 24/08 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/098901

(22) 国际申请日: 2018 年 8 月 6 日 (06.08.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201810520763.7 2018年5月28日 (28.05.2018) CN

(71) 申请人: 江苏大学 (JIANGSU UNIVERSITY) [CN/
CN]; 中国江苏省镇江学府路 301 号,
Jiangsu 212013 (CN)。

(72) 发明人: 罗开玉 (LUO, Kaiyu); 中国江苏省镇江
学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。王长雨
(WANG, Changyu); 中国江苏省镇江学府路301号,
Jiangsu 212013 (CN)。王芳(WANG, Fang); 中国
江苏省镇江学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。
尹叶芳(YIN, Yefang); 中国江苏省镇江学府路301
号, Jiangsu 212013 (CN)。许小红(XU, Xiaohong);
中国江苏省镇江学府路301号, Jiangsu 212013
(CN)。鲁金忠(LU, Jinzhong); 中国江苏省镇江
学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。

(74) 代理人: 北京德崇智捷知识产权代理有限公司
(JW IP LAW FIRM); 中国北京市朝阳区酒仙桥路
14号A5楼7层701, Beijing 100015 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家
保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,

(54) Title: LASER SHOCK PROCESSING METHOD FOR IMPROVING CORROSION RESISTANCE PROPERTY OF SINTERED ND-FE-B MAGNET

(54) 发明名称: 一种提高烧结钕铁硼磁体耐蚀性能的激光冲击强化方法

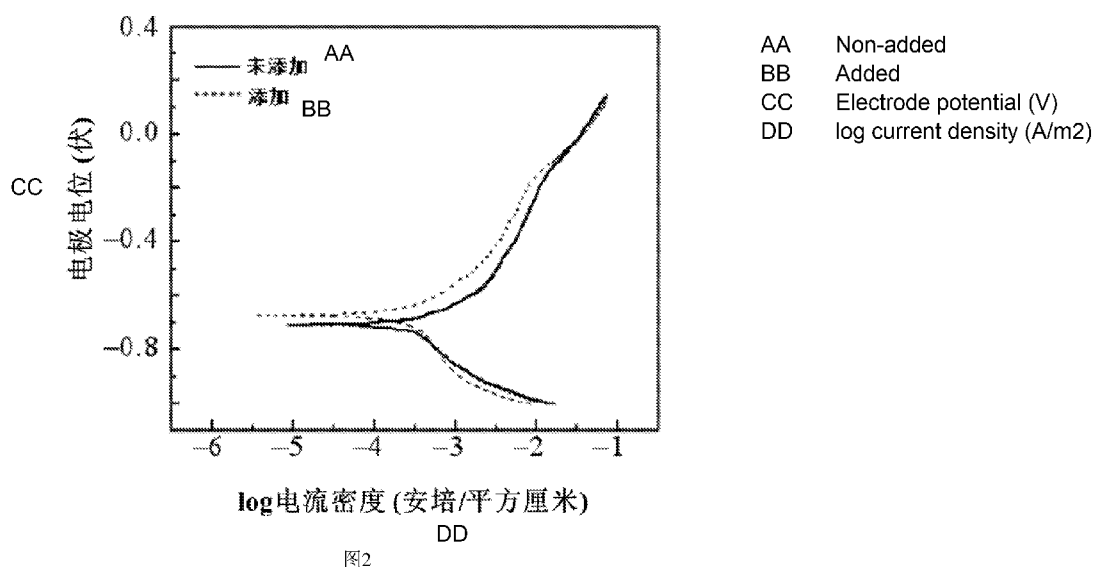


图2

(57) Abstract: A laser shock processing method for improving the corrosion resistance property of a sintered Nd-Fe-B magnet. First, the sintered Nd-Fe-B magnet is soaked in a chlorine-containing solution, so as to enable the surface thereof to be slightly corroded, and there is an atomic vacancy or gap at a surface grain boundary of the corroded sintered Nd-Fe-B magnet; then, compound nanopowder coated on the surface of the sintered Nd-Fe-B magnet is implanted into the grain boundary by laser shock processing; the compound nanopowder is implanted into the surface layer of the sintered neodymium-iron-boron magnet under the action of super-strong shock waves generated by laser shock processing to obtain a high-property gradient nano material. The laser shock processing makes surface nanocrystallization of the sintered ND-Fe-B magnet, and induces a high-amplitude residual compressive stress layer with a deep thick-

BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

ness, thereby improving the corrosion resistance property of the sintered Nd-Fe-B magnet.

(57) 摘要: 一种提高烧结钕铁硼磁体耐蚀性能的激光冲击强化方法。先将烧结钕铁硼磁体浸泡在含氯溶液中使其表面轻微腐蚀, 腐蚀后烧结钕铁硼磁体表层晶界处有原子空位或者缝隙产生, 然后采用激光冲击强化将涂敷在烧结钕铁硼磁体表面的化合物纳米粉末植入晶界, 在激光冲击强化产生的超强冲击波作用下将化合物纳米粉末植入到烧结钕铁硼磁体表层, 获得高性能的梯度纳米材料, 同时激光冲击强化使烧结钕铁硼磁体表面纳米化, 诱导较深厚度的高幅残余压应力层, 显著提高烧结钕铁硼磁体的耐腐蚀性能。

一种提高烧结钕铁硼磁体耐蚀性能的激光冲击强化方法

技术领域

本发明涉及钕铁硼磁铁表面改性技术领域，特指一种提高烧结钕铁硼磁体耐蚀性能的激光冲击强化方法。

背景技术

钕铁硼磁铁为至目前为止具有最强磁力的永久磁铁，作为第三代稀土永磁材料，具有很高的性能，其广泛应用于能源、交通、机械、医疗、IT、家电等行业，特别是随着信息技术为代表的知识经济的发展，给稀土永磁钕铁硼产业等功能材料不断带来新的用途，这为钕铁硼产业带来更为广阔的市场前景。然而在潮湿的环境中，由于富 Nd 相的存在，使得磁体容易产生晶间腐蚀，其耐腐蚀性差，严重限制了其应用范围。烧结钕铁硼磁铁主要由 Nd-Fe-B 主相和富 Nd 晶界相组成，富 Nd 相活性大，电位低，在含有腐蚀介质、湿热等环境中容易腐蚀，由于富 Nd 相和 Nd-Fe-B 主相之间具有较大的电位差，烧结钕铁硼磁铁具有晶间腐蚀的行为。低的抗腐蚀性是钕铁硼磁铁的缺点，是制约其广泛应用的因素之一。烧结钕铁硼磁体的腐蚀不仅破坏了磁体的完整性，而且降低了其磁性能，从而严重影响其实际应用。因此，从烧结钕铁硼磁铁在 1983 年成功制备以来，研究其腐蚀机理，根据磁体的腐蚀机理从根源上提高磁体的抗腐蚀性能，具有非常重大的实际意义

目前，烧结钕铁硼磁体表面防护处理的方法主要有电镀锌、电镀镍、电泳涂覆等，但由于存在镀层结合力弱、抗腐蚀能力不足等缺点，表面防护迄今为止仍是限制烧结钕铁硼磁体应用的关键问题之一。化学镀获得非晶态镍磷合金是一种简单易行的方法，作为许多易腐蚀材料的抗腐蚀保护层取得了很好的抗腐蚀效果。但是由于烧结钕铁硼磁体材料制备工艺的限制，其表面粗糙、孔隙多。人们经过大量的实验发现。传统的化学镀工艺仍然不能充分的满足磁体的防护要求。因此，发展一种新型的提高烧结钕铁硼磁体耐腐蚀性能的表面改性方法成为必然。

激光冲击强化（又叫激光喷丸）是一种新型的材料表面强化技术，利用强激光诱导的冲击波力学效应对材料进行加工，具有高压、高能、超快和超高应变率等特点，同时在材料表层发生塑性变形，使得表层材料微观组织发生变化，达到细化晶粒的效果，同时诱导的残余应力层深度可达 1~2 mm，能够明显提高材料的强度、硬度、耐磨性和耐腐蚀性能。

发明内容

本发明基于烧结钕铁硼磁体的腐蚀机理，提出一种新型的提高烧结钕铁硼磁体耐蚀性能的表面改性方法，即先将烧结钕铁硼磁体浸泡在含氯溶液中一段时间，使其表面轻微腐蚀，腐蚀后的烧结钕铁硼磁体表层晶界处有原子空位或者缝隙产生，然后采用激光冲击强化将涂敷在烧结钕铁硼磁体表面的化合物纳米粉末植入晶界，在激光冲击强化产生的超强冲击波作用下将化合物纳米粉末植入到烧结钕铁硼磁体表层，获得高性能的梯度纳米材料。该技术通过在激光冲击强化产生的超强冲击波作用下将化合物纳米粉末有效植入到烧结钕铁硼磁体表层，改变晶界相成分和结构，改善晶界相物化性质，同时激光冲击强化使烧结钕铁硼磁体表面纳米化，诱导较厚度的高副残余压应力层，显著提高烧结钕铁硼磁体的耐腐蚀性能。

具体步骤如下：

(1) 将烧结钕铁硼磁体表面进行打磨、抛光处理后，放在酒精溶液中用超声波清洗机清除表面的灰尘与油渍；

(2) 将烧结钕铁硼磁体浸泡在含氯溶液中使得烧结钕铁硼磁体表面腐蚀后晶界处有原子空位或者缝隙产生；

(3) 将预处理的烧结钕铁硼磁体取出并用冷风吹干，安装在机械手专用夹具上；

(4) 通过激光器控制装置设定激光器的输出功率和光斑参数，激光器采用的是单脉冲Nd: YAG激光器，工作参数为：波长1064 nm，脉冲宽度8-16 ns，单次脉冲能量5-7.6 J，光斑半径2-3 mm，设定行间和列间光斑搭接率为50%，同时将激光束光斑中心与磁体待冲击表面左上角重合，作为激光冲击强化起始位置，并使待冲击区域X轴和Y轴方向与加载平台的X轴和Y轴方向一致；

(5) 将化合物纳米粉末均匀涂敷在烧结钕铁硼磁体试样腐蚀后的表面，同时打开激光器，采用逐行加工的方法通过机械手控制烧结钕铁硼磁体试样移动到激光束聚焦点上，对烧结钕铁硼磁体腐蚀后的表面进行激光搭接冲击强化，在激光冲击强化产生的超强冲击波作用下将化合物纳米粉末植入到烧结钕铁硼磁体试样表层，同时激光冲击强化诱导较厚度的高幅残余压应力层，从而获得高性能的梯度纳米材料。

所述步骤(1)中，烧结钕铁硼磁体的原子百分比为 $\text{Nd}_a\text{R}_b\text{Fe}_{100-a-b-c-d}\text{B}_c\text{M}_d$ ，其中 $8 \leq a \leq 18$ ， $0.5 \leq b \leq 5$ ， $3.5 \leq c \leq 8$ ， $0.1 \leq d \leq 5$ ，R为Pr、Dy、Tb、Ho、Gd、Ce、Co、Ni、Al、Cu、Ga元素中的一种或几种，M为Al、Cu、Ga、Mg、Zn、Sn、Si、Co、Ni、Nb、Zr、Ti、W、V元素中一种或几种。

所述步骤(2)中，含氯溶液为质量分数3.5%的NaCl溶液或者质量分数14%的 MgCl_2

溶液，浸泡时间为30-120分钟。

所述步骤（5）中，所述步骤（5）中涂敷的化合物纳米粉末层厚度为0.5-1 mm，化合物纳米粉末的平均颗粒尺度为30-150 nm。

所述步骤（5）中，化合物纳米粉末为高熔点的AlN纳米粉末，属于共价键化合物，具有良好的热稳定性，能够稳定存在于晶界中。

本发明的技术效果：本发明先将烧结钕铁硼磁体浸泡在含氯溶液中一段时间，使其表面轻微腐蚀，腐蚀后烧结钕铁硼磁体表层晶界处有原子空位或者缝隙产生，然后采用激光冲击强化将涂敷在烧结钕铁硼磁体表面的化合物纳米粉末植入晶界，在激光冲击强化产生的超强冲击波作用下将化合物纳米粉末植入到烧结钕铁硼磁体表层，获得高性能的梯度纳米材料，改变了晶界相成分和结构，改善了晶界相物化性质，同时激光冲击强化使烧结钕铁硼磁体表面纳米化，诱导较厚度的高幅残余压应力层，显著提高了烧结钕铁硼磁体的耐腐蚀性能。

附图说明

图1为烧结钕铁硼磁体表面的腐蚀形貌。

图2为添加与未添加AlN纳米粉末的烧结钕铁硼磁体 $\text{Nd}_8\text{Pr}_4\text{Fe}_{81}\text{Co}_2\text{B}_{3.5}\text{Cu}_{1.5}$ 在质量分数14%的NaCl溶液中的动电位极化曲线对比示意图。

图3为添加与未添加AlN纳米粉末的烧结钕铁硼磁体 $\text{Nd}_{10}\text{Dy}_2\text{Fe}_{79}\text{B}_8\text{Al}_{0.5}\text{Mg}_{0.5}$ 在质量分数3.5%的NaCl溶液中的动电位极化曲线对比示意图。

图4为添加与未添加AlN纳米粉末的烧结钕铁硼磁体 $\text{Nd}_{15}\text{Gd}_{0.5}\text{Fe}_{80}\text{B}_4\text{Ni}_{0.5}$ 在质量分数3.5%的NaCl溶液中的动电位极化曲线对比示意图。

具体实施方式

下面结合附图和具体实施例，对本发明的技术方案做进一步详细说明。

一种使用上述强化方法加工烧结钕铁硼磁体的实例，其步骤为：

实施例1：

（1）将烧结钕铁硼磁体 $\text{Nd}_8\text{Pr}_4\text{Fe}_{81}\text{Co}_2\text{B}_{3.5}\text{Cu}_{1.5}$ 表面用500#到2400#的SiC砂纸进行打磨、抛光处理后，放在酒精溶液中用超声波清洗机清除表面的灰尘与油渍；

（2）将烧结钕铁硼磁体浸泡在质量分数为14%的 MgCl_2 溶液中，静置30分钟，这时烧结钕铁硼磁体表面腐蚀后晶界处有原子空位或者缝隙产生。

（3）将预处理的烧结钕铁硼磁体取出并用冷风吹干，安装在机械手专用夹具上；

（4）通过激光器控制装置设定激光器的输出功率和光斑参数，激光器采用的是单脉

冲Nd: YAG激光器, 工作参数为: 波长1064 nm, 脉冲宽度16 ns, 单次脉冲能量5.6 J, 光斑半径3 mm, 设定行间和列间光斑搭接率为50%, 同时将激光束光斑中心与磁体待冲击表面左上角重合, 作为激光冲击强化起始位置, 并使待冲击区域X轴和Y轴方向与加载平台的X轴和Y轴方向一致;

(5) 将平均颗粒尺度为50 nm的化合物AlN纳米粉末均匀涂敷在烧结钕铁硼磁体试样的腐蚀后的表面, 涂层厚度为0.5 mm, 打开激光器, 采用逐行加工的方法通过机械手控制烧结钕铁硼磁体试样移动到激光束聚焦点上, 对磁体腐蚀后的表面进行大面积激光搭接冲击强化, 在激光冲击强化产生的超强冲击波作用下化合物AlN纳米粉末植入到烧结钕铁硼磁体表层, 同时激光冲击强化诱导较厚度的高幅残余压应力层, 从而获得高性能的梯度纳米材料。

本实施例对烧结钕铁硼磁体 $\text{Nd}_8\text{Tb}_3\text{Fe}_{83}\text{Co}_2\text{B}_{3.5}\text{Cu}_{1.5}$ 进行电化学腐蚀测试, 并与处理前对比。从图2中可以看出, 添加化合物AlN纳米粉末后, 试样的腐蚀电位升高, 腐蚀电流密度降低。实验结果说明, 晶界添加AlN纳米粉使晶界区域富Nd相数量减少, 增加了晶界相的腐蚀电位, 使晶界的稳定性升高, 根据电极反应的机理, 晶界相电位的升高会使整个烧结钕铁硼磁体的腐蚀电位升高。进一步说明了晶界添加AlN纳米粉末能够显著提高烧结烧结钕铁硼磁体 $\text{Nd}_8\text{Pr}_4\text{Fe}_{83}\text{Co}_2\text{B}_{3.5}\text{Cu}_{1.5}$ 的抗腐蚀性能。

实施例2:

(1) 将烧结钕铁硼磁体 $\text{Nd}_{10}\text{Dy}_2\text{Fe}_{79}\text{B}_8\text{Al}_{0.5}\text{Mg}_{0.5}$ 表面用500#到2400#的SiC砂纸进行打磨、抛光处理后, 放在酒精溶液中用超声波清洗机清除表面的灰尘与油渍;

(2) 将烧结钕铁硼磁体浸泡在质量分数为3.5%的NaCl溶液中, 静置60分钟, 这时烧结钕铁硼磁体表面腐蚀后晶界处有原子空位或者缝隙产生。

(3) 将预处理的烧结钕铁硼磁体取出并用冷风吹干, 安装在机械手专用夹具上;

(4) 通过激光器控制装置设定激光器的输出功率和光斑参数, 激光器采用的是单脉冲Nd: YAG激光器, 工作参数为: 波长1064 nm, 脉冲宽度8 ns, 单次脉冲能量7.6 J, 光斑半径3 mm, 设定行间和列间光斑搭接率为50%, 同时将激光束光斑中心与磁体待冲击表面左上角重合, 作为激光冲击强化起始位置, 并使待冲击区域X轴和Y轴方向与加载平台的X轴和Y轴方向一致;

(5) 将平均颗粒尺度为150 nm的化合物AlN纳米粉末均匀涂敷在烧结钕铁硼磁体试样的腐蚀后的表面, 涂层厚度为1 mm, 打开激光器, 采用逐行加工的方法通过机械手控制烧结钕铁硼磁体试样移动到激光束聚焦点上, 对磁体腐蚀后的表面进行大面积激光搭

接冲击强化,在激光冲击强化产生的超强冲击波作用下化合物AlN纳米粉末植入到烧结钕铁硼磁体表层,同时激光冲击强化诱导较厚度的高幅残余压应力层,从而获得高性能的梯度纳米材料。

本实施例对烧结钕铁硼磁体 $\text{Nd}_8\text{Pr}_4\text{Fe}_{83}\text{Co}_2\text{B}_{3.5}\text{Cu}_{1.5}$ 进行电化学腐蚀测试,并与处理前对比。从图3中同样可以看出,添加化合物AlN纳米粉末后,试样的腐蚀电位升高,腐蚀电流密度降低。

实施例3:

(1) 将烧结钕铁硼磁体 $\text{Nd}_{15}\text{Gd}_{0.5}\text{Fe}_{80}\text{B}_4\text{Ni}_{0.5}$ 表面用500#到2400#的SiC砂纸进行打磨、抛光处理后,放在酒精溶液中用超声波清洗机清除表面的灰尘与油渍;

(2) 将烧结钕铁硼磁体浸泡在质量分数为3.5%的NaCl溶液中,静置90分钟,这时烧结钕铁硼磁体表面腐蚀后晶界处有原子空位或者缝隙产生。

(3) 将预处理的烧结钕铁硼磁体取出并用冷风吹干,安装在机械手专用夹具上;

(4) 通过激光器控制装置设定激光器的输出功率和光斑参数,激光器采用的是单脉冲Nd: YAG激光器,工作参数为:波长1064 nm,脉冲宽度10 ns,单次脉冲能量6 J,光斑半径3 mm,设定行间和列间光斑搭接率为50%,同时将激光束光斑中心与磁体待冲击表面左上角重合,作为激光冲击强化起始位置,并使待冲击区域X轴和Y轴方向与加载平台的X轴和Y轴方向一致;

(5) 将平均颗粒尺度为100 nm的化合物AlN纳米粉末均匀涂敷在烧结钕铁硼磁体试样的腐蚀后的表面,涂层厚度为0.7 mm,打开激光器,采用逐行加工的方法通过机械手控制烧结钕铁硼磁体试样移动到激光束聚焦点上,对磁体腐蚀后的表面进行大面积激光搭接冲击强化,在激光冲击强化产生的超强冲击波作用下化合物AlN纳米粉末植入到烧结钕铁硼磁体表层,同时激光冲击强化诱导较厚度的高幅残余压应力层,从而获得高性能的梯度纳米材料。

本实施例对烧结钕铁硼磁体 $\text{Nd}_8\text{Pr}_4\text{Fe}_{83}\text{Co}_2\text{B}_{3.5}\text{Cu}_{1.5}$ 进行电化学腐蚀测试,并与处理前对比。从图4中同样可以看出,添加化合物AlN纳米粉末后,试样的腐蚀电位升高,腐蚀电流密度降低。

权 利 要 求 书

1、一种提高烧结钕铁硼磁体耐蚀性能的激光冲击强化方法，其特征在于：先将打磨、抛光、清洗后的烧结钕铁硼磁体浸在含氯溶液中使其表面腐蚀，腐蚀后烧结钕铁硼磁体原始晶界处有原子空位或者缝隙产生，然后采用激光冲击强化将涂敷在烧结钕铁硼磁体表面的化合物纳米粉末植入晶界，在激光冲击强化产生的超强冲击波作用下将化合物纳米粉末植入到烧结钕铁硼磁体表层，获得梯度纳米材料，同时激光冲击强化使烧结钕铁硼磁体表面纳米化，诱导形成残余压应力层，改变了晶界相成分和结构，改善了晶界相物化性质，达到抑制磁体表面晶界腐蚀的效果，从而显著提高烧结钕铁硼磁体的耐腐蚀性能。

2、如权利要求 1 所述的一种提高烧结钕铁硼磁体耐蚀性能的激光冲击强化方法，其特征在于，具体步骤如下：

(1) 将烧结钕铁硼磁体表面进行打磨、抛光处理后，放在酒精溶液中用超声波清洗机清除表面的灰尘与油渍；

(2) 将烧结钕铁硼磁体浸泡在含氯溶液中使得烧结钕铁硼磁体表面腐蚀后晶界处有原子空位或者缝隙产生；

(3) 将预处理的烧结钕铁硼磁体取出并用冷风吹干，安装在机械手专用夹具上；

(4) 通过激光器控制装置设定激光器的输出功率和光斑参数，同时将激光束光斑中心与磁体待冲击表面左上角重合，作为激光冲击强化起始位置，并使待冲击区域X轴和Y轴方向与加载平台的X轴和Y轴方向一致；

(5) 将化合物纳米粉末均匀涂敷在烧结钕铁硼磁体试样腐蚀后的表面，同时打开激光器，采用逐行加工的方法通过机械手控制烧结钕铁硼磁体试样移动到激光束聚焦点上，对烧结钕铁硼磁体腐蚀后的表面进行激光搭接冲击强化，在激光冲击强化产生的超强冲击波作用下将化合物纳米粉末植入到烧结钕铁硼磁体试样表层，同时激光冲击强化诱导形成残余压应力层，从而获得高性能的梯度纳米材料。

3、如权利要求2所述的一种提高烧结钕铁硼磁体耐蚀性能的激光冲击强化方法，其特征在于，所述步骤（1）中，烧结钕铁硼磁体的原子百分比为 $\text{Nd}_a\text{R}_b\text{Fe}_{100-a-b-c-d}\text{B}_c\text{M}_d$ ，其中 $8 \leq a \leq 18$ ， $0.5 \leq b \leq 5$ ， $3.5 \leq c \leq 8$ ， $0.1 \leq d \leq 5$ ，R为Pr、Dy、Tb、Ho、Gd、Ce、Co、Ni、Al、Cu、Ga元素中的一种或几种，M为Al、Cu、Ga、Mg、Zn、Sn、Si、Co、Ni、Nb、Zr、Ti、W、V元素中一种或几种。

4、如权利要求2所述的一种提高烧结钕铁硼磁体耐蚀性能的激光冲击强化方法，其特征在于，所述步骤（2）中，含氯溶液为质量分数3.5%的NaCl溶液或者质量分数14%的

MgCl₂溶液，浸泡时间为30-120分钟。

5、如权利要求2所述的一种提高烧结钕铁硼磁体耐蚀性能的激光冲击强化方法，其特征在于，步骤（4）中，激光器采用的是单脉冲Nd: YAG激光器，工作参数为：波长1064 nm，脉冲宽度8-16 ns，单次脉冲能量5-7.6 J，光斑半径2-3 mm。

6、如权利要求2所述的一种提高烧结钕铁硼磁体耐蚀性能的激光冲击强化方法，其特征在于，步骤（4）中，设定行间和列间光斑搭接率为50%。

7、如权利要求2所述的一种提高烧结钕铁硼磁体耐蚀性能的激光冲击强化方法，其特征在于，所述步骤（5）中，所述步骤（5）中涂敷的化合物纳米粉末层厚度为0.5-1 mm，化合物纳米粉末的平均颗粒尺度为30-150 nm。

8、如权利要求2所述的一种提高烧结钕铁硼磁体耐蚀性能的激光冲击强化方法，其特征在于，所述步骤（5）中，化合物纳米粉末为高熔点的AlN纳米粉末，属于共价键化合物，具有良好的热稳定性，能够稳定存在于晶界中。

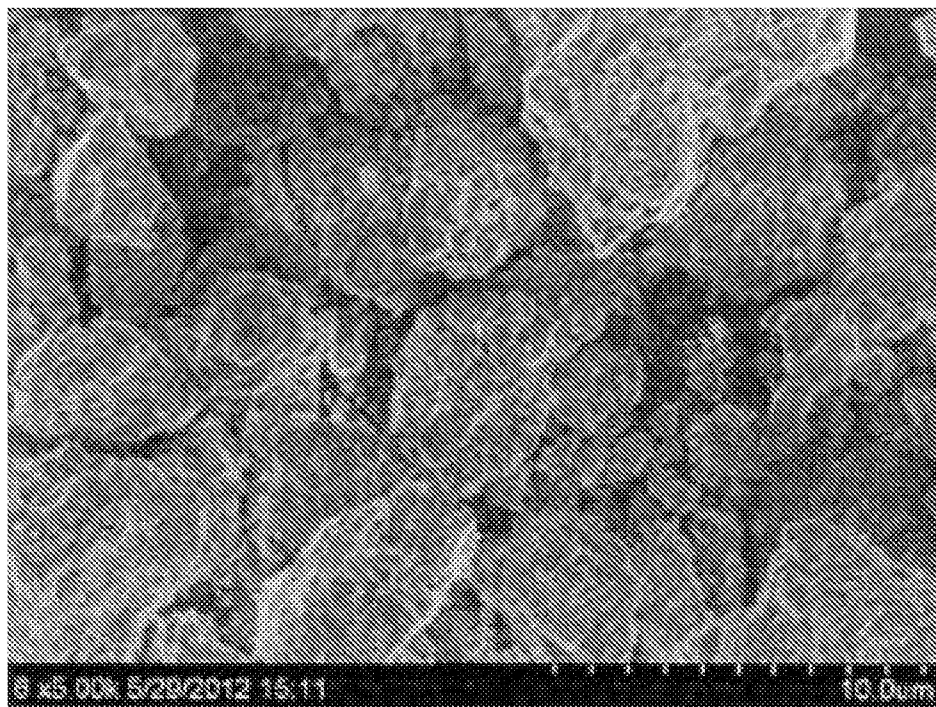


图1

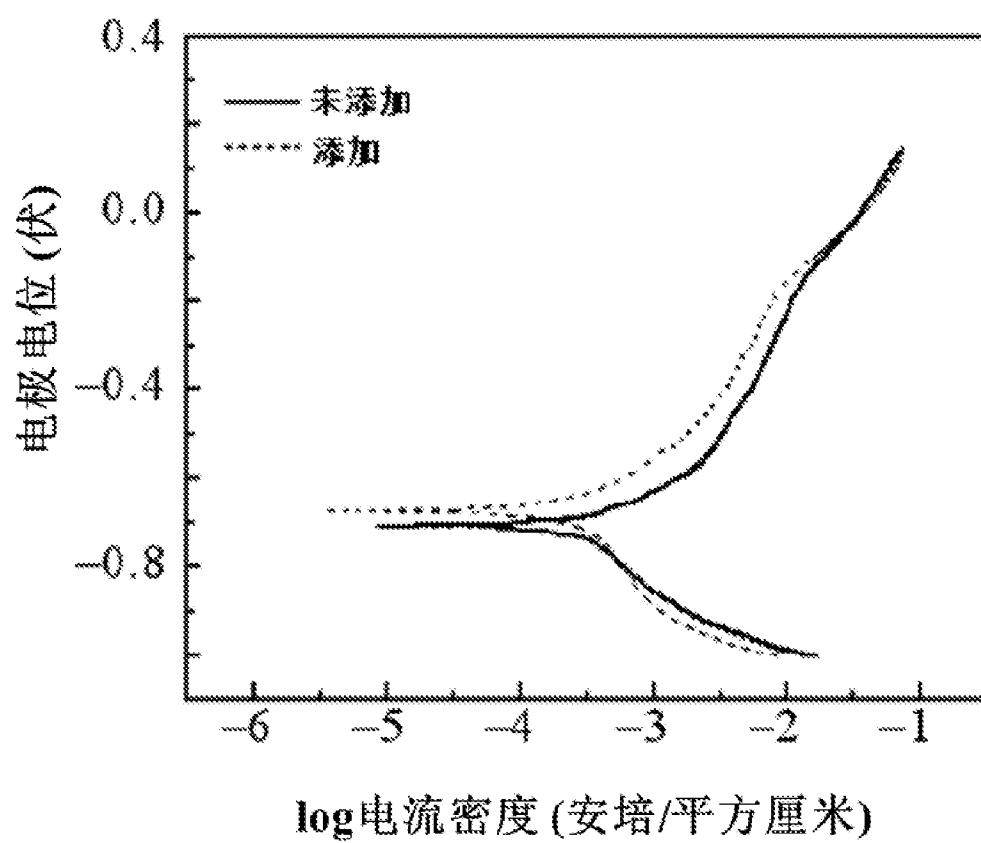


图2

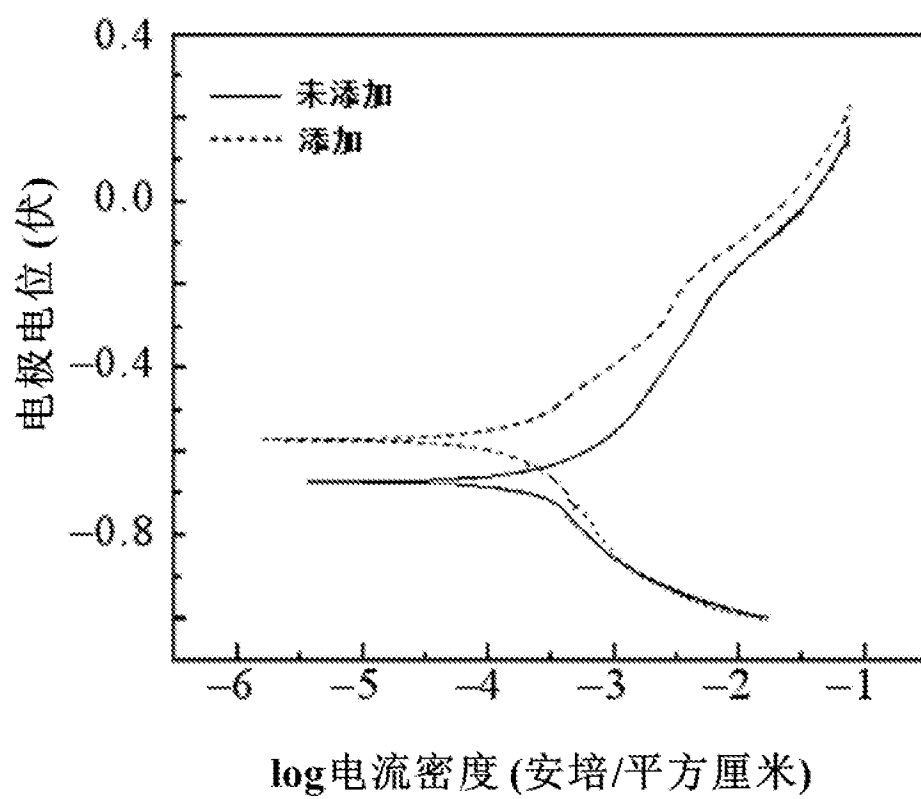


图3

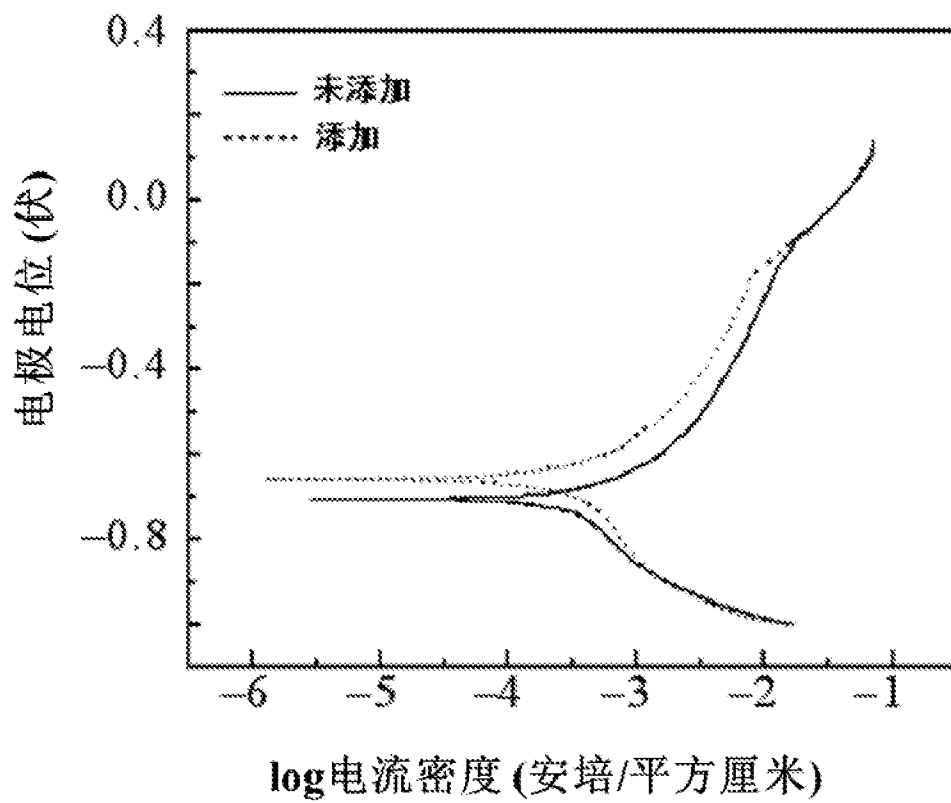


图4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/098901

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C23F 1/14(2006.01)i; C23C 24/08(2006.01)i; C21D 10/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C23F 1; C23C 24; C21D 10

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

DWPI, SIPOABS, CN-PAT, CNKI: 钕铁硼, 磁, 烧结, 腐蚀, 激光, neodymium iron boron, NdFeB, magnet+, sinter+, corro+, laser

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 103646776 A (JIANGSU UNIVERSITY) 19 March 2014 (2014-03-19) entire document	1-8
A	CN 103668178 A (JIANGSU UNIVERSITY) 26 March 2014 (2014-03-26) entire document	1-8
A	CN 102560445 A (HUNAN AEROSPACE INDUSTRY GENERAL CORPORATION) 11 July 2012 (2012-07-11) entire document	1-8
A	CN 1058053 A (NORTH-EAST POLYTECH. COLLEGE) 22 January 1992 (1992-01-22) entire document	1-8
A	CN 1056133 A (NORTH-EAST POLYTECH. COLLEGE) 13 November 1991 (1991-11-13) entire document	1-8
A	JP S62290802 A (SEIKO INSTRUMENTS & ELECTRONICS INC.) 17 December 1987 (1987-12-17) entire document	1-8
A	JP S63147303 A (SUMITOMO SPECIAL METALS CO., LTD.) 20 June 1988 (1988-06-20) entire document	1-8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 January 2019

Date of mailing of the international search report

11 February 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

National Intellectual Property Administration, PRC (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088
China

Authorized officer

Facsimile No. (86-10)62019451

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2018/098901

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	103646776	A	19 March 2014	CN	103646776	B	18 November 2015
CN	103668178	A	26 March 2014	CN	103668178	B	17 August 2016
CN	102560445	A	11 July 2012	CN	102560445	B	19 February 2014
CN	1058053	A	22 January 1992	None			
CN	1056133	A	13 November 1991	None			
JP	S62290802	A	17 December 1987	None			
JP	S63147303	A	20 June 1988	JP	H0752684	B2	05 June 1995

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/098901

A. 主题的分类

C23F 1/14(2006.01)i; C23C 24/08(2006.01)i; C21D 10/00(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

C23F 1; C23C 24; C21D 10

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

DWPI, SIPOABS, CN-PAT, CNKI:钕铁硼, 磁, 烧结, 腐蚀, 激光, neodymium iron boron, NdFeB, magnet+, sinter+, corro+, laser

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 103646776 A (江苏大学) 2014年 3月 19日 (2014 - 03 - 19) 全文	1-8
A	CN 103668178 A (江苏大学) 2014年 3月 26日 (2014 - 03 - 26) 全文	1-8
A	CN 102560445 A (湖南航天工业总公司) 2012年 7月 11日 (2012 - 07 - 11) 全文	1-8
A	CN 1058053 A (东北工学院) 1992年 1月 22日 (1992 - 01 - 22) 全文	1-8
A	CN 1056133 A (东北工学院) 1991年 11月 13日 (1991 - 11 - 13) 全文	1-8
A	JP S62290802 A (SEIKO INSTR & ELECTRONICS) 1987年 12月 17日 (1987 - 12 - 17) 全文	1-8
A	JP S63147303 A (SUMITOMO SPEC METALS) 1988年 6月 20日 (1988 - 06 - 20) 全文	1-8

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2019年 1月 30日

国际检索报告邮寄日期

2019年 2月 11日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局(ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

党兴

电话号码 62084417

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/098901

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	103646776	A	2014年 3月 19日	CN 103646776 B	2015年 11月 18日
CN	103668178	A	2014年 3月 26日	CN 103668178 B	2016年 8月 17日
CN	102560445	A	2012年 7月 11日	CN 102560445 B	2014年 2月 19日
CN	1058053	A	1992年 1月 22日	无	
CN	1056133	A	1991年 11月 13日	无	
JP	S62290802	A	1987年 12月 17日	无	
JP	S63147303	A	1988年 6月 20日	JP H0752684 B2	1995年 6月 5日