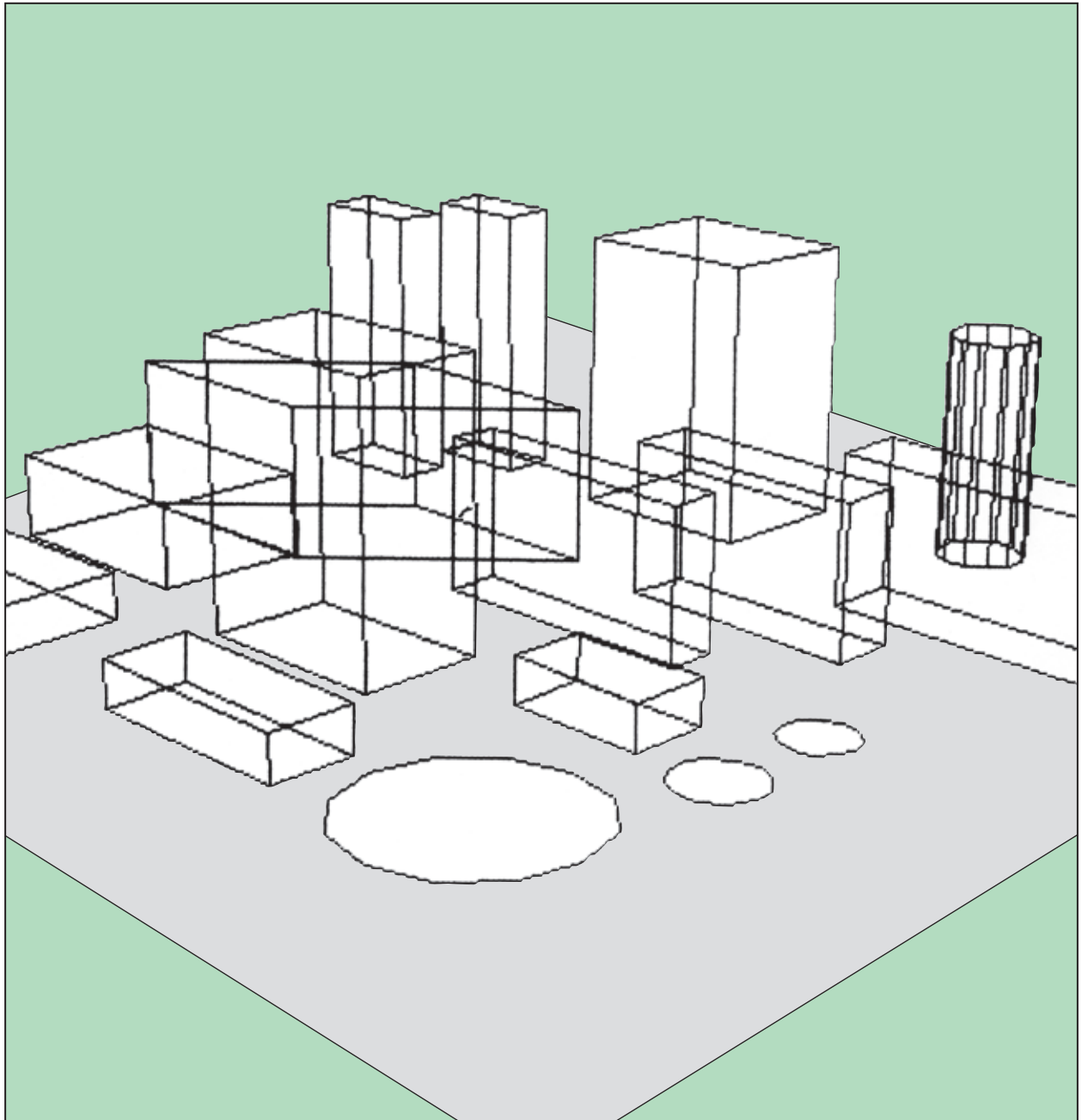




熔融亜鉛めっきガイドブック



日本工業規格表示認証取得工場

北海道内田鍛工株式会社

はじめに

現代社会において、たいへん大きな役割を担う鉄鋼製品。

その生産・加工技術の発達にともない、熔融亜鉛めっきの持つ優れた防食性が注目を集め今日あらゆる産業分野で幅広く利用されています。

UTKでは、この熔融亜鉛めっきのもつ特製をより多くの方に知っていただくため、このガイドブックを編集いたしました。

また、耐久性・作業工程例・設計、製作上での留意点などについても詳しく解説を加えています。

製品設計の現場で、広くお役立てください。

もくじ

1. 熔融亜鉛めっき	
1.1 熔融亜鉛めっきの特色	1
1.2 熔融亜鉛めっき作業工程	2
1.3 めっき皮膜の組織	6
1.4 めっき皮膜の耐食性	7
1.5 めっき皮膜の耐用年数	8
2. 設計、製作上での留意点	
2.1 適さない素材	10
2.2 めっき加工可能な大きさ	10
2.3 溶接加工における留意点	11
2.4 予防処置の具体例	13
2.5 熔融亜鉛めっきによるひずみ	18
3. 熔融亜鉛めっきと鋼材	
3.1 めっき後の機械的性質	20
3.2 めっき処理に関するぜい化現象	21
3.3 鋼材の熔融亜鉛ぜい化現象例	22
3.4 鋼材の化学成分とめっき品質の関係	23
4. 熔融亜鉛めっきの品質	
4.1 熔融亜鉛めっきの種類と試験	25
4.2 外観	26
5. 熔融亜鉛めっき面の塗装	
5.1 塗装目的	27
5.2 素地調整と塗料	27

1. 溶融亜鉛めっき

1.1 溶融亜鉛めっきの特色

様々な分野で使用されている鉄鋼製品。
 素材を長期にわたってさびから守り、耐用年数を延ばすことは大変重要な課題です。
 多くの表面処理技術の中で、溶融亜鉛めっきは経済性・耐久性ともに高く、もっともすぐれた方法です。

① すぐれた耐食性

溶融亜鉛めっきは、素材の表面に形成される薄く緻密な保護皮膜と、亜鉛特有の電気化学的防食作用により、大気中・淡水中・海水中・土壌中など、あらゆる環境のもとで高い防食性能を示します。

例えば、田園山間地帯では100年以上、都市・工業地帯でも20年以上は、十分な効果を発揮します。

鋼管・大型構造物・電力通信・土木建築・農業畜産・鉄道運輸・船舶・冷・暖房関係など幅広い分野で利用されています。

② 経済的な防錆処理

溶融亜鉛めっきは、効果がながく持続するうえ、メンテナンスの必要がありませんので、他の方法にくらべて最終的なコストを低くおさえることができます。

③ 高い耐久性

溶融亜鉛めっきは、鉄と亜鉛の合金反応によって強固に密着していますから、衝撃や摩擦などにより剥離することはありません。

④ どんな部分にも均一な処理

素材を溶融亜鉛に浸漬されることにより、中空体の内面など目に見えない部分、手が届かない部分にも均一なめっき処理が可能です。

1.2 溶融亜鉛めっき作業工程

一般的なめっき作業工程を図1に、作業条件例を表1に示します。

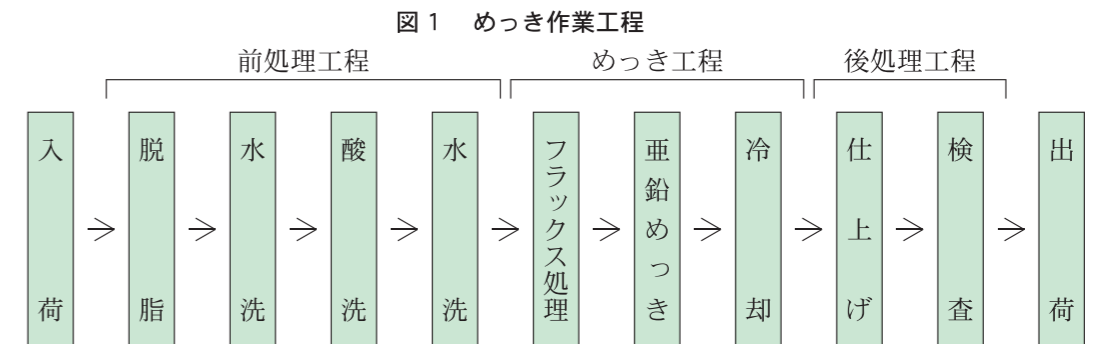


表1 溶融亜鉛めっき作業条件

工程	項目	条件
脱脂	アルカリ濃度	40 ~ 70g/l
	温度	55 ~ 80℃
	浸せき時間	5 ~ 60分
水洗	水洗	常温
	酸濃度	3 ~ 15%
	温度	常温
	鉄分	180g/l以下
処 理 ス	浸せき時間	5 ~ 150分
	水洗	常温
	フラックス比重	1.05 ~ 1.10
	温度	65 ~ 103℃
め っ き	塩化亜鉛：塩化アンモニウム	1 : 3.6 (重量比)
	浸せき時間	30 ~ 180秒
	亜鉛浴組成	亜鉛 97.5%以上
	温度	445 ± 20℃
冷 却	浸せき時間	1 ~ 7分
	温度	80℃以下
	浸せき時間	10 ~ 60秒

① 前処理工程

(1) 脱脂

製作された鋼材表面には、さびや加工時の機械油、マーキングの塗装などが付着しており、これらが残存しているとめっきの原因となります。現在、アルカリ水溶液による脱脂法が一般的ですが、それ以外に有機溶剤による方法、焼却法があります。

しかし、これらはアルカリ脱脂による除去不可能な場合に限られています。

脱脂後の水洗は、脱脂液の除去のほか脱脂の検査も兼ねています。すなわち、水をはじき濡れない箇所があれば脱脂が不完全であるので再脱脂を行ないます。

(2) 酸洗

めっき皮膜を形成する合金層は、鉄と亜鉛との合金反応により生成され、この反応を活性に進行させるためには界面に相互の接触を妨げるさびやスケールを除去する必要があります。その除去方法としては、塩酸または硫酸による酸洗法が実施されています。

以上の脱脂・酸洗にかわる方法としてブラスト法があり、高力ボルトなどは前処理としてブラスト法を用いています。しかし一般にはブラスト工場とめっき工場が一体でないことから、一般の部材には通常ブラスト法は用いていません。

② めっき工程

(1) フラックス処理

亜鉛めっきは鉄と溶融亜鉛が反応してできるものであるから、両者の接触面にスマット（塩基性鉄塩）、赤さび、酸化亜鉛などの不純物が介在していると、合金反応が妨害されめっきになることがあります。フラックスはこれらの生成を防ぎ、さらに進んで不純物を溶解消失させ合金反応を円滑にし、完全なめっき皮膜の形成を助ける働きがあります。

現在用いられている方法は乾式法が一般的で、これは亜鉛浴に入れる前に塩化亜鉛アンモニウム溶液に浸せきし、フラックス処理する方法で全ての部材に施工しております。

めっき浴組成の主なものは表2に示します。

表2 めっき浴組成

種類	組成比	特徴
亜鉛 (Zn)	97.5%以上	めっき浴の主体をなす。
鉄 (Fe)	0.03~0.05%	増加すると浴の流動性が低下。
鉛 (Pb)	0.80~1.60%	ドロスのクッションとして槽底を保護し、槽の寿命を維持する。
アルミニウム (Al)	0.1%以下	めっき外観を改良する。過大に添加すると、合金層の発達を妨げ付着量が減少する。また、フラックス効果を低下させめっき発生につながることもある。

(2) 浸せき方法

めっき浴への浸せきは被めっき品を10°程度の傾斜をつけ速やかに浸せきします。1例としてめっき作業要領を図3に示します。

一般に浸せき時間が長くなればめっき付着量は増大する傾向にあり、その例を図2に示します。

浸せき時間の設定は最大板厚において目標とする付着量が得られるように決定されます。

これは板厚の厚い部分は熱伝導が遅いため、亜鉛めっき層（合金層）の形成に時間を要するためです。このため、一般部分は目標付着量より多めに付着する傾向があります。

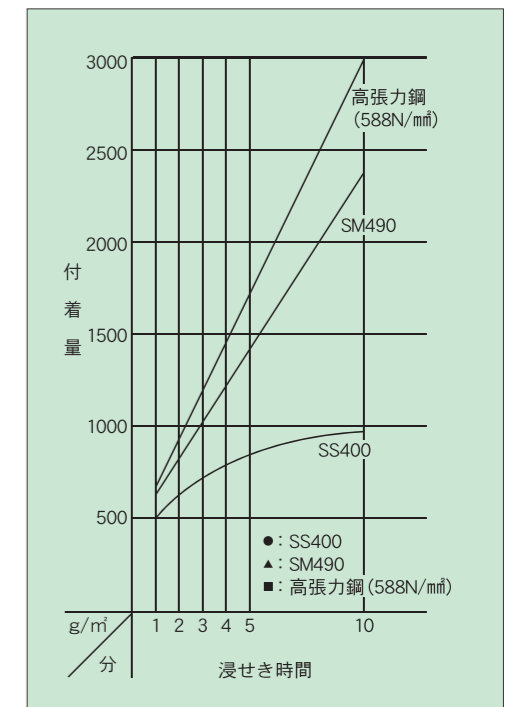


図2 浸せき時間と付着量の関係

(3) 引上げ

めっき完了した部材を引上げる時には浴表面の亜鉛酸化物を十分除去（灰かき作業）し、清浄な浴面から引上げます。引上げる

時の部材は、下面に生じる直線的なたれをなくすために長手方向のみならず、めっき浴より引上げ中あるいは引上げ完了後、横方向にもある程度角度をつけなければなりません。

なお、めっき浴からの引上げに際して、たれ切りをよくするために塩化アンモニウムを散布します。

(4) 冷却

めっき浴より引上げ完了した後、速やかに冷却水槽上に平行移動させ、規定の角度で冷却水中に全没させます。

③ 後処理工程

(1) 仕上げ

仕上げ作業は、サンダーおよびヤスリなどを用いて行います。

(2) 検査

めっきの外観検査およびJIS H0401に基づくめっき付着量、密着性試験を行ないます(25 P参照)。

④ めっき作業要領

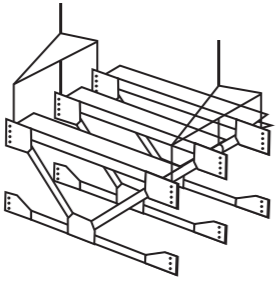
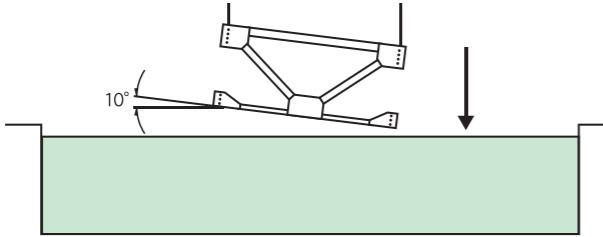
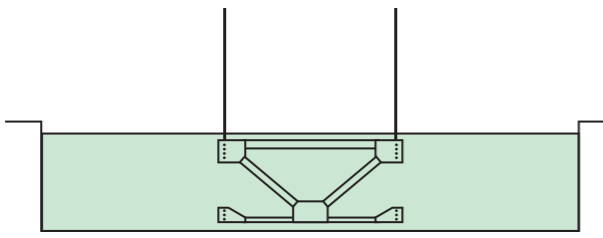
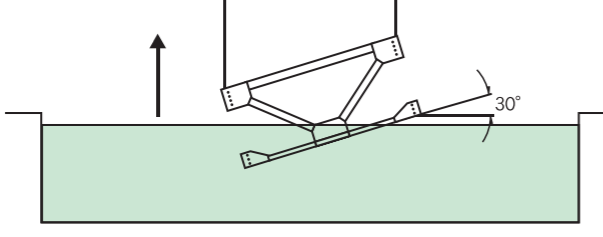
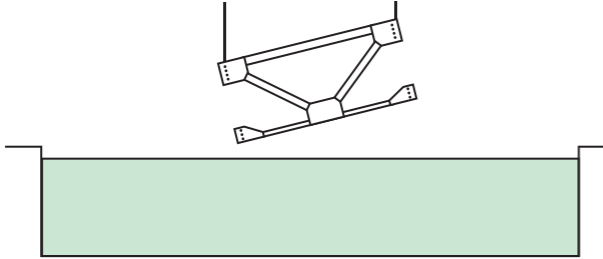
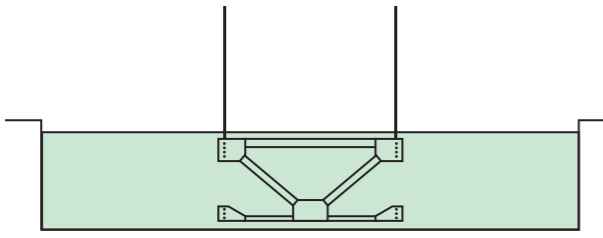
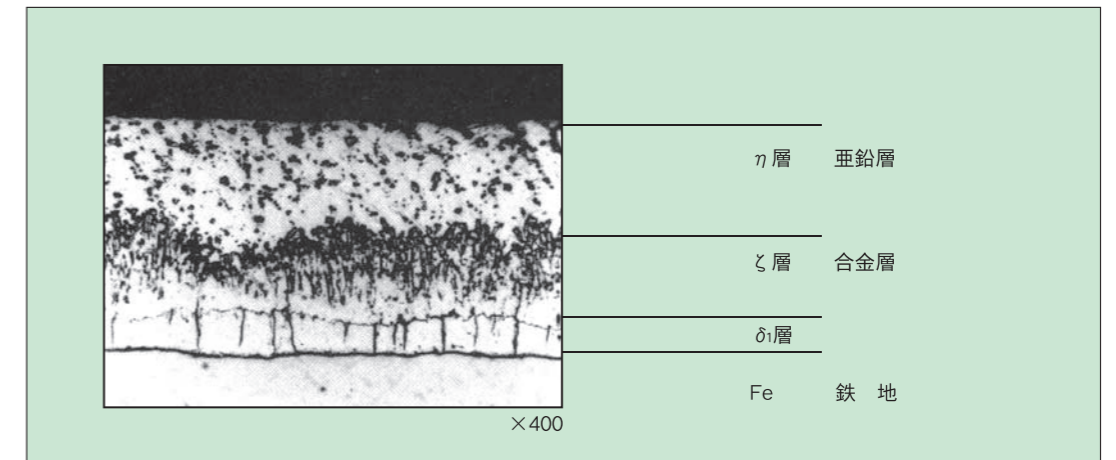
状態	状態図	操作およびめっき条件
懸垂		所定の治具でセットして吊り上げる。
浸せき開始		約 10° の傾斜をつけて速やかに浸せきする。 (亜鉛浴温度: 445 ± 20°C)
浸せき終了		水平状態を保ち静止する。
引き上げ		約 30° の傾斜をつけて先に浸せきした方向から引き上げる。
移動		十分にたれ切りを行った後、冷却水槽上に移動し水冷する。
冷却		全体を水平状態を保ち静止する。

図3 構造物等のめっき作業方法

1.3 めっき皮膜の組織

熔融亜鉛めっき皮膜の断面を顕微鏡で見ると、鉄と亜鉛の反応で形成された金属間化合物の合金層と、その上に付着する亜鉛層の二層から構成されていることがわかります。



熔融亜鉛めっき皮膜断面組織

通常の条件で見られる熔融亜鉛めっき組織は、鉄地に近い方からδ1(デルタワン)合金層とζ(ツェータ)合金層、さらにその上に、浴組織と同じη(イータ)亜鉛層と、三層から構成されます。

① δ1(デルタワン)合金層

通常、鉄素地に接して存在する層です。
緻密な組織を示す複雑な六方晶系の構造で、靱性・延性に富んでいるのが特長です。
FeZn₇という化合物と考えられ、鉄含有量は7～11%です。

② ζ(ツェータ)合金層

単斜晶系に属し、柱状組織を示します。
FeZn₁₃という化合物と考えられ、鉄含有量は6%程度です。

③ η(イータ)亜鉛層

最上部に構成される亜鉛層です。
稠密六方晶系に属し、軟らかく展延性に富んでいますので、変型加工を受けても破れることはありません。亜鉛純度は97.5%以上です。
この他、鉄地に接近した部分でγ(ガンマ)層が生成されることもありますが、非常に薄い層なので通常は認められません。

1.4 めっき皮膜の耐食性

① 保護皮膜作用

溶融亜鉛めっきに緻密なさびの皮膜が形成されます。
 これが強力な保護膜となり、その後の腐食の進行をおさえます。
 腐食速度は使用環境によりことなりますが、通常、亜鉛は鉄の10～25倍の耐食性を持っています。

図4 亜鉛と鉄のさびの相違

	素地	さびが生成	さびが生成
亜鉛の場合		 さびZn(OH) ₂ Zn 緻密なさびの皮膜が生成。	 さび(ZnO·nH ₂ O) Zn 緻密なさびの薄膜が強力な皮膜となっています。
鉄の場合		 さびFe(OH) ₂ Fe 粗なさびが生成。	 さびFe ₂ O ₃ ·nH ₂ O Fe 鉄のさびは多孔質であり保護能力は少ないので酸化がどんどん進行します。

② 犠牲的防食作用

溶融亜鉛めっき皮膜にキズが生じた場合、イオン化傾向の差により周囲の亜鉛が溶解し陽イオンとなって、電気化学的に鉄の腐食を抑制する働きをします。
 これを、犠牲的防食作用といいます。

図5 キズが生じた場合の亜鉛めっき皮膜と塗装皮膜の腐食状態

	素地	キズが生じた生成	腐食状態
溶融亜鉛めっき			 Zn Fe 亜鉛の犠牲的防食作用により鉄は腐食されません。
塗装			 さび 塗膜 Fe 粗い鉄さびにより塗膜が大きく破れ更に腐食が進行します。

1.5 めっき皮膜の耐用年数

① 大気中

溶融亜鉛めっきの耐用年数は使用する環境によって異なりますが、同一の使用条件においては、亜鉛の付着量に比例します。

大気中における耐用年数は、各使用環境によるめっきの腐食速度と亜鉛付着量から、次式によって求められます。

$$\text{耐用年数} = \frac{\text{亜鉛付着量 (g/m}^2\text{)}}{\text{腐食速度 (g/m}^2\text{/年)}} \times 0.9 \text{ ※}$$

※この係数は、亜鉛皮膜の10%が残っている時点で、鉄素地からさびが発生すると仮定した値です。

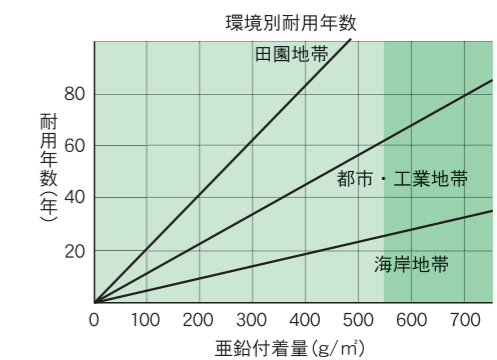
表3および図6は、溶融亜鉛めっきの腐食速度を、日本における使用環境別に示したものです。

表3 使用環境別溶融亜鉛めっきの腐食速度と耐用年数

暴露試験地域	平均腐食速度 (g/m ² /年)	耐用年数 (年)
都市・工業地帯	8.0	62
田園地帯	4.4	113
海岸地帯	19.6	25

(注) 耐用年数は亜鉛めっき付着量550g/m²として計算した値です。

図6 溶融亜鉛めっきの付着量と耐用年数の関係



② 水中

溶融亜鉛めっきは、水中でもめっき表面に保護皮膜が形成され、すぐれた耐食性を示します。水中での耐食性は、pHと温度による影響を受けますが、溶融亜鉛めっきが有効な範囲は、pH6～12、水温50℃以下の範囲です。また、含有塩類も多少の影響をおよぼします。

軟水中よりも、カルシウム塩類を含む硬水中のほうが高い耐食性を示します。
 腐食速度は水質環境によりことなりますが、一般には1年あたり30～100g/m²となっています。

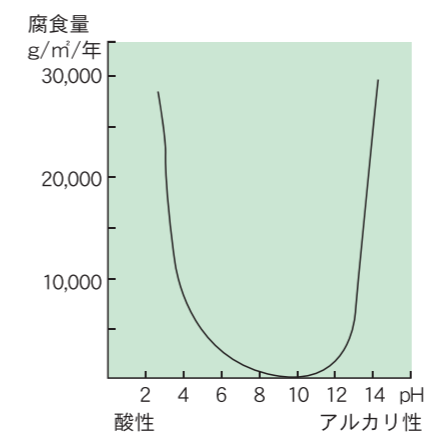


図7 水溶液 pH と亜鉛の腐食速度

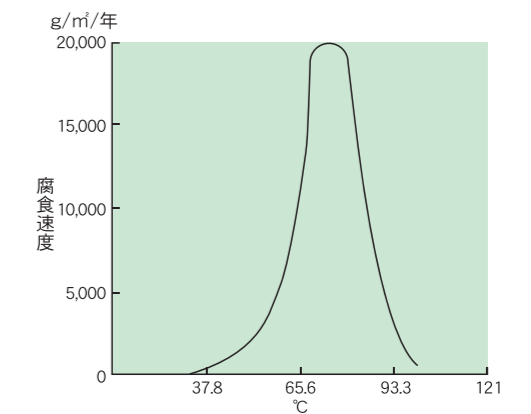


図8 水温と腐食速度(蒸留水)

③ 海水中

海水中での亜鉛の腐食速度は、1年あたり100~200g/m²程度ですが、浸漬期間が長くなるにつれて腐食速度は小さくなります。

これは海水中のマグネシウム塩類が腐食抑制作用を持つためだと言われています。

また、浸漬後1年以上を経過すると、めっき表面にできる緻密な生成物のために腐食速度は半減します。

④ 土壌中

溶融亜鉛めっきの耐食性は、土壌の性質に大きな影響を受けます。

土壌の通気性・含水量・溶存物質の種類と量・電気伝導度・pHなど、さまざまな要因により腐食速度も大きく変化します。

下の表は土壌の性質による耐用年数の違いを示したものです。

表4 米国の各種土壌中の高純亜鉛の腐食（12.7年埋設試験による腐食速度）

土 壌 の 種 類		g/m ² /年
無機質酸化性 酸化土壌	粘土ローム	52
	ローム	29
	粘土	39
無機質酸化性 アルカリ性土壌	沈泥ローム	43
	砂利質ローム	130
無機質還元性酸性土壌	粘土	46
無機質還元性 アルカリ性土壌	粘土	46
	粘土	210
有機質還元性 酸性土壌	堆肥	110
	沼池	96
	堆肥	180

2. 設計・製作上での留意点

2.1 適さない素材

溶融亜鉛めっき加工は450℃前後の溶融した亜鉛浴に製品を浸漬して防食皮膜を形成しますので、製作にあたり設計の際めっき加工に適した処置方法が必要になります。

また素材及び加工方法によりヤケ、めっき剥離、異常付着、ひずみ等の発生する場合がありますので材料購入からの配慮が必要になります。

処置方法については事前にご相談いただくことを、お奨めいたします。

表5 めっきに適さない素材

分 類	現 象
表面状態	2枚板、深いロールきずなどの材料きず、なし肌状、孔食状などの、甚だしい腐食があるもの。
	素材表面にさび、汚れ、付着物（油、塗料）などがあり、前処理工程の脱脂、酸化物の除去処理を行っても除去できないもの。
	極端な赤さび、異常酸化層などによって地肌が平滑でないもの。 レーザー切断、高周波曲げなどによって、平滑であるが異常酸化層の激しいもの。
	鋳物の砂かみ、巣、溶接部のピットなどのあるもの。
構 造	作業中破損又は変型のおそれのある構造のもの。
	ブラスト処理をするときに、死角をもつ構造のもの。
	空気を密閉した中空体の構造のもの。
	亜鉛が容易に流入、流出できない構造のもの。 亜鉛浴中に浸せきしても空気の一部が逃げない構造のもの。

JIS H8641（溶融亜鉛めっき）による。

2.2 めっき加工可能な大きさ

当社のめっき槽の大きさは長さ8500mm、幅1500mm、深さ2050mmです。

1度で浸漬し、めっきできる大きさは形状により若干異なりますが下記の通りです。

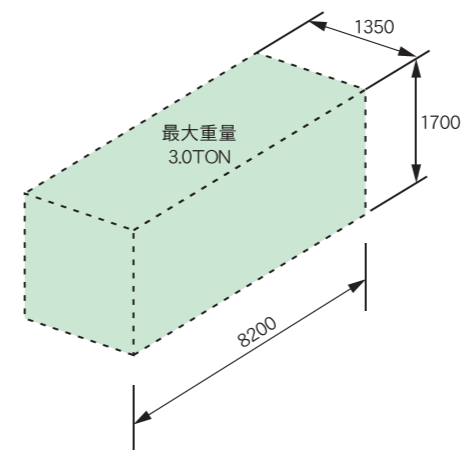


図9 めっき加工有効寸法・重量

尚、製品寸法が有効寸法を多少、越える場合は「2度漬け」という製品を反転する方法で可能です。

しかし、この場合、1度目、2度目の浸漬継ぎ部の段差、またやけ及び歪が発生する場合があります。

事前に御相談下さい。

2.3 溶接加工における留意点

① 同一ブロックにおける板厚の組合せ

鋼材をめっきする場合、鋼材は溶融亜鉛中に浸漬する時と浸漬した後の温水冷却する時にひずみを生じるものであり、このひずみを最小限にするためにめっきする同一ブロックに使用される板厚の差をできるだけ小さくする必要があります。

ひずみの原因は、溶接や線状加熱による残留応力が熱により解放されるためですが、槽に浸漬するブロックで板の厚さに極端に差がある場合には浸漬したブロックの温度分布が不均一となり熱膨張の度合が異なります。また、温水冷却の際では収縮の度合が異なるので、圧縮力が働く部分に波状の永久変形が発生することもあります。従いまして、ひずみを防ぐには全体が均一に加熱または冷却されることが望ましく、そのためにも板厚をなるべくそろえる必要があります。一つのブロックを構成する材料の板厚の組合せの限界は表6を目安として下さい。

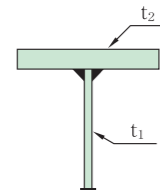


表6 溶接する板厚の組合せ (mm)

板厚 t_1	t_1 に対する 最大厚 t_2	t_1	t_2	t_1	t_2
3	7	12	28	22	50
4	10	13	30	25	55
5	12	14	32	28	60
6	14	15	35	32	70
7	17	16	37	36	75
8	20	17	39	40	85
9	21	18	40	45	95
10	24	19	42	57	100
11	26	20	45		

表6の組合せを外れる場合については、ひずみ、割れなどの問題のないことを確認して下さい。

ただし、ウェブプレートに大きな穴を明けることにより拘束力を解放することができれば、必ずしも厚くする必要はありません。

② 重なる部分の溶接

図10に示す梁主材とブレース取合いプレートのように、板厚が異なる二枚重ねの場合、重なる部分の面積を20cm平方以下とするのが望ましい。これは板厚差による温度分布不均一から熱膨張あるいは収縮により、プレートが変形を起こすばかりでなく周辺の溶接に亀裂を生じる可能性もあるからです。プレート面積が大きい場合は、それぞれをめっきした後ボルト接合とするか、もしくは20cm平方を超えるごとに1カ所の栓溶接をすることがあります。

溶接継目を断続溶接すると、めっき工程中の酸分またはフラックス液が溶接していない部分から内部に浸透し、その液がめっき前またはめっき後に、にじみ出し、不めっきまたは亜鉛を溶解する原因となります。従いまして図11に示すような母屋・胴縁ピースなど通常鉄骨造では二面しか溶接しないものも、溶融亜鉛めっき構造では四面の溶接が必要です。

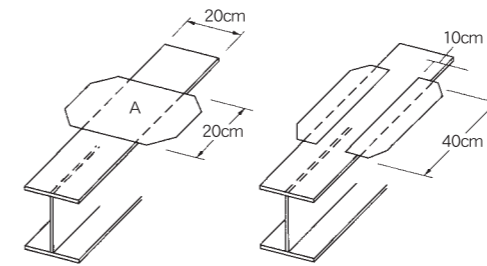


図10 重なる部分の溶接

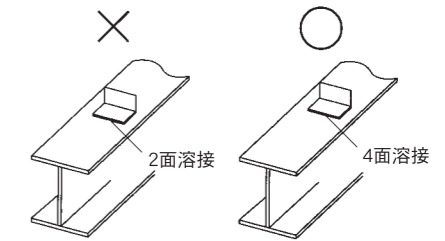


図11 ピースの溶接

③ ビルトアップHの部材形状

ビルトアップHのウェブ板厚 t とせい D との関係は $t > D/100$ を目安として下さい。しかしウェブ板厚が6mm以下の場合には $\pm D/150$ 程度の波状のひずみが発生しますので9mm以上として下さい。

またせい D が600mm以上の場合には1.0～1.5D間隔に図12のようなスチフナーを入れることによりウェブのひずみを減少させることができます。この時スチフナーは厚さ9mm以上としてスカラップは上下共にR40以上として下さい。

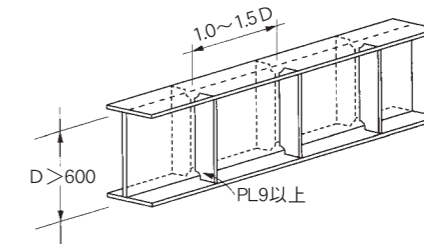


図12 スチフナーによるウェブのひずみ防止

④ 溶接ビートの処理

熱変形により溶接ビートに亀裂を生じる恐れがありますので最少溶接長さは50mm以上として下さい。なお、周辺の溶接にピットがある場合、ここから水分が入り、この水分が膨張することによりプレートに変形が生じるので溶接は念入りに行なう必要があります。溶接スラグはめっきの際不めっきの原因となるのでこれを除去しておく必要があります。溶融亜鉛めっき工場で行なっている通常の前処理では除去できませんので、あらかじめブラスト法またはジェットタガネなどの機械的衝撃で完全に除いておかねばなりません。

⑤ 溶接スパッターの処理

溶接スパッターが付着したまま、めっき加工をしますと外観を大きく損ないますので、あらかじめ製作工程で除去して下さい。

また、溶接スパッターの付着を軽減するためスパッター防止剤を使用する際は焼付かず、かつめっき前処理工程のアルカリ脱脂、酸洗に可溶なものを使用して下さい。

一部油性スパッター防止剤の焼付き皮膜が前処理工程を阻害し不めっきを引き起こすことがあります。不明な際はスパッター防止剤メーカーまたは当社まで、お問い合わせ下さい。

2.4 予防処置の具体例

① ベース部の場合

ベース部補強材のリブ部には空気や亜鉛がたまりやすいので、図13のようにスカラップ（切り抜き）をとるか、または十分なすきまをあけてください。

また、底面などの孔あけが必要です。

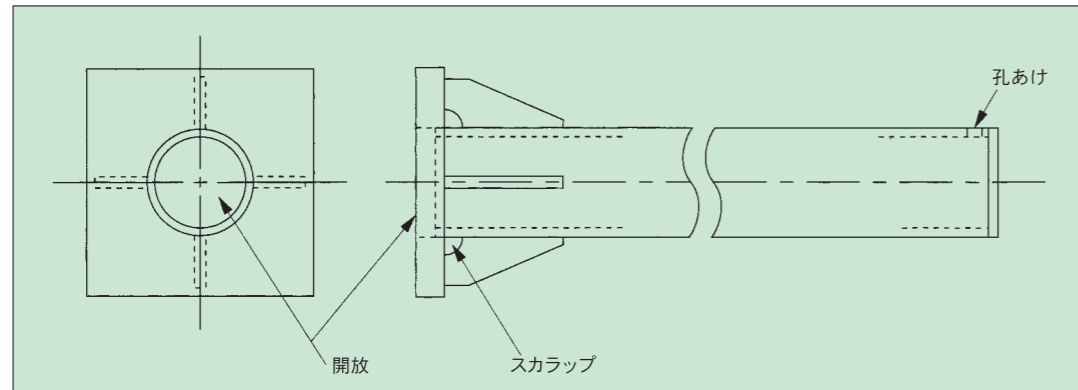


図13 ベース部の処置

② 形鋼製品の場合

形鋼による加工品は、その組合せや補強材の位置などによって、密閉状態になったり箱状になる箇所があります。そのままの状態では空気や亜鉛がたまりやすく、完全なめっき加工ができません。図14に示すように、適切な位置にスカラップを設けるか、十分なすきまをあけてください。

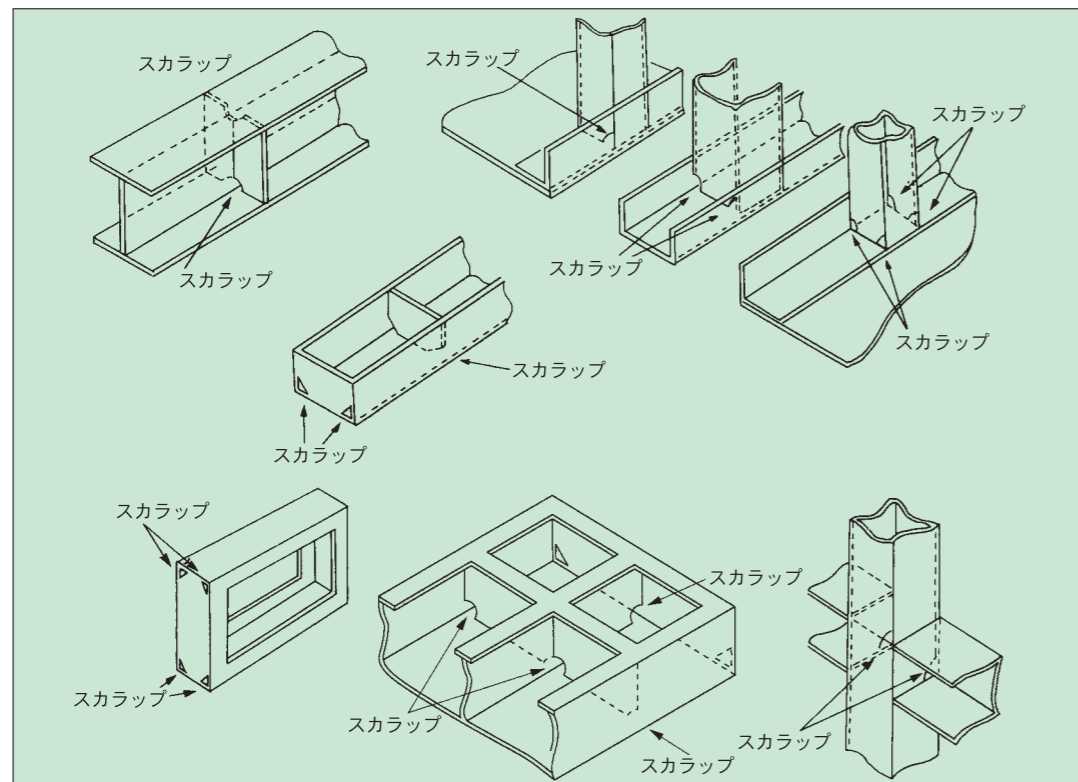


図14 形鋼製品の処置

③ タンク構造の場合

タンク底部にまったく開口部がない場合は、正常なめっき加工はできません。

底部対角線方向のコーナー部に2つの開口部を設けてください。

また、図15のように内部にカエリ部分がある場合にも、不めっきを防ぐため孔をあけるか、カエリ部分をなくすような構造にしてください。

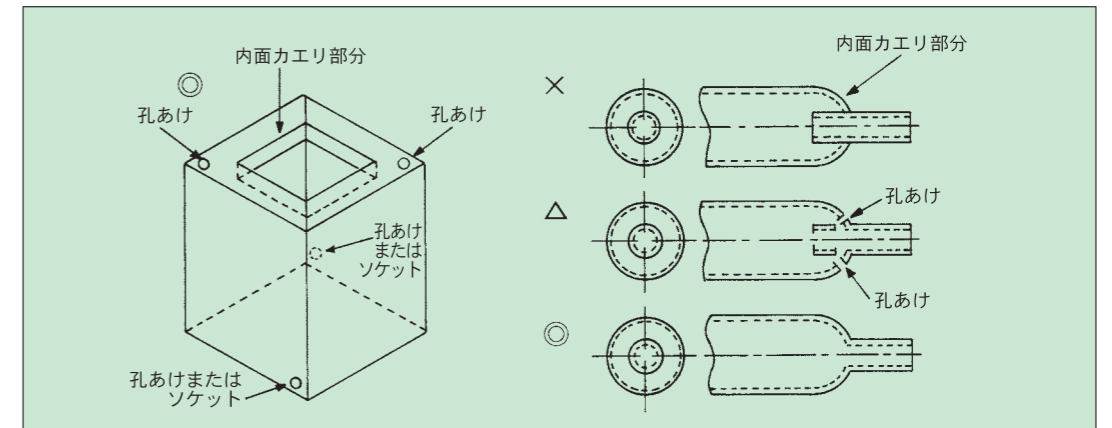


図15 タンク構造の処置

④ はり合わせの場合

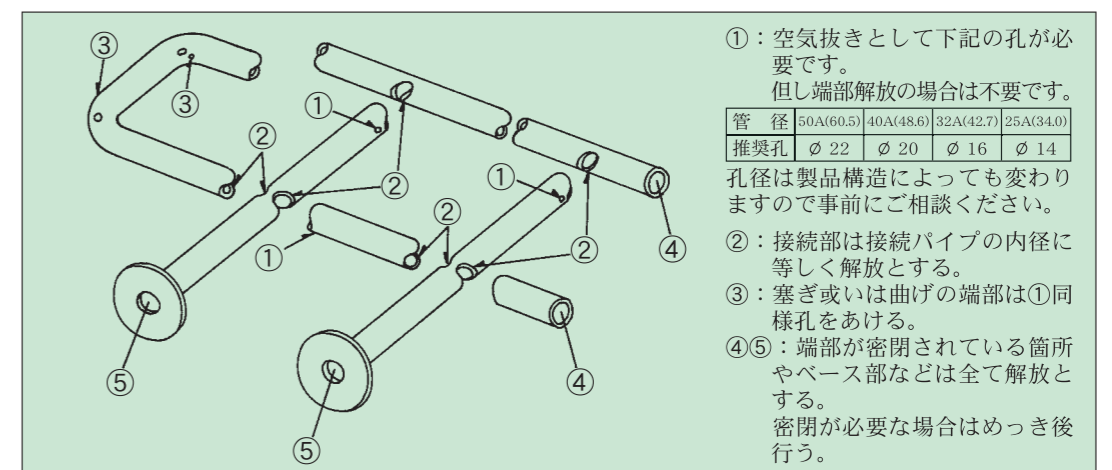
材料をはり合わせた状態で全周溶接した製品の場合、溶接部のクラック、ピンホールから侵入した水分や残留空気などが急速に膨脹して爆発をおこす場合があります、たいへん危険です。

従って、はり合わせの場合事前にご相談いただく必要があります。

⑤ 管構造の場合

管構造の場合、管の両端を密閉状態にすると、正常なめっき加工が出来ないばかりでなく溶接部のクラック、ピンホールから侵入した水分や残留空気などが急速に膨脹して爆発をおこす場合がありますたいへん危険です。必ず各管に開口部を設けてください。

図16は、接続部がパイプ内径に等しい開口構造であり、この構造は、めっき後の外観品質上最もよい方法です。



①：空気抜きとして下記の孔が必要です。但し端部解放の場合は不要です。

②：接続部は接続パイプの内径に等しく解放とする。

③：塞ぎ或いは曲げの端部は①同様孔をあける。

④⑤：端部が密閉されている箇所やベース部などは全て解放とする。密閉が必要な場合はめっき後行う。

図16 管構造の処置

パイプやボックス形状の製品でベースプレートなどが付いている場合は、両端が管の内径に等しくあいているのが、めっき後の外観品質上最もよい方法です。(図17)

強度上それが困難な場合及び中間の補強板がある場合は、それぞれ中央部及び四隅に孔や切欠きが必要です。

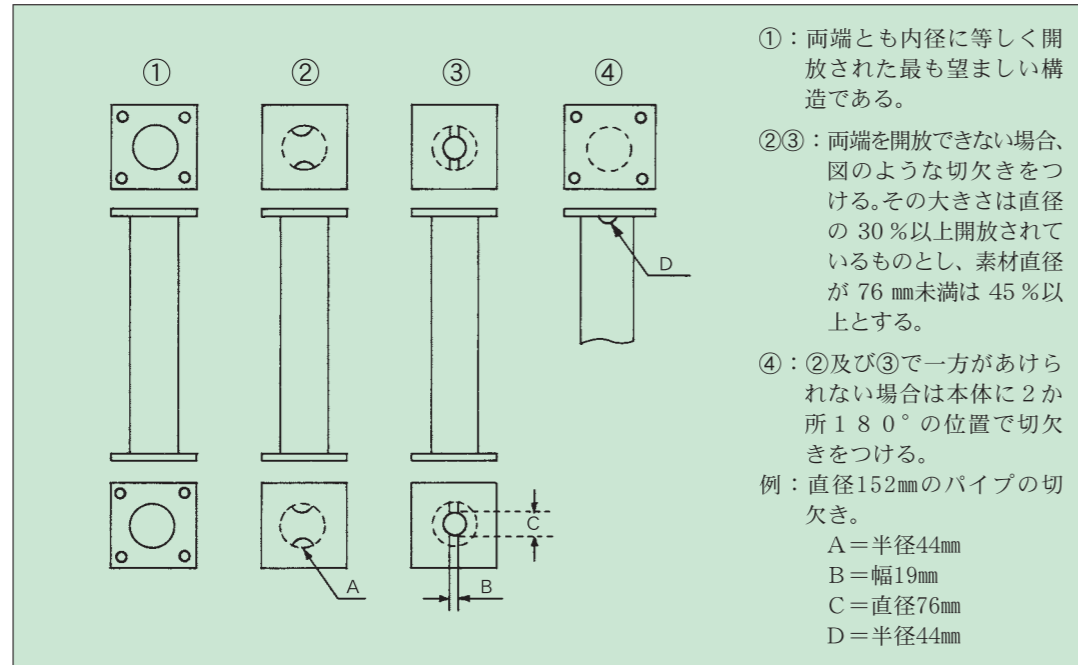


図 17 ボックス形状の処置

⑥ 鉄骨コラム柱の場合

近年、建築鉄骨への溶融亜鉛めっきが増加しております。ここでは良好なめっき加工を行なうために必要な抜孔について、コラム柱のダイヤフラム、ベースプレートを例にとり示します。(図18、表7)

コラム柱などの中空体製品は密閉構造による浮力のため、めっき加工が困難となりめっき品質を損なう場合があります。密閉箇所は空気や亜鉛が速やかに流入、流出できる十分な孔が必要となります。

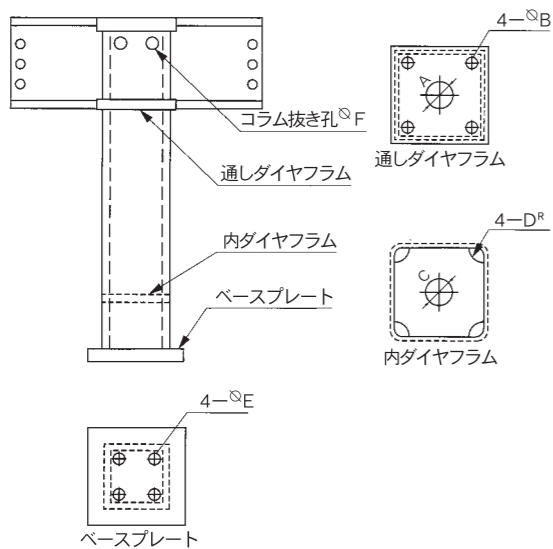


図 18

表 7

部位 コラムサイズ	通しダイヤ フラム	内ダイヤ フラム	ベース プレート	コラム 空気抜き孔
	φA	4-φB	φC	4-D ^R
□200×200	70	40	70	50
□250×250	80	50	80	60
□300×300	120	50	120	60
□350×350	130	60	130	60
□400×400	150	70	150	70
□450×450	150	80	150	80

⑦ ねじ付部材の場合

めっき工程後、冷却前に遠心分離機等によってねじ部のたれ切りが可能な製品は問題ありませんが、大形構造物でボルト、ナット等が直接溶接されている製品については、めっき後ダイス、タッピングを用いて、ねじ部をさらえる必要があります。

またねじ部に不めっき処理剤を塗布したりシーリング材を充填しねじ部のみを不めっきにする方法もあります。

めっきを施す製品でタップ加工する箇所がある場合、下穴のみでめっき加工し、めっき加工後タップ加工を行う方法もあります。

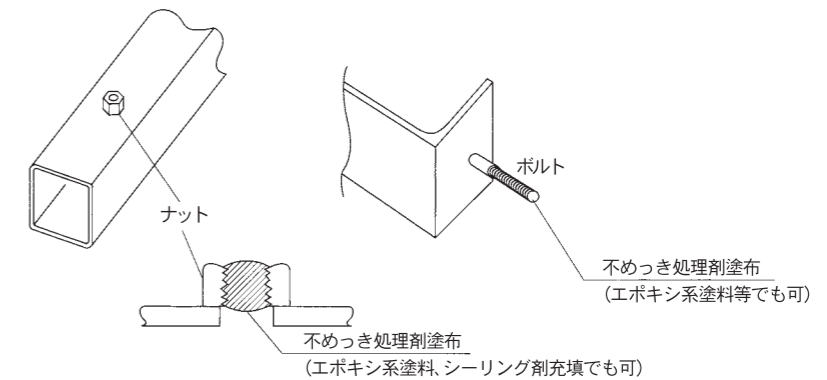


図 19 ねじ付き部材の不めっき処理

⑧ 可動部の場合

スリーブ、シャフト、ハンドル等のはめ合い部、可動部のある製品については分割し個別にめっきする必要があります。やむをえず一体でめっき加工する場合は可動部に亜鉛が固着し、可動できなくなりますので、めっき後部分的に加熱して分離しなければなりません。又、市販されている蝶番が取付く場合は、加熱し分離することが困難ですので、各部材を個別にめっき加工しボルト等で組み立てる方法を行なって下さい。

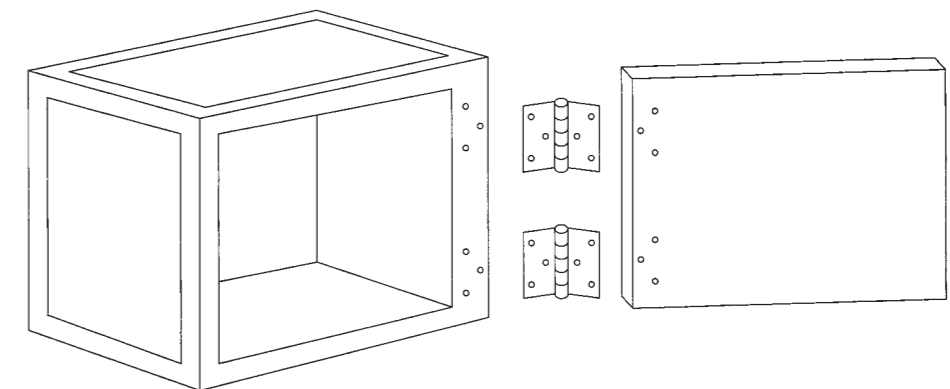


図 20 蝶番の取付く場合の組立て

⑨ 異種金属との組合せがある場合

銅、アルミ、鉛、真鍮、ステンレス、ろう付など亜鉛浴中で溶出したりはずれたりしますので避けるべきです。

⑩ 局部的に不めっきにする場合

コンクリートに埋設される鉄筋や鉄骨、又めっき後に溶接される部材などを局部的に不めっきにすることが出来ます。これは不めっき処理剤のように耐薬品性のものを不めっきにしたい部分へ塗布し、前処理加工を出来ないようにしますとスケール、錆等が除去されずに、残ったままとなりめっき槽に浸漬してもその部分は溶融亜鉛めっきの皮膜が形成されず不めっきにする事が出来ます。

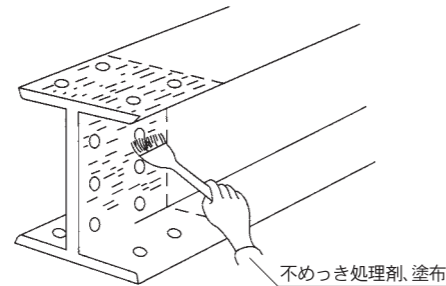


図 21 局部的に不めっきにする方法

⑪ 曲げ加工部材の場合

曲げ加工は、常温加工または加熱加工とし加熱加工の場合は、明輝赤色(850℃～900℃)で行い、青熱ざい性域(200℃～400℃)での加工は行なわないで下さい。

また、常温加工での内側曲げ半径は、表8以上として下さい。表8未満の内側曲げ半径で曲げ加工されますと著しい強度の低下また最悪には切損を引き起こす場合があります。

表 8 常温曲げ加工による内側曲げ半径

部 位		内側曲げ半径	備 考
柱材や梁およびブレース端など塑性変形能力が要求される部位	ハンチなど応力方向が曲げ曲面に沿った方向である場合	8t以上	 r：内側曲げ半径 t：被加工材の板厚
	応力方向が上記の直角方向の場合	4t以上	
上記以外		2t以上	

⑫ その他の状態による予防処置

単一素材又は組合せ素材の状態	処 置
管類又は丸棒の周りに鋼板を巻いたものがある場合	管類又は丸棒と鋼板の油類を加工前に完全に除去する。
鋳物と熱間圧延鋼材との組合せがある場合	鋳鉄、鋳鋼及び可鍛鋳鉄と熱間圧延鋼材とを組合せたものは、ブラスト処理などによって酸化物を除去する。
古い素材と新しい素材との組合せがある場合	極端にさびた古い素材と新しい素材との組合せを避ける。
厚い酸化物のある素材の一部に新たに機械加工を施す場合	機械加工をする前にブラスト処理などを行う。
品質に大きな支障を与える残留応力がある場合	適切な熱処理によって残留応力を取り除く。

2.5 溶融亜鉛めっきによるひずみ

溶融亜鉛めっきを施すことによって、鉄鋼製品にひずみが発生する場合があります。ひずみ量が許容限度内か、あるいは矯正が必要ななどの判断は、その製品の仕様により異なります。

ひずみの発生やその程度の大きさに関与する要因としては、製品の肉厚・形状・寸法・構造・溶接方法・めっき条件などがあげられますが、要因が多岐にわたるため、事前に、定量的にひずみ量を予測することは大変困難です。

一般的には、ひずみの発生に関して次のような傾向があります。

1. 同一形状の場合、鋼材の薄いものや長いものほどひずみは大きくなります。
2. 肉厚・長さが同一の場合は、H形鋼・溝形鋼・山形鋼・平鋼板の順にひずみは大きくなります。
3. 管状物の場合、径が大きいものほど、管長に対するひずみは小さくなりますが、真円度は低下します。

① ひずみ発生の原因と防止対策

鉄鋼製品のひずみは、通常430～460℃の亜鉛浴へ浸漬し、引続き冷却される過程で受ける急激な熱変化のために起こるものですが、そのほかにも、製品の製造過程における素材の残留応力に影響される場合があります。

表9は、代表的なひずみの発生原因と、その対策例を示したものです。

表 9 ひずみの発生の原因と防止対策

ひずみ発生原因	防 止 対 策
めっき浸漬、引上げおよび冷却時の部分的な温度差	めっき方法および条件の改善
被めっき製品の自重によるたわみ	めっきセット方法の改善・補強材の利用
冷間加工による鋼材の残留応力	補強材の利用・焼鈍
溶接による引張りおよび圧縮応力	溶接方法の改善・焼鈍
肉厚の著しく異なる部材の組み立て品	部材別にめっき
空気抜きの困難な構造	孔あけ・構造の変更

② 反りとひずみについての対策例

■溶接方法

溶接部分は一般に反りやひずみが発生しやすい箇所です。図22は、それぞれの溶接方法について、反りやひずみの発生する傾向と対策を示したものです。

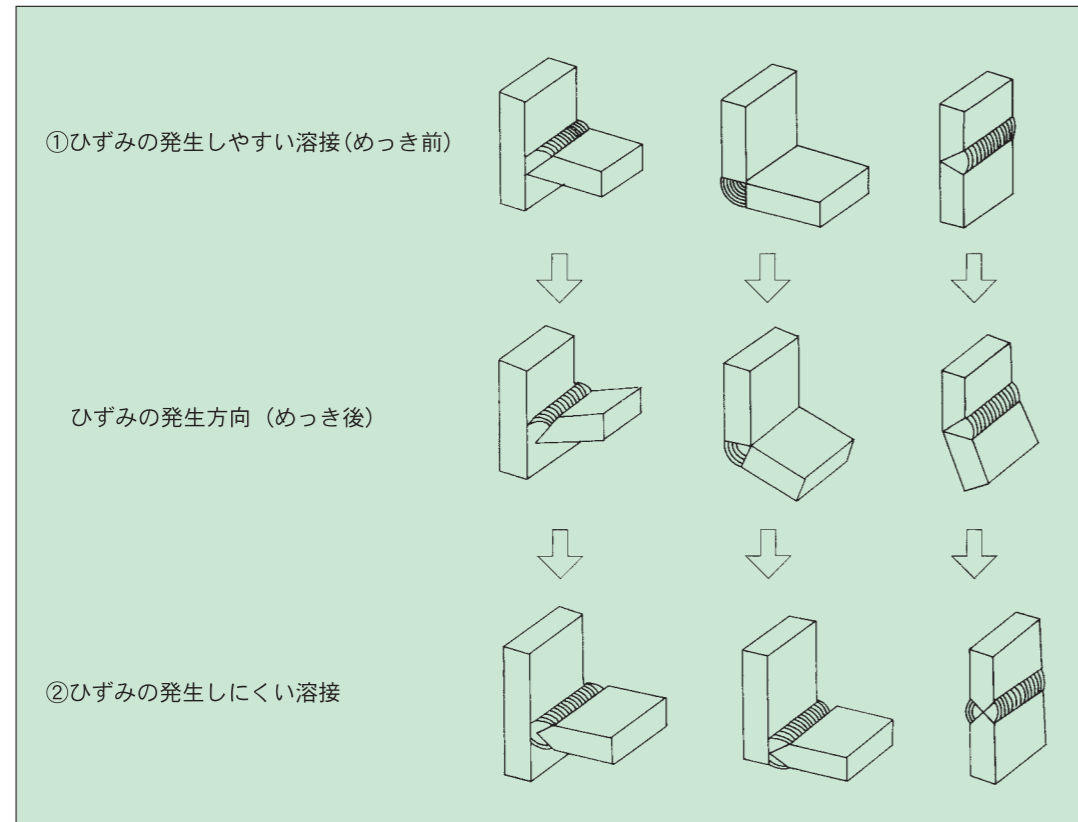


図22 溶接方法によるひずみの発生する傾向と対策

■組立て前のめっき

板厚のちがいなどにより発生する反りやひずみを防止するには、図23に示すように解体状態で部分ごとにめっきを施したあと、ボルト・ナットにより組立てる方法があります。

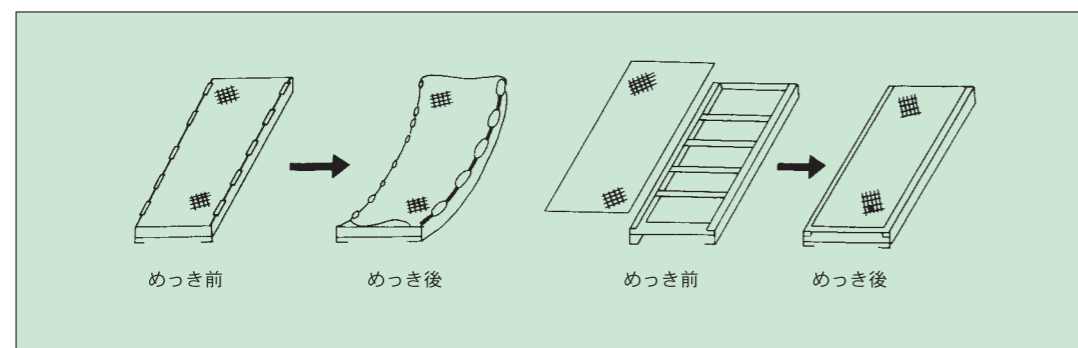


図23 組立て後と前のめっき

■補強材の使用

また、反りやひずみの発生しやすい場所に平鋼などを溶接し、強度を高める方法もあります。ただし、この方法は一般的な規定をすることが困難なので、事前にご相談いただくことをおすすめします。

3. 溶融亜鉛めっきと鋼材

3.1 めっき後の機械的性質

溶融亜鉛めっきが鋼材の機械的性質に与える影響は、ほとんどないと言われております。低合金高張力鋼の亜鉛めっき前後の強度変化を図24、25に示します。

これによるとSM41、SM58Q材ともめっき後もJISの規格値を満足し、めっき前(素材)の降伏点、引張り強さ伸びなどの機械的性質と比べ顕著な差は認められません。

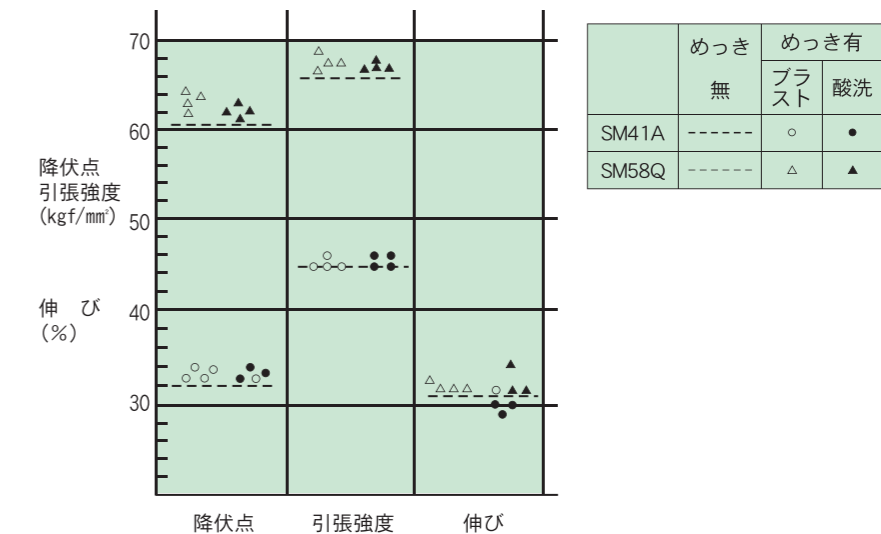


図24 亜鉛めっきによる強度変化(素材)
(鋼板桁の溶融亜鉛めっき〔昭和48年〕)

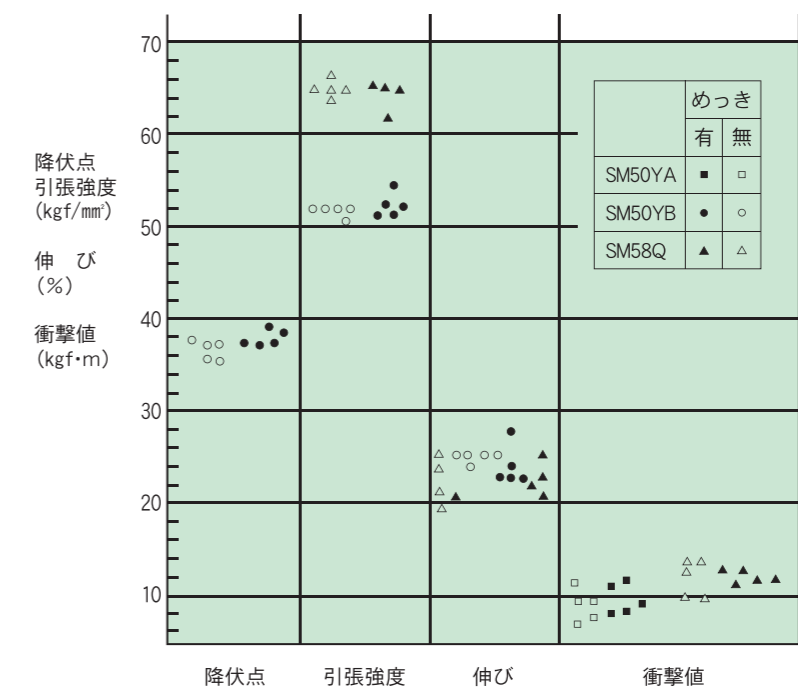


図25 亜鉛めっきによる強度変化(溶接部)
(鋼板桁の溶融亜鉛めっき〔昭和48年〕)

3.2 めっき処理に関するぜい化現象

鋼製品に溶融亜鉛めっきを施した場合、部材構成板厚差の大きいもの、複雑なディテールの溶接部材および曲率の小さい冷間加工部材などに、われが発生することがあります。その要因として下記のぜい化現象が考えられます。

① ひずみぜい性

一般に残留応力のある鋼材の温度を400℃付近に短時間で上げるとぜい化するといわれており、めっき時のわれもこれと同じ残留応力のひずみ時効ぜい化とされています。

このぜい化を防ぐ方法として、曲げ加工時の適切な曲げ半径(17P参照)、パンチングによる孔あけ板厚($t \leq 12$)、鋼材の炭素含有量($C \leq 0.25\%$)の制限などが有効といわれています。

② 水素ぜい性

鋼材の水素ぜい化は、鋼中の拡散性水素の挙動に左右されるといわれ、溶融亜鉛めっき前処理時の酸洗工程がこの状態にあたります。

ぜい化しやすい鋼材としては、C、Mn、Siなどの含有率の高い高張力鋼、高い内部応力が残留している鋼材、熱処理材などがあげられる。特にバネ鋼や80kgf/mm²級鋼については、水素ぜい化についての配慮が必要です。これらのめっき時の酸洗工程のかわりにプラストによる不純物の除去を行うのも一つの方法です。

③ 青熱ぜい性

鋼は200～400℃で伸び、絞りが減少します。この現象を青熱ぜい性ということはよく知られています。

溶融亜鉛めっきに際してはめっき浴への浸せきと、冷却時にこの温度域を通過するが、この時大きな応力が生じるような外力を加えるとわれが発生する恐れがあります。

④ 熱応力によるひずみ

部材をめっき浴へ浸せきする時と冷却の際、部分的にかなりの温度差が生じます。部材構成板厚差の大きい場合は、非常に大きな温度差となりひずみが生じます。

⑤ 液体金属ぜい化

液体金属ぜい化われは、鋼材に液体亜鉛などの低融点金属が接触するとぜい化し、結晶粗界われを生じる現象です。

3.3 鋼材の溶融亜鉛ぜい化現象例

溶融亜鉛ぜい化現象は、気温大気中の破断応力以下の比較的低い応力条件下において鋼材が亜鉛浴中で破断、または亀裂が発生する現象であり、図26に十字すみ肉溶接試験片を用いて亜鉛浴中での亀裂発生応力を求めた実験データを示します。なお、亜鉛によるぜい化現象については、亜鉛が鋼材の結晶粗界に拡散し粒界強度を低下させるために生ずると一般的に考えられています。

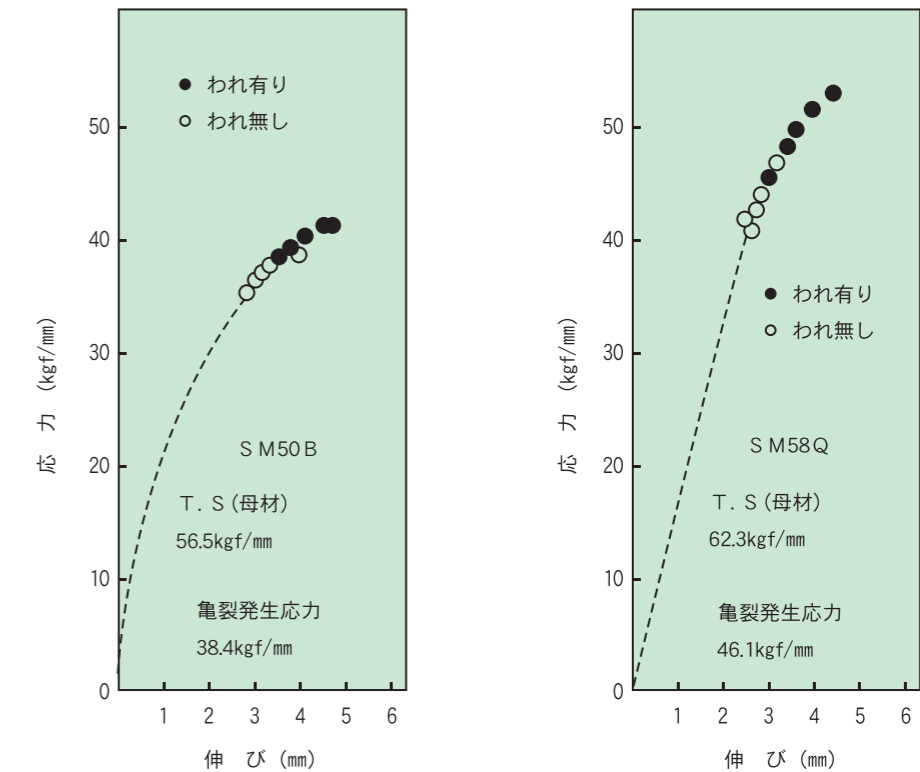


図 26 めっき中での十字すみ肉溶接試験における鋼材ぜい化現象の例
(資料：菊池昌利・他、溶融亜鉛中における鋼の溶接強度、材料、Vol.30.1981.6)

この亜鉛浴中での鋼材のぜい化現象への対応のため、さらにそれから誘因される亜鉛ぜい化われ発生の可能性を無くするためにも、下記に示すような設計、製作面での配慮が重要となります。

- 過剰な溶接、加熱矯正による残留応力の増加を防止すること。
- 溶接部止端での表面欠陥の発生を防止すると同時に止端形状を極力滑らかにし、止端での応力集中を軽減すること。

3.4 鋼材の化学成分とめっき品質の関係

鋼材の化学成分が鉄-亜鉛合金反応へ与える影響は、一般に表10のようにいられています。

表 10 化学成分と鉄-亜鉛合金反応

元素名	鉄-亜鉛合金反応への影響
炭素 (C)	0.2%くらいまでは合金反応に影響を及ぼさないがこれ以上含有率の高いものは合金反応が激しくなります。
ケイ素 (Si)	0.05%~0.12%および0.24%をこえると合金反応が激しくなり、異常に厚いめっきになったり、合金結晶が表層にまで露出して、やけめっきの原因になりやすい。
マンガン (Mn)	1.35%以下では影響が少ないが、これ以上になると合金反応が激しくなります
リン (P)	含有量が増加すると合金反応が活発になる傾向を示す。激しい場合、めっき皮膜は、はく離することがあります。めっき膜厚とりん量との関係を図27、図28に示します。
クロム (Cr)	0.06%含有すると合金層の厚みが2倍程度に増えます。
ニッケル (Ni)	数%以上では合金反応を抑制する。
硫黄 (S)	JIS規格内の含有量では影響がない。

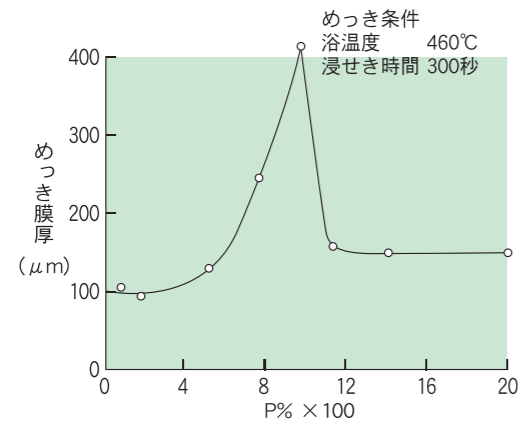


図 27 めっき膜厚とP量との関係

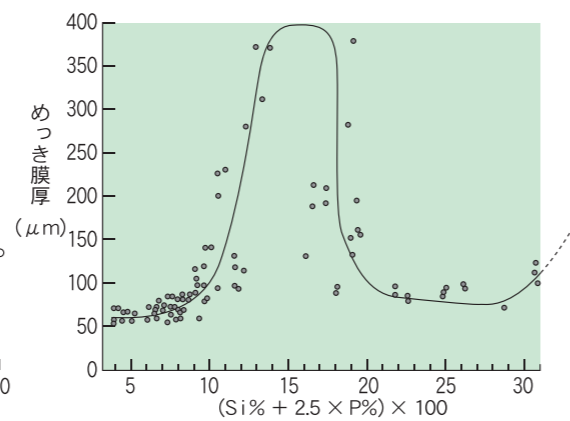


図 28 めっき膜厚とSi+2.5×P量との関係

■めっきやけの発生原因と対処

材質は「やけ」の発生に最も大きな影響を与えます。一般的な化学成分としては、炭素、ケイ素、マンガン、リン、硫黄等があります。熔融亜鉛めっきからみた場合、ケイ素以外の成分は通常の含有範囲では特に問題となることはありませんが、ケイ素は通常のキルド鋼での含有範囲でも「やけ」に大きな影響を及ぼします。

なかには「やけ」ばかりでなく、めっきの異常付着を引き起こし、極端な場合はめっきが剥離、あるいはめっき表面に凹凸が出来る場合もありますので、材料選定の際はミルシートでの確認もしくは熔融亜鉛めっき用と指定して頂く事をお奨めします。

また、製品の形状、寸法も「やけ」に影響します。特に構造の複雑な鉄鋼製品、製缶品で空気や亜鉛の出入口が不適切な場合、めっき槽からの引上げ操作に長時間を要し「やけ」の恐れがあります。

ケイ素は他の元素に比べ最もめっき皮膜厚さに影響を及ぼす元素とされています。その含有量とやけならびに付着量との関係を調べた一例を図29、図30に示します。

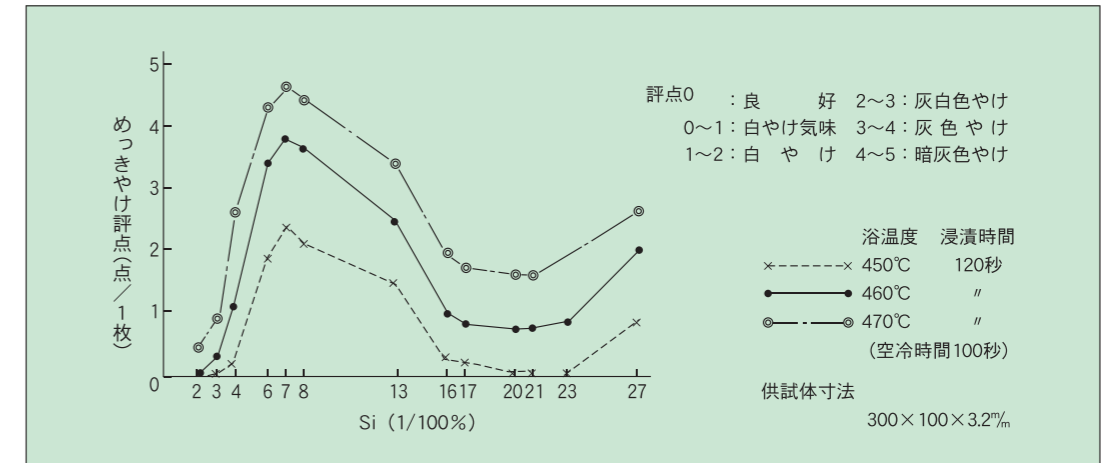


図 29 めっきやけ評価とSi量の関係

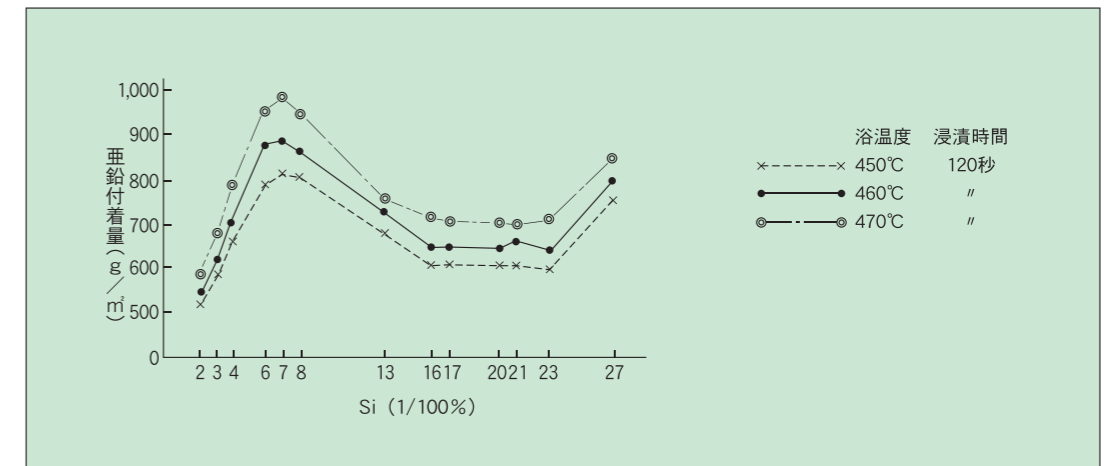


図 30 亜鉛付着量とSi量の関係

1. 鋼中のSi量の増加とともに、「やけ」および亜鉛付着量は増大し、0.07%Si付近で最大となります。
2. 0.16~0.23% Si範囲では、Fe-Znの相互拡散が抑制され、「やけ」の程度および亜鉛付着量は減少します。
3. 0.24%Siをこえると、再び「やけ」および亜鉛付着量は増大する傾向にあります。
4. Si量の高い鋼材の「やけ」防止対策としては、めっき温度を低くおさえるとともに、引きあげ速度をはやくし、空冷時間を短縮する方法があります。ただし、高い品質を保証できるめっき温度は、一般に440~460℃の範囲ですが、この範囲で「やけ」を生じない鋼中Si量は、およそ0.02%以下に限られます。
5. 「やけ」が発生しましても、耐食性には問題無く、密着性に異常がなければ実用上障害とはなりません。

4. 溶融亜鉛めっきの品質

4.1 溶融亜鉛めっきの種類と試験

① 溶融亜鉛めっきの種類

めっきの種類を表11に示します。

表 11 めっきの種類

種類	記号	硫酸銅	付着量	平均めっき	適用例 (参考)
		試験回数	g/m ²	膜厚 μm(参考)	
1種A	HDZ A	4回	—	28~42	厚さ5mm以下の鋼材、鋼製品、鋼管類、直径12mm以上のボルト・ナット及び厚さ2.3mmを超える座金類。
1種B	HDZ B	5回	—	35~49	厚さ5mmを超える鋼材・鋼製品、鋼管類及び鋳鍛造品類。
2種35	HDZ 35		350以上	49以上	厚さ1mm以上2mm以下の鋼材・鋼製品、直径12mm以上のボルト・ナット及び厚さ2.3mmを超える座金類。
2種40	HDZ 40		400以上	56以上	厚さ2mmを超え3mm以下の鋼材・鋼製品及び鋳鍛造品類。
2種45	HDZ 45		450以上	63以上	厚さ3mmを超え5mm以下の鋼材・鋼製品及び鋳鍛造品類。
2種50	HDZ 50		500以上	69以上	厚さ5mmを超える鋼材・鋼製品及び鋳鍛造品類。
2種55	HDZ 55		550以上	76以上	過酷な腐食環境下で使用される鋼材・鋼製品及び鋳鍛造品類。

- 備考 1. HDZ55のめっきを要求されるものは、素地の厚さ6mm以上で有る事が望ましい。素材の厚さが6mm未満のものに適用する場合は、事前に受渡当事者間の協定による。
2. 表中、適用例の欄で示す厚さ及び直径は、こしょう寸法による。
3. 過酷な腐食環境は、海淵粒子濃度の高い海岸、凍結防止剤の散布される地域などをいう。
4. めっき膜厚とは、めっき表面から素材表面までの距離をいう。
5. 1種A及び1種Bの平均めっき膜厚欄の数値は、硫酸銅試験回数から推定した最小めっき皮膜厚さの範囲を示す。
6. 平均めっき膜厚は、めっき皮膜の密度を7.2g/cm³として、付着量を除した値を示す。

公共建築工事標準仕様書(建築工事編) 14.2.3 鉄鋼の亜鉛めっきの付着量は表12に示します。普通ボルト・ナット及びアンカーボルト類はC種とします。

表 12 溶融亜鉛めっきの付着量

種 別	A 種	B 種	C 種
付 着 量 g/m ²	550 以上	450 以上	350 以上
最 小 板 厚 (mm)	6.0 以上	3.2 以上	1.6 以上

② 付着量および密着性試験

めっきの付着量および密着性試験を表13に示します。

表 13 めっきの付着量および密着性試験

試験項目	試験方法	試 験 片	試験頻度および判定
a) 付着量試験	JIS H0401 間接法による	100×100mmもしくは長さ60mm	受注ロットの主要部材毎 n=1、C=0 規格値以上
b) 密着性試験	JIS H0401 ハンマ試験による。	40×40mm以上肉厚8mmを超えるもの	受注ロットの主要部材毎 n=1、C=0 打痕間の浮き上がり又は、はく離があってはならない。
	JIS H0401 目視による。	製 品	全数、通常の取扱いによるめっき皮膜のき裂又は、はく離があってはならない。

4.2 外 観

めっき外観は受渡当事者間の協定による用途に対して使用上支障のある不めっきなどがあってはならない。基準を表14に示します。

表 14 外観基準

現 象	許容する	許 容 し な い	処 置
不めっき	あってはならない	製品全表面積の0.5%以下、かつ各々の不めっき面積は5cm ² 以下のもの	高濃度亜鉛末塗料の塗布
		製品全表面積の0.5%を超える、又は各々の不めっき面積は5cm ² を超えるもの	再めっき
や け	通常の扱いではく離しないもの	通常の扱いではく離するもの	再めっき
た れ	付着状態が滑らかなもの	突起状のもの	手直し
		全体の20%を超えるもの	再めっき
シ ーム	使用上実害が無いもの	使用上実害がありかつ全体の20%以下のもの	手直し
		使用上実害がありかつ全体の20%を超えるもの	再めっき
かすびき	あってはならない	全体の20%以下のもの	手直し
		全体の20%を超えるもの	再めっき
ざらつき	微粒状のもの	大きい粒状(2mm程度)で全体の20%以下のもの	手直し
		全体の20%を超えるもの	再めっき
き ず	あってはならない	製品全表面積の0.5%以下、かつ各々の不めっき面積は5cm ² 以下のもの	手直し
		製品全表面積の0.5%を超える、又は各々の不めっき面積は5cm ² を超えるもの	再めっき
変 色	めっき引き上げ時に生じる光の干渉・反射によるもの	保管中の薬品などの付着によるもので全体の20%以下のもの	手直し
		保管中の薬品などの付着によるもので全体の20%を超えるもの	再めっき
白さび	保管中の雨水の付着、結露によるもの	—	—

※1 手直しとは、ヤスリ、グラインダー掛けおよび高濃度亜鉛末塗料の塗料の塗布を言う。

※2 不めっき以外の不良品の処置は受渡当事者と良く協議して決定する。

■白さびの発生原因と特性

白さびは、めっき層が雨や露で濡れて、容易に乾燥しないような環境にさらされたときに発生します。塩基性炭酸亜鉛(2ZnCO₃・3Zn(OH)₂・H₂O)が主成分で、めっき層の一部が乾燥し、一部が濡れている状態で、その境界線に隣接する濡れている側のめっき層上に多く見られます。水滴は、わずかでも塩類を含み電気を伝え、外周は空気に触れているために、内部より空気中の酸素を多く溶解しています。このような状態の時に酸素濃淡電池という現象で白さびが発生します。

白さびは、著しく侵食されているように見える場合がありますが、実際の亜鉛減量はめっき膜厚にして1ミクロン以下で、耐食性能上、特に影響がなく、白さびの発生環境から開放されると次第に脱落し、めっき表面には緻密な保護性皮膜を形成し日時とともに通常部と外観上の差もなくなります。

5. 溶融亜鉛めっき面の塗装

通常、溶融亜鉛めっき製品は微細な不めっき部の補修に高濃度亜鉛末塗料（ローバル）を塗布しますがめっき加工後に塗装する場合、そのローバル補修が塗装に対し悪影響を及ぼす場合があります。

塗装仕様の製品にはローバル補修をしない方法がありますのでご注文の際にご指示ください。

5.1 塗装目的

溶融亜鉛めっき製品に塗装する目的は、その用途によって種々異なりますが大別すると

- (1) 市街地、道路など周囲との色彩調和による環境美化のため塗装する。
- (2) 自動車の安全運転のため、溶融亜鉛めっき製品に色彩をつける。
- (3) 法律上、航空機ルートなどで地上60m以上の建造物には赤白の縞模様の塗装をする。
- (4) 美観と合わせて、特に長期防食が必要とされる鉄鋼製品。

溶融亜鉛めっき上の塗装の長所は、塗膜が一部破損しても下地の亜鉛が鉄鋼を防食し鉄鋼製品は被害をうけません。従って塗膜はさびによって汚染されることがなく、破損隣接部の塗膜は浮き上がりません。しかし、溶融亜鉛めっき鋼上の塗装は密着性が悪く、どんな塗料でも溶融亜鉛めっき上に直接塗装できるとは限りません。

亜鉛めっき表面と塗料の密着性が悪い場合には、塗装後数カ月で塗膜がはく離してしまうことがあります。

しかし十分な配慮と管理の下で施工されますとその塗膜の密着性は良化し、長期にわたり期待通りの効果が得られます。

5.2 素地調整と塗料

溶融亜鉛めっきの表面状態はめっき直後は光沢のある活性な状態にありますが時間の経過とともに徐々に光沢を失い酸化皮膜に覆われてきます。まためっき直後でも雨、露により白さびが発生する場合もあり亜鉛めっきの表面は、常に同一状態ではなく、塗装前にその表面状態に応じた素地調整が必要です。塗料の種類によっても異なりますが概ね次のような素地調整が必要です。

- (1) 素地の汚れ、ごみ、砂塵、白さび等の付着物を完全に除去する。
- (2) 無処理やケレン処理よりもエッチングプライマーを塗布する方が良い。また塗料によっては付着物を除去するだけでプライマー処理なしでも、良好な密着性が得られるものもあるが、プライマー処理することにより、より良い密着性が得られる。

又、一般的に溶融亜鉛めっき表面に対し安定した密着性が得られる塗料は塩化ゴム系、エポキシウレタン系です。フタル酸系、ビニール系、ウレタン系等は不安定な塗膜密着性を示しプライマー処理することで改善はしますが塩化ゴム系、エポキシウレタン系ほど密着性を高める事は出来ません。

以上のように製品の使用環境や用途、経済性などを考慮して適切な選択が必要です。近年、塗料自体の性能も向上し、色々な塗装技術も開発されています。詳しくは専門業者にお問い合わせされることをお奨めいたします。

参考文献

溶融亜鉛めっき橋設計・施工マニュアル
溶融亜鉛めっき JIS H8641
溶融亜鉛めっき試験方法 JIS H0410
亜鉛ハンドブック
亜鉛とその耐食性
建築工事共通仕様書
建築標準仕様書・同解説 JASS6鉄骨工事

社団法人 日本橋梁建設協会
日本工業規格
日本工業規格
日本鉛亜鉛需要研究会
日本鉛亜鉛需要研究会
社団法人公共建設協会
日本建築学会

問い合わせ先

北海道内田鍛工株式会社 製造2課

TEL (0123)72-2411

電気と人の新・環境クリエーター



北海道内田鍛工株式会社

〒069-1507 夕張郡栗山町旭台23番地81

TEL (0123) 72-2411 FAX (0123) 72-6023