

一种镀镍钢及其制造方法和电池壳

技术领域

本发明涉及镀镍钢，特别涉及一种用于圆柱形锂离子电池的镀镍钢及其制造方法和由该镀镍钢获得的电池壳。

背景技术

近年来，得益于优异的一致性，较高的生产效率和灵活适应各种应用场景等特性，圆柱形锂离子电池被广泛应用于新能源汽车、电动二轮车以及电动工具等领域。在锂离子电池领域的材料设计中，由于锂离子电池对正负极极耳化学稳定性、导电性以及结合性等方面的需求，正负极极耳一般分别为铝箔和铜箔。在电池结构中，需要分别将正负极极耳与壳体对应部分进行焊接以使得电池单体内部形成电路。此外，由于圆柱形锂离子电池普遍存在电池单体容量低，输出电压低等特点，为获得目标设备需要的足够高的输出电压或者电流，新能源汽车、电动二轮车电池模组以及电动工具等往往将多个单体电池通过集流片焊接起来进行串联或并联。因此，对于圆柱形锂离子电池壳所使用的材料来说，电池壳体材料的焊接性能尤为重要。

圆柱锂离子电池壳体一般采用钢质材料冲制而成。现有技术主要关注电池壳钢材的成分、表面处理方法以及电池壳钢的制造方法等方面。

例如，公开号为“CN100560770C”（公开日2009年11月18日），主题为“平面各向同性优良的电池壳用钢及其制造方法”的中国公开申请公开了一种普冷电池壳用钢，其采用低碳铝镇静钢成分体系生产电池壳钢，其化学元素成分的重量百分比为：C≤0.01~0.05%、Si≤0.03%、Mn：0.10~0.5%、P≤0.02%、S：≤0.015%、Al：0.01~0.1%、N：0.002%~0.007%、Ti：0.005~0.02%，其余为Fe和不可避免的杂质；还公开了这种普冷电池壳钢的带钢表面未作任何表面处理。

公开号“CN105506689B”（公开日2016年04月20日），主题为“一种电池钢壳双层镀镍工艺及该工艺制得的电池钢壳”的中国公开申请公开了一种对电池壳的滚镀镍处理技术及生产方法：a、对电池钢壳进行脱脂预处理；b、对预处理后的

电池钢壳表面进行一次电镀，镀覆上一半光亮镍镀层；c、对经过步骤b处理后的电池钢壳进行二次电镀，镀覆上一光亮镍镀层，该光亮镍镀层的氧化电位小于所述半光亮镍镀层。该公开申请还公开了通过在现在电池钢壳上镀一层不含硫的半光亮镍镀层，然后再电镀一层含硫的光亮镍镀层，使得由于含硫的光亮镍电位较负，在光亮镍与半光亮镍之间，产生电位差，形成腐蚀原电池，含硫较高的光亮镍成为阳极，底层的半光亮镍成为阴极，光亮镍层成为牺牲镀层而被腐蚀，延迟了腐蚀介质向铁基体的腐蚀速度，显著提高镀层的耐腐蚀性能。

公开号为“CN111989424A”（公开日2020年11月24日），主题为“Ni扩散镀层钢板以及Ni扩散镀层钢板的制造方法”的中国公开申请公开了一种表面处理镀镍钢板的制造方法。所述镀镍钢板经过扩散热处理，其表面的Fe-Ni扩散合金镀层最表层的Fe浓度Cs为10~55质量%。

上述现有技术虽然一定程度上改进了电池壳钢的材料、表面处理方法及电池壳钢的制造方法，但仍存在很多问题以及相应的改进空间，如CN100560770C公开的普冷电池壳钢的带钢表面未作任何表面处理，无法满足高性能锂离子电池苛刻的耐蚀性要求，因此为了提升普冷电池壳钢的耐蚀性能，普冷钢质材料在冲制成电池壳体后一般会进行滚镀镍处理以改善壳体耐蚀性；而CN105506689B公开的腐蚀原电池虽然牺牲光亮镍层显著提高了镀层的耐腐蚀性能，但由于电池壳为深盲孔物件，滚镀过程中极易发生电池壳底部漏镀或者镀镍不均匀等现象，导致电池壳体内部正负极耳焊接性能不稳定，造成虚焊、脱焊等现象；CN111989424A公开的Fe-Ni扩散层中，由于镀镍钢带表面元素Fe-Ni在热处理过程中存在相互扩散的现象，Fe元素从镀镍层表面向Fe基体方向浓度含量逐渐增大，所以当Fe元素在Fe-Ni扩散层表面的浓度达到55质量%时，表面露铁率过高，容易产生冲制后钢壳耐蚀性较差，异种金属焊接结合力减弱等隐患。

综合上述问题，可以发现本领域目前存在电池壳钢耐蚀性较差、异种金属焊接结合力小等缺陷。

因此，本发明期望通过预镀镍的表面处理方法提供一种保证电池壳钢耐蚀性，并且焊接性能更为优异的预镀镍电池壳钢及其制造方法，可以满足锂离子电池复杂的焊接条件和应用场景。

发明内容

本发明的目的之一在于提供一种焊接性能优异的镀镍钢，其克服了普通电池壳钢异种金属焊接性能差，焊接结合力小的缺点。该镀镍钢可以用于制造圆柱形锂离子电池壳，并能够满足动力电池严苛的焊接性能测试条件和服役环境，同时保证了电池壳钢具有良好的耐蚀性，能够延长电池寿命，具有十分良好的推广前景和应用价值。

为实现上述目的，本发明提供了一种镀镍钢，包括钢基板，和覆盖于所述基板的至少一个表面的镀镍层，所述镀镍层在与所述基板的界面处包含 Fe-Ni 扩散合金层，所述 Fe-Ni 扩散合金层中，含 80%Fe 元素的位置至含 80%Ni 元素的位置之间的最短距离为 0.6~1.5 μ m。

本发明人在研究中意外地发现，通过将 Fe-Ni 扩散合金层中特定元素浓度位置之间的距离设定在 0.6~1.5 μ m，可以进一步加强预镀镍电池壳钢与异种金属之间的焊接结合力。获得上述效果的原因尚不清楚，但推测如下：

针对铝（Al）/钢以及铜（Cu）/钢异种金属焊接（钢上具有镀镍层），由于对应的两种物质之间熔点差距较大，物理、化学性能差异明显，属于“冶金学上的不相容”的异种金属材料，直接焊接困难较大，且焊接质量难以保证。例如，铝/钢的焊接连接依赖于液态铝对固态钢的润湿铺展，而界面处形成的 Fe-Al 金属间化合物将是制约焊接接头力学性能的关键因素。Ni 元素可抑制 Fe-Al 间的冶金反应，抑制 Fe-Al 化合物的过度生长，或形成塑性较好的金属间化合物取代脆性的 Fe-Al 化合物，从而改善铝/钢异种金属钎焊接头的力学性能。对于铜/钢的焊接连接，其依赖于能与两侧金属具有良好物理冶金相容性的过渡金属元素，例如 Ni，使焊缝金属起到过渡效应，进而获得良好的焊接性能。在一定成分范围内 Ni 元素可以与 Fe 和 Cu 形成固溶体，不会在焊缝区域形成脆性金属间化合物以及出现两相分离现象。另一方面，Ni 元素的熔点在钢基体和铜基体之间，可以改善异种金属在焊接过程中融化不均匀的现象，保证焊缝金属更好的融合，形成良好的焊接性能。本发明人根据这样的见解发现，通过预镀镍方式在电池壳形成均匀的镀镍镀层，并将 Fe-Ni 扩散合金层中特定元素浓度位置之间的距离设定在 0.6~1.5 μ m，优选为 0.8~1.5 μ m，更优选为 1.0~1.5 μ m 时，能有效解决锂离子电池壳体正负电极铝/钢以及铜/钢异种金属焊接性能较差的问题。

优选地，所述镀镍层的表面含铁率 $\leq 15\%$ 。

通过降低镀镍层表面的含铁率，可以更好地促进镀层与异种金属之间的焊接连接，加强焊接结合力。此处，“表面”是指镀层最表面至镀层深度 $2\mu\text{m}$ 的距离。若 Fe 元素过多扩散至镀镍层一侧，即含铁率过高，将降低冲制后钢壳的耐蚀性。此外，也存在导致异种金属焊接结合力减弱等隐患。

优选地，镀镍层的厚度为 $1\sim 5\mu\text{m}$ ，优选 $2\sim 4\mu\text{m}$ ，其为包含 Fe-Ni 扩散合金层的厚度。

优选地，本发明镀镍钢的表面粗糙度为 $0.5\sim 2.0\mu\text{m}$ ，优选 $1\sim 1.5\mu\text{m}$ ，从而增加镀层表面与异种金属之间的焊接面积，增加焊接结合力。

优选地，本发明预镀镍电池壳钢的焊接结合力 $\geq 70\text{N}$ ，更优选 $\geq 100\text{N}$ ，最优选 $\geq 120\text{N}$ 。

优选地，根据本发明的镀镍钢，其中，镀镍层为不含 S 的半光亮镀镍层或暗镀镍层。由于含 S 的光亮镀镍层在合金化热处理后容易导致热脆，进而会导致由钢材制成的电池壳在冲制后产生镀层严重开裂的现象，并恶化耐蚀性，因而不选用。此外，如若镀层中含有 S 元素，也会恶化焊接性能，减小焊接结合力。因此，不含有 S 的化合物的半光亮剂形成的半光亮镀镍以及暗镀镍层能够作为镀镍层应用于本发明。

优选地，镀镍层的含 S 量 $\leq 0.008\%$ 。作为本发明镀镍钢带的镀镍层，含 S 含量较高的镀镍层会在合金化热处理后容易形成热脆，其会导致钢材制得的电池壳在冲制后镀层开裂严重，并恶化耐蚀性，因而不选用。此外，如若镀层中含有 S 元素，也会恶化焊接性能，减小焊接结合力。因此，本发明镀镍钢带镀层中 S 元素含量尽量控制小于 0.008% 。

相应地，本发明还提供一种电池壳，其由上述的镀镍钢形成。

相应地，本发明还提供了一种制备前述镀镍钢的方法，该方法包括以下步骤：

- 1) 对钢基板进行冷轧；
- 2) 在冷轧后的钢基板的至少一个表面上进行连续电镀镍，在钢基板的表面上形成镀镍层；
- 3) 对镀镍的钢板进行连续炉退火热处理，在镀镍层与钢基板的界面处形成 Fe-Ni 扩散合金层，然后进行调质轧制，获得镀镍钢。

优选地，连续电镀镍中采用镀浴进行，所述镀浴包括瓦特浴、氨基磺酸浴或氯化物浴，使用常规的镀浴类型即可。

优选地，所述镀浴中不含包含硫（S）的添加剂。

对于镀镍层，含 S 含量较高的镀镍层会在合金化热处理后容易形成热脆，其会导致钢材制得的电池壳在冲制后镀层开裂严重，并恶化耐蚀性，因而不选用；此外，如若镀层中含有 S 元素，也会恶化焊接性能，减小焊接结合力。由此，本发明镀镍钢带镀层中 S 元素含量尽量控制小于 0.008%。控制镀层中 S 元素含量只要在所述镀浴中不添加含硫（S）元素的有机添加剂即可。

优选地，所述方法满足如下条件中的一个以上：

在步骤 1) 中，所述冷轧的压下率为 75%~95%，优选为 78%~90%；

在步骤 2) 中，所述连续电镀镍采用配方为如下的镀浴进行：硫酸镍 250~380g/L、氯化镍 30~60g/L、硼酸 20~60g/L、pH2.0~6.0、浴温 40~75℃；

在步骤 2) 中，所述连续电镀镍中的电流密度为 1~30A/dm²，优选为 5~20A/dm²；

在步骤 3) 中，所述热处理的退火均热温度为 650~800℃，优选为 670~760℃，均热时间为 10~150s，优选为 30~90s，热处理气氛为非氧化性气氛或还原性保护气体气氛；

在步骤 3) 中，控制所述调质轧制的压下率为 0.5~2%；以及

在步骤 3) 中，调质轧制后钢的表面粗糙度为 0.5~2.0μm。

以下将进一步介绍本发明方法具体的实施方案：

<钢基板>

对于钢基板，只要成型加工性优异的钢板即可，没有特别限制，例如碳含量为 0.01~0.25% 的低碳铝镇静热轧酸洗钢板，也可以使用碳含量在 0.01% 以下的低碳钢或者在母材中适量掺杂铌、钛等微合金元素的无时效热轧酸洗钢板。

<冷轧>

对前述热轧钢卷进行冷轧处理，利用冷轧工序将母材压延至目标厚度，控制冷轧压下率为 75%~95%。通过在一定范围内增加冷轧压下率，则钢材中的变形能增大，再结晶驱动力提高，从而可以降低再结晶温度，有利于退火后形成{111}织构，改善带钢的成形性能。然而，当冷轧压下率超过 95% 之后将明显增加轧机

负荷，不仅会降低冷轧机组生产效率，还会增大带钢的各向异性。因此，控制冷轧压下率为 75%~95%，优选控制冷轧压下率为 82~92%，从而获得更好的实施效果。

<镀镍处理>

在本发明中，对冷轧后的普冷带钢表面作镀镍处理，主要基于以下两方面的考虑：1、改善冲制成壳体后的耐蚀性；2、改善锂离子电池铝/钢以及铜/钢界面之间的焊接结合力。

由于 Ni 具有优异的化学稳定性，能起到阴极防护作用，保证钢壳基材不发生腐蚀，因此在母材钢带表面进行镀镍处理能明显改善钢壳的耐蚀性。此外，基于制造成本、环保以及镀层均匀性方面优越性的综合考虑，相较于冲制壳钢后的滚镀法，在壳钢冲制之前对钢带进行镀镍处理是更优选的技术方案。

在本技术方案中，连续电镀镍处理的工艺步骤包括但不限于：脱脂、电解脱脂、水洗、酸活化、清洗、连续电镀镍、清洗以及烘干。

连续电镀镍处理之前的前处理步骤为脱脂、电解脱脂以及酸活化，可以对钢材的基板进行除油和活化处理，使钢材基板在开始电镀镍前保持活性状态。在完成酸活化后，清洗钢材基板而后加入镀浴进行连续电镀镍。其中，连续电镀镍所采用的镀浴可以使用镀镍中常用的镀浴，如瓦特浴、氨基磺酸浴以及氯化物浴等。例如，以瓦特浴作为镀浴时，可以控制瓦特浴溶液配方为：硫酸镍：250~380g/L、氯化镍：30~60g/L、硼酸：20~60g/L、pH2.0~6.0、浴温：40~75℃；控制电镀工艺中的电流密度：1~30A/dm²（优选为 5~20A/dm²），进而在钢材基板表面形成镀镍层。

<热处理工序>

在本技术方案中，由于镀镍层为阴极性防护镀层，不具有如镀锌层一样的阳极牺牲性防护性能，若 Ni 镀层存在针孔等情况，将降低耐蚀性。因此，需要对连续电镀镍表面处理后的钢板实施连续退火的热处理，以完成钢板基材的再结晶退火性能调质以及在镀镍层与基板之间界面处的 Fe-Ni 合金层中元素的相互扩散。这能有效改善镀镍钢带的力学性能以及镀镍层的状态，减少镀镍层中存在的针孔缺陷，提高镀镍层的焊接结合力。

热处理的条件根据母材钢板的性能调质力学性能以及 Fe-Ni 合金层的厚度

适当选择即可。本发明所述的制造方法中，采用连续退火方式进行镀镍钢带钢的退火热处理，控制退火均热温度为 650~800℃，控制均热时间为 10~150s，优选退火均热温度为 670~760℃，均热时间为 30~90s，优选为 60s。热处理气氛为非氧化性气氛或还原性保护气体气氛。

<调质轧制工序>

对于完成连续电镀镍和退火合金化热处理步骤的预镀镍钢板，可以对带钢实施调质轧制。合适压下率的调质轧制不仅能改善镀镍钢板板型，调整带钢屈服强度，还能优化带钢表面性状以获得适合电池壳冲制的表面粗糙度和力学性能特性的镀镍钢板。在调质轧制中压下率优选为 0.5~2%。

附图说明

图 1 为本发明为实施例 4 的预镀镍电池壳钢表面镀镍层 GDS 能谱。

具体实施方式

以下通过实施例和比较例对本发明的内容进行更具体的说明，以使本发明的内容更加清楚和便于理解。但需要说明的是，以下公开的实施例只是本发明的具体实施方式的例举，本发明并不局限于这些实施例。

实施例 1~6 和比较例 1~4

实施例 1~6 以及比较例 1~4 均采用低碳铝镇静钢作为母材基板进行实验，其中母材基板的化学成分为：C：0.052%，Si：0.021%，Mn：0.24%，P：0.015%，S：0.008%，余量为 Fe 及不可避免的杂质元素。

之后对母材基板进行连续电镀镍，形成镀镍层，电镀工艺参数具体如表 1 所示。

编号	硫酸镍浓度 g/L	氯化镍浓度 g/L	硼酸 g/L	PH	电流密度 A/dm ²	添加剂
实施例 1	320	33	26	4.2	6	无
实施例 2	230	42	37	3.7	12	有
实施例 3	360	38	40	3.2	9	有
实施例 4	280	48	55	2.5	17	有
实施例 5	260	53	50	2.7	15	无
实施例 6	390	59	45	2.9	19	有
比较例 1	320	<u>32</u>	<u>45</u>	2.9	10	有

比较例 2	370	48	37	3.7	8	有
比较例 3	270	53	54	2.5	14	无
比较例 4	/	/	/	/	/	无

然后对镀镍的钢板进行连续炉退火热处理，形成 Fe-Ni 扩散合金层，然后进行调质轧制，获得预镀镍电池壳钢。之后通过如下方法测定预镀镍电池壳钢的镀层特性，例如镀层厚度、Fe-Ni 合金扩散层厚度、镀层含硫量和含铁率。

1. 镀镍层厚度：取用能代表整个金属板（带）的镀层特性状态的位置上截取检测样板，一般位于板带宽度的二分之一处，试样为例如边长 100mm 的正方形，试样平坦，无擦伤，无划痕，且表面无锈斑，污点和任何表面曲线。通过能量色散 X 荧光光谱仪 THICK 800A 测量得到钢材表面镀镍层的厚度。每块样品在不同部位检测 7 次镀层厚度值，分别除去一个最大值和最小值之后，取用剩余五次检测镀镍层厚度值的算术平均值。

2. Fe-Ni 合金扩散层厚度以及镀层含硫量：取用能代表整个金属板的镀层特性状态的位置上截取检测样板，一般位于板带宽度的二分之一处。通过辉光放电光谱仪（GDS）检测得到钢材表面镀层到基材的 Fe、Ni、S 元素深度分布曲线。其中定义 GDS 检测 Fe 元素谱线中 80%Fe 元素含量到 Ni 元素谱线中 80%Ni 元素含量之间的距离为 Fe-Ni 合金扩散层厚度，定义 S 元素深度分布曲线中的最高值为镀镍层中 S 元素含量。

3. 镀镍层含铁率检测：通过扫描电子显微镜能谱分析装置（OXFORD Instruments X-Max）中的 EDS 面扫描各实施例和比较例样品的表面（检测束斑能涵盖表面至内部约 2μm 的体积范围），扫描面积需≥500*200μm，以得到镀镍层检测体积内的含 Fe 率。

热处理工艺以及镀层特性如下表 2 所示。

编号	热处理温度 /°C	热处理时间 /s	镀层含 S 量%	镀镍层厚度 /μm	表面镀镍层含 Fe 率 (%)	Fe-Ni 扩散层厚度 /μm
实施例 1	720	40	0.003	2.22	13.3	0.90
实施例 2	755	32	0.005	5.70	1.42	1.13
实施例 3	672	87	0.004	2.61	11.7	0.74
实施例 4	700	53	0.008	3.19	7.21	0.91
实施例 5	730	70	0.002	4.22	6.21	1.21
实施例 6	675	50	0.004	5.13	1.22	0.65
比较例 1	715	60	0.006	<u>1.01</u>	<u>27.0</u>	0.8
比较例 2	690	58	<u>0.21</u>	3.12	7.13	1.0

比较例 3	<u>790</u>	<u>120</u>	0.007	3.01	<u>29.2</u>	2.03
比较例 4	745	50	无镀镍	/	<u>89.36</u>	/

如上述表 2 所示,在本发明中,实施例 1~6 的预镀镍电池壳的基板表面均具有镀镍层,且镀镍层中检测所得 S 含量均 $\leq 0.008\%$;其镀镍层厚度为 $2.2\mu\text{m}\sim 5.7\mu\text{m}$,镀镍层含 Fe 率的质量百分含量在 $1.22\%\sim 13.3\%$ 之间,并且如图 2 所示,实施例 4 的 Fe-Ni 扩散层厚度为 $0.91\mu\text{m}$,S 元素深度分布曲线位于图左下角,为 0.008% 。

相应地,完成上述针对各实施例和比较例的钢材的观察和分析后,可以对实施例 1~6 的预镀镍电池壳和比较例 1~4 的对比钢材再次进行取样,并对各实施例和比较例样品冲制成钢壳后开展焊接测试以及钢壳耐蚀性测试,所得的测试结果列于表 3 中。

测试方法如下:

1. 焊接结合力检测:本发明中,采用镍带电阻点焊的方式评估镀镍钢带的焊接结合力,一般镍带焊接结合力超过 70N 时,镀镍钢带与 Cu 或者 Al 等异种金属焊接结合力也能满足规定要求。采用电阻点焊设备 BW-DC4K 进行冲壳后钢壳的焊接性能测试,通过电阻点焊方式将镍带(厚度 $0.15\text{mm}\times 8\text{mm}$)焊接至锂离子电池壳底部,焊接压力 $0.3\pm 0.05\text{kgf}/\text{cm}^2$,预焊电流 30A,焊接时间 2.1 周波;焊接电流 36A;焊接过程中镍带平面贴近钢壳底部平面,与钢壳壳身呈互相垂直 90° ,通过电阻点焊在镍带以及电池壳底部形成四个焊点。焊接完成后,采用电动立式单柱测试台检测镍带与钢壳之间的结合力大小。将钢壳沿竖直方向固定在底座上,使用夹具夹紧镍带未焊接的一端,以 $40\text{mm}/\text{min}$ 的速率进行拉伸,由数显推拉力计 IMADA: DS2-200N 检测镍带和钢壳底部的撕裂力大小,选取拉伸过程中拉力最大值作为焊接结合力。

2. 焊接后钢壳耐蚀性检测:将焊接后的钢壳与镍带静置在纯水中 1 小时,取出烘干后观察钢壳内外表面及焊接部位是否存在锈点。钢壳内外表面或者焊接部位存在锈点,判定为钢壳耐蚀性 NG,反之则为 OK。

表 3 性能测试结果

编号	焊接结合力/N	耐蚀性检测
实施例 1	78	OK
实施例 2	98	OK
实施例 3	127	OK
实施例 4	115	OK

实施例 5	103	OK
实施例 6	109	OK
比较例 1	78	NG
比较例 2	66	NG
比较例 3	38	NG
比较例 4	56	NG

如表 2 所示，实施例 1~6 的焊接结合力为 78~127N，均在比较例 1~4 的焊接结合力以上，而耐蚀性检测更证明了实施例 1~6 具有优异的耐蚀性。

综上所述可以看出，本发明所述的预镀镍电池壳钢采用了合理的镀镍成分设计，通过对冷轧、连续电镀镍、连续退火以及调质轧制等工艺，在保证钢材优异冲压成形性能的同时，提升钢材冲壳后的焊接性能以及耐蚀性。

相应地，本发明所述的预镀镍电池壳钢的制造方法的工艺控制要点明确，实施方便，通过该制造方法获得的高耐蚀耐热预镀镍电池壳钢适用于制造动力电池的电池壳。

以上详细描述了本发明的较佳具体实施例。应当理解，本领域的普通技术人员无需创造性劳动就可以根据本发明的设计构思作出各种修改和变化。因此，在现有技术的基础上，凡本技术领域技术人员依本发明的设计构思，通过逻辑分析、推理或者有限的实验可以得到的技术方案，皆应在由权利要求书所确定的保护范围内。

此外，本案中各技术特征的组合方式并不限本案权利要求中所记载的组合方式或是具体实施例所记载的组合方式，本案记载的所有技术特征可以以任何方式进行自由组合或结合，除非相互之间产生矛盾。

权利要求书

1. 一种镀镍钢，包括钢基板，和覆盖于所述基板的至少一个表面的镀镍层，所述镀镍层在与所述钢基板的界面处包含 Fe-Ni 扩散合金层，其特征在于，所述 Fe-Ni 扩散合金层中，含 80%Fe 元素的位置至含 80%Ni 元素的位置之间的最短距离为 0.6~1.5 μm 。
2. 根据权利要求 1 所述的镀镍钢，其特征在于，所述镀镍层的表面含铁率 $\leq 15\%$ 。
3. 根据权利要求 1 所述的镀镍钢，其特征在于，所述镀镍钢的焊接结合力 $\geq 70\text{N}$ ，更优选 $\geq 100\text{N}$ ，最优选 $\geq 120\text{N}$ 。
4. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的镀镍钢，其特征在于，所述镀镍层的含 S 量 $\leq 0.008\%$ 。
5. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的镀镍钢，其特征在于，所述镀镍钢的表面粗糙度为 0.5~2.0 μm ，优选 1~1.5 μm 。
6. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的镀镍钢，其特征在于，所述镀镍层为不含 S 的半光亮镀镍层或暗镀镍层。
7. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的镀镍钢，其特征在于，所述镀镍层的厚度为 1~5 μm ，优选 2~4 μm 。
8. 一种电池壳，由权利要求 1~7 中任一项所述的镀镍钢形成。
9. 制备权利要求 1 至 7 中任一项所述的镀镍钢的方法，其特征在于，所述方法包括以下步骤：
 - 1) 对钢基板进行冷轧；
 - 2) 在冷轧后的钢基板的至少一个表面上进行连续电镀镍，在钢基板的表面上形成镀镍层；
 - 3) 对镀镍的钢板进行连续炉退火热处理，在镀镍层与钢基板的界面处形成 Fe-Ni 扩散合金层，然后进行调质轧制，获得镀镍钢。
10. 根据权利要求 9 所述的方法，其特征在于，所述连续电镀镍中采用镀浴进行，所述镀浴包括瓦特浴、氨基磺酸浴或氯化物浴。
11. 根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述镀浴中不含包含 S 的

添加剂。

12. 根据权利要求 9 所述的方法，其特征在于，所述方法满足如下条件中的一个以上：

在步骤 1) 中，所述冷轧的压下率为 75%~95%，优选为 78%~90%；

在步骤 2) 中，所述连续电镀镍采用配方为如下的镀浴进行：硫酸镍 250~380g/L、氯化镍 30~60g/L、硼酸 20~60g/L、pH2.0~6.0、浴温 40~75℃；

在步骤 2) 中，所述连续电镀镍中的电流密度为 1~30A/dm²，优选为 5-20A/dm²；

在步骤 3) 中，所述热处理的退火均热温度为 650~800℃，优选为 670~760℃，均热时间为 10~150s，优选为 30-90s，热处理气氛为非氧化性气氛或还原性保护气体气氛；

在步骤 3) 中，控制所述调质轧制的压下率为 0.5~2%。