

明 細 書

発明の名称：めっき鋼材

技術分野

[0001] 本開示は、めっき鋼材に関する。

背景技術

[0002] 近年、めっき鋼材には、様々な素地鋼材（めっきを施す対象の鋼材）が使用されるニーズがある。例えば、素地鋼材として、合金元素を地鉄に多量に含有し、表面性状が様々な鋼材（高張力鋼材、熱延鋼板材等）が使用されるケースが想定される。

しかし、素地鋼材の性状に依存せず、常時、同等の外観のめっき鋼材を提供することは、長年のめっき鋼材における課題である。

[0003] めっき鋼材に均一外観を付与するために、スパングルを付与することもよく行われる。めっき鋼材に特殊外観を付与するために、 $Al-Zn$ 系めっき鋼板でスパングル付与は実際よく使用される技術である。

[0004] 市場に広く浸透する、例えば、 $Zn-55\%Al-1.6\%Si$ めっき鋼材（以下、「ガルバリウム鋼材」とも称する）は、 $Al-Zn$ 系めっき鋼材であり、スパングル付与により均一外観となる。そのため、製造時、管理輸送時にめっき層の表面に発生する疵等を目立たなくする効果がある。

$Al-Zn$ 系めっき鋼材では、 Al 濃度が十分に高い状態で、めっき層中で Al 相を粗大に成長させたときに、スパングルが初めて形成される。

[0005] また、ガルバリウム鋼材の他、 Zn めっき鋼材（どぶ漬け Zn めっき鋼材、ダクト用の Zn めっき鋼材等）でも、スパングル付与が行われる場合がある。

Zn 系めっき鋼材は、 Zn 濃度が十分に高い状態で、めっき層中で Zn 相を粗大に成長させたときに初めて形成される。

[0006] そして、例えば、特許文献1等には、 Al 相又は Zn 相などの純金属の単一相を成長させることによって、めっき鋼材にスパングルを形成する技術が

開示されている。

[0007] 特許文献1：日本国特開2001-207249号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] ガルバリウム鋼材は、平面耐食性に優れ、めっき層の表面に美しいスパン
グル外観を持つため意匠性を重視した建材用途等に適している。しかし、ガ
ルバリウム鋼材は、めっき層のAl濃度が高く、犠牲防食性が劣位である。
そのため、ガルバリウム鋼材の端面部は補修が必要となりコストがかかる。

[0009] 一方で、一般的に、Zn、AlおよびMgを少なくとも含む多元素系のめ
っき層を有するめっき鋼材は、めっき層のAl濃度が低く犠牲防食性が高い
ものの、めっき層中でAl相が十分な体積量を占めることができず、めっき
層の表面にスパングルの付与自体が困難である。

[0010] そこで、本開示の課題は、美しいスパングル外観を有しつつ、平面耐食性
および犠牲防食性が優れためっき鋼材を提供することである。

課題を解決するための手段

[0011] 上記課題は、以下の手段により解決される。即ち、

[0012] <1>

素地鋼材と、前記素地鋼材の表面に配されたZn-Al-Mg合金層を含
むめっき層と、を有するめっき鋼材であって、

前記めっき層が、質量%で、

Zn：65.0%超、

Al：5.0%超～25.0%未満、

Mg：3.0%超～12.5%未満、

Sn：0%～3.00%、

Bi：0%～5.0%未満、

In：0%～2.0%未満、

Ca：0%～3.0%、

Y：0%～0.5%、

L a : 0 % ~ 0 . 5 % 未満、
C e : 0 % ~ 0 . 5 % 未満、
S i : 0 % ~ 2 . 5 % 未満、
C r : 0 % ~ 0 . 2 5 %、
T i : 0 % ~ 0 . 2 5 %、
N i : 0 % ~ 0 . 2 5 %、
C o : 0 % ~ 0 . 2 5 %、
V : 0 % ~ 0 . 2 5 %、
N b : 0 % ~ 0 . 2 5 %、
C u : 0 % ~ 0 . 2 5 %、
M n : 0 % ~ 0 . 2 5 %、
F e : 0 % ~ 5 . 0 %、
S r : 0 % ~ 0 . 5 % 未満、
S b : 0 % ~ 0 . 5 % 未満、
P b : 0 % ~ 0 . 5 % 未満、
B : 0 % ~ 0 . 5 % 未満、及び

不純物からなる化学組成を有し、

前記 Z n - A l - M g 合金層の表面に、表面粗度 S a が 5 0 n m 以下のデンドライト状 M g Z n₂ 相を有し、

前記表面粗度 S a が 5 0 n m 以下のデンドライト状 M g Z n₂ 相の面積率が、観察視野 5 m m² の範囲内で 3 0 % 以上 8 0 % 以下であり、

かつ、前記表面粗度 S a が 5 0 n m 以下のデンドライト状 M g Z n₂ 相のうち、面積が 0 . 1 m m² 以上のデンドライト状 M g Z n₂ 相の個数が、観察視野 2 5 m m² の範囲内に 5 個以上 1 0 0 個以下である、

めっき鋼材。

< 2 >

前記めっき層における、S n の含有量が、質量%で、0 . 0 5 % ~ 3 . 0 0 % である < 1 > に記載のめっき鋼材。

発明の効果

[0013] 本開示によれば、美しいスパングル外観を有しつつ、平面耐食性および犠牲防食性が優れためっき鋼材を提供できる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]本開示のめっき鋼材のZn-Al-Mg合金層の表面の一例を示す光学顕微鏡写真（倍率5倍）である。

[図2]本開示のめっき鋼材のZn-Al-Mg合金層の表面の他の一例を示す光学顕微鏡写真（倍率5倍）である。

[図3]本開示のめっき鋼材の素地鋼材の比表面積の定義を説明するための模式図である。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、本開示の一例について説明する。

なお、本開示において、化学組成の各元素の含有量の「％」表示は、「質量％」を意味する。

「～」を用いて表される数値範囲は、「～」の前後に記載される数値を下限値及び上限値として含む範囲を意味する。

「～」の前後に記載される数値に「超」または「未満」が付されている場合の数値範囲は、これら数値を下限値または上限値として含まない範囲を意味する。

化学組成の元素の含有量は、元素濃度（例えば、Zn濃度、Mg濃度等）と表記することがある。

「工程」との用語は、独立した工程だけではなく、他の工程と明確に区別できない場合であってもその工程の所期の目的が達成されれば、本用語に含まれる。

「平面部耐食性」とは、めっき層（具体的にはZn-Al-Mg合金層）自体の腐食し難い性質を示す。

「犠牲防食性」とは、素地鋼材むき出し部（例えばめっき鋼材の切断端面部、加工時のめっき層割れ部、およびめっき層の剥離により、素地鋼材が露

出する箇所)での素地鋼材の腐食を抑制する性質を示す。

[0016] 「スパングル」とは、ある程度の金属光沢を有し、目視で確認できる幾何学模様が反復的に繰り返される模様である。

「層の断面」とは、層を厚さ方向に沿って切断した断面を示す。

「層の表面」とは、層の厚さ方向に対向する面であって、めっき鋼材の外側に向いている面を示す。

[0017] 本開示のめっき鋼材は、素地鋼材と、素地鋼材の表面に配され、 $Zn-Al-Mg$ 合金層を含むめっき層と、を有するめっき鋼材である。

本開示のめっき鋼材は、めっき層が所定の化学組成を有する。

そして、本開示のめっき鋼材は、 $Zn-Al-Mg$ 合金層の表面に、表面粗度 S_a が 50 nm 以下のデンドライト状 $MgZn_2$ 相を有し、表面粗度 S_a が 50 nm 以下のデンドライト状 $MgZn_2$ 相の面積率が、観察視野 5 mm^2 の範囲内で 30% 以上 80% 以下であり、かつ、表面粗度 S_a が 50 nm 以下のデンドライト状 $MgZn_2$ 相のうち、面積が 0.1 mm^2 以上のデンドライト状 $MgZn_2$ 相（以下、面積が 0.1 mm^2 以上のデンドライト状 $MgZn_2$ 相を「粗大デンドライト状 $MgZn_2$ 相」とも称する）の個数が、観察視野 25 mm^2 の範囲内で 5 個以上 100 個以下である。

[0018] 本開示のめっき鋼材は、上記構成により、美しいスパングル外観を有しつつ、平面耐食性および犠牲防食性が優れためっき鋼材となる。本開示のめっき鋼材は、次の知見により見出された。

[0019] 発明者らは、平面耐食性および犠牲防食性が高い $Zn-Al-Mg$ 合金層に対して、スパングル模様を形成することについて検討した。その結果、次の知見を得た。

$MgZn_2$ 相は、低粗度（表面粗度 S_a が 50 nm 以下）であると、周囲の高粗度（表面粗度 S_a が $100\sim300\text{ nm}$ 程度）の組織に比べ、正反射率が高く、拡散反射率が低い。そして、正反射率が高い $MgZn_2$ 相は、白く見えるのに対し、正反射率が低く拡散反射率が高い組織は黒く見える（図1～図2参照）。

そのため、平面耐食性および犠牲防食性が高いZn-Al-Mg合金層に、MgZn₂相を粗大なデンドライト状に発達させ、Zn-Al-Mg合金層の表面において、表面粗度Saが50nm以下のデンドライト状のMgZn₂相を所定量、かつ表面粗度Saが50nm以下で、粗大なデンドライト状のMgZn₂相を多数存在させると、美しいスパングル模様を形成する。

このように、通常、溶融亜鉛めっき層、後めっき層等におけるスパングル模様はZnの結晶粒により形成されるが、本開示では、Zn-Al-Mg合金層におけるスパングル模様は、MgZn₂相の光の反射率の違いによる色の差で形成される。

[0020] 以上から、本開示のめっき鋼材は、上記構成により、美しいスパングル外観を有しつつ、平面耐食性および犠牲防食性が優れためっき鋼材となることが見出された。

そして、本開示のめっき鋼材は、犠牲防食性に優れるため、端面補修省略によるコスト低減も実現できる。

[0021] 以下、本開示のめっき鋼材の詳細について説明する。

[0022] (素地鋼材)

めっきの対象となる素地鋼材について説明する。

素地鋼材の形状には、特に制限はない。素地鋼材は、鋼板の他、鋼管、土木建築材（柵渠、コルゲートパイプ、排水溝蓋、飛砂防止板、ボルト、金網、ガードレール、止水壁等）、家電部材（エアコンの室外機の筐体等）、自動車部品（足回り部材等）など、成形加工された素地鋼材が挙げられる。成形加工は、例えば、プレス加工、ロールフォーミング、曲げ加工などの種々の塑性加工手法が利用できる。

[0023] 素地鋼材の材質には、特に制限はない。素地鋼材は、例えば、一般鋼、プレめっき鋼、Alキルド鋼、極低炭素鋼、高炭素鋼、各種高張力鋼、一部の高合金鋼（Ni、Cr等の強化元素含有鋼等）などの各種の素地鋼材が適用可能である。

素地鋼材は、素地鋼材の製造方法、素地鋼板の製造方法（熱間圧延方法、

酸洗方法、冷延方法等)等の条件についても、特に制限されるものではない。

なお、素地鋼材としては、JIS G 3302(2010年)に記載されている熱延鋼板、熱延鋼帯、冷延鋼板、冷延鋼帯も適用できる。

[0024] 素地鋼材は、プレめっきされたプレめっき鋼材でもよい。プレめっき鋼材は、例えば、電解処理方法または置換めっき方法により得られる。電解処理方法では、種々のプレめっき成分の金属イオンを含む硫酸浴又は塩化物浴に、素地鋼材を浸漬して電解処理することにより、プレめっき鋼材が得られる。置換めっき方法では、種々のプレめっき成分の金属イオンを含み、硫酸でpH調整した水溶液に、素地鋼材を浸漬して、金属を置換析出させて、プレめっき鋼材が得られる。

プレめっき鋼材としては、プレNiめっき鋼材が代表例として挙げられる。

[0025] (めっき層)

次に、めっき層について説明する。

めっき層は、Zn-Al-Mg合金層を含む。めっき層は、Zn-Al-Mg合金層に加え、Al-Fe合金層を含んでもよい。Al-Fe合金層は、素地鋼材とZn-Al-Mg合金層との間に有する。

[0026] つまり、めっき層は、Zn-Al-Mg合金層の単層構造であってもよく、Zn-Al-Mg合金層とAl-Fe合金層とを含む積層構造であってもよい。積層構造の場合、Zn-Al-Mg合金層は、めっき層の表面を構成する層とすることがよい。

ただし、めっき層の表面にめっき層構成元素の酸化被膜が50nm程度形成されていることもあるが、めっき層全体の厚さに対して薄くめっき層の主体を構成していないと見なす。

[0027] めっき層の付着量は、片面あたり20~300g/m²が好ましい。

めっき層の付着量を20g/m²以上にすると、平面部耐食性および犠牲防食性が確保できる。また、めっき層の付着量を300g/m²以下にすると、

めっき層の垂れ模様等の外観不良が抑制できる。

[0028] ここで、Zn-Al-Mg合金層の厚さは、例えば、 $2\mu\text{m}$ 以上 $95\mu\text{m}$ 以下（好ましくは $5\mu\text{m}$ 以上 $75\mu\text{m}$ 以下）とする。

[0029] 一方、めっき層全体の厚みは、例えば、 $100\mu\text{m}$ 以下程度である。めっき層全体の厚みはめっき条件に左右されるため、めっき層全体の厚みの上限及び下限については特に限定されるものではない。例えば、めっき層全体の厚みは、通常の溶融めっき法ではめっき浴の粘性および比重が関連する。さらに素地鋼材の引抜速度およびワイピングの強弱によって、めっき量は目付調整される。そのため、めっき層全体の厚みの下限は、 $2\mu\text{m}$ 程度であると考えるよい。

一方、めっき金属の自重および均一性により、溶融めっき法で作製できる、めっき層の厚さの上限はおよそ $95\mu\text{m}$ である。

めっき浴からの引抜速度とワイピング条件によって、めっき層の厚みは自在に変更できるため、厚さ $2\sim 95\mu\text{m}$ のめっき層の形成は特に製造が難しいものではない。

[0030] Al-Fe合金層の厚さは、例えば、 $0\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下である。

つまり、Al-Fe合金層は、形成されていなくてもよい。Al-Fe合金層の厚さは、めっき層（具体的にはZn-Al-Mg合金層）の密着性を高め、加工性を確保する観点から、 $0.05\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下が好ましい。

[0031] ただし、通常、溶融めっき法により本開示で規定する化学組成のめっき層を形成すると、素地鋼材とZn-Al-Mg合金層との間に、 100nm 以上のAl-Fe合金層が形成されることが多い。Al-Fe合金層の厚さの下限値は特に制限するものでなく、Alを含有する溶融めっき層を形成する際には、必然的にAl-Fe合金層が形成されることが判明している。そして、経験的に 100nm 前後が最もAl-Fe合金層の形成が抑制された場合の厚みであり、めっき層と素地鋼材との密着性を十分確保する厚みと判断されている。特別な手段を講じない限りはAl濃度が高いため、溶融めっき

法では、100nmよりも薄いAl-Fe合金層を形成することは困難である。しかし、Al-Fe合金層の厚さが100nm未満であったとしても、また、Al-Fe合金層が形成されていなくても、めっき性能に大きな影響は与えないと推測される。

[0032] 一方で、Al-Fe合金層の厚みが5μm超となると、Al-Fe合金層上に形成されるZn-Al-Mg合金層のAl成分が不足し、さらに、めっき層の密着性、加工性が極端に悪化する傾向にある。そのため、Al-Fe合金層の厚みは5μm以下に制限するのが好ましい。

なお、Al-Fe合金層は、Al濃度およびSn濃度に関しても密接な関連があり、一般的にAl濃度およびSn濃度が高い方が、成長速度が速い傾向にある。

[0033] Zn-Al-Mg合金層及びAl-Fe合金層の厚さは、次の通り測定する。

試料を樹脂埋め込み後、研削してめっき層断面（めっき層の厚さ方向に沿った切断面）のSEMの反射電子像（ただし、倍率5000倍、視野の大きさ：縦50μm×横200μmで、Al-Fe合金層が視認される視野とする。）において、同定されたAl-Fe合金層の任意の5箇所について、厚さを測定する。そして、5箇所の算術平均を界面合金層の厚さとする。

[0034] Al-Fe合金層－

次にAl-Fe合金層について説明する。

[0035] Al-Fe合金層は、素地鋼材表面（具体的には、素地鋼材とZn-Al-Mg合金層との間）に形成されることがあり、組織としてAl₅Fe相が主相の層である。Al-Fe合金層は、素地鋼材およびめっき浴の相互の原子拡散によって形成する。Al元素を含有するめっき層では、Al-Fe合金層が形成され易い。めっき浴中に一定濃度以上のAlが含有されるので、Al₅Fe相が最も多く形成する。しかし、原子拡散には時間がかかり、また、素地鋼材に近い部分では、Fe濃度が高くなる部分もある。そのため、Al-Fe合金層は、部分的には、AlFe相、Al₃Fe相、Al₅Fe₂相など

が少量含まれる場合もある。また、めっき浴中にZnも一定濃度含まれるので、Al-Fe合金層には、Znも少量含有される。

[0036] 耐食性においては、 Al_5Fe 相、 Al_3Fe 相、AlFe相、および Al_5Fe_2 相のいずれの相であっても大差がない。ここでいう耐食性とは、溶接の影響を受けない部分での耐食性である。

[0037] ここで、めっき層中にSiを含有する場合、Siは、特にAl-Fe合金層層に取り込まれ易く、Al-Fe-Si金属間化合物相となることがある。同定される金属間化合物相としては、AlFeSi相があり、異性体として、 α 、 β 、 q_1 、 q_2 -AlFeSi相等が存在する。そのため、Al-Fe合金層は、これらAlFeSi相等が検出されることがある。これらAlFeSi相等を含むAl-Fe合金層をAl-Fe-Si合金層とも称する。

なお、Al-Fe-Si合金層もZn-Al-Mg合金層に対し厚みが小さいため、めっき層全体における耐食性において与える影響は小さい。

[0038] また、素地鋼材（素地鋼板など）に各種プレめっき鋼材を使用した場合、プレめっきの付着量により、Al-Fe合金層の構造が変化することがある。具体的には、Al-Fe合金層周囲に、プレめっきに用いた純金属層が残存する場合、Zn-Al-Mg合金層の構成成分とプレめっき成分が結合した金属間化合物相（例えば、 Al_3Ni 相等）が合金層を形成する場合、Al原子およびFe原子の一部が他の原子で置換したAl-Fe合金層を形成する場合、または、Al原子、Fe原子およびSi原子の一部が他の原子で置換したAl-Fe-Si合金層を形成する場合等がある。いずれにせよ、これらの合金層もZn-Al-Mg合金層に対し、厚みは小さいため、めっき層全体における耐食性において与える影響は小さい。

[0039] つまり、Al-Fe合金層とは、 Al_5Fe 相を主体とする合金層以外に、上記種々の態様の合金層を包含する層である。

[0040] なお、各種プレめっき鋼材のうち、プレNiめっき鋼材にめっき層を形成した場合、Al-Fe合金層として、Al-Ni-Fe合金層が形成される

ことになる。Al-Ni-Fe合金層も、Zn-Al-Mg合金層に対し、厚みは小さいため、めっき層全体における耐食性において与える影響は小さい。

[0041] Al-Fe合金層はAl₅Fe相が主構成となる場合が多いので、Al-Fe合金層の化学組成は、Fe：25～35%、Al：65～75%、Zn：5%以下、および残部：不純物を含む組成が例示できる。

[0042] 通常、Al-Fe合金層よりもZn-Al-Mg合金層の厚みの方が厚いため、Al-Fe合金層のめっき鋼材としての平面部耐食性への寄与は、Zn-Al-Mg合金層と比較すると小さい。しかし、Al-Fe合金層には、成分分析結果から推測されるように耐食性元素であるAlおよびZnを一定濃度以上含有する。そのため、Al-Fe合金層は、素地鋼材に対してある程度の犠牲防食能と腐食バリア効果を有している。

[0043] ここで、厚みの薄いAl-Fe合金層の単独の耐食性寄与を定量的な測定で確認することは難しい。ただし、例えば、Al-Fe合金層に十分な厚みがある場合、Al-Fe合金層上のZn-Al-Mg合金層をエンドミル加工等でめっき層の表面からの切削で精密に取り除き、腐食試験をかけることによって、Al-Fe合金層の単独の耐食性を評価することはできる。Al-Fe合金層は、Al成分及び少量のZn成分を含んでいるため、Al-Fe合金層を有する場合、赤錆が点状に発生し、Al-Fe合金層を有さず、素地鋼材剥き出し時のように、全面赤錆とはならない。

[0044] また、腐食試験中、素地鋼材の赤錆発生直前までに至っためっき層の断面観察を実施すると、上層のZn-Al-Mg合金層が溶出および錆化してもAl-Fe合金層のみが残存し、素地鋼材を防食していることが確認できる。これは、電気化学的に、Al-Fe合金層がZn-Al-Mg層より貴になるが、素地鋼材より卑に位置するためである。これらのことから、Al-Fe合金層も一定の耐食性を有していると判断することができる。

[0045] 腐食の観点からは、Al-Fe合金層は厚ければ厚いほど好ましく赤錆発生時間を遅らせる作用がある。よって、Al-Fe合金層の厚みは、好まし

くは0.05 μm 以上である。しかしながら、厚いAl-Fe合金層は著しくめっき加工性を劣化させる原因となるから、厚みは一定厚み以下が好ましい。加工性の観点から、Al-Fe合金層の厚さは5 μm 以下が好ましい。Al-Fe合金層の厚さが5 μm 以下であると、V曲げ試験等により、めっきAl-Fe合金層を起点に発生するクラック及びパウダリング量が減少し、加工性が向上する。Al-Fe合金層の厚さは、さらに好ましくは2 μm 以下である。

[0046] (めっき層の化学組成)

次に、めっき層の化学組成について説明する。

安定した犠牲防食性および平面部耐食性を実現するために、めっき層の化学組成は、次の通りとする。

[0047] つまり、めっき層の化学組成は、質量%で、

Zn : 65.0%超、

Al : 5.0%超～25.0%未満、

Mg : 3.0%超～12.5%未満、

Sn : 0%～3.00%、

Bi : 0%～5.0%未満、

In : 0%～2.0%未満、

Ca : 0%～3.0%、

Y : 0%～0.5%、

La : 0%～0.5%未満、

Ce : 0%～0.5%未満、

Si : 0%～2.5%未満、

Cr : 0%～0.25%、

Ti : 0%～0.25%、

Ni : 0%～0.25%、

Co : 0%～0.25%、

V : 0%～0.25%、

Nb : 0%~0.25%、
Cu : 0%~0.25%、
Mn : 0%~0.25%、
Fe : 0%~5.0%、
Sr : 0%~0.5%未満、
Sb : 0%~0.5%未満、
Pb : 0%~0.5%未満、
B : 0%~0.5%未満、及び
不純物からなる化学組成とする。

[0048] めっき層の化学組成において、Sn、Bi、In、Ca、Y、La、Ce、Si、Cr、Ti、Ni、Co、V、Nb、Cu、Mn、Fe、Sr、Sb、Pb、およびBは、任意成分である。つまり、これら元素は、めっき層中に含まなくてもよい。これら任意成分を含む場合、任意元素の各含有量は、後述する範囲が好ましい。

[0049] ここで、このめっき層の化学組成は、めっき層全体の平均化学組成（めっき層がZn-Al-Mg合金層の単層構造の場合、Zn-Al-Mg合金層の平均化学組成、めっき層がAl-Fe合金層及びZn-Al-Mg合金層の積層構造の場合、Al-Fe合金層及びZn-Al-Mg合金層の合計の平均化学組成）である。

[0050] 以下、めっき層の各元素について説明する。

[0051] <Zn : 65.0%超>

Znは、平面部耐食性に加え、犠牲防食性を得るために必要な元素である。Zn濃度は、原子組成比で考慮した場合、Al、Mg等の低比重の元素と共に構成されるめっき層であるので、原子組成比率でもZn主体とする必要がある。

よって、Zn濃度は、65.0%超とする。Zn濃度は、70%以上が好ましい。なお、Zn濃度の上限は、Znを除く元素及び不純物以外の残部となる濃度である。

[0052] <Al : 5.0%超～25.0%未満>

Alは、Al晶を形成し、平面部耐食性および犠牲防食性を共に確保するために必須の元素である。そして、Alは、めっき層の密着性を高め、加工性を確保するためにも、必須の元素である。よって、Al濃度の下限値は、5.0%超え(好ましくは10.0%以上)とする。

一方、Al濃度が増加すると、犠牲防食性が劣化する傾向となる。よって、Al濃度の上限値は、25.0%未満(好ましくは23.0%以下)とする。

[0053] <Mg : 3.0%超～12.5%未満>

Mgは、平面部耐食性および犠牲防食性を共に確保するために必須の元素である。また、Mgは、発達した粗大デンドライト状MgZn₂相を析出させるために必須の元素である。よって、Mg濃度の下限値は、3.0%超え(好ましくは5.0%超え)とする。

一方、Mg濃度が増加すると、加工性が劣化する傾向となる。よって、Mg濃度の上限は、12.5%未満(好ましくは10.0%以下)とする。

[0054] <Sn : 0%～3.00%>

Snは、水溶性組織であるMg₂Sn相を生成し、高い犠牲防食性を付与する元素である。よって、Sn濃度の下限値は、0%超え(好ましくは0.05%以上、より好ましくは0.10%以上)が好ましい。

一方、Sn濃度が増加すると、平面部耐食性が劣化する傾向となる。よって、Sn濃度の上限値は、3.00%以下(好ましくは、2.50%以下)とする。

[0055] <Bi : 0%～5.0%未満>

Biは、犠牲防食性に寄与する元素である。よって、Bi濃度の下限値は、0%超え(好ましくは0.1%以上、より好ましくは3.0%以上)が好ましい。

一方、Bi濃度が増加すると、平面部耐食性が劣化する傾向となる。よっ

て、B i 濃度の上限値は5.0%未満（好ましくは4.8%以下）とする。

[0056] <I n : 0%~2.0%未満>

I n は、犠牲防食性に寄与する元素である。よって、I n 濃度の下限値は、0%超え（好ましくは0.1%以上、より好ましくは1.0%以上）が好ましい。

一方、I n 濃度が増加すると、平面部耐食性が劣化する傾向となる。よって、I n 濃度の上限値は2.0%未満（好ましくは1.8%以下）とする。

[0057] <C a : 0%~3.0%>

C a は、平面部耐食性及び犠牲防食性を付与するのに最適なM g 溶出量を調整することができる元素である。よって、C a 濃度の下限値は、0%超え（好ましくは0.05%以上）が好ましい。

一方、C a 濃度が増加すると、平面部耐食性および加工性が劣化する傾向となる。よって、C a 濃度の上限値は3.0%以下（好ましくは1.0%以下）とする。

[0058] <Y : 0%~0.5%>

Y は、犠牲防食性に寄与する元素である。よって、Y 濃度の下限値は、0%超え（好ましくは0.1%以上）が好ましい。

一方、Y 濃度が増加すると、平面部耐食性が劣化する傾向となる。よって、Y 濃度の上限値は0.5%以下（好ましくは0.3%以下）とする。

[0059] <L a およびC e : 0%~0.5%未満>

L a およびC e は、犠牲防食性に寄与する元素である。よって、L a 濃度およびC e 濃度の下限値は、各々、0%超え（好ましくは0.1%以上）が好ましい。

一方、L a 濃度およびC e 濃度が増加すると、平面部耐食性が劣化する傾向となる。よって、L a 濃度およびC e 濃度の上限値は、各々、0.5%未満（好ましくは0.4%以下）とする。

[0060] <S i : 0%~2.5%未満>

S i は、A l -F e 合金層の成長を抑制して耐食性向上に寄与する元素で

ある。よって、S i 濃度は0%超え（好ましくは0.05%以上、より好ましくは0.1%以上）が好ましい。

一方、S i 濃度が増加すると、平面部耐食性、犠牲防食性および加工性が劣化する傾向となる。よって、S i 濃度の上限値は、2.5%未満とする。特に、平面部耐食性および犠牲防食性の観点からは、S i 濃度は、好ましくは2.4%以下、より好ましくは1.8%以下、さらに好ましくは1.2%以下である。

[0061] <Cr、Ti、Ni、Co、V、Nb、CuおよびMn：0%～0.25%>

Cr、Ti、Ni、Co、V、Nb、CuおよびMnは、犠牲防食性に寄与する元素である。よって、Cr、Ti、Ni、Co、V、Nb、CuおよびMnの濃度の下限値は、各々、0%超え（好ましくは0.05%以上、より好ましくは0.1%以上）が好ましい。

一方、Cr、Ti、Ni、Co、V、Nb、CuおよびMnの濃度が増加すると、平面部耐食性が劣化する傾向となる。よって、Cr、Ti、Ni、Co、V、Nb、CuおよびMnの濃度の上限値は、各々、0.25%以下とする。Cr、Ti、Ni、Co、V、Nb、CuおよびMnの濃度の上限値は、好ましくは0.22%以下である。

[0062] <Fe：0%～5.0%>

溶融めっき法によって、めっき層を形成する場合、Zn-Al-Mg合金層およびAl-Fe合金層に一定のFeが含有される。

Fe濃度が5.0%までは、めっき層（特にZn-Al-Mg合金層）に含まれても性能に悪影響がないことが確認されている。Feの多くは、Al-Fe合金層に含まれていることが多いため、この層の厚みが大きいと一般的にFe濃度は大きくなる。

[0063] <Sr、Sb、PbおよびB：0%～0.5%未満>

Sr、Sb、PbおよびBは、犠牲防食性に寄与する元素である。よって、Sr、Sb、PbおよびBの濃度の下限値は、各々、0%超え（好ましく

は0.05%以上、より好ましくは0.1%以上)が好ましい。

一方、S r、S b、P bおよびBの濃度が増加すると、平面部耐食性が劣化する傾向となる。よって、S r、S b、P bおよびBの濃度の上限値は、各々、0.5%未満とする。

[0064] <不純物>

不純物は、原材料に含まれる成分、または、製造の工程で混入する成分であって、意図的に含有させたものではない成分を指す。例えば、めっき層には、素地鋼材とめっき浴との相互の原子拡散によって、不純物として、F e以外の成分も微量混入することがある。

[0065] めっき層の化学成分は、次の方法により測定する。

まず、素地鋼材の腐食を抑制するインヒビターを含有した酸でめっき層を剥離溶解した酸液を得る。次に、得られた酸液をI C P分析で測定することで、めっき層の化学組成(めっき層がZ n-A l-M g合金層の単層構造の場合、Z n-A l-M g合金層の化学組成、めっき層がA l-F e合金層及びZ n-A l-M g合金層の積層構造の場合、A l-F e合金層及びZ n-A l-M g合金層の合計の化学組成)を得ることができる。酸種は、めっき層を溶解できる酸であれば、特に制限はない。なお、化学組成は、平均化学組成として測定される。また、I C P分析でZ n濃度は、「式：Z n濃度=100%-他の元素濃度(%)」で求める。

[0066] ここで、素地鋼材として、プレめっき鋼材を用いた場合、そのプレめっきの成分も検出される。

例えば、プレN iめっき鋼材を用いた場合、I C P分析では、めっき層中のN iだけでなく、プレN iめっき中のN iも検出される。具体的には、例えば、N i付着量が1 g/m²~3 g/m²のプレめっき鋼材を素地鋼材として使用したとき、仮にめっき層に含まれるN i濃度が0%であっても、N i濃度が0.1~15%として検出される。一方、プレN iめっき鋼材を素地鋼材として用いた場合、素地鋼材をめっき浴に浸漬した際に、プレN iめっき層中のN iがめっき浴中に微量に溶解する。そのため、めっき浴中のN i

濃度が、建浴しためっき浴中のNi濃度と比べて0.02～0.03%高くなる。したがって、プレNiめっき鋼材を用いた場合には、めっき層中のNi濃度は最大で0.03%高くなる。

[0067] ここで、素地鋼材がプレNiめっき鋼材か否かを判別する方法は、次の通りである。

対象となる鋼材から、めっき層の厚さ方向に沿って切断した断面が測定面となる試料を採取する。

試料の測定面に対して、電子線マイクロアナライザ (Electron Probe MicroAnalyser: FE-EPMA) により、鋼材におけるめっき層と素地鋼材との界面付近を線分析し、Ni濃度を測定する。測定条件は、加速電圧15kV、ビーム径100nm程度、1点あたりの照射時間1000ms、測定ピッチ60nmである。なお、測定距離は、鋼材におけるめっき層と素地鋼材との界面でNi濃度が濃化しているか否かが確認できる距離であればよい。

そして、鋼材におけるめっき層と素地鋼材との界面で、Ni濃度が濃化していれば、素地鋼材がプレめっき鋼材か否かを判別する。

[0068] そこで、本開示においては、プレNiめっき鋼材を用いた場合、ICP分析により、Ni濃度が0.28 (0.25% (めっき層中のNi濃度の上限値) + 0.03%) %以上15%以下で検出されたとき、めっき層のNi濃度は、0%と見なす。このときのZn濃度は、「式; Zn濃度 = 100% - Ni以外の他の元素濃度 (%)」で求める。

一方で、プレNiめっき鋼材を用いた場合において、ICP分析により、Ni濃度が15%超えで検出されたとき、めっき層には、Niを0.25% (めっき層中のNi濃度の上限値) 超えで含むと見なす。なお、本開示においては、ICP分析方法だけを用いてめっき層の成分を測定したが、ICP分析方法と併せて、グロー放電発光分析法 (定量GDS) を用いることで、めっき層中のNi濃度を分析することが可能である。

[0069] 具体的には、ICP分析で得られたNi濃度 (ICP Ni濃度) が、式

Aを満たす場合、めっき層のNi濃度はICP Ni濃度 -0.03% 、式Bを満たす場合、めっき層のNi濃度は 0% 、式Cを満たす場合、めっき層のNi濃度は 0.25% 、式Dを満たす場合、めっき層のNi濃度はICP Ni濃度 -15% であると判断する。

式A：ICP Ni濃度 <0.28

式B： $0.28 \leq \text{ICP Ni濃度} \leq 15$

式C： $15 < \text{ICP Ni濃度} \leq 15.25$

式D： $15.25 < \text{ICP Ni濃度}$

[0070] Zn-Al-Mg 合金層の金属組織—

次に、 Zn-Al-Mg 合金層の金属組織について説明する。

[0071] Zn-Al-Mg 合金層の表面に、表面粗度Saが 50 nm 以下のデンドライト状 MgZn_2 相を有する。

そして、表面粗度Saが 50 nm 以下のデンドライト状 MgZn_2 相の面積率は、観察視野 5 mm^2 の範囲内で 30% 以上 80% 以下である。

また、表面粗度Saが 50 nm 以下のデンドライト状 MgZn_2 相のうち、粗大デンドライト状 MgZn_2 相（面積が 0.1 mm^2 以上のデンドライト状 MgZn_2 相）の個数は、観察視野 25 mm^2 の範囲内で5個以上100個以下である。

[0072] ここで、デンドライト状 MgZn_2 相とは、 MgZn_2 相で構成され、1次アーム（つまり、主軸）と、1次アームから枝状に成長した2次アーム（つまり、第二軸）とを有する構造を有する組織である（図1参照）。ここで、図1中、Arm1は1次アーム、Arm2は2次アームを示す。なお、デンドライト状 MgZn_2 相は、2次アームから枝状に成長した3次アーム、3次アームから枝状に成長した4次アームが存在してもよい。

[0073] 表面粗度Saが 50 nm 超えの MgZn_2 相は、正反射率が低く、スパンゲル外観付与に寄与しない。

表面粗度Saが 50 nm 以下の MgZn_2 相の面積率が低すぎると、正反射率が高い領域は少なくなる。一方、表面粗度Saが 50 nm 以下の MgZn_2

相の面積率が高すぎると、正反射率が高い領域は多くなる。すなわち、表面粗度 S_a が 50 nm 以下の MgZn_2 相の面積率が、低すぎても高すぎても、正反射率差によるスパンクル外観として認識できない。

よって、表面粗度 S_a が 50 nm 以下のデンドライト状 MgZn_2 相の面積率は、観察視野 5 mm^2 の範囲内で 30% 以上 80% 以下とする。

[0074] 加えて、面積が 0.1 mm^2 以下の微細なデンドライト状 MgZn_2 相は、正反射率差によるスパンクル外観として認識できない。そして、粗大デンドライト状 MgZn_2 相が、少なすぎると、スパンクル外観として認識できるデンドライト状 MgZn_2 相が少なくなる。一方、粗大デンドライト状 MgZn_2 相が、多すぎると、スパンクル外観として認識できるデンドライト状 MgZn_2 相が多くなる。すなわち、粗大デンドライト状 MgZn_2 相が少なすぎても多すぎても正反射率差によるスパンクル外観として認識できない。

よって、表面粗度 S_a が 50 nm 以下のデンドライト状 MgZn_2 相のうち、粗大デンドライト状 MgZn_2 相の個数は、観察視野 25 mm^2 の範囲内に 5 個以上 100 個以下とする。

[0075] 美しいスパンクル外観付与の観点から、表面粗度 S_a が 50 nm 以下のデンドライト状 MgZn_2 相の面積率は、観察視野 5 mm^2 の範囲内で、 35% 以上 75% 以下が好ましく、 40% 以上 70% 以下がより好ましい。

美しいスパンクル外観付与の観点から、粗大デンドライト状 MgZn_2 相の個数は、観察視野 25 mm^2 の範囲内で、 10 個以上 90 個以下が好ましく、 15 個以上 85 個以下がより好ましい。

[0076] 表面粗度 S_a が 50 nm 以下のデンドライト状 MgZn_2 相の面積率、および表面粗度 S_a が 50 nm 以下の粗大デンドライト状 MgZn_2 相（面積が 0.1 mm^2 以上のデンドライト状 MgZn_2 相）の個数の測定方法は、次の通りである。

[0077] まず、測定対象となる、めっき鋼材から、めっき層の表面が $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ 四方となる試料を採取する。ただし、試料は、めっき鋼材の打ち抜き端面部近傍（端面から 2 mm ）以外で、めっき層の欠陥部がない場所から採取す

る。

[0078] 次に、試料のめっき層（具体的にはZn-Al-Mg合金層）の表面を、光学顕微鏡（倍率5倍）により観察する。観察視野は、 5 mm^2 とする。

[0079] 次に、観察視野 5 mm^2 において、デンドライト状MgZn₂相の表面粗度S_aを、原子間力顕微鏡（AFM）により測定する。

具体的には、デンドライト状MgZn₂相の1次アーム及び2次アームにおける、任意の5か所の表面粗度S_aを、各々、原子間力顕微鏡（AFM）により測定する。そして、計10個所の表面粗度S_aの算術平均値を求める。

ここで、原子間力顕微鏡（AFM）の測定条件は、次の通りである。

・走査モード：ダイナミック フォース モード（DFM）

・測定範囲： $15\text{ }\mu\text{m} \times 15\text{ }\mu\text{m}$ 四方

[0080] 次に、観察視野 5 mm^2 において、表面粗度S_aが 50 nm 以下のデンドライト状MgZn₂相の面積率を求める。この操作を5か所行って、面積率の算出平均値を求める。この算術平均値を「表面粗度S_aが 50 nm 以下のデンドライト状MgZn₂相の面積率」とする。

ここで、一つの、表面粗度S_aが 50 nm 以下のデンドライト状MgZn₂相の面積は、1次アームの根元および先端、並びに、デンドライト状MgZn₂相の外側に位置するn次アーム（具体的には、2次アーム～4次アーム）の先端を通る、デンドライト状MgZn₂相の外周を囲った領域の面積とする（図2中、A参照）。

[0081] 次に、5か所の観察視野 5 mm^2 （つまり、観察視野 25 mm^2 の範囲内）において、表面粗度S_aが 50 nm 以下のデンドライト状MgZn₂相のうち、粗大デンドライト状MgZn₂相の個数を数える。この個数を「観察視野 25 mm^2 の範囲内における、粗大デンドライト状MgZn₂相（面積 0.1 mm^2 以上のデンドライト状MgZn₂相）の個数」とする。

[0082] （めっき鋼材の製造方法）

次に、本開示のめっき鋼材の製造方法の一例について説明する。以下においては、めっき鋼材の一例としてめっき鋼板の製造方法を説明する。

[0083] 本開示のめっき鋼材は、素地鋼材として素地鋼板の表面（つまり、片面又は両面）に溶融めっき法により、上記所定の化学組成および金属組織を有するめっき層を形成することで得られる。

[0084] 具体的には、一例として、次の条件で溶融めっき処理を行う。

製造方法概要を説明すると以下のとおりである。まず素地鋼板の被めっき処理面をブラシ研削し、素地鋼板の被めっき処理面の比表面積を100超～150%とする。ここで比表面積とは、完全に平坦な面に対しての、実際の表面積の比率である。比表面積の詳細な定義については説明の便宜上、後述する。ここで、被めっき処理面とは、めっき層を形成する素地鋼板の面と示す。

次に、ブラシ研削した素地鋼板をめっき浴に浸漬し、めっき浴から素地鋼板を、引き上げ後、めっき浴温から410℃までの温度域を、410℃から380℃までの温度域の平均冷却速度の1.5倍以上5倍以下の平均冷却速度で冷却する。

次に、410℃から380℃までの温度域を、0.5℃/s以上9℃/s以下の平均冷却速度で冷却する。

次に、380℃から300℃までの温度域を、410℃から380℃までの温度域の平均冷却速度の4倍以上15倍以下の平均冷却速度で冷却する。

[0085] 以上の製造方法概要について以下に詳細を説明する。つまり、本開示のめっき鋼材の製造方法の一例は、以下のとおりである。すなわち、素地鋼板の被めっき処理面をブラシ研削し、素地鋼板の被めっき処理面の比表面積を100%超～150%とする。なお、素地鋼板の被めっき処理面の比表面積は、ブラシ研削により研削前の105～150%とすることが好ましい。ブラシ研削は、例えば、アルミナ、炭化ケイ素、ダイヤモンドパウダー等の砥粒入りのナイロンブラシで実施する。

[0086] その後、めっき浴温から410℃までの温度域の平均冷却速度をA、410℃から380℃までの温度域の平均冷却速度をB、380℃から300℃までの温度域の平均冷却速度をCとしたとき、式（1）： $A \geq 1.5 \times B$ 、

式(2) : $B \leq 9^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 、式(3) : $C \geq 4 \times B$ を満たす三段階冷却する条件で、素地鋼板に対して溶融めっき処理を行う。

ただし、めっき浴温から 410°C までの温度域の平均冷却速度Aの上限は、風紋等の外観不良の観点から、平均冷却速度Bの5倍以下とする。

また、 410°C から 380°C までの温度域の平均冷却速度Bの下限は、製造時冷却不足によるトップロールへのめっき層巻き込み抑制の観点から、 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上とする。

また、 380°C から 300°C までの温度域の平均冷却速度Cの上限は、凹凸模様等の外観不良抑制の観点から、平均冷却速度Bの15倍以下とする。

[0087] ここで、めっき浴温は、めっき浴の融点 $+20^{\circ}\text{C}$ 以上とすることがよい。

[0088] 溶融めっき処理の前に素地鋼板の被めっき処理面の比表面積を上述したように100超~150%（好ましくは105%~150%）としておくことで、めっき凝固時に均一にAl初晶の核が形成され易くなる。めっき中に均一なAl初晶の核が形成し、かつ、次の冷却工程を経ることで、均一なAl初晶の周囲にMgZn₂相が析出する。このため粗大なデンドライト状にMgZn₂相が発達しても、表面粗度Saが50nm以下を実現することができる。

なお、素地鋼板が冷延材の場合、溶融めっき処理の前の素地鋼板の被めっき処理面の比表面積はほぼ100%である。このため、ブラシ研削により、被めっき処理面の比表面積を100超~150%とする。

一方、素地鋼板が熱延材の場合、溶融めっき処理の前の素地鋼板の被めっき処理面の比表面積は150%を超える。このため、ブラシ研削により、被めっき処理面の比表面積を100超~150%とする。

また、素材鋼板がプレめっき鋼板の場合は、プレめっき鋼板の比表面積を100超~150%とする。このため、プレめっき前の素地鋼板の比表面積はプレめっきのめっき量に応じて適宜調整すればよい。つまり、素地鋼板がプレめっき鋼板の場合、プレめっき前の素地鋼板の被めっき処理面に対して、ブラシ研削して、プレめっき後の素地鋼板の比表面積を100超~150

%とする。

[0089] ここで、素地鋼板を含めた素地鋼材の比表面積は、素地鋼材の被めっき処理面の周長（表面凹凸に沿った長さ）を X とし、基準長を L としたとき、式： $\text{比表面積} = (\text{周長} X / \text{基準長} L)^2 \times 100$ で定義される。

[0090] 具体的な比表面積の測定方法は、次の通りである。

まず、測定対象となる、素地鋼材から、素地鋼材の表面が $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ 四方となる試料を採取する。ただし、試料は、素地鋼材の打ち抜き端面部近傍（端面から 2 mm ）以外の場所から採取する。

次に、走査電子顕微鏡による素地鋼材の断面観察（つまり、素地鋼材の厚さ方向に沿って切断した断面観察）により、試料の素地鋼材の被めっき処理面の周長 X を測定する。

ここで、基準長 L 、および周長 X は、次の通り定義される（図3参照）。

・基準長 L ：素地鋼材の被めっき処理面を倍率 10000 倍で観察した視野の横の長さ

・周長 X ：上記視野中の素地鋼材の被めっき処理面をなぞった長さ

なお、測定対象がめっき鋼材の場合、めっき層と素地鋼材との界面を観察して、基準長 L および周長 X を測定する。

[0091] 得られた周長 X から、上記式により、比表面積を算出する。

そして、上記操作を、任意の3個所で行い、得られた比表面積の算出平均値を算出する。この算出平均値を「比表面積」とする。

[0092] めっき浴に素地鋼板を浸漬し、めっき浴から素地鋼板を引き上げた後、めっき浴温から 410°C までの温度域を、式（1）を満たす平均冷却速度で一次冷却することで、めっき層の未凝固に起因する、ミスト冷却によるめっき層の表面性状の悪化を抑えつつ、めっき層中で、 $A1$ 相がデンドライト状に十分に発達しつつ析出する。式（1）を満たす平均冷却速度は、例えば、風速が大きい空冷により実施する。

410°C から 380°C までの温度域を、式（2）を満たす平均冷却速度で二次冷却することで、発達したデンドライト状の $A1$ 相の周囲に、十分に M

g Z n₂相が析出する。その結果、Z n－A l－M g合金層の表面に粗大デンドライト状M g Z n₂相が現れ、表面粗度S aが5 0 n m以下のデンドライト状M g Z n₂相の面積率を満たし、かつ上記粗大デンドライト状M g Z n₂相の個数を満たす組織が得られる。式（2）を満たす平均冷却速度は、例えば、風速が小さい空冷により実施する。

ここで、板厚0. 4 m m t～9 m m tの範囲のめっき鋼板において、発達したデンドライト状のA l相の周囲に、十分にM g Z n₂相を析出させて、表面粗度S aが5 0 n m以下のデンドライト状M g Z n₂相の面積率を満たし、かつ上記粗大デンドライト状M g Z n₂相の個数を満たす組織を得る観点から、4 1 0℃から3 8 0℃までの温度域は、平均冷却速度1～9℃／sで二次冷却することが好ましい。

なお、4 1 0℃は、めっき凝固開始温度－5 0℃程度の温度域である。めっき凝固開始温度は、次の方法により測定できる。めっき浴から試料を採取して示差走査熱量測定（D S C）で試料をめっき浴の融点＋2 0℃以上に加熱した後、1 0℃／m i nで冷却したときに最初に示差熱のピークが現れる温度がめっき凝固開始温度である。

[0093] 3 8 0℃から3 0 0℃までの温度域を、式（3）を満たす平均冷却速度で三次冷却することで、トップロール等へのめっき巻つき防止や風紋等の外観不良が抑制される。式（3）を満たす平均冷却速度は、例えば、ミスト冷却により実施する。

[0094] なお、素地鋼板との間に形成するA l－F e合金層は、めっき浸漬直後、1秒にも満たない時間で急速に形成および成長する。その成長速度はめっき浴温が高い方が大きく、めっき浴への浸漬時間が長い方がさらに大きくなる。ただし、めっき浴温が5 0 0℃未満の温度となると、ほとんど成長しなくなるため、浸漬時間を少なくするか、凝固から直ぐ冷却過程に移った方がよい。

[0095] また、めっき鋼板については、一度凝固させた後、めっき鋼板を再加熱してめっき層を再熔融すれば、構成相は全て消失して液相状態となる。従って

、例えば、一度、急冷等を実施しためっき鋼板でも、オフラインにて再加熱して適切な熱処理する工程で、本開示で規定する組織制御を実施することも可能である。この場合、めっき層の再加熱温度は、めっき浴の融点直上付近にしておき、Al-Fe合金層が過剰に成長しない温度域とすることが好ましい。

- [0096] 以下、本開示のめっき鋼材に適用できる後処理について説明する。
- [0097] 本開示のめっき鋼材には、めっき層上に皮膜を形成してもよい。皮膜は、1層または2層以上を形成することができる。めっき層直上の皮膜の種類としては、例えば、クロメート皮膜、りん酸塩皮膜、クロメートフリー皮膜が挙げられる。これら皮膜を形成する、クロメート処理、りん酸塩処理、クロメートフリー処理は既知の方法で行うことができる。
- [0098] クロメート処理には、電解によってクロメート皮膜を形成する電解クロメート処理、素材との反応を利用して皮膜を形成させ、その後余分な処理液を洗い流す反応型クロメート処理、処理液を被塗物に塗布し水洗することなく乾燥して皮膜を形成させる塗布型クロメート処理がある。いずれの処理を採用してもよい。
- [0099] 電解クロメート処理としては、クロム酸、シリカゾル、樹脂（アクリル樹脂、ビニルエステル樹脂、酢酸ビニルアクリルエマルション、カルボキシ化スチレンブタジエンラテックス、ジイソプロパノールアミン変性エポキシ樹脂等）、および硬質シリカを使用する電解クロメート処理を例示することができる。
- [0100] りん酸塩処理としては、例えば、りん酸亜鉛処理、りん酸亜鉛カルシウム処理、りん酸マンガン処理を例示することができる。
- [0101] クロメートフリー処理は、特に、環境に負荷がなく好適である。クロメートフリー処理には、電解によってクロメートフリー皮膜を形成する電解型クロメートフリー処理、素材との反応を利用して皮膜を形成させ、その後、余分な処理液を洗い流す反応型クロメートフリー処理、処理液を被塗物に塗布し水洗することなく乾燥して皮膜を形成させる塗布型クロメートフリー処理

がある。いずれの処理を採用してもよい。

[0102] さらに、めっき層直上の皮膜の上に、有機樹脂皮膜を1層もしくは2層以上有してもよい。有機樹脂としては、特定の種類に限定されず、例えば、ポリエステル樹脂、ポリウレタン樹脂、エポキシ樹脂、アクリル樹脂、ポリオレフィン樹脂、又はこれらの樹脂の変性体等を挙げられる。ここで変性体とは、これらの樹脂の構造中に含まれる反応性官能基に、その官能基と反応し得る官能基を構造中に含む他の化合物（モノマーや架橋剤など）を反応させた樹脂のことを指す。

[0103] このような有機樹脂としては、1種又は2種以上の有機樹脂（変性していないもの）を混合して用いてもよいし、少なくとも1種の有機樹脂の存在下で、少なくとも1種のその他の有機樹脂を変性することによって得られる有機樹脂を1種又は2種以上混合して用いてもよい。また有機樹脂皮膜中には任意の着色顔料や防錆顔料を含んでもよい。水に溶解又は分散することで水系化したものも使用することができる。

実施例

[0104] 本開示の実施例について説明するが、実施例での条件は、本開示の実施可能性及び効果を確認するために採用した一条件例であり、本開示は、この一条件例に限定されるものではない。本開示は、本開示の要旨を逸脱せず、本開示の目的を達成する限りにおいて、種々の条件を採用し得るものである。

[0105] （実施例）

表1～表2に示す化学組成のめっき層が得られるように、所定量の純金属インゴットを使用して、真空溶解炉で、インゴットを溶解した後、大気中でめっき浴を建浴した。めっき鋼材の作製には、バッチ式溶融めっき装置を使用した。

素地鋼材としては、板厚2.3 mmの一般材熱延炭素鋼板（C濃度<0.1%未満）を使用し、めっき工程直前に、脱脂、酸洗を実施した。そして、表1～表2に示す比表面積となるように、素地鋼材の被めっき処理面に対して、砥粒入りブラシロールによりブラシ研削を実施した。

また、いくつかの例では、素地鋼材としては、板厚 2.3 mm の一般材熱延炭素鋼板にプレ Ni めっきを施したプレ Ni めっき鋼板を使用した。Ni 付着量は $1 \sim 3 \text{ g/m}^2$ とした。ただし、プレ Ni めっきは、ブラシ研削後に実施した。

なお、素地鋼材として、プレ Ni めっき鋼板を使用した例は、表中の「素地鋼材」の欄に「プレ Ni」と表記し、Ni 濃度の欄には、かっこ書きでめっき浴中の Ni 濃度を表記した。

[0106] いずれのサンプル作製においても、素地鋼材について、めっき浴浸漬時までの工程は同等の還元処理方法を実施した。すなわち、素地鋼材を $\text{N}_2\text{—H}_2$ (5%) (露点 -40°C 以下、酸素濃度 25 ppm 未満) 環境下、室温から 800°C までを通电加熱で昇温し、60 秒保持した後、 N_2 ガス吹き付けにて、めっき浴温 $+10^\circ\text{C}$ まで冷却し、直ちにめっき浴に浸漬した。

なお、いずれのめっき鋼板も、めっき浴への浸漬時間は表中の時間とした。 N_2 ガスワイピング圧力を調整し、めっき厚みが $30 \mu\text{m}$ ($\pm 1 \mu\text{m}$) となるようにめっき鋼板を作製した。

[0107] めっき浴温は融点 $+20^\circ\text{C}$ を基本とし、一部の水準でさらに温度を上げてめっきした。めっき浴浸漬時間は 2 秒とした。素地鋼材をめっき浴から引き上げ後、表 1～表 2 に示す下記 1～3 段目の平均冷却速度を表 1～表 2 に示す条件とする冷却プロセスでめっき層を得た。

- ・ 1 段目平均冷却速度：めっき浴温から 410°C までの温度域の平均冷却速度
- ・ 2 段目平均冷却速度： 410°C から 380°C までの温度域の平均冷却速度
- ・ 3 段目平均冷却速度： 380°C から 300°C までの温度域の平均冷却速度

[0108] —各種の測定—

得られためっき鋼板から試料を切り出した。そして、既述の方法にしたがって、下記事項を測定した。

- ・ 表面粗度 Sa が 50 nm 以下のデンドライト状 MgZn_2 相の、観察視野 5 mm^2 の範囲内の面積率 (表中、「D— MgZn_2 面積率」と表記)

- ・表面粗度 S_a が 50 nm 以下のデンドライト状 MgZn_2 相のうち、観察視野 25 mm^2 の範囲内に存在する粗大デンドライト状 MgZn_2 相（面積が 0.1 mm^2 以上のデンドライト状 MgZn_2 相）の個数（表中、「D-MgZn₂ 個数」と表記）
- ・Al-Fe 合金層の厚さ（ただし、素地鋼材としてプレNiめっき鋼板を使用した例では、Al-Ni-Fe 合金層の厚さを示す。）

[0109] ー平面部耐食性ー

平面部耐食性を比較するため、製造サンプルを腐食促進試験（SST-JIS Z 2371:2015）に2000時間供して、平面部の赤錆発生面積率の平均値を評価した。平均赤錆発生面積率が3%以下で、かつ $n=5$ 中の赤錆発生面積率の最大値と最小値が平均値の $\pm 100\%$ 以内である場合を「A+」評価、平均赤錆発生面積率が5%以下で、かつ $n=5$ 中の赤錆発生面積率の最大値と最小値が平均値の $\pm 100\%$ 以内である場合を「A」評価、それ以外を「NG」評価とした。

[0110] ー犠牲防食性（切断部端面耐食性）ー

犠牲防食性（切断部端面耐食性）を比較するため、試料を $50\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ にシャー切断し、上下端面をシールして腐食促進試験（JASO M 609-91）に60サイクル供して、側面部の端面露出部の赤錆発生面積率の平均値を評価した。赤錆発生面積率が40%以下を「A+」評価、50%以下を「A」評価、60%超を「NG」評価とした。

[0111] ー加工性ー

めっき層の加工性を評価するために、めっき鋼板を 90° V曲げし、V曲げ谷部に幅 24 mm のセロハンテープを押し当てて引き離し、目視でパウダリングを評価した。テープにパウダリング剥離粉が付着しなかったものを「A」評価、わずかに付着したものを「A-」評価、付着したものを「NG」評価とした。

[0112] ースパングル外観ー

スパングル外観について、次の評価を実施した。

ハンディ型光沢計（日本電色工業社製PG-1）で入射角 60° の光沢度を測定するとともに、試料を東西南北の4方向かつ水平から $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ の方向から目視したときに、明確に大きなスパングル模様が見え、かつ光沢度が30以上であるものを「A+」評価、小さいながらスパングル模様と認識でき、かつ光沢度が30以上であるものを「A」評価、スパングル模様を認識できない、かつ光沢度が30以上であるものを「NG+」評価、スパングル模様を認識できない、かつ光沢度が30未満であるものを「NG」評価とした。

[0113] 実施例について表1～表2に一覧にして示す。

[0114]

[表1-1]

表1-1

No.	区分	素地鋼材		めっき浴 融点	めっき 浴温	浸漬 時間	1段目平均 冷却速度	2段目平均 冷却速度	3段目平均 冷却速度
		種	比表面積 %	(°C)	(°C)	(秒)	(°C/s)	(°C/s)	(°C/s)
1	実施例	—	125	400	420	2	10	5	30
2	実施例	—	130	470	490	2	10	5	30
3	実施例	—	122	460	480	2	10	5	30
4	実施例	—	117	465	485	2	10	5	30
5	実施例	—	135	460	480	2	10	5	30
6	実施例	—	104	460	480	2	10	5	30
7	実施例	—	111	460	480	2	10	5	30
8	実施例	—	119	460	480	2	10	5	30
9	実施例	—	146	460	480	2	10	5	30
10	実施例	—	124	460	480	2	10	5	30
11	実施例	—	118	470	490	2	10	5	30
12	実施例	—	103	460	480	2	10	5	30
13	実施例	—	136	460	480	2	10	5	30
14	実施例	—	130	450	470	2	10	5	30
15	実施例	—	127	440	460	2	10	5	30
16	実施例	—	120	440	460	2	10	5	30
17	実施例	—	133	400	420	2	10	5	30
18	実施例	—	109	460	480	2	10	5	30
19	実施例	—	140	460	480	2	10	5	30
20	実施例	—	115	460	480	2	10	5	30
21	実施例	—	139	460	480	2	10	5	30
22	実施例	—	141	460	480	2	10	5	30
23	実施例	—	123	460	480	2	10	5	30
24	実施例	—	135	460	480	2	10	5	30
25	実施例	—	106	460	480	2	10	5	30
26	実施例	—	108	460	480	2	10	5	30
27	実施例	—	124	470	490	2	10	5	30
28	実施例	—	129	460	480	2	10	5	30
29	実施例	—	121	460	480	2	10	5	30
30	実施例	—	132	460	480	2	10	5	30
31	実施例	—	111	460	480	2	10	5	30
32	実施例	—	142	460	480	2	10	5	30
33	実施例	—	133	460	480	2	10	5	30
34	実施例	—	114	460	480	2	10	5	30
35	実施例	—	106	460	480	2	10	5	30
36	実施例	—	141	460	550	2	10	5	30
37	実施例	—	110	460	480	2	10	5	30
38	実施例	—	133	460	480	2	10	5	30
39	実施例	—	107	460	480	2	10	5	30
40	実施例	—	121	460	480	2	10	5	30
41	実施例	ブレNi	106	460	480	2	10	5	30
42	実施例	ブレNi	131	460	480	2	10	5	30
43	実施例	ブレNi	125	460	480	2	10	5	30
44	実施例	ブレNi	120	460	480	2	10	5	30

[0115]

[表1-2]

表1-2

No.	区分	めっき層組成(mass%)												
		Zn	Al	Mg	Sn	Bi	In	Ca	Y	La	Ce	Si	Cr	Ti
1	実施例	89.32	5.5	4	0.08	0	0	0	0	0	0	1	0	0
2	実施例	69.32	24.5	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	実施例	78.32	18	3.5	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	実施例	69.82	18	12	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	実施例	75.8	18	6	0.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	実施例	75.5	18	6	0.10	0	0	0.2	0	0	0	0.1	0	0
7	実施例	75.7	18	6	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	実施例	75.5	18	6	0.20	0	0	0.1	0	0	0	0.1	0	0
9	実施例	75.5	18	6	0.20	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0
10	実施例	75.4	18	6	0.00	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0
11	実施例	74.87	18	6	0.03	0	0	0	0	0	0	1.0	0	0
12	実施例	74.04	18	6	0.06	0	0	0.3	0	0	0	1.5	0	0
13	実施例	75.81	18	6	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	実施例	75.79	18	6	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	実施例	75.75	18	6	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	実施例	75.73	18	6	0.17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	実施例	85.74	10	4	0.19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	実施例	71.32	18	6	0.08	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0
19	実施例	74.32	18	6	0.08	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0
20	実施例	75.72	18	6	0.08	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0
21	実施例	75.32	18	6	0.08	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0
22	実施例	74.82	18	6	0.08	0	0	1	0	0	0	0	0	0
23	実施例	72.82	18	6	0.08	0	0	3	0	0	0	0	0	0
24	実施例	75.32	18	6	0.08	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0
25	実施例	75.42	18	6	0.08	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0
26	実施例	75.42	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0
27	実施例	73.52	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	2.3	0	0
28	実施例	75.62	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0
29	実施例	75.62	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
30	実施例	75.62	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	実施例	75.62	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	実施例	75.62	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	実施例	75.62	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	実施例	75.62	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	実施例	75.62	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	実施例	70.92	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	実施例	75.42	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	実施例	75.42	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	実施例	75.42	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	実施例	75.42	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	実施例	75.82	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	実施例	75.82	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	実施例	75.82	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	実施例	75.82	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0

[0116]

[表1-3]

表1-3

No.	区分	めっき層組成(mass%)										
		Ni	Co	V	Nb	Cu	Mn	Fe	Sr	Sb	Pb	B
1	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
2	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
3	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
4	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
5	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
6	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
7	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
8	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
9	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
10	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
11	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
12	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
13	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
14	実施例	0	0	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0
15	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
16	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
17	実施例	0	0	0	0	0	0	0.07	0	0	0	0
18	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
19	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
20	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
21	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
22	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
23	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
24	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
25	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
26	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
27	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
28	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
29	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
30	実施例	0.2	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
31	実施例	0	0.2	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
32	実施例	0	0	0.2	0	0	0	0.1	0	0	0	0
33	実施例	0	0	0	0.2	0	0	0.1	0	0	0	0
34	実施例	0	0	0	0	0.2	0	0.1	0	0	0	0
35	実施例	0	0	0	0	0	0.2	0.1	0	0	0	0
36	実施例	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0
37	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0	0	0
38	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.4	0	0
39	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.4	0
40	実施例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0.4
41	実施例	0.4 (0)	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
42	実施例	15 (0)	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
43	実施例	1 (0)	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
44	実施例	4 (0)	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0

[0117]

[表1-4]

表1-4

No.	区分	Al-Fe 合金層 の厚さ	D-MgZn ₂ 面積率	D-MgZn ₂ 個数	平面部 耐食性	犠牲 防食性	加工性	スパングル 外観
		(μm)	(%)	(個/25cm ²)				
1	実施例	1	32	6	A+	A+	A-	A
2	実施例	1	72	88	A	A	A	A+
3	実施例	1	35	7	A+	A+	A	A
4	実施例	1	76	92	A+	A	A-	A
5	実施例	1	50	25	A+	A	A	A+
6	実施例	1	56	30	A+	A	A	A+
7	実施例	1	43	22	A+	A+	A	A+
8	実施例	1	49	26	A+	A+	A	A+
9	実施例	1	53	31	A+	A+	A	A+
10	実施例	1	56	36	A+	A+	A	A+
11	実施例	1	62	40	A+	A+	A	A+
12	実施例	1	48	35	A+	A+	A	A+
13	実施例	1	46	39	A+	A+	A	A+
14	実施例	1	60	44	A+	A+	A	A+
15	実施例	1	55	40	A+	A+	A	A+
16	実施例	1	51	37	A	A+	A	A+
17	実施例	1	33	19	A	A+	A	A
18	実施例	1	57	41	A+	A+	A	A+
19	実施例	1	47	36	A+	A+	A	A+
20	実施例	1	50	45	A+	A+	A	A+
21	実施例	1	53	47	A+	A+	A	A+
22	実施例	1	48	43	A+	A+	A	A+
23	実施例	1	46	46	A	A+	A-	A+
24	実施例	1	52	50	A+	A+	A	A+
25	実施例	1	53	51	A+	A+	A	A+
26	実施例	1	47	54	A+	A+	A	A+
27	実施例	1	46	43	A	A+	A-	A+
28	実施例	1	49	47	A+	A+	A	A+
29	実施例	1	52	50	A+	A+	A	A+
30	実施例	1	54	57	A+	A+	A	A+
31	実施例	1	50	52	A+	A+	A	A+
32	実施例	1	41	39	A+	A+	A	A+
33	実施例	1	46	47	A+	A+	A	A+
34	実施例	1	45	45	A+	A+	A	A+
35	実施例	1	48	40	A+	A+	A	A+
36	実施例	5	40	38	A+	A+	A	A+
37	実施例	1	52	46	A+	A+	A	A+
38	実施例	1	50	41	A+	A+	A	A+
39	実施例	1	53	47	A+	A+	A	A+
40	実施例	1	56	45	A+	A+	A	A+
41	実施例	1	49	40	A	A+	A	A+
42	実施例	1	45	37	A	A+	A	A+
43	実施例	1	53	46	A	A+	A	A+
44	実施例	1	48	41	A	A+	A	A+

[0118]

[表2-1]

表2-1

No.	区分	素地鋼材		めっき溶融点	めっき溶温	浸漬時間	1段目平均冷却速度	2段目平均冷却速度	3段目平均冷却速度
		種	比表面積 %	(°C)	(°C)	(秒)	(°C/s)	(°C/s)	(°C/s)
45	比較例	—	110	480	500	2	10	5	30
46	比較例	—	123	400	420	2	10	5	30
47	比較例	—	129	470	490	2	10	5	30
48	比較例	—	141	450	470	2	10	5	30
49	比較例	—	130	470	490	2	10	5	30
50	比較例	—	104	460	480	2	10	5	30
51	比較例	—	109	460	480	2	10	5	30
52	比較例	—	127	460	480	2	10	5	30
53	比較例	—	136	460	480	2	10	5	30
54	比較例	—	143	460	480	2	10	5	30
55	比較例	—	110	460	480	2	10	5	30
56	比較例	—	116	460	480	2	10	5	30
57	比較例	—	118	470	490	2	10	5	30
58	比較例	—	140	460	480	2	10	5	30
59	比較例	—	143	460	480	2	10	5	30
60	比較例	—	135	460	480	2	10	5	30
61	比較例	—	128	460	480	2	10	5	30
62	比較例	—	127	460	480	2	10	5	30
63	比較例	—	137	460	480	2	10	5	30
64	比較例	—	129	460	480	2	10	5	30
65	比較例	—	108	460	480	2	10	5	30
66	比較例	—	115	460	570	2	10	5	30
67	比較例	—	126	460	480	2	10	5	30
68	比較例	—	128	460	480	2	10	5	30
69	比較例	—	120	460	480	2	10	5	30
70	比較例	—	130	460	480	2	10	5	30
71	比較例	—	141	460	480	2	10	12	30
72	比較例	—	143	460	480	2	3	5	30
73	比較例	—	120	460	480	2	10	5	10
74	比較例	—	111	460	480	2	5	5	5
75	比較例	—	175	460	480	2	10	5	30

[0119]

[表2-2]

表2-2

No.	区分	めっき層組成(mass%)												
		Zn	Al	Mg	Sn	Bi	In	Ca	Y	La	Ce	Si	Cr	Ti
45	比較例	63.7	24	12	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	比較例	90.82	4.5	4	0.08	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0
47	比較例	67.82	26	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	比較例	78.82	18	3	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	比較例	68.82	18	13	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	比較例	72.8	18	6	3.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	比較例	70.82	18	6	0.08	5.0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	比較例	73.82	18	6	0.08	0	2.0	0	0	0	0	0	0	0
53	比較例	72.32	18	6	0.08	0	0	3.5	0	0	0	0	0	0
54	比較例	75.22	18	6	0.08	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0
55	比較例	75.22	18	6	0.08	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0
56	比較例	75.22	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0
57	比較例	73.12	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	2.7	0	0
58	比較例	75.52	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0
59	比較例	75.52	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3
60	比較例	75.52	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	比較例	75.52	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	比較例	75.52	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	比較例	75.52	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	比較例	75.52	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	比較例	75.52	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66	比較例	68.92	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	比較例	75.32	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
68	比較例	75.32	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
69	比較例	75.32	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	比較例	75.22	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	比較例	75.82	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	比較例	75.82	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	比較例	75.82	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74	比較例	75.82	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	比較例	75.82	18	6	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0

[0120]

[表2-3]

表2-3

No.	区分	めっき層組成(mass%)										
		Ni	Co	V	Nb	Cu	Mn	Fe	Sr	Sb	Pb	B
45	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
46	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
47	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
48	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
49	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
50	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
51	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
52	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
53	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
54	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
55	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
56	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
57	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
58	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
59	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
60	比較例	0.3	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
61	比較例	0	0.3	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
62	比較例	0	0	0.3	0	0	0	0.1	0	0	0	0
63	比較例	0	0	0	0.3	0	0	0.1	0	0	0	0
64	比較例	0	0	0	0	0.3	0	0.1	0	0	0	0
65	比較例	0	0	0	0	0	0.3	0.1	0	0	0	0
66	比較例	0	0	0	0	0	0	7.0	0	0	0	0
67	比較例	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0
68	比較例	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0
69	比較例	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0
70	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0.6
71	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
72	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
73	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
74	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
75	比較例	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0

[0121]

[表2-4]

表2-4

No.	区分	Al-Fe 合金層 の厚さ	D-MgZn ₂ 面積率	D-MgZn ₂ 個数	平面部 耐食性	犠牲 防食性	加工性	スパンゲル 外観
		(μm)	(%)	(個/25cm ²)				
45	比較例	1	83	108	A	NG	A	NG+
46	比較例	1	5	2	NG	A+	A	NG
47	比較例	1	84	103	A	NG	A	NG+
48	比較例	1	15	4	NG	A+	A	NG
49	比較例	1	75	96	A+	A+	NG	A
50	比較例	1	46	50	NG	A+	A	A+
51	比較例	1	40	40	NG	A+	A	A+
52	比較例	1	48	47	NG	A+	A	A+
53	比較例	1	50	56	NG	A+	NG	A+
54	比較例	1	41	49	NG	A+	A	A+
55	比較例	1	47	47	NG	A+	A	A+
56	比較例	1	53	51	NG	A+	A	A+
57	比較例	1	50	45	NG	A+	NG	A+
58	比較例	1	39	40	NG	A+	A	A+
59	比較例	1	44	40	NG	A+	A	A+
60	比較例	1	48	47	NG	A+	A	A+
61	比較例	1	51	56	NG	A+	A	A+
62	比較例	1	44	46	NG	A+	A	A+
63	比較例	1	49	48	NG	A+	A	A+
64	比較例	1	47	49	NG	A+	A	A+
65	比較例	1	52	50	NG	A+	A	A+
66	比較例	8	35	30	A	A+	NG	A+
67	比較例	1	58	51	NG	A+	A	A+
68	比較例	1	56	57	NG	A+	A	A+
69	比較例	1	51	48	NG	A+	A	A+
70	比較例	1	47	42	NG	A+	A	A+
71	比較例	1	21	10	NG	A+	A	NG
72	比較例	2	0	0	A+	A+	NG	NG
73	比較例	2	0	0	A+	A+	NG	NG
74	比較例	2	2	4	A+	A+	NG	NG
75	比較例	1	31	3	A+	A+	A	NG+

[0122] 上記結果から、本開示のめっき鋼材に該当する実施例は、比較例に比べ、
美麗なスパンゲル外観を有しつつ、安定した平面部耐食性および犠牲防食性

を有することがわかる。

特に、本開示のめっき層の化学組成を満たしても、式(1)： $A \geq 1.5 \times B$ を満たさない平均冷却速度で一次冷却した比較例(試験No. 72)は、ミスト冷却によってめっき層の表面性状が悪化したためスパンクル模様が見えにくいことがわかる。

本開示のめっき層の化学組成を満たしても、式(2)： $B \leq 9^\circ\text{C}/\text{s}$ を満たさない平均冷却速度で二次冷却した比較例(試験No. 71)は、デンドライト状 MgZn_2 相の成長が不十分でスパンクル模様が見えにくいことがわかる。

本開示のめっき層の化学組成を満たしても、式(3)： $C \geq 4 \times B$ を満たさない平均冷却速度で三次冷却した比較例(試験No. 73)は、トップロールへのめっき層巻き込みによるめっき外観不良でスパンクル模様が見えにくいことがわかる。

本開示のめっき層の化学組成を満たしても、式(1)： $A \geq 1.5 \times B$ を満たさない平均冷却速度で一次冷却し、かつ、式(3)： $C \geq 4 \times B$ を満たさない平均冷却速度で三次冷却した比較例(試験No. 74)は、ミスト冷却によってめっき層の表面性状が悪化したため、スパンクル模様が見えにくいことがわかる。

本開示のめっき層の化学組成を満たしても、素地鋼材の被めっき処理面をブラシ研削せずにめっき層を形成した比較例(試験No. 75)は、デンドライト状 MgZn_2 相の成長が不十分でスパンクル模様が見えにくいことがわかる。

[0123] なお、プレNiめっき鋼板を使用した例(試験No. 41~44)のめっき層のNi濃度は、0.28%以上15%以下であるため、めっき層のNi濃度を、0%と見なす例に該当する。

[0124] 以上、添付図面を参照しながら本開示の好適な実施形態について詳細に説明したが、本開示はかかる例に限定されない。本開示の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的

思想の範疇内において、各種の変更例又は修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本開示の技術的範囲に属するものと了解される。

[0125] なお、日本国特許出願第2020-176669号の開示はその全体が参照により本明細書に取り込まれる。

本明細書に記載された全ての文献、特許出願、および技術規格は、個々の文献、特許出願、および技術規格が参照により取り込まれることが具体的かつ個々に記された場合と同程度に、本明細書中に参照により取り込まれる。

請求の範囲

- [請求項1] 素地鋼材と、前記素地鋼材の表面に配されたZn-Al-Mg合金層を含むめっき層と、を有するめっき鋼材であって、
- 前記めっき層が、質量%で、
- Zn：65.0%超、
- Al：5.0%超～25.0%未満、
- Mg：3.0%超～12.5%未満、
- Sn：0%～3.00%、
- Bi：0%～5.0%未満、
- In：0%～2.0%未満、
- Ca：0%～3.0%、
- Y：0%～0.5%、
- La：0%～0.5%未満、
- Ce：0%～0.5%未満、
- Si：0%～2.5%未満、
- Cr：0%～0.25%、
- Ti：0%～0.25%、
- Ni：0%～0.25%、
- Co：0%～0.25%、
- V：0%～0.25%、
- Nb：0%～0.25%、
- Cu：0%～0.25%、
- Mn：0%～0.25%、
- Fe：0%～5.0%、
- Sr：0%～0.5%未満、
- Sb：0%～0.5%未満、
- Pb：0%～0.5%未満、
- B：0%～0.5%未満、及び

不純物からなる化学組成を有し、

前記 $Zn-Al-Mg$ 合金層の表面に、表面粗度 Sa が 50 nm 以下のデンドライト状 $MgZn_2$ 相を有し、

前記表面粗度 Sa が 50 nm 以下のデンドライト状 $MgZn_2$ 相の面積率が、観察視野 5 mm^2 の範囲内で 30% 以上 80% 以下であり

、

かつ、前記表面粗度 Sa が 50 nm 以下のデンドライト状 $MgZn_2$ 相のうち、面積が 0.1 mm^2 以上のデンドライト状 $MgZn_2$ 相の個数が、観察視野 25 mm^2 の範囲内に 5 個以上 100 個以下である

、

めっき鋼材。

[請求項2]

前記めっき層における、 Sn の含有量が、質量%で、 $0.05\% \sim 3.00\%$ である請求項1に記載のめっき鋼材。