

明 細 書

発明の名称： 溶融めっき鋼材

技術分野

[0001] 本発明は、溶融めっき鋼材に関する。

本願は、2022年4月20日に、日本に出願された特願2022-069530号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] Al及びMgを含有する溶融Znめっき層が表面に形成された鋼材（溶融Zn-Al-Mg系めっき鋼材）は、優れた耐食性を有する。そのため、例えば建材などの耐食性を求められる構造部材の材料として、溶融Zn-Al-Mg系めっき鋼材は幅広く用いられている。

[0003] 例えば特許文献1には、鋼板と、鋼板の表面に形成された溶融めっき層と、を備え、溶融めっき層は、平均組成で、Al：0～90質量%、Mg：0～10質量%を含有し、残部がZnおよび不純物を含み、溶融めっき層に、所定の形状となるように配置されたパターン部と、非パターン部とが形成され、パターン部及び非パターン部は、それぞれ、第1領域、第2領域のうちの1種または2種を含み、パターン部における第1領域の面積率と、非パターン部における第1領域の面積率との差の絶対値が、30%以上であり、第1領域は、配向率が3.5以上の領域であり、第2領域は、配向率が3.5未満の領域である溶融めっき鋼板が記載されている。

[0004] 特許文献2には、鋼板と、4質量%以上22質量%以下のAlと、1質量%以上5質量%以下のMgとを含有し、残部がZn及び不可避免的不純物を含む溶融めっき層とを備え、溶融めっき層の表面に平行な溶融めっき層の断面における、Al相の(200)面のX線回折強度 $I(200)$ とAl相の(111)面のX線回折強度 $I(111)$ との比である回折強度比 $I(200)/I(111)$ が、0.8以上であるZn-Al-Mg系溶融めっき鋼板が記載されている。

- [0005] 近年、屋根や壁材などに使用される建材用途の溶融めっき鋼材には、めっき層そのものの耐食性である平面耐食性と、地鉄が露出した場合に地鉄を防食する犠牲防食性との両立が、高いレベルで求められている。先行技術において、平面耐食性と犠牲防食性の両立についてはほとんど検討されていない。
- [0006] 特許文献1は、Zn相の(0002)面の回折ピーク強度 I_{0002} と(10-11)面の回折ピーク強度 I_{10-11} との強度比が3.5以上の領域を第1領域とし、強度比が3.5未満の領域を第2領域とした場合に、パターン部における第1領域の面積率と非パターン部における第1領域の面積率との差を30%以上とすることで、めっき層の表面に文字やデザイン等を意図的に現すことができるとしているが、犠牲防食性は検討されていない。
- [0007] 特許文献2では、めっき層中のAl相の方位を制御することで、めっき層の外観を、キメが細かく、かつ平滑な光沢部が多い梨肌の外観としているが、犠牲防食性は検討されていない。

先行技術文献

特許文献

- [0008] 特許文献1：日本国特開2021-85086号公報
特許文献2：国際公開第2011/001662号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0009] 本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、平面耐食性と犠牲防食性の両方がより優れる溶融めっき鋼材を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

- [0010] 上記課題を解決するため、本発明は以下の構成を採用する。
- [1] 鋼材と、
前記鋼材の表面に配された溶融めっき層と、を備え、
前記溶融めっき層の化学組成が、質量%で、

Al : 10.0 ~ 30.0%、

Mg : 3.0 ~ 15.0%、

Fe : 0.01 ~ 15.0%、

Si : 0 ~ 10.0%、

Ni : 0 ~ 1.0%、

Ca : 0 ~ 4.0%を含有し、

更に、Sb : 0 ~ 0.5%、Pb : 0 ~ 0.5%、Cu : 0 ~ 1.0%、
Sn : 0 ~ 2.0%、Ti : 0 ~ 1.0%、Cr : 0 ~ 1.0%、Nb : 0
~ 1.0%、Zr : 0 ~ 1.0%、Mn : 0 ~ 1.0%、Mo : 0 ~ 1.0
%、Ag : 0 ~ 1.0%、Li : 0 ~ 1.0%、La : 0 ~ 0.5%、Ce
: 0 ~ 0.5%、B : 0 ~ 0.5%、Y : 0 ~ 0.5%、P : 0 ~ 0.5%
、Sr : 0 ~ 0.5%、Co : 0 ~ 0.5%、Bi : 0 ~ 0.5%、In :
0 ~ 0.5%、V : 0 ~ 0.5%、W : 0 ~ 0.5%の元素群のうちの1種
または2種以上の元素を含有するとともに、これらの元素の合計が5%以下
とされ、

残部 : Zn及び不純物からなり、

前記溶融めっき層のX線回折測定結果から得られる回折強度が、下記式 (1a) および式 (2a) の関係を満足する、溶融めっき鋼材。

$$0.5 \leq I(100)_{\text{MgZn}_2} / \{ I(002)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2} \} \leq 2.5 \quad \cdots (1a)$$

$$0.2 \leq I(111)_{\alpha} / I(200)_{\alpha} \leq 5.0 \quad \cdots (2a)$$

ただし、式 (1a) における $I(100)_{\text{MgZn}_2}$ は MgZn_2 相の (100) の回折強度であり、 $I(002)_{\text{MgZn}_2}$ は MgZn_2 相の (002) の回折強度であり、 $I(101)_{\text{MgZn}_2}$ は MgZn_2 相の (101) の回折強度であり、式 (2a) における $I(111)_{\alpha}$ は α 相の (111) の回折強度であり、 $I(200)_{\alpha}$ は α 相の (200) の回折強度である。

[2] 鋼材と、

前記鋼材の表面に配された溶融めっき層と、を備え、

前記溶融めっき層の化学組成が、質量%で、

Al : 15.0 ~ 30.0%、

Mg : 5.0 ~ 10.0%、

Fe : 0.01 ~ 15.0%、

Si : 0 ~ 10.0%、

Ni : 0 ~ 1.0%、

Ca : 0 ~ 4.0%を含有し、

更に、Sb : 0 ~ 0.5%、Pb : 0 ~ 0.5%、Cu : 0 ~ 1.0%、
Sn : 0 ~ 2.0%、Ti : 0 ~ 1.0%、Cr : 0 ~ 1.0%、Nb : 0
~ 1.0%、Zr : 0 ~ 1.0%、Mn : 0 ~ 1.0%、Mo : 0 ~ 1.0
%、Ag : 0 ~ 1.0%、Li : 0 ~ 1.0%、La : 0 ~ 0.5%、Ce
: 0 ~ 0.5%、B : 0 ~ 0.5%、Y : 0 ~ 0.5%、P : 0 ~ 0.5%
、Sr : 0 ~ 0.5%、Co : 0 ~ 0.5%、Bi : 0 ~ 0.5%、In :
0 ~ 0.5%、V : 0 ~ 0.5%、W : 0 ~ 0.5%の元素群のうちの1種
または2種以上の元素を含有するとともに、これらの元素の合計が5%以下
とされ、

残部 : Zn及び不純物からなり、

前記溶融めっき層のX線回折測定結果から得られる回折強度が、下記式 (1b) および式 (2b) の関係を満足する、溶融めっき鋼材。

$$1.0 \leq I(100)_{\text{MgZn}_2} / \{ I(002)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2} \} \leq 2.0 \quad \dots (1b)$$

$$0.2 \leq I(111)_{\alpha} / I(200)_{\alpha} \leq 5.0 \quad \dots (2b)$$

ただし、式 (1b) における $I(100)_{\text{MgZn}_2}$ は MgZn_2 相の (100) の回折強度であり、 $I(002)_{\text{MgZn}_2}$ は MgZn_2 相の (002) の回折強度であり、 $I(101)_{\text{MgZn}_2}$ は MgZn_2 相の (101) の回折強度であり、式 (2b) における $I(111)_{\alpha}$ は α 相の (111) の回折強度であり、 $I(200)_{\alpha}$ は α 相の (200) の回折強度である。

[3] 前記溶融めっき層の化学組成のうちのSnが、質量%で、Sn : 0

、0.5～0.5%とされ、

前記溶融めっき層のX線回折測定結果によって Mg_2Sn 相が検出される、
〔1〕または〔2〕に記載の溶融めっき鋼材。

発明の効果

[0011] 本発明の上記態様によれば、平面耐食性と犠牲防食性の両方がより優れた溶融めっき鋼材を提供できる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]本発明の実施形態である溶融めっき鋼材の断面模式図である。

発明を実施するための形態

[0013] めっき層の犠牲防食性は、地鉄よりもイオン化傾向が高い元素（例えばZn、Mg等）を含むめっき層を鋼材表面に形成し、地鉄に対してめっき層を優先的に腐食させることによって達成される。従って、めっき層による犠牲防食性の向上と、めっき層自体の耐食性である平面耐食性の向上は、両立しない関係にある。

[0014] そこで、本発明者らが、Al及びMgを含有する溶融Znめっき層の平面耐食性および犠牲防食性の両方を向上させるために鋭意検討した。めっき層に含まれる $MgZn_2$ 相および α 相にはそれぞれ、様々な結晶方位面が含まれる。これらの結晶方位面の耐食性は全ての方位面において一律ではなく、例えば、稠密面となる結晶方位面の耐食性は比較的高いが、その一方で、稠密面以外の結晶方位面では耐食性が比較的小さくなっている。

[0015] そこで、本発明者らは、上記目的を達成するために、めっき層に含まれる $MgZn_2$ 相および α 相の結晶方位を、結晶粒毎にランダムな方向に配向させることを試みた。このようなめっき層は、その表面に、耐食性が異なる様々な方位の結晶方位面が混在するようになる。このようなめっき層が腐食されると、比較的低い耐食性を持つ結晶方位面の腐食が先行し、次いで、比較的高い耐食性を持つ結晶方位面の腐食が進むようになる。その結果、 $MgZn_2$ 相および α 相の腐食がバランスよく進むようになり、ZnイオンおよびMgイオンの溶解が長期間に渡って続くことになり、犠牲防食性が確保されるよ

うになる。また、 $MgZn_2$ 相および α 相の腐食がバランスよく進むことで、めっき層表面に比較的均一に腐食生成物が生成するとともに、 α 相が適度に残存してバリア機能が保たれることによって、平面耐食性も向上することが見出された。

[0016] そして、めっき層の表面に対するX線回折測定結果から得られるX線回折強度が、下記式(1a)および下記式(2)の関係を満足する場合に、 $MgZn_2$ 相および α 相の結晶方位が、結晶粒毎にランダムな方向に配向するようになり、平面耐食性および犠牲防食性の両方を向上できることを見出し、本発明を完成するに至った。

[0017] 以下、本発明の実施形態である溶融めっき鋼材について説明する。本実施形態の溶融めっき鋼材は、鋼材と、鋼材の表面に配された溶融めっき層と、を備え、溶融めっき層の化学組成が、質量%で、Al:10.0~30.0%、Mg:3.0~15.0%、Fe:0.01~15.0%、Si:0~10.0%、Ni:0~1.0%、Ca:0~4.0%を含有し、更に、Sb:0~0.5%、Pb:0~0.5%、Cu:0~1.0%、Sn:0~2.0%、Ti:0~1.0%、Cr:0~1.0%、Nb:0~1.0%、Zr:0~1.0%、Mn:0~1.0%、Mo:0~1.0%、Ag:0~1.0%、Li:0~1.0%、La:0~0.5%、Ce:0~0.5%、B:0~0.5%、Y:0~0.5%、P:0~0.5%、Sr:0~0.5%、Co:0~0.5%、Bi:0~0.5%、In:0~0.5%、V:0~0.5%、W:0~0.5%の元素群のうちの1種または2種以上の元素を含有するとともに、これらの元素の合計が5%以下とされ、残部:Zn及び不純物からなり、溶融めっき層のX線回折測定結果から得られる回折強度が、下記式(1a)および式(2)の関係を満足する、溶融めっき鋼材である。

[0018] $0.5 \leq I(100)_{MgZn_2} / \{ I(002)_{MgZn_2} + I(101)_{MgZn_2} \} \leq 2.5 \quad \dots (1a)$

$0.2 \leq I(111)_{\alpha} / I(200)_{\alpha} \leq 5.0 \quad \dots (2)$

[0019] ただし、式(1a)における $I(100)_{\text{MgZn}_2}$ は MgZn_2 相の(100)の回折強度であり、 $I(002)_{\text{MgZn}_2}$ は MgZn_2 相の(002)の回折強度であり、 $I(101)_{\text{MgZn}_2}$ は MgZn_2 相の(101)の回折強度であり、式(2)における $I(111)_\alpha$ は α 相の(111)の回折強度であり、 $I(200)_\alpha$ は α 相の(200)の回折強度である。

[0020] また、溶融めっき層の化学組成のうち、Al濃度およびMg濃度がそれぞれ、Al:15.0~30.0%、Mg:5.0~10.0%の範囲になる場合は、上記式(1a)に代えて、上記(2)式とともに下記(1b)式を満足することが好ましい。なお、溶融めっき層の化学組成のうち、Al濃度およびMg濃度がそれぞれ、Al:15.0~30.0%、Mg:5.0~10.0%の範囲を満足し、かつ、Al:10.0~30.0%、Mg:3.0~15.0%の範囲を満足する場合は、上記式(1a)を満たしていればよい。溶融めっき層の化学組成のうち、Al濃度およびMg濃度がそれぞれ、Al:15.0~30.0%、Mg:5.0~10.0%の範囲を満足し、かつ、Al:10.0~30.0%、Mg:3.0~15.0%の範囲を満足する場合は、上記式(1a)を満たし、さらに下記式(1b)を満たすことが好ましい。

[0021] $1.0 \leq I(100)_{\text{MgZn}_2} / \{I(002)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2}\} \leq 2.0 \quad \dots (1b)$

[0022] 以下の説明において、化学組成の各元素の含有量の「%」表示は、「質量%」を意味する。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。「平面部耐食性」とは、溶融めっき層(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、鋼材むき出し部(例えばめっき鋼材の切断端面部、加工時の溶融めっき層割れ部、および溶融めっき層の剥離により、鋼材が露出する箇所)での鋼材の腐食を抑制する性質を示す。「溶融めっき層」とは、いわゆる溶融亜鉛めっき処理によって製造されためっき皮膜を意味する。

[0023] 図1に示すように、本実施形態に係る溶融めっき鋼材1は、鋼材11を有

する。鋼材 11 の形状には、特に制限はない、鋼材 11 の一例は鋼板である。また、鋼材 11 は例えば、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）などの、成形加工された素地鋼材であってもよい。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である。

[0024] 鋼材 11 の材質には、特に制限はない。鋼材 11 は、例えば、一般鋼、A1 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）などの各種の鋼材とすることができる。鋼材 11 を、JIS G 3302:2010 に記載されている熱延鋼板、熱延鋼帯、冷延鋼板、及び冷延鋼帯などとしてもよい。鋼板の製造方法（熱間圧延方法、酸洗方法、冷延方法等）、及びその具体的な製造条件等についても、特に制限されない。

[0025] 後述するように、めっき原板となる鋼材には、鋼材 11 の表面にプレめっきされたプレめっき鋼材を用いる。プレめっき鋼材の例は、鋼材 11 表面に Ni めっきが形成された Ni プレめっき鋼材である。プレめっき鋼材は、例えば、電解処理または置換めっきによって得られる。電解処理は、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実施される。置換めっきは、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ることにより実施される。

[0026] 本実施形態に係る溶融めっき鋼材 1 は、鋼材 11 の表面に配された溶融めっき層 12 を有する。本実施形態に係る溶融めっき鋼材 1 の溶融めっき層 12 は、後述する化学組成に起因して、主に Zn-Al-Mg 合金層から構成される。また、本実施形態に係る溶融めっき鋼材 1 の溶融めっき層 12 は、鋼材 11 と Zn-Al-Mg 合金層との間に界面合金層を含んでもよい。つまり、溶融めっき層 12 は、Zn-Al-Mg 合金層の単層構造であってもよく、Zn-Al-Mg 合金層と界面合金層とを含む積層構造であってもよい。

い。界面合金層には、Al-Ni合金相が含まれていてもよい。Al-Ni合金相は、後述するように、プレめっき鋼材のNiめっきのNiと、溶融めっき浴のAlとが反応することによって形成されるAl-Ni化合物に由来する。溶融めっき鋼材1においては、鋼材1と溶融めっき層12の界面全面に、Al-Ni合金相を含む界面合金層が形成されていてもよい。また、界面の一部にAl-Ni合金相を含む界面合金層が形成され、それ以外の部分に、Fe-Al合金相を含む界面合金層が形成されていてもよい。

[0027] 本実施形態に係る溶融めっき層の化学組成は、Znと、その他の合金元素とから構成される。溶融めっき層の化学組成について、以下に詳細に説明する。なお、濃度の下限値が0%であると説明される元素は、本実施形態に係る溶融めっき鋼材の課題を解決するために必須ではないが、特性の向上などを目的として溶融めっき層に含まれることが許容される任意元素である。

[0028] <Al : 10.0~30.0%>

Alは、Znとの固溶体であるα相を形成し、平面部耐食性、犠牲防食性及び加工性の向上に寄与する。従って、Al濃度は10.0%以上とする。Al濃度を11.0%以上、12.0%以上、又は15.0%以上としてもよい。一方、Alが過剰である場合、Mg濃度およびZn濃度が相対的に低下して、犠牲防食性が劣化する。よって、Al濃度は30.0%以下とする。Al濃度を28.0%以下、25.0%以下、又は20.0%以下としてもよい。

[0029] <Mg : 3.0~15.0%>

Mgは、平面部耐食性および犠牲防食性を確保するために必須の元素である。従って、Mg濃度は、3.0%以上とする。Mg濃度を4.0%以上、5.0%以上、又は6.0%以上としてもよい。一方、Mg濃度が過剰であると、加工性、特にパウダリング性が劣化し、更に平面部耐食性が劣化する場合がある。よって、Mg濃度は15.0%以下とする。Mg濃度を12.0%以下、10.0%以下、8.0%以下としてもよい。

[0030] <Fe : 0.01%~15.0%>

Feの濃度は0%でもよい。一方、Feが溶融めっき層に0.01%以上含有されてもよい。Fe濃度が15.0%以下であれば、溶融めっき層の性能に悪影響がないことが確認されている。Fe濃度を例えば0.05%以上、0.1%以上、0.5%以上、又は1.0%以上としてもよい。Fe濃度を例えば10.0%以下、8.0%以下、又は6.0%以下としてもよい。Feは、母材鋼板から混入する場合があるため、Fe濃度は0.05%以上でもよい。

[0031] <Si : 0%~10.0%>

Si濃度は0%であってもよい。一方、Siは、平面部耐食性の向上に寄与する。従って、Si濃度を0.05%以上、0.1%以上、0.2%以上、又は0.5%以上としてもよい。一方、Si濃度が過剰であると、平面部耐食性および犠牲防食性が劣化する。従って、Si濃度は10.0%以下とする。Si濃度を8.0%以下、7.0%以下、又は6.0%以下としてもよい。

[0032] <Ni : 0~1.0%>

Niの濃度は0%でもよい。一方、Niは犠牲防食性の向上に寄与する。従って、Ni濃度を0.05%以上、0.08%以上、又は0.1%以上としてもよい。一方、Ni濃度が過剰であると、平面部耐食性が劣化する。従って、Ni濃度は、1.0%以下とする。Ni濃度を0.8%以下、0.6%以下、又は0.5%以下としてもよい。

[0033] <Ca : 0%~4.0%>

Ca濃度は0%であってもよい。一方、Caは、平面部耐食性を付与するのに最適なMg溶出量を調整することができる元素である。従って、Ca濃度は0.05%以上、0.1%以上、又は0.5%以上であってもよい。一方、Ca濃度が過剰であると、平面部耐食性及び加工性が劣化する。従って、Ca濃度は4.0%以下とする。Ca濃度を3.5%以下、3.0%以下、又は2.8%以下としてもよい。

[0034] 更に、本実施形態に係る溶融めっき層には、Sb : 0~0.5%、Pb :

0～0.5%、Cu：0～1.0%、Sn：0～2.0%、Ti：0～1.0%、Cr：0～1.0%、Nb：0～1.0%、Zr：0～1.0%、Mn：0～1.0%、Mo：0～1.0%、Ag：0～1.0%、Li：0～1.0%、La：0～0.5%、Ce：0～0.5%、B：0～0.5%、Y：0～0.5%、P：0～0.5%、Sr：0～0.5%、Co：0～0.5%、Bi：0～0.5%、In：0～0.5%、V：0～0.5%、W：0～0.5%の元素群のうちの1種または2種以上の元素が含有される。これらの元素の合計は5%以下とされる。合計が5%を超えると、平面耐食性または犠牲防食性が低下する場合がある。

[0035] <Sb、Pb：それぞれ0～0.5%>

Sb、Pbの濃度は0%でもよい。一方、Sb、Pbは、犠牲防食性の向上に寄与する。従って、Sb、Pbそれぞれの濃度を0.05%以上、0.10%以上、又は0.15%以上としてもよい。一方、Sb、Pbの濃度が過剰であると、平面耐食性が劣化する。従って、Sb、Pbそれぞれの濃度は0.5%以下とする。Sb、Pbそれぞれの濃度を0.4%以下、0.3%以下、又は0.25%以下としてもよい。

[0036] <Cu、Ti、Cr、Nb、Zr、Mn、Mo、AgおよびLi：それぞれ0～1.0%>

Cu、Ti、Cr、Nb、Zr、Mn、Mo、AgおよびLiの濃度はそれぞれ0%でもよい。一方、これらは犠牲防食性の向上に寄与する。従って、Cu、Ti、Cr、Nb、Zr、Mn、Mo、AgおよびLiそれぞれの濃度を0.05%以上、0.08%以上、又は0.10%以上としてもよい。一方、Cu、Ti、Cr、Nb、Zr、Mn、Mo、AgおよびLiの濃度が過剰であると、平面耐食性が劣化する。従って、Cu、Ti、Cr、Nb、Zr、Mn、Mo、AgおよびLiそれぞれの濃度は、1.0%以下とする。Cu、Ti、Cr、Nb、Zr、Mn、Mo、AgおよびLiそれぞれの濃度を0.8%以下、0.7%以下、又は0.6%以下としてもよい。

[0037] <S n : 0 ~ 2. 0 %>

S n濃度は0%であってもよい。一方、S nは、M gと金属間化合物を形成し、溶融めっき層の犠牲防食性を向上させる元素である。従って、S n濃度を0. 05%以上、0. 1%以上、または0. 2%以上としてもよい。ただし、S n濃度が過剰であると、平面耐食性が劣化する。従って、S n濃度は2. 0%以下とする。S n濃度を1. 5%以下、1. 0%以下、0. 6%以下、又は0. 5%以下としてもよい。

[0038] <L a、C e、B、Y、PおよびS r : それぞれ0 ~ 0. 5 %>

L a、C e、B、Y、PおよびS rそれぞれの濃度は0%でもよい。一方、L a、C e、B、Y、PおよびS rは、犠牲防食性の向上に寄与する。従って、L a、C e、B、Y、PおよびS rの濃度それぞれを0. 10%以上、0. 15%以上、又は0. 20%以上としてもよい。一方、L a、C e、B、Y、PおよびS rの濃度が過剰であると、平面部耐食性が劣化する。従って、L a、C e、B、Y、PおよびS rの濃度それぞれを、0. 5%以下とする。L a、C e、B、Y、PおよびS rの濃度それぞれを0. 4%以下、0. 3%以下としてもよい。

[0039] <C o、B i、I n、V、W : それぞれ0 ~ 0. 5 %>

C o、B i、I n、V、Wそれぞれの濃度は0%でもよい。一方、C o、B i、I n、V、Wは、犠牲防食性の向上に寄与する。従って、C o、B i、I n、V、Wの濃度それぞれを0. 10%以上、0. 15%以上、又は0. 20%以上としてもよい。一方、C o、B i、I n、V、Wの濃度が過剰であると、平面部耐食性が劣化する。従って、C o、B i、I n、V、Wの濃度それぞれを、0. 5%以下とする。C o、B i、I n、V、Wの濃度それぞれを0. 4%以下、0. 3%以下としてもよい。

[0040] <残部 : Z n及び不純物>

本実施形態に係る溶融めっき層の成分の残部は、Z n及び不純物である。Z nは、平面部耐食性及び犠牲防食性を溶融めっき層にもたらす元素である。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、溶融めっき層には、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、Fe以外の成分も微量混入することがある。

[0041] 溶融めっき層の化学成分は、次の方法により測定する。まず、鋼材の腐食を抑制するインヒビターを含有した酸を用いて、溶融めっき層を剥離溶解した酸液を得る。次に、得られた酸液を誘導結合プラズマ（ICP）分析する。これにより、溶融めっき層の化学組成を得ることができる。酸種は、溶融めっき層を溶解できる酸であれば、特に制限はない。なお、上述の手段により測定される化学組成は、溶融めっき層全体の平均化学組成である。

[0042] 次に、溶融めっき層の金属組織について説明する。

[0043] 溶融めっき層の金属組織は、 α 相および $MgZn_2$ 相を含有する。 α 相および $MgZn_2$ 相は、溶融めっき層の平面部耐食性を向上させる。また、後述するように、 α 相および $MgZn_2$ 相がそれぞれランダムに配向することによって、溶融めっき鋼材の犠牲防食性が向上する。

[0044] 溶融めっき層中の α 相の面積率は、15～80%であることが好ましい。また、 $MgZn_2$ 相の面積率は、5～55%であることが好ましい。 α 相および $MgZn_2$ 相の合計の面積率は、20%以上100%以下であることが好ましい。但し、この面積率の範囲は一例であり、本発明に係る溶融めっき層の組織の面積率はこの範囲に何ら限定されるものではなく、溶融めっき層が以下に説明する式（1a）および式（1b）の少なくとも一方と、式（2）と、を満たせばよい。

[0045] また、溶融めっき層に0.05～0.5%のSnが含有される場合、溶融めっき層中には確実に Mg_2Sn 相が含まれるようになる。 Mg_2Sn 相は少量であるため、X線回折測定によってその存在が確認される。溶融めっき層中に Mg_2Sn 相が含有されることにより、溶融めっき鋼材の犠牲防食性がより向上する。

[0046] 溶融めっき層は、 α 相及び $MgZn_2$ 相以外の相を残部として含有してもよい。例えば、上述の化学組成の溶融めっき層には、 $\eta-Zn$ 相、 $Al-Ca$

—S i 相などが含まれうる。 α 相及びMgZn₂相の含有量が上述の範囲内であれば、平面耐食性および犠牲防食性を確保可能であるので、 α 相及びMgZn₂相以外の相または組織の構成は特に限定されない。

[0047] 次に、 α 相及びMgZn₂相の結晶方位について説明する。

本実施形態の溶融めっき層では、溶融めっき層のX線回折測定結果から得られるX線回折強度が、下記式(1a)および式(2)の関係を満足する場合に、MgZn₂相および α 相の結晶方位が、結晶粒毎にランダムな方向に配向するようになり、犠牲防食性および平面耐食性がともに向上する。

[0048] $0.5 \leq I(100)_{\text{MgZn}_2} / \{I(002)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2}\} \leq 2.5 \quad \dots (1a)$

$0.2 \leq I(111)_{\alpha} / I(200)_{\alpha} \leq 5.0 \quad \dots (2)$

[0049] また、溶融めっき層の化学組成のうち、Al濃度およびMg濃度をそれぞれ、Al:15.0~30.0%、Mg:5.0~10.0%の範囲になる場合は、上記式(1a)に代えて、上記(2)式とともに下記(1b)式を満足することが好ましい。なお、溶融めっき層の化学組成のうち、Al濃度およびMg濃度がそれぞれ、Al:15.0~30.0%、Mg:5.0~10.0%の範囲を満足し、かつ、Al:10.0~30.0%、Mg:3.0~15.0%の範囲を満足する場合は、上記式(1a)を満たしていればよい。溶融めっき層の化学組成のうち、Al濃度およびMg濃度がそれぞれ、Al:15.0~30.0%、Mg:5.0~10.0%の範囲を満足し、かつ、Al:10.0~30.0%、Mg:3.0~15.0%の範囲を満足する場合は、上記式(1a)を満たし、さらに下記式(1b)を満たすことが好ましい。

[0050] $1.0 \leq I(100)_{\text{MgZn}_2} / \{I(002)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2}\} \leq 2.0 \quad \dots (1b)$

[0051] ただし、式(1a)、式(1b)における $I(100)_{\text{MgZn}_2}$ はMgZn₂相の(100)の回折強度であり、 $I(002)_{\text{MgZn}_2}$ はMgZn₂相の(002)の回折強度であり、 $I(101)_{\text{MgZn}_2}$ はMgZn₂相の(101)の

回折強度である。また、式(2)における $I(111)_\alpha$ は α 相の (111) の回折強度であり、 $I(200)_\alpha$ は α 相の (200) の回折強度である。

[0052] 式(1a)に示すように、 $I(100)_{\text{MgZn}_2} / \{I(002)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2}\}$ が0.5～2.5の範囲になることにより、 MgZn_2 相の結晶方位が、結晶粒毎にランダムな方向に配向するようになる。好ましくは、15.00～30.00%のAl濃度および5.00～10.00%のMg濃度の場合に、式(1b)に示すように1.0～2.0の範囲になるとよい。更に、 $I(100)_{\text{MgZn}_2} / \{I(002)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2}\}$ が1.06になる場合に、 MgZn_2 相が最もランダムに配向するようになることから、 $I(100)_{\text{MgZn}_2} / \{I(002)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2}\}$ は1.0～1.2の範囲がより好ましい。

[0053] また、式(2)における $I(111)_\alpha / I(200)_\alpha$ が、0.2～5.0の範囲になることにより、 α 相の結晶方位が、結晶粒毎にランダムな方向に配向するようになる。また、 $I(111)_\alpha / I(200)_\alpha$ が2.1になる場合に、 α 相が最もランダムに配向するようになることから、 $I(111)_\alpha / I(200)_\alpha$ は2.0～2.2の範囲がより好ましい。

[0054] MgZn_2 相の面積率の測定方法は以下の通りである。30mm×30mmに切断したサンプルの溶融めっき層の表面を、機械研磨(例えばエメリー紙#2000で研磨)により平坦に調整する。次に、コロイダル研磨により、めっき層の表面に化学研磨を施し、この表面が鏡面状態になるまで研磨する。研磨後のめっき層の表面をScanning electron Microscope (SEM) 観察する。具体的には、倍率5000倍で、Scanning electron Microscope-Energy Dispersive spectroscopy (SEM-EDS) を用いて元素分布像を撮影する。この元素分布像において、MgとZnとが共存する相を MgZn_2 相と特定する。なお、本明細書において、Mg:20～40at%、Zn:50～80at%となる領域をMgとZnとが共存する相(MgZn_2 相)と判断する。 MgZn_2 相を特定した後、視野中に含有され

る α 相および MgZn_2 相の面積率を、画像解析ソフトを用いた二値化により算出する。

- [0055] α 相の面積率の測定方法は以下の通りである。30mm×30mmに切断したサンプルの溶融めっき層の表面を、機械研磨により平坦に調整する。次に、コロイダル研磨により、めっき層の表面に化学研磨を施し、この表面が鏡面状態になるまで研磨する。研磨後のめっき層の表面をSEM観察する。具体的には、倍率5000倍で、SEM-EDSを用いて元素分布像を撮影する。この元素分布像において、AlとZnとが共存する相を α 相と特定する。なお、本明細書において、Al：40～95at%、Zn：0.5～50at%となる領域をAlとZnとが共存する相（ α 相）と判断する。 α 相を特定した後、視野中に含有される α 相の面積率を、画像解析ソフトを用いた二値化により算出する。
- [0056] 式(1a)および式(1b)における $I(100)_{\text{MgZn}_2} / \{I(002)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2}\}$ の測定方法は以下の通りである。まず、溶融めっき層の表面を鏡面研磨し、必要に応じて化学研磨する。次いで、例えば、X線回折装置(Rigaku社製(型番RINT-TTR III))を用い、X線出力50kV、300mA、銅ターゲット、ゴニオメーターTTR(水平ゴニオメータ)、K β フィルターのスリット幅0.05mm、長手制限スリット幅2mm、受光スリット幅8mm、受光スリット2開放、をとし、測定条件としてスキャンスピード5deg./min、ステップ幅0.01deg、スキャン軸 2θ (5～90°)としてX線回折測定を実施する。そして、 MgZn_2 相の(100)面の回折強度(19.67±0.2°の範囲における最大強度)、(002)面の回折強度(20.78±0.2°の範囲における最大強度)、(101)面の回折強度(20.78±0.2°の範囲における最大強度)をそれぞれ計測する。回折強度はバックグラウンド強度を除いた強度とする。得られた回折強度から、 $I(100)_{\text{MgZn}_2} / \{I(002)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2}\}$ を求める。
- [0057] 式(2)における $I(111)_{\alpha} / I(200)_{\alpha}$ の測定方法は以下の通り

である。まず、溶融めっき層の表面を鏡面研磨し、必要に応じて化学研磨する。次いで、例えば、X線回折装置および測定条件を上記と同様として、X線回折測定を実施する。そして、 α 相の(111)面の回折強度(38.47 $\pm$ 0.2°の範囲における最大強度)、(200)面の回折強度(44.74 $\pm$ 0.2°の範囲における最大強度)をそれぞれ計測する。回折強度はバックグラウンド強度を除いた強度とする。得られた回折強度から、 $I(111)_\alpha / I(200)_\alpha$ を求める。

[0058] また、溶融めっき層中に Mg_2Sn 相が含まれるかどうかは、上記のX線回折測定を行う際に、 Mg_2Sn に特有の回折ピークが現れるかどうかで判断する。

[0059] 溶融めっき層の片面当たりの付着量は、例えば20～150 g/m²の範囲内とすればよい。片面当たりの付着量を20 g/m²以上とすることにより、溶融めっき鋼材の平面耐食性および犠牲防食性を一層高めることができる。一方、片面当たりの付着量を150 g/m²以下とすることにより、溶融めっき鋼材の加工性を一層高めることができる。

[0060] 次に、本実施形態の溶融めっき鋼材の製造方法を説明するが、本実施形態に係る溶融めっき鋼材の製造方法は特に限定されない。例えば以下に説明する製造条件によれば、本実施形態に係る溶融めっき鋼材を得ることができる。

[0061] 本実施形態の溶融めっき鋼材の製造方法では、めっき原板として、鋼材11にNiプレめっきがされたNiプレめっき鋼材を用いる。鋼材11の表面には、Niプレめっきの前に、ひずみを与える処理を行う。次いで、Niプレめっき鋼材を還元雰囲気中で焼鈍し、焼鈍直後のNiプレめっき鋼材を溶融めっき浴に浸漬してから引き上げることで、鋼材の表面に溶融めっき層を形成する。次いで、溶融めっき層の温度が浴温から300℃以下になるまでの間にミスト冷却を行う。

[0062] はじめに、めっき原板の調製方法を述べる。まず、鋼材11の表面にひずみを付与する処理を行う。具体的には、鋼材11の表面に研削処理または研

磨処理を行う。研削処理の場合の研削量は、特に限定されないが、例えば少なくとも0.1 mm以上であればよい。一方、研磨処理は、鋼材11の表面に付着した汚れや油分を取り除くために例えばアルカリ洗浄を行うが、この際に、金属ブラシ（研削ブラシ）によって鋼材表面を研磨する。これにより、鋼材表面に多数の摺り疵を形成させてひずみを付与する。研削の際の研削ブラシの圧下量は0.5～10.0 mmである。研削ブラシの圧下量が0.5 mm未満の場合、十分なひずみを付与することができず、後述する溶融めっきを凝固させる工程の際に α 相およびMgZn₂相がランダムに配向しない。また、鋼材表面を研削する際に鋼板表面にNaOH 1.0～5.0%水溶液を塗布することが好ましい。それにより鋼材11の表面に付着した汚れや油分が十分に除去される。鋼板に十分なひずみを付与するためには、研削に用いる研削ブラシの圧下量は0.5～10.0 mmである。研削ブラシの回転数は100～1000 rpmであるとよい。ついで、鋼材11の表面にNiめっきを行う。Niめっきの付着量は、例えば0.05～5.0 mg/m²とする。このようにしてNiプレめっき鋼材を準備する。

[0063] 次いで、Niプレめっき鋼材に対して還元雰囲気中で焼鈍を行う。焼鈍条件は、均熱温度を600℃未満とする。均熱温度が600℃以上では、NiとFeが合金化してしまい、これによりAl-Ni化合物の形成が進まず、核生成サイトの数が減少して α 相およびMgZn₂相がランダムに配向されなくなる。均熱温度の下限は特に制限はないが、例えば500℃以上でもよい。より好ましい均熱温度は550℃以上である。また、均熱時間は特に制限はないが、例えば、均熱時間を0～2分とするとよい。焼鈍雰囲気は還元雰囲気であれば特に限定されない。例えば、水素及び窒素の混合雰囲気でもよい。

[0064] 焼鈍直後の鋼材を、溶融めっき浴に浸漬する。溶融めっき浴の化学組成は、上述した溶融めっき層の化学組成が得られるように、適宜調整すればよい。また、溶融めっき浴の温度も特に限定されず、溶融めっきを実施可能な温度を適宜選択することができる。例えば、めっき浴温を、めっき浴の融点よ

り約20℃以上高い値としてもよい。

[0065] 次に、熔融金属が付着した鋼材を熔融めっき浴から引き上げる。鋼材の引き上げ速度の制御を介して、熔融めっき層の付着量を制御することができる。必要に応じて、熔融めっき層が付着した鋼材にワイピングを行って、熔融めっき層の付着量を制御してもよい。熔融めっき層の付着量は特に制限されず、例えば上述した範囲内とすることができる。

[0066] 次いで、熔融めっき層を冷却する。冷却は、熔融めっき浴から引き上げた直後の鋼材に対して、ミスト冷却を行う。ミスト冷却は、熔融めっき層の温度が浴温から300℃になるまでの間を、連続して行う。300℃未満の冷却条件は特に限定されず、引き続きミスト冷却を行ってもよく、空冷または自然放冷してもよい。

[0067] ミスト冷却は、霧状の水を熔融めっき層の表面に噴射することにより行う。霧状の水をめっき層の表面に噴射することで、熔融めっき層に振動が与えられる。ミストの噴霧量は、例えば、 $1.0 \sim 30 \text{ [L / (mm}^2 \cdot \text{分)]}$ とし、噴霧時間は1～60秒とする。

[0068] ミストの噴霧量が $1.0 \text{ [L / (mm}^2 \cdot \text{分)]}$ 未満では、鋼材に十分な振動が与えられず、熔融めっき層の凝固時に α 相および MgZn_2 相がランダムに配向しにくくなる。また、ミストの噴霧量が $30 \text{ [L / (mm}^2 \cdot \text{分)]}$ を超えると、めっき層表面が過剰に酸化し、外観不良の原因となる。

噴霧時間が1秒未満では、鋼材に十分な振動が与えられず、熔融めっき層の凝固時に α 相および MgZn_2 相がランダムに配向しにくくなる。噴霧時間の上限に制限はないが、60秒を超えてもミスト噴霧の効果が飽和するので、60秒以下とする。

[0069] 上述の条件を満たすように熔融めっき層を冷却することにより、上記式(1a)および式(1b)の少なくとも一方と、式(2)と、を満たす熔融めっき層を形成できる。その理由は、以下のようなものであると推定される。

[0070] 上記の製造方法では、めっき原板として、あらかじめ鋼材表面にひずみが付与されたNiプレめっき鋼材を用いる。このようなNiプレめっき鋼材に

対して溶融めっきを行うと、Niプレめっき鋼材のNiと溶融めっき浴のAlとが反応して、鋼材の表面にAl-Ni化合物が形成される。また、鋼材表面に付与したひずみによって、Al-Ni化合物がより数多く形成されるようになる。Al-Ni化合物は、めっき層凝固時の核生成サイトとなる。更に、溶融めっき後のミスト冷却によって鋼材に振動が与えられることで、核生成サイトが更に増加するようになる。このようにして、多数の核生成サイトが形成されることによって、溶融めっき層の凝固時に、 α 相およびMgZn₂相がランダムに配向するようになるものと推測される。

実施例

- [0071] 以下、本発明の実施例を説明する。ただし、実施例での条件は、本発明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に過ぎない。本発明は、この一条件例に限定されない。本発明は、本発明の要旨を逸脱せず、本発明の目的を達成する限り、種々の条件を採用し得る。
- [0072] 研削ブラシとしてホタニ社製D-100を用い、研削する際に鋼板表面にNaOH 1.0～5.0%水溶液を塗布し、表1に示す条件で研削した。なお、表1中のひずみ処理条件の欄のAAはブラシ圧下量が10mmであることを意味し、Aはブラシ圧下量が0.5mmであることを意味し、Bはブラシ圧下量が0.4mmであることを意味する。研削は、回転数100～1000rpmで行った。
- [0073] ひずみを付与したNiプレめっき鋼材を焼鈍後に種々の溶融めっき浴に浸漬し、引き上げることにより、鋼材表面に溶融めっき層を付着させ、次いで、溶融めっき浴の引き上げ直後から溶融めっき層が300℃になるまでをミスト冷却によって冷却することにより、種々の溶融めっき鋼材を製造した。ミストの噴霧量は、0.7～32[L/(m²・分)]とし、噴霧時間は5秒とした。
- [0074] Niプレめっき鋼材は、鋼材表面にNiめっきが形成されたものを用いた。Niめっきの付着量は0.8mg/m²とした。また、Niめっきを形成する前の鋼材に対して、鋼材表面に付着した汚れや油分を取り除くためにアル

カリ洗浄を行い、その際に、金属ブラシによって鋼材表面を研磨して多数の摺り疵を形成させることで、鋼材表面にひずみを付与した。

[0075] 更に、ひずみ付与後のNiプレめっき鋼材に対して還元雰囲気中で焼鈍を行った。焼鈍条件は、均熱温度を580～800℃とし、均熱時間は10秒とした。焼鈍雰囲気は水素及び窒素の混合ガスからなる還元雰囲気とした。そして、焼鈍直後の鋼材を、溶融めっき浴に浸漬した。

[0076] 溶融めっき層の化学組成は、表1の通りであった。なお、表1において、残部はZnおよび不純物である。Niプレめっきの成分は、表1に記載した溶融めっき層の化学成分に含まれている。製造条件は表2の通りとした。また、めっき層の金属組織を評価し、その結果を表3に示した。さらに、溶融めっき鋼材の表面耐食性及び犠牲防食性を評価し、その結果を表3に示した。

[0077] 溶融めっき層の化学組成、及び溶融めっき層の金属組織の評価は、上述した手段により行った。

[0078] 平面耐食性の評価は、以下の通りとした。得られた溶融めっき鋼材を、100mm×50mmに切断し、平面耐食性評価試験に供した。平面耐食性の評価はJASO-CCT-M609で規定された腐食促進試験で行い、120サイクル後、腐食減量を比較することで行った。評価基準は下記の通りとし、「AA」および「A」を合格とした。

[0079] AA : 腐食減量 40g/m²未満
A : 腐食減量 40g/m²以上60g/m²未満
B : 60g/m²以上

[0080] 犠牲防食性の評価は以下の通りとした。得られた溶融めっき鋼材から70×150mmの四角形の試験片を切りだし、試験片の4つの端面開放のまま、JASO試験(M609-91)を実施し、30サイクル後の端面部における左右側面部の赤錆面積率を評価した。以下、赤錆面積率の評価基準を示す。「AA」および「A」を合格とした。

[0081] AA : 赤錆面積率が10%未満

A : 赤錆面積率が10%以上、20%未満

B : 赤錆面積率が20%以上

[0082] 溶融めっき層の化学組成及び金属組織が適切に制御されていた、本発明に係る実施例1～25、39～41は、平面耐食性、犠牲防食性の両方が優れていた。なお、実施例の溶融めっき層の片面当たりの付着量は、例えば20～150 g/m²の範囲であった。

[0083] 比較例26では、溶融めっき層のAl量が不足していた。そのため、比較例26では、平面耐食性が不足した。

比較例27では、溶融めっき層のAl量が過剰であった。そのため、比較例27では、犠牲防食性が不足した。

[0084] 比較例28では、溶融めっき層のMg量が不足していた。そのため、比較例28では、平面耐食性、犠牲防食性の両方が不足した。

比較例29では、溶融めっき層のMg量が過剰であった。そのため、比較例29では平面耐食性が不足した。

[0085] 比較例30では、溶融めっき層のSi量が過剰であった。そのため、比較例30では、平面耐食性、犠牲防食性の両方が不足した。

比較例31では、溶融めっき層のCa量が過剰であった。そのため、比較例31では、平面耐食性、犠牲防食性の両方が不足した。

[0086] 比較例32では、溶融めっき層のNi量が過剰であった。そのため、比較例32では、平面耐食性、犠牲防食性の両方が不足した。

[0087] 比較例33では、ミスト冷却を行わず、不活性ガスによる空冷を行った。そのため、比較例33では、 α 相およびMgZn₂相がランダムに配向しなかった。これにより、比較例33では、平面耐食性、犠牲防食性の両方が不足した。

[0088] 比較例34では、鋼材に対してNiめっきを行わなかった。そのため、比較例34では、 α 相およびMgZn₂相がランダムに配向しなかった。これにより、比較例34では、平面耐食性、犠牲防食性の両方が不足した。

[0089] 比較例35では、ミスト冷却時のミストの噴霧量が、1.0 [L/(mm²

・分)] 未満であった。そのため、比較例 35 では、 α 相および $MgZn_2$ 相がランダムに配向しなかった。これにより、比較例 33 では、平面耐食性、犠牲防食性の両方が不足した。

[0090] 比較例 36 では、ミスト冷却時のミストの噴霧量が、 $30 [L / (mm^2 \cdot \text{分})]$ 超であった。そのため、比較例 36 ではめっき外観が不良となった。このため、比較例 36 では、めっき層の組織の評価および平面耐食性、犠牲防食性の評価を実施できなかった。

[0091] 比較例 37、38、および 42 では、焼鈍時の均熱温度が 600°C 以上であった。そのため、比較例 37、38、および 42 では、 Ni と Fe が合金化してしまい、 Ni めっきの核生成サイトとしての機能が失われ、 α 相および $MgZn_2$ 相がランダムに配向しなかった。これにより、比較例 37、38 および 42 では、平面耐食性、犠牲防食性の両方が不足した。

[0092] 比較例 43 では、研削時の圧下量が少なかったため、ひずみを十分に加えることができなかった。そのため、 α 相および $MgZn_2$ 相がランダムに配向しなかった。これにより、比較例 43 では、平面耐食性、犠牲防食性の両方が不足した。

[0093]

[表1]

区分	No.	めっき層成分(質量%)									その他元素	
		Zn	Al	Mg	Sn	Si	Ca	Ni	Fe		種類	合計(%)
実施例	1	残	10	3	0	0.05	0.1	0.2	0.1	—	—	—
実施例	2	残	11	3	0.08	0.2	0	0.2	0.05	Co	0.01	0.01
実施例	3	残	10	5	0.08	0.2	0.2	0.1	0.1	Bi	0.005	0.005
実施例	4	残	12	5	0	0.2	0	0.1	0.1	—	—	—
実施例	5	残	14	6	0.08	0.2	0.2	0.2	0.08	Sb	0.08	0.08
実施例	6	残	14	3	0	0	0	0.2	0.1	Li	0.01	0.01
実施例	7	残	18	3	0.1	0.2	0	0.1	0.2	Ag	0.02	0.02
実施例	8	残	19	5	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	P	0.001	0.001
実施例	9	残	19	6	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	Mn	0.10	0.10
実施例	10	残	19	6	2.0	0	0	0.2	0.1	Sr	0.05	0.05
実施例	11	残	19	6	0.01	0.2	0.2	0.1	0.1	—	—	—
実施例	12	残	19	6	0.05	0.2	0.2	0.2	0.1	Pb	0.03	0.03
実施例	13	残	19	7.5	0	0.2	0.2	0.2	0.1	In	0.01	0.01
実施例	14	残	19	15	0.15	0.2	3	0.1	0.1	V	0.01	0.01
実施例	15	残	20	5	0.05	0.2	0.3	0.2	0.1	B	0.01	0.01
実施例	16	残	20	3	0.1	0.8	0.3	0.2	1.3	Nb	0.02	0.02
実施例	17	残	20	6	0	0.2	0.2	0.2	0.1	La	0.02	0.02
実施例	18	残	20	8	0	0.1	0.2	0.2	0.2	Ce	0.01	0.01
実施例	19	残	22	3	0.1	0.1	0.3	0.1	0.2	Zr	0.02	0.02
実施例	20	残	24	3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	W	0.01	0.01
実施例	21	残	22	4	0	0.1	0.3	0.2	0.4	Mo	0.02	0.02
実施例	22	残	22	8	0.1	0.2	0.3	0.2	0.5	Ti	0.01	0.01
実施例	23	残	24	5	0.1	0.6	0.3	0.3	0.9	Cu	0.2	0.2
実施例	24	残	28	8	0.1	1.3	0.3	0.2	1.4	Y	0.02	0.02
実施例	25	残	30	10	0.1	2	0.3	0.2	1.3	Cr	0.05	0.05
比較例	26	残	<u>7</u>	3	0	0.05	0.1	0.2	0.1	—	—	—
比較例	27	残	<u>33</u>	6	0	0	0	0.2	0.1	—	—	—
比較例	28	残	19	<u>2</u>	0	0.2	0.2	0.1	0.1	—	—	—
比較例	29	残	19	<u>16.5</u>	0	0	0.2	0.2	0.1	—	—	—
比較例	30	残	19	5	0	<u>10.4</u>	0.2	0.2	0.1	—	—	—
比較例	31	残	19	5	0	0	<u>4.1</u>	0.1	0.1	—	—	—
比較例	32	残	20	5	0	0.2	0.3	<u>2.1</u>	0.1	—	—	—
比較例	33	残	22	5	0	0.2	0.3	0.2	0.5	—	—	—
比較例	34	残	22	5	0	0.6	0.3	0	1.1	—	—	—
比較例	35	残	20	5	0	0.2	0.2	0.1	0.6	—	—	—
比較例	36	残	22	4	0	0.2	0.3	0.2	0.5	—	—	—
比較例	37	残	21	4	0	0.2	0.3	0.3	0.5	—	—	—
比較例	38	残	21	4	0	0.2	0.3	0.3	0.5	—	—	—
実施例	39	残	19	6	0.05	0.2	0.2	0.2	0.1	Pb	0.03	0.03
実施例	40	残	22	3	0.1	0.1	0.3	0.1	0.2	Zr	0.02	0.02
実施例	41	残	24	3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	W	0.01	0.01
比較例	42	残	21	4	0	0.1	0.3	0.3	0.5	—	—	—
比較例	43	残	21	5	0	0.2	0.3	0.3	0.5	—	—	—

[0094]

[表2]

区分	No.	製造条件				
		ひずみ 処理 条件	プレNi めっき 有無	焼鈍 温度 (°C)	浴引上後～ 300°Cまでの 冷却方式	浴引上後～300°Cまでの ミスト冷却噴霧量 (L/mm ² /分)
実施例	1	A	有	580	ミスト冷却	1.0
実施例	2	A	有	580	ミスト冷却	4.0
実施例	3	A	有	580	ミスト冷却	15
実施例	4	A	有	580	ミスト冷却	15
実施例	5	A	有	580	ミスト冷却	16
実施例	6	A	有	580	ミスト冷却	15
実施例	7	A	有	580	ミスト冷却	20
実施例	8	A	有	580	ミスト冷却	20
実施例	9	A	有	580	ミスト冷却	30
実施例	10	A	有	580	ミスト冷却	30
実施例	11	A	有	580	ミスト冷却	30
実施例	12	A	有	580	ミスト冷却	20
実施例	13	A	有	580	ミスト冷却	20
実施例	14	A	有	580	ミスト冷却	20
実施例	15	A	有	580	ミスト冷却	20
実施例	16	A	有	580	ミスト冷却	30
実施例	17	A	有	580	ミスト冷却	30
実施例	18	A	有	580	ミスト冷却	30
実施例	19	A	有	580	ミスト冷却	30
実施例	20	A	有	580	ミスト冷却	30
実施例	21	A	有	580	ミスト冷却	30
実施例	22	A	有	580	ミスト冷却	30
実施例	23	A	有	580	ミスト冷却	20
実施例	24	A	有	580	ミスト冷却	20
実施例	25	A	有	580	ミスト冷却	20
比較例	26	A	有	580	ミスト冷却	15
比較例	27	A	有	580	ミスト冷却	15
比較例	28	A	有	580	ミスト冷却	15
比較例	29	A	有	580	ミスト冷却	15
比較例	30	A	有	580	ミスト冷却	15
比較例	31	A	有	580	ミスト冷却	15
比較例	32	A	有	580	ミスト冷却	15
比較例	33	A	有	580	—	—
比較例	34	A	無	580	ミスト冷却	15
比較例	35	A	有	580	ミスト冷却	0.7
比較例	36	A	有	580	ミスト冷却	32
比較例	37	A	有	620	ミスト冷却	15
比較例	38	A	有	800	ミスト冷却	15
実施例	39	A	有	500	ミスト冷却	20
実施例	40	A	有	590	ミスト冷却	30
実施例	41	AA	有	580	ミスト冷却	30
比較例	42	A	有	600	ミスト冷却	15
比較例	43	B	有	580	ミスト冷却	15

[0095]

[表3]

区分	No.	めっき層の組織			性能	
		MgZn ₂ 相	α相	Mg ₂ Sn相	平面耐食性	犠牲防食性
		I (100) / (I (002) + I (101))	I (111) / I (200)	有無		
実施例	1	0.5	0.8	無	A	A
実施例	2	0.9	0.4	有	A	AA
実施例	3	1.2	3.9	有	AA	AA
実施例	4	1.5	4.2	無	AA	AA
実施例	5	1.0	2.2	有	AA	AA
実施例	6	0.9	1.1	無	A	A
実施例	7	0.8	1.2	有	AA	AA
実施例	8	1.4	2.1	有	AA	AA
実施例	9	1.1	2.0	有	AA	AA
実施例	10	1.2	2.0	有	AA	AA
実施例	11	1.1	2.1	有	A	AA
実施例	12	1.5	1.9	有	AA	AA
実施例	13	1.6	2.7	無	AA	AA
実施例	14	2.1	2.1	有	AA	AA
実施例	15	1.2	2.2	有	AA	AA
実施例	16	0.7	1.5	有	AA	AA
実施例	17	1.6	1.5	無	AA	AA
実施例	18	1.8	1.4	無	AA	AA
実施例	19	2.5	0.8	有	AA	AA
実施例	20	2.4	0.2	有	AA	AA
実施例	21	2.4	0.8	無	AA	A
実施例	22	1.1	2.5	有	AA	AA
実施例	23	1.2	2.4	有	AA	AA
実施例	24	1.4	2.7	有	AA	AA
実施例	25	1.1	2.2	有	AA	A
比較例	26	0.5	2.1	無	B	A
比較例	27	1.2	4.1	無	AA	B
比較例	28	0.5	2.5	無	B	B
比較例	29	1.2	2.5	無	B	A
比較例	30	1.2	2.6	無	B	B
比較例	31	1.3	1.8	無	B	B
比較例	32	1.2	2.5	無	B	B
比較例	33	0.3	6.4	無	B	B
比較例	34	0.1	7.3	無	B	B
比較例	35	0.4	5.5	無	B	B
比較例	36	外観不良発生ゆえ評価無				
比較例	37	0.4	6.4	無	B	B
比較例	38	0.2	6	無	B	B
実施例	39	1.5	1.9	有	AA	AA
実施例	40	2.5	0.8	有	AA	AA
実施例	41	2.4	0.2	有	AA	AA
比較例	42	0.4	6.5	無	B	B
比較例	43	0.2	6	無	B	B

産業上の利用可能性

[0096] 本発明に係る上記態様によれば、平面耐食性と犠牲防食性の両方に優れるので、産業上の利用可能性が高い。

請求の範囲

[請求項1]

鋼材と、

前記鋼材の表面に配された溶融めっき層と、を備え、

前記溶融めっき層の化学組成が、質量%で、

Al : 10.0～30.0%、

Mg : 3.0～15.0%、

Fe : 0.01～15.0%、

Si : 0～10.0%、

Ni : 0～1.0%、

Ca : 0～4.0%を含有し、

更に、Sb : 0～0.5%、Pb : 0～0.5%、Cu : 0～1.0%、Sn : 0～2.0%、Ti : 0～1.0%、Cr : 0～1.0%、Nb : 0～1.0%、Zr : 0～1.0%、Mn : 0～1.0%、Mo : 0～1.0%、Ag : 0～1.0%、Li : 0～1.0%、La : 0～0.5%、Ce : 0～0.5%、B : 0～0.5%、Y : 0～0.5%、P : 0～0.5%、Sr : 0～0.5%、Co : 0～0.5%、Bi : 0～0.5%、In : 0～0.5%、V : 0～0.5%、W : 0～0.5%の元素群のうちの1種または2種以上の元素を含有するとともに、これらの元素の合計が5%以下とされ、
残部：Zn及び不純物からなり、

前記溶融めっき層のX線回折測定結果から得られる回折強度が、下記式(1a)および式(2a)の関係を満足する、溶融めっき鋼材。

$$0.5 \leq I(100)_{\text{MgZn}_2} / \{I(002)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2}\} \leq 2.5 \quad \cdots (1a)$$

$$0.2 \leq I(111)_{\alpha} / I(200)_{\alpha} \leq 5.0 \quad \cdots (2a)$$

ただし、式(1a)における $I(100)_{\text{MgZn}_2}$ は MgZn_2 相の(100)の回折強度であり、 $I(002)_{\text{MgZn}_2}$ は MgZn_2 相の(002)の回折強度であり、 $I(101)_{\text{MgZn}_2}$ は MgZn_2 相の

(101)の回折強度であり、式(2a)における $I(111)_\alpha$ は α 相の(111)の回折強度であり、 $I(200)_\alpha$ は α 相の(200)の回折強度である。

[請求項2]

鋼材と、

前記鋼材の表面に配された溶融めっき層と、を備え、

前記溶融めっき層の化学組成が、質量%で、

Al : 15.0～30.0%、

Mg : 5.0～10.0%、

Fe : 0.01～15.0%、

Si : 0～10.0%、

Ni : 0～1.0%、

Ca : 0～4.0%を含有し、

更に、Sb : 0～0.5%、Pb : 0～0.5%、Cu : 0～1.0%、Sn : 0～2.0%、Ti : 0～1.0%、Cr : 0～1.0%、Nb : 0～1.0%、Zr : 0～1.0%、Mn : 0～1.0%、Mo : 0～1.0%、Ag : 0～1.0%、Li : 0～1.0%、La : 0～0.5%、Ce : 0～0.5%、B : 0～0.5%、Y : 0～0.5%、P : 0～0.5%、Sr : 0～0.5%、Co : 0～0.5%、Bi : 0～0.5%、In : 0～0.5%、V : 0～0.5%、W : 0～0.5%の元素群のうちの1種または2種以上の元素を含有するとともに、これらの元素の合計が5%以下とされ、

残部 : Zn及び不純物からなり、

前記溶融めっき層のX線回折測定結果から得られる回折強度が、下記式(1b)および式(2b)の関係を満足する、溶融めっき鋼材。

$$1.0 \leq I(100)_{\text{MgZn}_2} / \{I(002)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2}\} \leq 2.0 \quad \dots (1b)$$

$$0.2 \leq I(111)_\alpha / I(200)_\alpha \leq 5.0 \quad \dots (2b)$$

ただし、式(1b)における $I(100)_{\text{MgZn}_2}$ はMgZn₂相の

(1 0 0) の回折強度であり、 $I(0 0 2)_{\text{MgZn}_2}$ は MgZn_2 相の (0 0 2) の回折強度であり、 $I(1 0 1)_{\text{MgZn}_2}$ は MgZn_2 相の (1 0 1) の回折強度であり、式 (2 b) における $I(1 1 1)_{\alpha}$ は α 相の (1 1 1) の回折強度であり、 $I(2 0 0)_{\alpha}$ は α 相の (2 0 0) の回折強度である。

- [請求項3] 前記溶融めっき層の化学組成のうちの Sn が、質量%で、 $\text{Sn} : 0.05 \sim 0.5\%$ とされ、
- 前記溶融めっき層の X 線回折測定結果によって Mg_2Sn 相が検出される、請求項 1 または請求項 2 に記載の溶融めっき鋼材。