

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3月23日に、日本に出願された特願2022-046793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及び不可避免的な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、塗装がない状態でめっき層そのものの耐食性である平面部耐食性と、塗装がされた場合の耐食性である塗装後耐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、平面部耐食性と塗装後耐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、塗装後耐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、塗装後耐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、平面部耐食性と塗装後耐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。

$$0.3 \leq I(002)_{\text{MgZn}_2} / \{ I(100)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2} \} \leq 3.0 \quad \dots (1a)$$

$$5.0 < I(111)_{\alpha} / I(200)_{\alpha} \leq 40.0 \quad \dots (2a)$$

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

$$0.6 < I(002)_{\text{MgZn}_2} / \{ I(100)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2} \} \leq 3.0 \quad \dots (1b)$$

$$5.0 < I(111)_{\alpha} / I(200)_{\alpha} \leq 40.0 \quad \dots (2b)$$

ただし、式 (1a) における $I(002)_{\text{MgZn}_2}$ は MgZn_2 相の (002) の回折強度であり、 $I(100)_{\text{MgZn}_2}$ は MgZn_2 相の (100) 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] 本発明によれば、平面部耐食性と塗装後耐食性の両方がより優れる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] めっき層の表面に塗膜が形成された溶融めっき鋼材は、めっき層と塗膜との界面に沿って腐食が進行し、更に、めっき層の深さ方向に向けて腐食が進行する場合がある。そして、めっき層と塗膜の界面において腐食が先行することで、めっき層が腐食により失われるよりも前に、塗膜膨れが発生する場合がある。従って、溶融めっき鋼材の塗装後耐食性を高めるためには、めっき層と塗膜との界面における腐食を抑制する必要がある。また、塗装後耐食性を高めることによって、めっき層自体の腐食も抑制されて平面部耐食性が向上するようになることが期待される。

[0014] そこで、本発明者らは、Al及びMgを含有する溶融Znめっき層の平面部耐食性および塗装後耐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、稠密面が存在する。六方晶構造を持つ $MgZn_2$ 相は、稠密面が(002)面とされる。また、Alと少量のZnとを含有して面心立方晶構造を持つ α 相は、稠密面が(111)面とされる。そして、 $MgZn_2$ 相および α 相はそれぞれ、これらの稠密面に対応する結晶方位面の耐食性が、他の結晶方位面の耐食性に比べて高い性質をもつ。

[0015] そこで、本発明者らは、上記目的を達成するために、 $MgZn_2$ 相の稠密面である(002)面と α 相の稠密面である(111)面とを、溶融めっき層の表面に対して平行になるように、配向させることを試みた。その結果、こ

のような溶融めっき層は、塗装後耐食性が大幅に向上し、更には溶融めっき層の平面部耐食性が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 相の結晶方位が一定の方向に配向するものとなり、このような溶融めっき層が平面部耐食性および塗装後耐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、 $Al: 10.0 \sim 30.0\%$ 、 $Mg: 3.0 \sim 15.0\%$ 、 $Fe: 0.01 \sim 15.0\%$ 、 $Si: 0 \sim 10.0\%$ 、 $Ni: 0 \sim 1.0\%$ 、 $Ca: 0 \sim 4.0\%$ を含有し、更に、 $Sb: 0 \sim 0.5\%$ 、 $Pb: 0 \sim 0.5\%$ 、 $Cu: 0 \sim 1.0\%$ 、 $Sn: 0 \sim 2.0\%$ 、 $Ti: 0 \sim 1.0\%$ 、 $Cr: 0 \sim 1.0\%$ 、 $Nb: 0 \sim 1.0\%$ 、 $Zr: 0 \sim 1.0\%$ 、 $Mn: 0 \sim 1.0\%$ 、 $Mo: 0 \sim 1.0\%$ 、 $Ag: 0 \sim 1.0\%$ 、 $Li: 0 \sim 1.0\%$ 、 $La: 0 \sim 0.5\%$ 、 $Ce: 0 \sim 0.5\%$ 、 $B: 0 \sim 0.5\%$ 、 $Y: 0 \sim 0.5\%$ 、 $P: 0 \sim 0.5\%$ 、 $Sr: 0 \sim 0.5\%$ 、 $Co: 0 \sim 0.5\%$ 、 $Bi: 0 \sim 0.5\%$ 、 $In: 0 \sim 0.5\%$ 、 $V: 0 \sim 0.5\%$ 、 $W: 0 \sim 0.5\%$ 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] $0.3 \leq I(002)_{MgZn_2} / \{I(100)_{MgZn_2} + I(101)_{MgZn_2}\} \leq 3.0 \quad \dots (1a)$

$5.0 < I(111)_{\alpha} / I(200)_{\alpha} \leq 40.0 \quad \dots (2)$

[0019] ただし、式(1a)における $I(002)_{MgZn_2}$ は $MgZn_2$ 相の(002)の回折強度であり、 $I(100)_{MgZn_2}$ は $MgZn_2$ 相の(100)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:10.0~30.0%、Mg:3.0~15.0%の範囲を満足し、かつ、Al:15.0~30.0%、Mg:5.0~10.0%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:10.0~30.0%、Mg:3.0~15.0%の範囲を満足し、かつ、Al:15.0~30.0%、Mg:5.0~10.0%の範囲を満足する場合、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] $0.6 < I(002)_{\text{MgZn}_2} / \{ I(100)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2} \} \leq 3.0 \quad \dots (1b)$

[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。「塗装後耐食性」とは、めっき層表面に塗装が施された場合の溶融めっき層自体の腐食し難い性質を示す。「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、A I 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（N i、C r 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、J I S 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] 本実施形態では、鋼材 11 として、プレめっきされたプレめっき鋼材の使用を排除しないが、好ましくはプレめっきされていない鋼材を用いるとよい。後述するように、プレめっきされていない鋼材に対して溶融めっきを施し、その後の冷却条件を制御することにより、M g Z n₂ 相および α 相の結晶方位を一定の方向に配向させやすくなる。
- [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 Z n - A l - M g 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 Z n - A l - M g 合金層との間に A l - F e 合金層を含んでもよい。つまり、溶融めっき層 12 は、Z n - A l - M g 合金層の単層構造であってもよく、Z n - A l - M g 合金層と A l - F e 合金層とを含む積層構造であってもよい。
- [0027] 本実施形態に係る溶融めっき層の化学組成は、Z n 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、塗装後耐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、平面部耐食性および塗装後耐食性が劣化する。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塗装後耐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、更に平面部耐食性および塗装後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、0.10%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

耐食性および塗装後耐食性が劣化する。従って、S i 濃度は10.0%以下とする。S i 濃度を8.0%以下、7.0%以下、又は6.0%以下としてもよい。

[0032] <N i : 0~1.0%>

N i の濃度は0%でもよい。一方、N i は平面部耐食性および塗装後耐食性の向上に寄与する。従って、N i 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、N i 濃度が過剰であると、平面部耐食性および塗装後耐食性が劣化する。従って、N i 濃度は、1.0%以下とする。N i 濃度を0.8%以下、0.6%以下、又は0.5%以下としてもよい。

[0033] <C a : 0%~4.0%>

C a 濃度は0%であってもよい。一方、C a は、平面部耐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。従って、C a 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、C a 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、C a 濃度は4.0%以下とする。C a 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、S b : 0~0.5%、P b : 0~0.5%、C u : 0~1.0%、S n : 0~2.0%、T i : 0~1.0%、C r : 0~1.0%、N b : 0~1.0%、Z r : 0~1.0%、M n : 0~1.0%、M o : 0~1.0%、A g : 0~1.0%、L i : 0~1.0%、L a : 0~0.5%、C e : 0~0.5%、B : 0~0.5%、Y : 0~0.5%、P : 0~0.5%、S r : 0~0.5%、C o : 0~0.5%、B i : 0~0.5%、I n : 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ていてもよい。これらの元素の合計は0%以上5%以下とされる。合計が5%を超えると、平面部耐食性または塗装後耐食性が低下する場合がある。

[0035] <S b、P b : それぞれ0~0.5%>

S b、P bの濃度は0%でもよい。一方、S b、P bは、塗装後耐食性の向上に寄与する。従って、S b、P b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、S b、P bの濃度が過剰であると、平面部耐食性が劣化する。従って、S b、P bそれぞれの濃度は0.5%以下とする。S b、P b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、これらは塗装後耐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、平面部耐食性が劣化する。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] <Sn：0~2.0%>

Sn濃度は0%であってもよい。一方、Snは、Mgと金属間化合物を形成し、溶融めっき層の塗装後耐食性を向上させる元素である。従って、Sn濃度を0.05%以上、0.10%以上、0.20%以上、又は0.30%以上としてもよい。ただし、Sn濃度が過剰であると、平面部耐食性が劣化する。従って、Sn濃度は2.0%以下とする。Sn濃度を0.8%以下、0.7%以下、0.6%以下、又は0.5%以下としてもよい。

[0038] <La、Ce、B、Y、PおよびSr：それぞれ0~0.5%>

La、Ce、B、Y、PおよびSrそれぞれの濃度は0%でもよい。一方、La、Ce、B、Y、PおよびSrは、塗装後耐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、塗装後耐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、平面部耐食性及び塗装後耐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、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。

[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 $MgZn_2$ 相が一定の方向に配向することによって、溶融めっき鋼材の塗装後耐食性が向上し、更に平面部耐食性も向上する。
- [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、5～60%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分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 Mg_2Sn 相が確実に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、溶融めっき層の塗装後耐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、 $Al-Ca-Si$ 相などが含まれうる。 α 相及び $MgZn_2$ 相の含有量が上述の範囲内であれば、平面部耐食性および塗装後耐食性を確保可能であるので、 α 相及び $MgZn_2$ 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 $MgZn_2$ 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、後述するように、 $MgZn_2$ 相および α 相の結晶方位が一定の方向に配向するようになり、塗装後耐食性および平面部耐食性がともに向上する。
- [0048] $0.3 \leq I(002)_{MgZn_2} / \{ I(100)_{MgZn_2} + I(101)_{MgZn_2} \} \leq 3.0 \quad \dots (1a)$

$$5. \quad 0 < I(111)_\alpha / I(200)_\alpha \leq 40.0 \quad \dots (2)$$

[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: 15.00~30.00%、Mg: 5.00~10.00%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: 10.0~30.0%、Mg: 3.0~15.0%の範囲を満足し、かつ、Al: 15.0~30.0%、Mg: 5.0~10.0%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: 10.0~30.0%、Mg: 3.0~15.0%の範囲を満足し、かつ、Al: 15.0~30.0%、Mg: 5.0~10.0%の範囲を満足する場合、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。

$$[0050] \quad 0.6 < I(002)_{\text{MgZn}_2} / \{I(100)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2}\} \leq 3.0 \quad \dots (1b)$$

[0051] ただし、式(1a)、式(1b)における $I(002)_{\text{MgZn}_2}$ はMgZn₂相の(002)の回折強度であり、 $I(100)_{\text{MgZn}_2}$ はMgZn₂相の(100)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0.3以上になることにより、MgZn₂相の稠密面である(002)面が、溶融めっき層の表面に対して平行になるように配向する。好ましくは、15.0~30.0%のAl濃度および5.0~10.0%のMg濃度の場合に、式(1b)に示すように0.6超になるとよい。 $I(100)_{\text{MgZn}_2} / \{I(002)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2}\}$ が高いほど、MgZn₂相の稠密面である(002)面が、溶融めっき層の表面に対して平行に揃うようになる。

- [0053] 一方、 $l(100)_{\text{MgZn}_2} / \{l(002)_{\text{MgZn}_2} + l(101)_{\text{MgZn}_2}\}$ の上限は、3.0以下とする。 MgZn_2 相の稠密面の配向性を最大限に高めたとしても、3.0が上限になる。
- [0054] また、式(2)における $l(111)_\alpha / l(200)_\alpha$ が、5.0超になることにより、 α 相の稠密面である (111) 面が、溶融めっき層の表面に対して平行になるように配向する。 $l(111)_\alpha / l(200)_\alpha$ が高いほど、 α 相の稠密面である (111) 面が、溶融めっき層の表面に対して平行に揃うようになる。
- [0055] 一方、 $l(111)_\alpha / l(200)_\alpha$ の上限は、40.0以下とする。 α 相の稠密面の配向性を最大限に高めたとしても、40.0が上限になる。
- [0056] 上記式(1a)または(1b)および(2)を満たす溶融めっき層の塗装後耐食性および平面部耐食性が、ともに向上する理由は、次の理由によるものと推測される。
- [0057] 六方晶構造を持つ MgZn_2 相は、稠密面が (002) 面とされる。また、 Al と少量の Zn とを含有して面心立方晶構造を持つ α 相は、稠密面が (111) 面とされる。 MgZn_2 相および α 相はそれぞれ、これらの稠密面に対応する結晶方位面の耐食性が、他の結晶方位面の耐食性に比べて高い性質をもつ。上記式(1a)および(1b)の少なくとも一方と、(2)と、を満たす溶融めっき層は、 MgZn_2 相および α 相のそれぞれの稠密面が溶融めっき層の表面と平行に配向するようになる。
- [0058] 溶融めっき層の表面に塗膜が形成された溶融めっき鋼材においては、めっき層と塗膜との界面に沿って腐食が進行する場合があるが、溶融めっき層中の MgZn_2 相および α 相のそれぞれの稠密面が溶融めっき層の表面と平行になるように配向することで、溶融めっき層と塗膜との界面の耐食性が格段に高まり、塗装後耐食性が大幅に向上するものと考えられる。
- [0059] また、溶融めっき鋼材においては、溶融めっき層の表面から腐食が進行する場合があるが、上述のように MgZn_2 相および α 相のそれぞれの稠密面が溶融めっき層の表面と平行に配向することで、溶融めっき層の表面の耐食性

が格段に高まり、平面部耐食性も大幅に向上するものと考えられる。

[0060] MgZn₂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MgZn₂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(MgZn₂相)と判断する。MgZn₂相を特定した後、視野中に含有されるα相およびMgZn₂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。

[0061] 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。

[0062] 式(1a)および式(1b)における $I(002)_{\text{MgZn}_2} / \{I(100)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2}\}$ 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（R i g a k u社製（型番R I N T-T T R I I I））を用い、X線出力50 k V、300 m A、銅ターゲット、ゴニオメーターT T R（水平ゴニオメータ）、K β フィルターのスリット幅0.05 mm、長手制限スリット幅2 mm、受光スリット幅8 mm、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5 d e g. / m i n、ステップ幅0.01 d e g、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、MgZn₂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、 $I(002)_{MgZn_2} / \{I(100)_{MgZn_2} + I(101)_{MgZn_2}\}$ を求める。

[0063] 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±0.2°の範囲における最大強度）、（200）面の回折強度（44.74±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。

[0064] また、溶融めっき層中にMg₂Sn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、Mg₂Snに特有の回折ピークが現れるかどうかで判断する。

[0065] 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部耐食性および塗装後耐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。

- [0066] 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。
- [0067] 本実施形態の溶融めっき鋼材の製造方法は、鋼材を還元雰囲気中で焼鈍し、焼鈍直後の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冷却ガスを吹き付けて冷却を行う。
- [0068] 具体的には、めっき原板となる鋼材に対して還元雰囲気中で焼鈍を行う。還元雰囲気および焼鈍条件は特に限定されない。この焼鈍によって、鋼材表面に存在する酸化物をできる限り除去する。
- [0069] 次いで、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。
- [0070] 次に、鋼材を溶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、溶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、溶融めっき層が付着した鋼材にワイピングを行って、溶融めっき層の付着量を制御してもよい。溶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。
- [0071] 次いで、溶融めっき層を冷却する。冷却は、溶融めっき浴から引き上げた直後の鋼材に対して、冷却ガスを吹き付ける冷却を行う。冷却ガスの吹き付けによる冷却は、溶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、引き続き冷却ガスを吹き付ける冷却を行ってもよく、自然放冷してもよい。
- [0072] 冷却開始温度は、溶融めっき浴の温度−40℃以上、溶融めっき浴の温度以下である。冷却開始温度が溶融めっき浴の温度−40℃よりも低いと、冷

却開始までにめっきが放冷(例えば、冷速 $2^{\circ}\text{C}/\text{s}$)される。このため溶融めっきの冷却前に、溶融めっき中に多数の核生成が形成されてしまう。このため、その後の工程において溶融めっき層中の α 相および MgZn_2 相の方位制御困難になる。

- [0073] 冷却ガスを吹き付ける冷却では、鋼材の搬送路に沿って冷却帯を配置する。冷却帯は、冷却ガス用の吹付ノズルが複数備えられる。流束を $5000\text{ L}/\text{分}/\text{m}^2$ 以上とすることで、溶融めっき層を比較的短時間のうちに 300°C 以下まで冷却できる。流束が $5000\text{ L}/\text{分}/\text{m}^2$ 未満の場合、鋼材全体の冷却速度を維持しつつ冷却ガスの流速を下げることになるため、冷却ガスの温度を下げるることとなる。その結果、めっき層表面の液相が過冷されて凝固核となり、晶出物が増加して配向性制御が不可となる。また、流束を $25000\text{ L}/\text{分}/\text{m}^2$ 以下とすることで、鋼材に振動を与えることなく冷却できる。
- [0074] 吹き付ける冷却ガスは特に制限はなく、窒素などの非酸化性ガス、アルゴン等の不活性ガスまたは空気であってもよく、これらの混合ガスであってもよい。
- [0075] 冷却ガスの流束を制御する場合、冷却ガスが噴き出すガスノズルの形状は、例えば、直径 $1\sim50\text{ mm}$ の範囲とする。ガスノズル先端と鋼板表面の成す角度は、例えば、 $70\sim110^{\circ}$ の範囲、より好ましくは 90° (直角)とする。ガスノズル先端と鋼板の距離は $30\sim1000\text{ mm}$ の範囲とする。なお、ガスノズルの形状、角度、距離は、単なる一例であって、上記の範囲に限定されるものではない。
- [0076] 上述の条件を満たすように溶融めっき層を冷却することにより、上記式(1a)および(1b)の少なくとも一方と、式(2)とを満たす溶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。
- [0077] 上記の製造方法では、溶融めっき浴に浸漬する直前の鋼材に対して還元雰囲気中で焼鈍を行うことにより、鋼材表面の酸化物を除去することで、核生成サイトを減少させる。このような鋼材に対して溶融めっきを行った場合、鋼材の Fe と溶融めっき浴の Al とが反応して、鋼材の表面に Al-Fe 合

金属層が形成される。Al-Fe合金層は、比較的核生成サイトが少ないものとなる。更に、溶融めっき後に、 5000 L/分/m^2 以上 25000 L/分/m^2 以下の流束で冷却ガスを吹き付けて冷却することによって鋼材に振動をできるだけ与えないようにすることで、核生成サイトの生成を更に抑制させる。これにより、溶融めっき層中の α 相およびMgZn₂相が一定方向に配向し、上記式(1a)または(1b)と、式(2)とを満たすようになると推測される。

実施例

- [0078] 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。
- [0079] N₂-4% H₂雰囲気中、均熱温度800℃、均熱時間2分の条件で焼鈍した鋼材を、種々の溶融めっき浴に浸漬し、引き上げることにより、溶融めっき層を鋼材の表面に付着させ、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℃になるまで冷却ガスの吹き付け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。冷却ガス吹き付け時、表2の通りガス流束を制御した。冷却ガスが噴き出すガスノズルの形状は、直径6 mmであり、ガスノズル先端と鋼板の成す角度は直角、ガスノズル先端と鋼板の距離は35 mmとした。
- [0080] 溶融めっき層の化学組成は、表1の通りであった。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2に示した。さらに、溶融めっき鋼材の表面耐食性及び塗装後耐食性を評価し、その結果を表3に示した。
- [0081] 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。
- [0082] 平面部耐食性の評価は、以下の通りとした。得られた溶融めっき鋼材を、100 mm×50 mmに切断し、平面部耐食性評価試験に供した。平面部耐

食性の評価は J A S O - C C T - M 6 0 9 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、「A A A」、「A A」および「A」を合格とした。

[0083] A A A : 腐食減量 4 0 g / m²未満

A A : 腐食減量 4 0 g / m²以上 6 0 g / m²未満

A : 腐食減量 6 0 g / m²以上 8 0 g / m²未満

B : 腐食減量 8 0 g / m²以上

[0084] 塗装後耐食性（塗装後の塗膜剥がれ）の評価は以下の通りとした。得られた溶融めっき鋼材を、100 mm × 50 mm に切断して、塗装後耐食性試験に供した。試験片に対して、膜厚 1.2 μm の化成処理層を形成し、膜厚 20 μm の塗膜層を形成した後、おもて面に対して、カッターナイフで地鉄に達するカット疵を付与し、S S T 4 h r → 乾燥 2 h r → 湿潤 2 h r を 1 サイクルとする C C T を 120 サイクル行い、評価した。試験終了後のカット傷の片側の最大膨れ幅にて判定した。化成処理層及び塗膜層の詳細は以下の通りであった。

[0085] <化成処理層>

シランカップリング剤、タンニン酸、シリカ、及びポリエステル樹脂を混合したクロメートフリー化成処理液をめっき層に塗布し、乾燥することで化成処理膜を形成した。

[0086] <塗膜層>

化成処理膜の上に、下記に記載のプライマー塗料樹脂及びトップコート塗料樹脂を塗布することで、塗膜層を形成した。プライマー塗料樹脂からなる層の厚みは 5 μm とし、トップコート塗料樹脂からなる層の厚みは 15 μm とし、合計で 20 μm とした。

[0087] <塗膜層の造膜成分>

(1) おもて面・裏面のプライマー塗料樹脂

ポリエステル／メラミン＋イソシアネート併用硬化型（日本ファインコーティングス社製 F L C 6 8 7 塗料樹脂）

(2) おもて面のトップコート塗料樹脂

高分子ポリエステル／メラミン硬化型（日本ファインコーティングス社製
F L C 7 0 0 0 塗料樹脂）

(3) 裏面のトップコート塗料樹脂

ポリエステル／メラミン硬化型（日本ファインコーティングス社製 F L C
1 0 0 H Q 塗料樹脂）

[0088] 塗装後耐食性の評価基準を以下に示す。以下に示す評点づけで判定した。「
A A A」、「A A」および「A」を合格とした。

[0089] A A A : 最大膨れ幅 5 m m 未満
A A : 最大膨れ幅 5 m m 以上 8 m m 未満
A : 最大膨れ幅 8 m m 以上 1 0 m m 未満
B : 最大膨れ幅 1 0 m m 以上

[0090] 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 N o. 1 ～ 2 5 （実施例）は、平面部耐食性、塗装後耐食性の両方が優
れていた。なお、実施例の溶融めっき層の付着量は、 $20 \sim 150 \text{ g/m}^2$ の
範囲だった。

[0091] 比較例の N o. 2 6 では、溶融めっき層の A l 量が不足していた。そのた
め、N o. 2 6 では、平面部耐食性が不足した。

比較例の N o. 2 7 では、溶融めっき層の A l 量が過剰であった。そのた
め、N o. 2 7 では、塗装後耐食性が不足した。

[0092] 比較例の N o. 2 8 では、溶融めっき層の M g 量が不足していた。そのた
め、N o. 2 8 では、平面部耐食性、塗装後耐食性の両方が不足した。

比較例の N o. 2 9 では、溶融めっき層の M g 量が過剰であった。そのた
め、N o. 2 9 では平面部耐食性が不足した。

[0093] 比較例の N o. 3 0 では、溶融めっき層の S i 量が過剰であった。そのた
め、N o. 3 0 では、平面部耐食性、塗装後耐食性の両方が不足した。

比較例の N o. 3 1 では、溶融めっき層の S n 量が過剰であった。そのた
め、N o. 3 1 では、平面部耐食性、塗装後耐食性の両方が不足した。

- [0094] 比較例のNo. 32では、熔融めっき層のCa量が過剰であった。そのため、No. 30では、平面部耐食性、塗装後耐食性の両方が不足した。
- [0095] 比較例のNo. 33では、冷却ガスのガス流束量が不足した。そのため、No. 33では、 α 相およびMgZn₂相が一定の方向に配向しなかった。これにより、No. 33では、平面部耐食性、塗装後耐食性の両方が不足した。
- [0096] 比較例のNo. 34では、冷却ガスのガス流束が過剰であった。そのため、No. 34では、 α 相およびMgZn₂相が一定の方向に配向しなかった。これにより、No. 34では、平面部耐食性、塗装後耐食性の両方が不足した。比較例のNo. 34と実施例のNo. 12、22、23とを比べると、両者は冷却速度が比較的近いにもかかわらず、No. 34はガス流束が過剰であったため、発明範囲を満足できなかった。
- [0097] 比較例のNo. 35およびNo. 36では、冷却ガスのガス流束が不足し、冷却ガス温度が低すぎてめっき層表面の液相が過冷されて多数凝固核が形成された。そのため、No. 35およびNo. 36では、 α 相およびMgZn₂相が一定の方向に配向しなかった。これにより、No. 35およびNo. 36では、平面部耐食性、塗装後耐食性の両方が不足した。
- [0098] 比較例のNo. 37では、冷却開始温度が低すぎて多数核生成された。そのため、No. 37では、 α 相およびMgZn₂相が一定の方向に配向しなかった。これにより、No. 37では、平面部耐食性、塗装後耐食性の両方が不足した。
- [0099]

[表1]

区分	No.	めっき層成分(質量%) 残部:Zn及び不純物								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	0	0	0.1	—	—
実施例	2	残	11	3	0.07	0	0	0	0.05	Co	0.01
実施例	3	残	10	5	0.07	0.1	0.1	0	0.1	Bi	0.005
実施例	4	残	11	5	0.01	0.2	0.1	0	0.1	—	—
実施例	5	残	11	6	0	0.2	0.1	0	0.08	Sb	0.08
実施例	6	残	13	3	0	0.1	0	0	0.1	Li	0.02
実施例	7	残	15	3	0.1	0.1	0	0	0.2	Ag	0.01
実施例	8	残	17	5	0.1	0	0.1	0.001	0.3	P	0.01
実施例	9	残	18	6	2.0	0	0.1	0	0.2	Mn	0.02
実施例	10	残	19	6	0.1	0	0.1	0	0.1	Sr	0.05
実施例	11	残	19	6	0.1	0.2	0.2	0	0.1	—	—
実施例	12	残	19	6	0.05	0.2	0.2	0	0.1	Pb	0.03
実施例	13	残	19	7	0.1	0.2	0.2	0	0.1	In	0.02
実施例	14	残	20	15	0	0.2	1.5	0	0.1	V	0.01
実施例	15	残	20	6	0	0.1	0.3	0	0.1	B	0.01
実施例	16	残	20	3	0	0.2	0.3	0	1.3	Nb	0.01
実施例	17	残	22	6	0.1	0.1	0.2	0	0.1	La	0.02
実施例	18	残	22	11	0	0.1	0.2	0	0.2	Ge	0.02
実施例	19	残	22	3	0.1	0.1	0	0	0.2	Zr	0.01
実施例	20	残	24	3	0.2	0.1	0	0	0.3	W	0.02
実施例	21	残	22	4	0.1	0.1	0	0.01	0.4	Mo	0.03
実施例	22	残	22	8	0	0.2	0.3	0	0.5	Ti	0.01
実施例	23	残	24	8	0	0.6	0.3	0	0.9	Cu	0.2
実施例	24	残	28	9	0.1	1.3	0.3	0	1.4	Y	0.02
実施例	25	残	30	10	0.1	2	0.3	0	1.3	Cr	0.05
比較例	26	残	<u>6.5</u>	3	0	0	0	0	0.1	—	—
比較例	27	残	<u>32</u>	6	0.0	0.1	0	0	0.1	—	—
比較例	28	残	19	<u>2.3</u>	0	0.2	0.2	0	0.1	—	—
比較例	29	残	19	<u>16</u>	0	0	0.2	0	0.1	—	—
比較例	30	残	19	5	0	<u>10.5</u>	0.2	0	0.1	—	—
比較例	31	残	19	5	<u>2.3</u>	0	0	0	0.1	—	—
比較例	32	残	20	5	0	0.2	<u>4.2</u>	0	0.1	—	—
比較例	33	残	19	5	0	0.2	0.3	0	0.5	—	—
比較例	34	残	20	5	0	0.6	0.3	0	0.8	—	—
比較例	35	残	19	5	0	0.1	0.3	0	0.5	—	—
比較例	36	残	19	5	0	0.2	0.3	0	0.5	—	—
比較例	37	残	19	4.5	0	0.2	0.2	0	0.5	—	—

下線部は本発明の範囲外であることを示す。

[0100]

[表2]

区分	No.	製造条件			
		めっき 浴温 (°C)	冷却開始 温度 (°C)	浴から引抜後～ 300°Cまでの 冷却ガス流束 (L/分/m ²)	浴から鋼板を引抜後 ～300°Cまでの 冷却速度 (°C/s)
実施例	1	450	440	25000	20
実施例	2	480	470	25000	20
実施例	3	480	470	5000	14
実施例	4	510	470	25000	20
実施例	5	510	500	5000	14
実施例	6	500	490	25000	20
実施例	7	500	490	25000	20
実施例	8	500	490	5000	14
実施例	9	500	490	5000	14
実施例	10	500	490	5000	14
実施例	11	500	460	5000	14
実施例	12	500	490	10000	17
実施例	13	500	490	5000	14
実施例	14	520	510	25000	20
実施例	15	550	540	5000	14
実施例	16	550	540	25000	20
実施例	17	550	540	5000	14
実施例	18	550	540	10000	16
実施例	19	550	540	25000	20
実施例	20	550	540	25000	20
実施例	21	550	540	25000	20
実施例	22	550	540	10000	17
実施例	23	550	540	10000	17
実施例	24	550	540	5000	14
実施例	25	540	530	25000	20
比較例	26	450	440	25000	20
比較例	27	550	540	25000	20
比較例	28	500	490	25000	20
比較例	29	550	540	25000	20
比較例	30	500	490	25000	20
比較例	31	500	490	25000	20
比較例	32	500	490	25000	20
比較例	33	500	490	<u>2500</u>	18
比較例	34	520	510	<u>27000</u>	18
比較例	35	500	490	<u>2500</u>	20
比較例	36	500	490	<u>4000</u>	19
比較例	37	500	<u>450</u>	7000	19

下線部は本発明の範囲外であることを示す。

[0101]

[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	塗装後耐食性
		I (002) / (I (100)+I (101))	I (111) / I (200)	有無		
実施例	1	0.3	5.1	無	A	A
実施例	2	0.4	7.5	有	A	AA
実施例	3	0.6	10.6	有	AAA	AAA
実施例	4	0.5	9.0	有	AA	AA
実施例	5	0.8	14.5	無	AAA	AAA
実施例	6	0.9	6.5	無	A	A
実施例	7	0.8	6.7	有	AA	AA
実施例	8	1.0	16.7	有	AAA	AAA
実施例	9	1.1	20.5	有	AA	AAA
実施例	10	1.4	22.5	有	AAA	AAA
実施例	11	1.2	22.6	有	AAA	AAA
実施例	12	1.5	27.5	有	AAA	AAA
実施例	13	1.6	26.5	有	AAA	AAA
実施例	14	0.4	9.6	無	AA	AA
実施例	15	1.2	19.0	無	AAA	AAA
実施例	16	0.5	8.4	無	AA	AA
実施例	17	1.6	29.3	有	AAA	AAA
実施例	18	1.8	30.0	無	AAA	AAA
実施例	19	0.4	8.9	有	AA	AA
実施例	20	0.5	8.6	有	AA	AA
実施例	21	0.5	5.8	有	AA	AA
実施例	22	2.4	30.8	無	AAA	AAA
実施例	23	2.5	33.0	無	AAA	AAA
実施例	24	3.0	40.0	有	AAA	AAA
実施例	25	0.4	8.3	有	AA	A
比較例	26	0.5	5.1	無	B	A
比較例	27	0.4	5.5	無	AA	B
比較例	28	0.5	5.6	無	B	B
比較例	29	0.4	5.6	無	B	A
比較例	30	0.5	5.9	無	B	B
比較例	31	0.3	6.4	有	B	B
比較例	32	0.4	6.4	無	B	B
比較例	33	<u>0.1</u>	<u>2.1</u>	無	B	B
比較例	34	<u>0.1</u>	<u>1.1</u>	無	B	B
比較例	35	<u>0.1</u>	<u>2.1</u>	無	B	B
比較例	36	<u>0.1</u>	<u>2</u>	無	B	B
比較例	37	<u>0.1</u>	<u>2.2</u>	無	B	B

下線部は本発明の範囲外であることを示す。

産業上の利用可能性

[0102] 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。

$$0.3 \leq I(002)_{\text{MgZn}_2} / \{I(100)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2}\} \leq 3.0 \quad \cdots (1a)$$

$$5.0 < I(111)_{\alpha} / I(200)_{\alpha} \leq 40.0 \quad \cdots (2a)$$

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

(1 0 1) の回折強度であり、式 (2 a) 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 (1 b) および式 (2 b) の関係を満足する、溶融めっき鋼材。

$$0.6 < I(002)_{\text{MgZn}_2} / \{ I(100)_{\text{MgZn}_2} + I(101)_{\text{MgZn}_2} \} \leq 3.0 \quad \cdots (1b)$$

$$5.0 < I(111)_\alpha / I(200)_\alpha \leq 40.0 \quad \cdots (2b)$$

ただし、式 (1 a) における $I(002)_{\text{MgZn}_2}$ は MgZn_2 相の

(002)の回折強度であり、 $I(100)_{\text{MgZn}_2}$ は MgZn_2 相の(100)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。

- [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。