

溶融亜鉛めっきの 設計・製作上の留意点

亜鉛めっき鋼構造物研究会

目 次

1 . 接合部の設計	1
(1) 溶接接合	1
(2) 高力ボルト接合 (摩擦接合)	1
(3) ボルト接合	2
2 . 設計上の留意点	3
(1) 部材の最大寸法と最大重量	3
(2) 同一ブロックにおける鋼板の厚さの組合せ	4
3 . 製作上の留意点	6
(1) 溶接	6
(2) 部材形状	7
(3) 鋳造品	10
(4) ねじ付部材	11
(5) 可動部	12
(6) 鋼材の化学成分	12
(7) 異材の組合せ	15
(8) 部分不めっき	15
(9) 冷間加工	17
(10) 素材の汚れ	17
(11) ひずみ	18
(12) めっき前後の鋼材の機械的強度変化	19
4 . めっき後の処置	20
(1) めっき被膜の補修	20
(2) 曲げ加工	22
(3) 白さび防止対策	23

溶融亜鉛めっきは、耐食性に優れ、経済的にも有利な方法であるとの理解が高まり、最近ではあらゆる分野で、多岐にわたって、使用されている。

しかし、溶融亜鉛めっきの特殊性のため、設計・製作には留意して頂かなければならない点がある。

溶融亜鉛めっき皮膜の特性を、正しく理解して使用して頂くために、設計・製作上の主な留意点について次にまとめる。

1. 接合部の設計

(1) 溶接接合

溶接で部材を組立てる場合、原則的に溶融亜鉛めっき工程に入る前に、溶接するのが良い。亜鉛めっきを施した部材を、通常の溶接条件で溶接すると、付着亜鉛の影響で溶接の作業性が悪く、溶接部の機械的性質も不安定になり、場合によってはブローホールが発生するなど、健全な溶接部が得られないことが多い。また、たとえ溶接がうまくできても、溶接部の周辺は溶接熱により、付着亜鉛がとばされ、素地が露出するので、ペイントによる補修は避けられない。このような意味からも、亜鉛めっき後の溶接は避ける方向で、設計を行なうのが良い。

しかし、構造物が大きく、又、デザインや構造上やむをえず、亜鉛めっき後、現場溶接する場合が多い。このような場合、健全な溶接ができるよう、溶接部に亜鉛が付着しないよう、不めっき処理を行なってから溶融亜鉛めっきし、溶接後、ジンクリッチペイントなどで補修するのが良い。なお、当然のことではあるが、不めっき処理をして溶接する限り、許容応力度や開先条件等は、通常の場合と全く同様である。但し、溶接部の超音波探傷を行う場合は、亜鉛めっき前に行なうことが必要である。亜鉛めっき表面から行くと正しい探傷ができない。

(2) 高力ボルト接合（摩擦接合）

溶融亜鉛めっき鋼材の高力ボルト接合には、多くの問題があるので、設計に当たっては注意が必要である。

溶融亜鉛めっきボルトでは、製法による遅れ破壊の可能性が大きいことである。

高力ボルトの遅れ破壊とは、本締めされた高力ボルトが締め付け後、ある時間経過した時に特に外力が作用しない状態で突然破断する現象で、一般に水素脆化の一種と考えられている。

溶融亜鉛めっきされた高力ボルトでは、めっき前処理として、短時間ながら酸洗処理が行われる。このとき酸と鉄が反応して、発生した水素の一部が原子状態で、ボルト材中に吸収されることが多い。これに対する対策として、これまでに行われた種々の研究の結果、酸洗処理段階に工夫をこらすなど、亜鉛めっき法に改良を加えると同時に、熱処理温度とめっき温度を適正に選定するなどをおこなってきた。これにより、F 8 T 級の高力ボルトでは遅れ破壊がほとんど起こらない、ことが判明した。このため、現在では溶融亜鉛めっき高力ボルトは、F 8 T 級を使うのが、一般的である。

なお、亜鉛めっきの前処理として、酸洗は塩酸で短時間（20秒以内）行い、めっき温度は焼戻し温度より低い温度で行っている。

なお、「溶融亜鉛めっき高力ボルト接合」をおこなう場合、めっき構造物の設計・施工に際し、建物毎に個別に許可申請をしないで済むように、日本建築センターの構造評定を受け、さらに建築基準法第38条に基づく、建設大臣から認定を得た高力ボルトメーカーが現在7社ある。（神鋼ボルト・日亜鋼業・日鉄ボルテン・住金精圧品工業・滋賀ボルト・三星産業・日本ファスナー）

また高力ボルトの材質・形状及び寸法・許容応力度等は、建築基準法・同施行令、鋼構造設計基準（日本建築学会）による。

高力ボルトの長期及び短期応力に対する許容せん断力および許容張力は表1による。

(3) ボルト接合

SS400級の中ボルトを溶接亜鉛めっきして使う限りは、建設大臣の特認は不要である。なぜなら、前述のように高力ボルトに関しては、建築基準法によって、一般的使用が認められているのは、JIS B 1186に規定された製品だけである。

表1 溶融亜鉛めっき高力ボルトの長期及び短期応力に対する許容耐力

高力ボルトの種類	ボルトの呼び径	設計ボルト張力(t)	許容せん断力(t)				許容引張力(t)	
			長期		短期		長期	短期
			1面摩擦	2面摩擦	1面摩擦	2面摩擦		
F8T	M 16	8.52	2.27	4.54	3.40	6.80	5.03	7.54
	M 20	13.3	3.54	7.08	5.32	10.6	7.85	11.8
	M 22	16.5	4.40	8.80	6.60	13.2	9.50	14.3
	M 24	19.2	5.12	10.2	7.68	15.4	11.3	17.0

高力ボルトは設計ボルト張力を確保するように施工し、せん断力は材間の摩擦力で伝えるものとする。なお、上記許容せん断力は、すべり係数は0.4として下記により求めた値である。許容引張力は、日本建築学会「鋼構造設計・基準」と同じである。

$$\text{許容せん断力} = 0.4 \times \text{Bo} \text{ (設計ボルト張力)}$$

これに対し、中ボルトは建築基準法では、SS400相当の強度のみが規定されているだけであるので、この強度のボルトであれば、溶融亜鉛めっき処理の有無は、関係ないからである。したがって、溶融亜鉛めっきを施した中ボルトを一般的に使用することができるわけである。

ただし、中ボルトを使う場合には、構造物に規模制限があり、一般に軒高9m以下で、かつスパン13m、延べ面積が3000m²以下の構造物に限られるので、この点は注意を要する。

また中ボルトを使う場合の孔径は、建築基準法施行令により、軸径+1mm以下と規定されているが、溶融亜鉛めっきをすると、孔径が0.5mm以上小さくなるため、部材製作および建方時の精度確保に、通常の建物以上の配慮が必要となる。

2. 設計上の留意点

(1) 部材の最大寸法と最大重量

部材は、一度づけでめっきできる大きさに、設計することを原則とする。すなわち、めっき槽の大きさより大きい部材寸法とすると、一度に全体を浸漬す

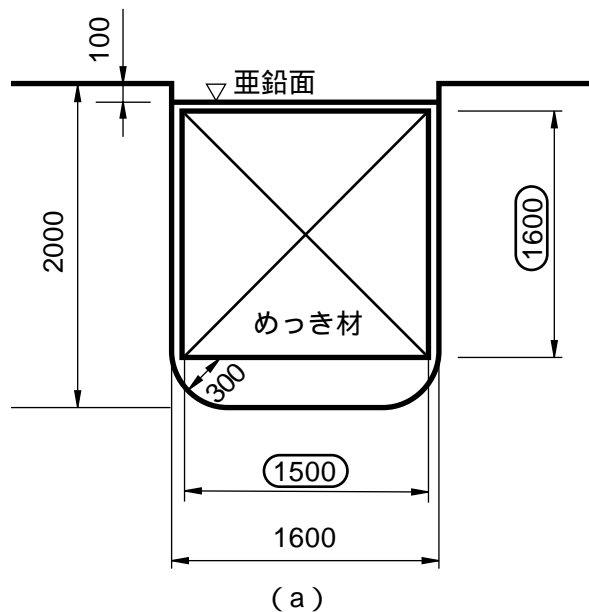
ることができないので、二度づけを余儀なくされる。二度づけをすると、めっきやけの原因となり、外観を損ねる。したがって、構造物の設計に際しては、めっき業者のめっき槽を、事前に調査しておくことが、肝要である。なお、部材の最大重量も、めっき業者のクレーン能力に制限があり、配慮の必要がある。

日本における、めっき槽の最大寸法は、長さ17.0m、幅2.2m、深さ3.6mであるが、めっき業者によって、長さの長い槽、幅の広い槽もしくは深さの深い槽等、組み合わせが、まちまちである。

このめっき槽の大きさに対し、部材寸法は、いくらか小さ目にする必要がある。特に、深さについては、槽と亜鉛面の差、および槽の下部のドロスと呼ばれる亜鉛不純分を考慮する必要がある。このため、槽の底面と部材間に、約30cmの余裕が必要となる。めっき槽の寸法が長さ12.0m×幅1.6m×深さ2.0mの場合を例として、めっき可能な最大寸法を図1の で囲った数字に示す。

(2) 同一ブロックにおける鋼板の厚さの組合せ

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



最大長さは(11,500)である。

図1 めっき材最大寸法(一度づけ)

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。

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あるが、槽に浸漬するブロックで、板厚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る。また、温水冷却の際には、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る。したがって、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ことが必要である。

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2を目安とするのが良い。この表でみるように、 t_1 (ウェブ) が6 mmの場合、 t_2 (フランジ) は、14mm以下でなければならない。

また逆に、 t_2 が20mmであれば、 t_1 は8mm以上のものを使うことが、望ましい。

一般的にいて、厚い板と薄い板との板厚比が、2.5以下であるのが、望ましい。

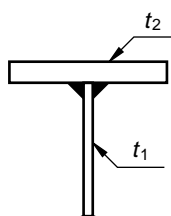


表2 溶接する板厚の組合せ (mm)

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		

3 . 製作上の留意点

(1) 溶接

- ① 溶接継目を断続溶接すると、めっき工程中の酸分、又はフラックス液が、溶接していない部分から内部に浸透し、その液がめっき後に、にじみ出し、不めっき部、又は垂鉛を溶解する原因となる。

従って図2に示すような、母材・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ある。

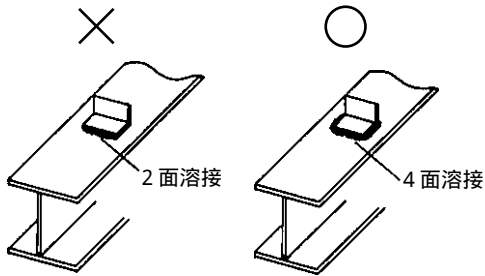


図2

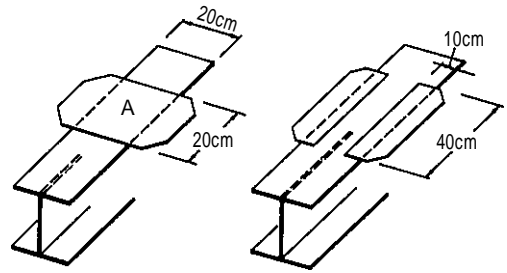


図3

- ② 図3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、400平方センチメートル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ある。

プレート面積が大きい場合は、それぞれを、めっきした後、ボルト接合することが望ましい。同時めっきをする必要がある場合は、400平方センチメートルを超える毎に、1個所の栓溶接をすることも、一方法である。

- ③ 熱変形により、溶接ビードに亀裂を生じる恐れがあるので、最小溶接長さは50mm以上とするのが望ましい。

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、溶接は念入りに行う必要がある。

- ④ 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るが、溶融亜鉛めっき工場で行っている通常の前処理では除去できないから、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らない。また溶接時に発生するスパッタは、美観を損なうので、スラグと同様に除去しておかねばならない。

めっきを施す部材の溶接では、スラグ、スパッタの除去作業が必要となるので、比較的容易にスラグが除去できる、イルミナイト系溶接棒を選び、またスパッタ付着防止剤を塗布してから、溶接するなどの配慮が望ましい。

(2) 部材形状

- ① 断面は左右対称にすることが望ましい。

複雑な部材形状の場合は、拘束が大きくなるので、変形、破損の原因となることもあり、単純な形状のブロックに分割して、別々にめっきし、ボルト接合するのが良い。

- ② 図4に示すようにボックス構造、パイプ構造など閉鎖断面のものは、両端の開口部を大きくし、内部への亜鉛の流入、内部からの流出、を阻止するような、部材は取り付けない。

管端部にフランジプレートなど、密閉する部材がある場合には、亜鉛流出入口と、空気抜き用として、一端に断面積の1/3以上の、他端には1/5以上の開口部を設ける必要がある。

管内部にダイヤフラムが付く場合の開口面積は、管断面積の1/3以上とする。

これらの処置は、鉄と溶融亜鉛では比重差(7.85 - 6.60 = 1.25)が小さいため、空気だまりができると、亜鉛浴中に、浸漬できなくなるた

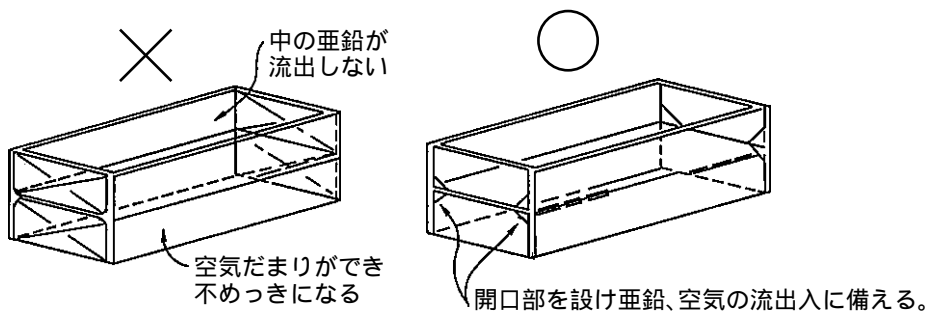
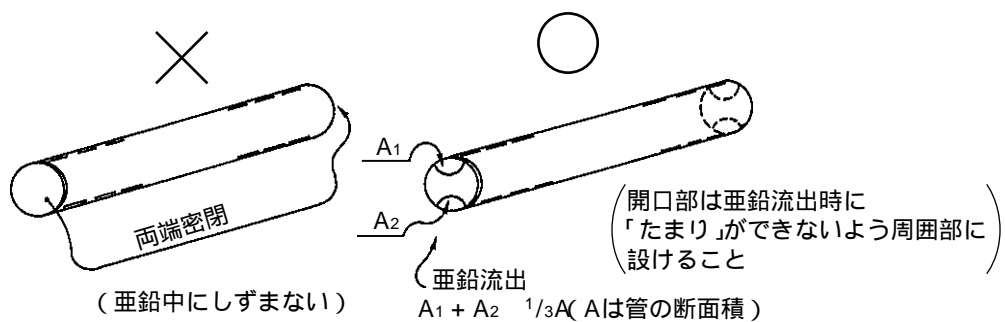


図 4

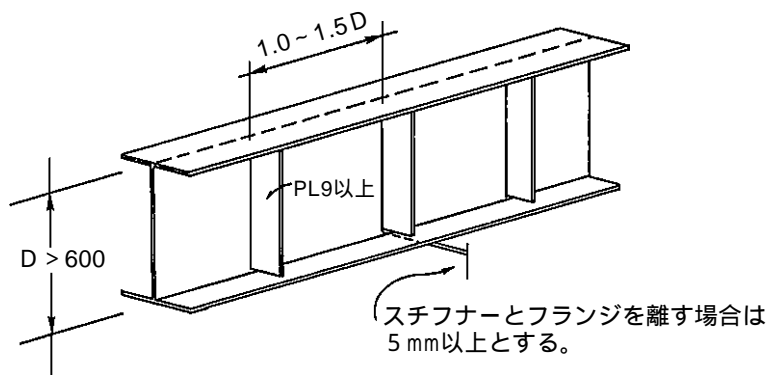


図 5 スチフナーによるひずみ防止

めである。

- ③ ビルドアップH鋼の、ウェブ板厚 t と桁高 D との関係は、 $t > D / 100$ を目安とする。しかしウェブ 6mm の場合は、 $\pm D / 150$ 程度の波状のひずみが発生するので、9mm 以上とするのが望ましい。
- $D > 600\text{mm}$ の場合、ウェブのひずみ防止のために、 $1.0 \sim 1.5D$ 間隔に、図 5 のようなスチフナーを入れることが、望ましい。

スチフナーは厚さ9 mm以上とし、スカラップはR 40mmとする。
これは垂鉛だまりをなくすためである。

④ スカラップ

図6に示すように、形鋼加工品は、補強材との組合せにより、部分的に袋状になる箇所ができる。そのままの状態ではめっきすると空気がたまり、不めっきを生じたり、垂鉛が残留することがある。

溜まった垂鉛を取り除くため、製品を半回転させたりするなど、めっき操作が煩雑になり、外観が悪くなる。

このような問題をなくすには、必ずスカラップを設ける必要がある。

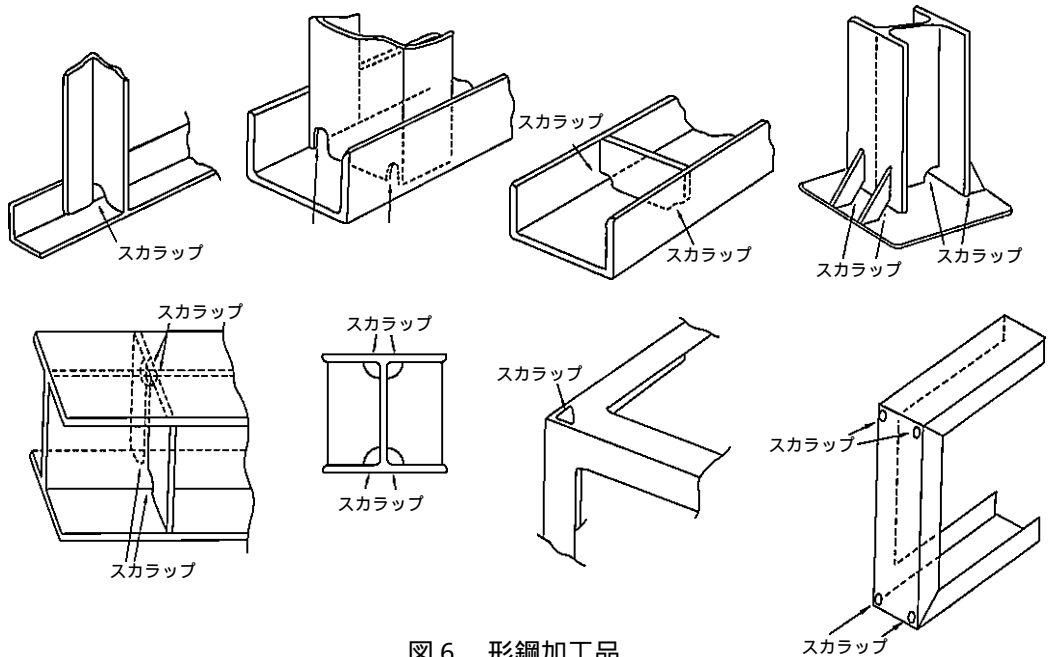


図6 形鋼加工品

⑤ 鋼管の組立品

密閉箇所は、対角方向の両端部または、隅部に空気や垂鉛が流入流出するのに十分な穴が必要になる。

鋼管の溶接は、図7のように管内部に空気だまり、垂鉛だまりができ

ないように穴をあけてから、溶接することが必要である。

穴の大きさは、溶けた亜鉛の流れる貫通孔では管内径の2/3以上、
空気孔となる外部孔は、直径10mm以上が必要である。

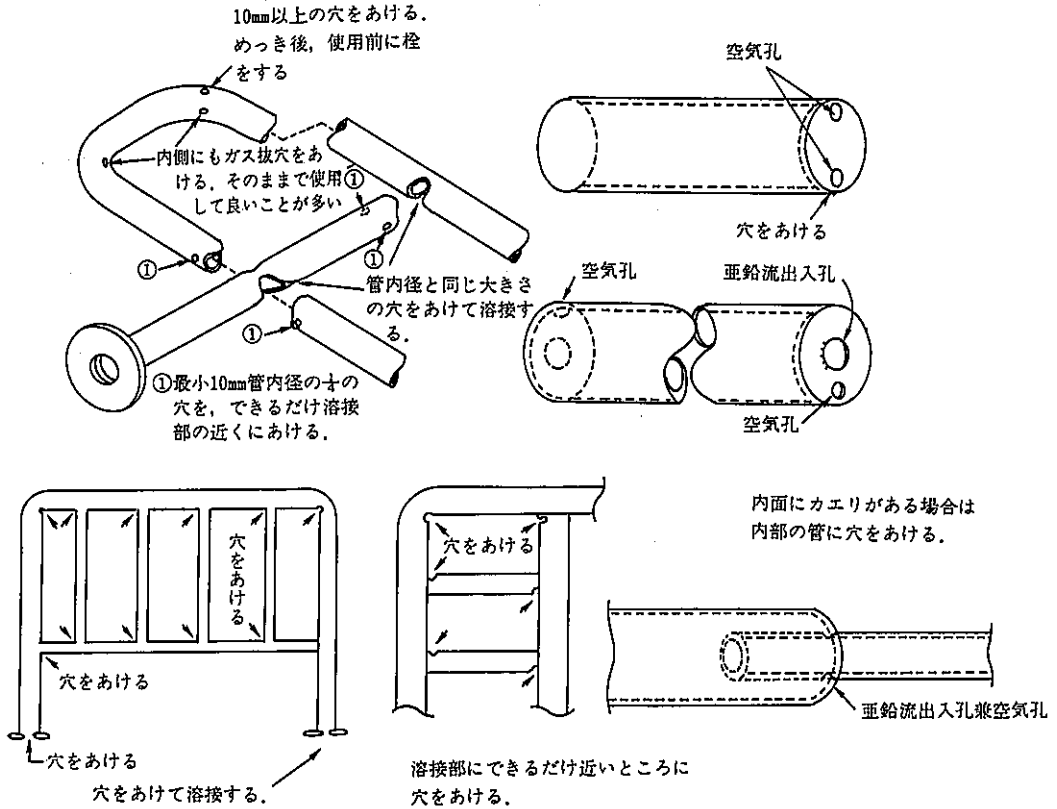


図7 鋼管組立図

(3) 鋳造品

鋳造品は、表面に鋳物砂等の珪酸質の異物が付着しているので、ブラスト(サンド、ショット、グリット)による前処理が必要である。

ブラストに死角を生じないような、形状のものが、望ましい。

厚さは出来るだけ均一なものが良く、厚みの差が大きい場合は、クラックを生じることがあるので、注意を要する。

鋳物類は亜鉛の付着が多く、また付着厚も不均一となるため、精度を必要とする場合は、あらかじめ、表面を機械仕上げしてからめっきすると、平滑なめつ

き面が得られる。

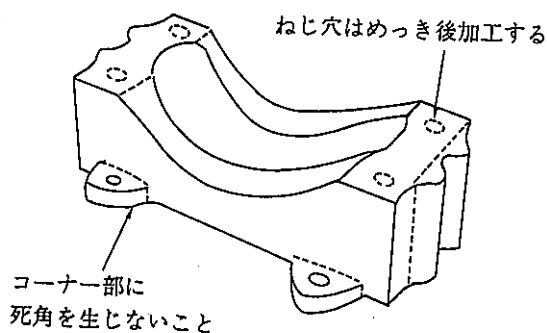


図8 鑄造品

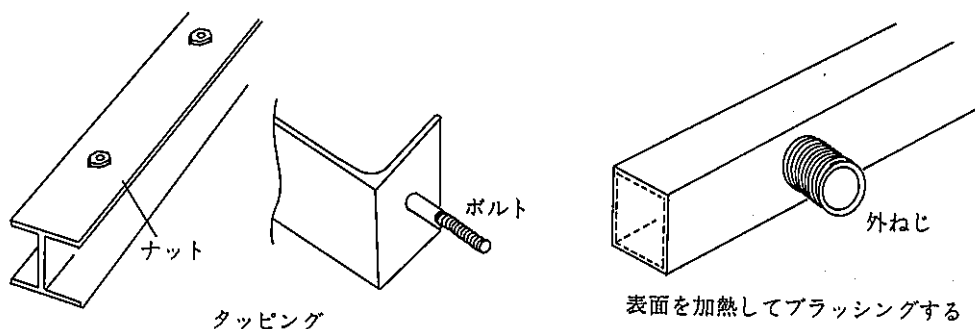


図9 ねじ付部材

(4) ねじ付部材

めっきを施す部材には、取付用ボルトやナット、及びソケットなどが溶接されていることがある。

小物はメッキ後、遠心分離機等により、ねじ部のたれ切りが可能であるが、鉄骨構造物に付いているねじ物は、このような操作ができないので、ねじ部分に垂鉛がたまり易い。

一般にねじ付品は、次のような処置を施している。

① めっき後、余剰の垂鉛を除去(図9)

小径については、タッピングによるねじさらいを行うが、径が大きい場合には、加熱溶解させ、ブラッシングにて除去する方法もある。

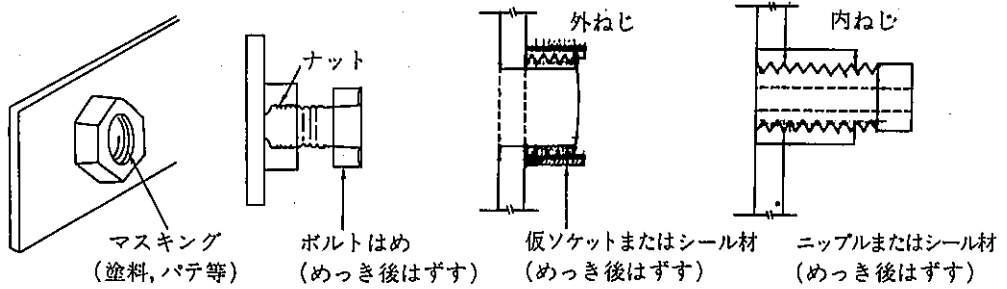


図10 ねじ部材のマスキング

② めっき前のマスキング処理 (図10)

ねじ部分に亜鉛を付着させないように、マスキング塗料を塗布したり、シーล材で被覆する方法がある。

(5) 可動部

スリーブ、シャフト、ハンドル等のはめ合い部、可動部のある部材に、メッキを施す場合は、分解して、めっきする必要がある。

通常直径で1.6mm以上のクリアランスを要するが、部材の材質、肉厚や用途により、一様に規定することは難しい。

めっき後、容易にはめ合わない場合は、可動部分を加熱する方法を用いる。

(6) 鋼材の化学成分

鋼中に含まれる化学成分Si、Mn、P等の含有量が増加すると、Fe-Znの合金反応を促進し、亜鉛付着量が増大するとともに、著しい場合は、「やけ」という現象を生じる。

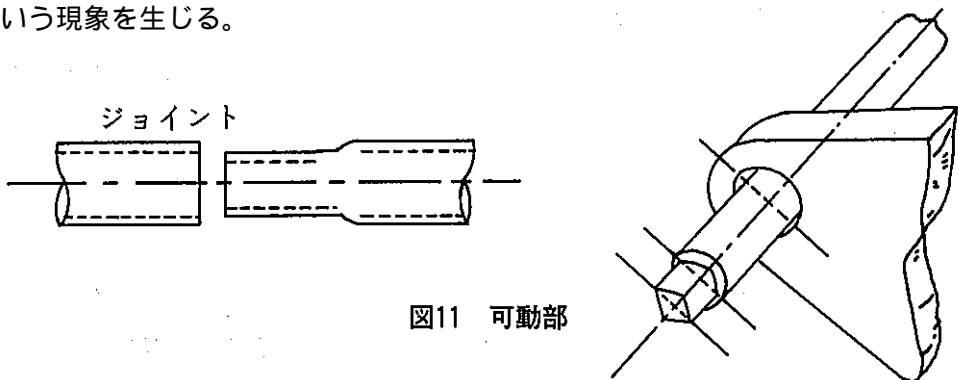


図11 可動部

「やけ」とはFe-Zn合金層が異常に発達し、めっき層表面にまで達していることをいう。

このような現象に、最も大きな影響を及ぼすのがSi含有量である。

やけ及び亜鉛付着量に及ぼす、Si含有量の影響を図12と図13に示す。

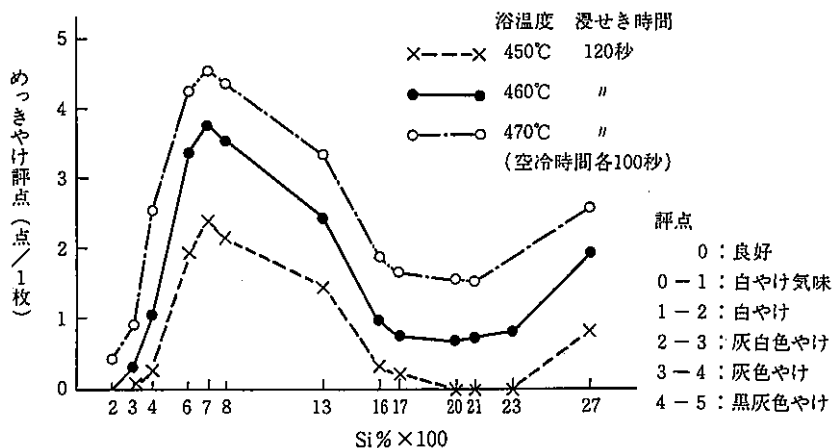


図12 めっきやけ評点とSi量との関係

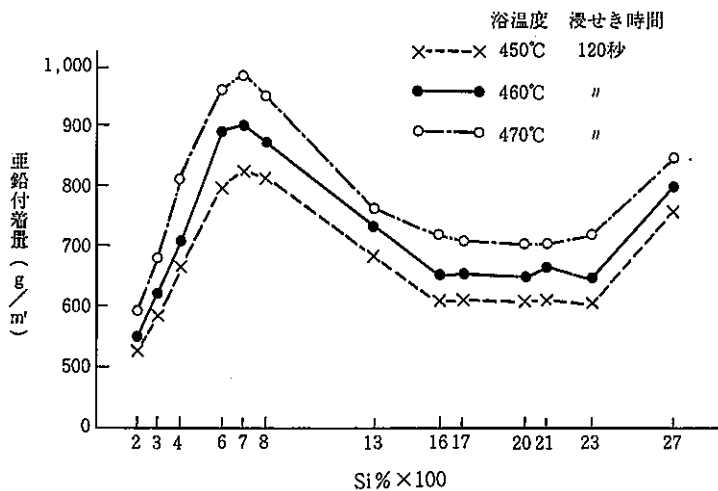


図13 亜鉛付着量とSi量との関係

また、SiとPとの含有量の複合作用が、大きく影響してくる。

Si含有量0.025%で、P含有量が0.02~0.03%に達すると、デルタワン層が部分的に崩壊し、ツェータ層とイーター層の混晶が精製してきて、合金反応が

活発化してくる。

浴温460 以下で、めつき層の形成を保証する基準としては、次のように考えられている。

$$\text{Si}\% + 2.5 \times \text{P}\% < 0.09\%$$

図14に亜鉛めつき膜厚と、P含有量との関係を示す。

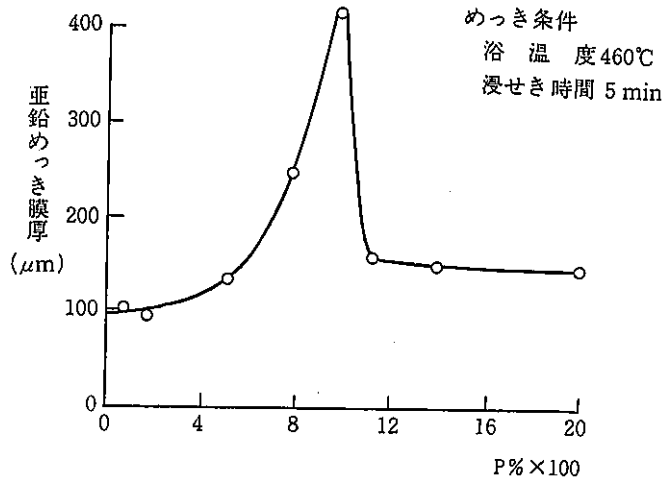


図14 亜鉛めつき膜厚とP量との関係

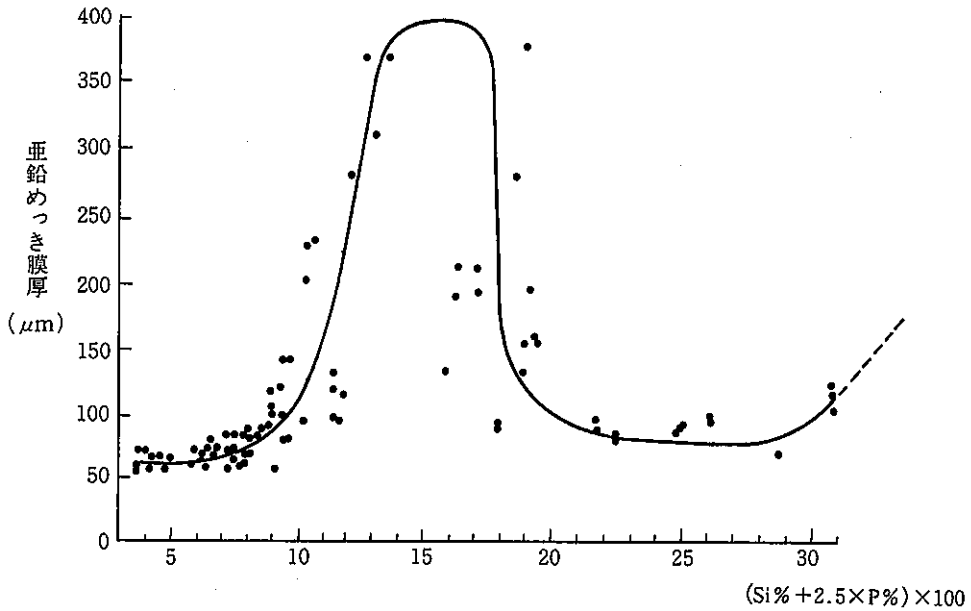


図15 亜鉛めつき膜厚とSi + 2.5 × P量との関係

図15に亜鉛めっき膜厚と、 $Si+2.5 \times P$ 含有量との関係を示す。

(7) 異材の組合せ

表面状態の異なったもの、厚みに極端な差のあるもの、鋼材の製造法の異なるもの、組成の異なる鋼材、異種金属などが組合わされた部材等のめっきは、各々の前処理、めっき条件が異なるため、均一な品質のめっきが出来ない。

めっきに支障がある組合せの例を図16に示す。

表面状態では、スケールやさびのひどいもの、鑄物の砂がみ、切削部のささくれ、難溶性塗料の付着、などがあり、これらはブラスト処理が望ましい。

厚みに大きな差のあるものや、軟鋼、高張力鋼、鑄鋼、など異種類の鋼材の組合せは、亜鉛付着量や、めっきの外観、密着性などに差異を生じる。

異なる鋼材の組合せの場合、特にSi含有量に差のあるものでは、めっき付着量、外観に著しい影響を与える。

Si含有量が0.05%以下、または、0.15~0.25%以外の領域では、激しい合金反応を示し、異常めっきになったり、やけが発生する。

異種金属の組合せ、例えば銅、アルミニウム、鉛、真鍮、ステンレス、ろう付け、などはめっき浴中で溶出したり、はずれたりするので避けるべきである。

(8) 部分不めっき

熔融亜鉛めっき製品は、一般に全表面にめっきを施して用いるが、通常の摩

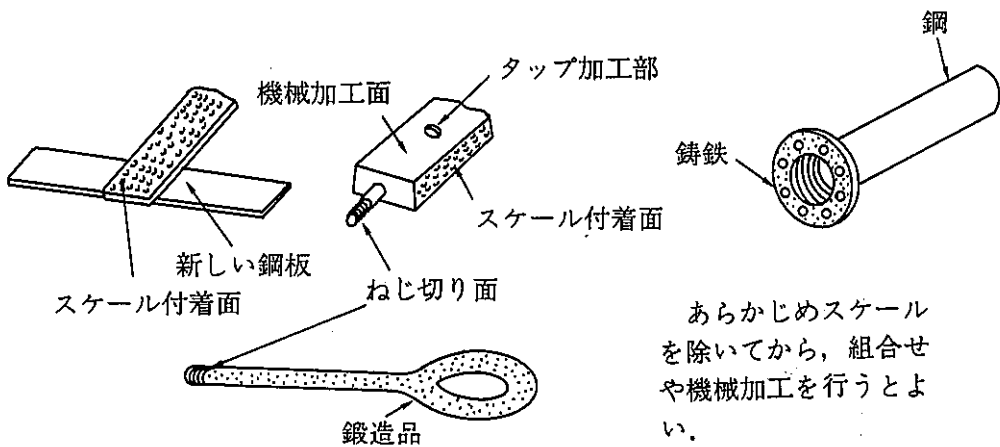


図16 めっきに支障のある組合せ

擦接合による高力ボルト接合面、まためっき後に溶接加工される溶接部分など、溶融亜鉛めっき表面の一部を「不めっき」とする必要がある場合がある。

摩擦接合面を不めっきとするのは、通常の摩擦係数を確保するためであるが、最近ではこの部分を不めっきとせず、めっき後適切な処理（ブラスト等）を施して、摩擦係数を確保する方法を採ることが多い。

溶接部を不めっきとするのは、溶接加熱時の亜鉛ヒュームの影響を、避けるためである。

部分的に不めっきにするためには、めっき前にマスキングする方法と、めっき後に不要部の亜鉛を除去する方法があるが、ここでは一般的なマスキング方法について一例を示す。

さびのない素材や機械加工を施したもの

耐熱材料で不めっき面をシールして、溶融亜鉛と接触しないようにする。

さびやスケールの厚い材料

エポキシ樹脂塗料のように、耐薬品性のものを塗布し、酸洗処理においてもその部分だけ除錆できないようにする。

さびがあれば、溶融亜鉛めっき浴に浸漬しても、その部分だけめっき皮膜が形成されにくい。(図17)

大型鋼材や板厚の厚い素材

橋梁や、大型構築物に使用される鋼材や、厚肉品は、溶融亜鉛との反応時間が長くなる。

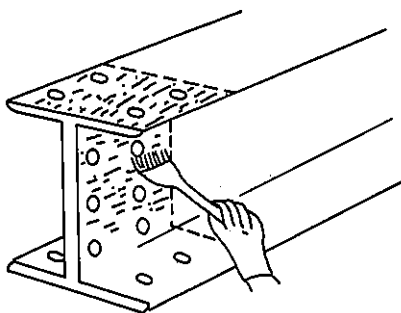


図17 はけ塗り

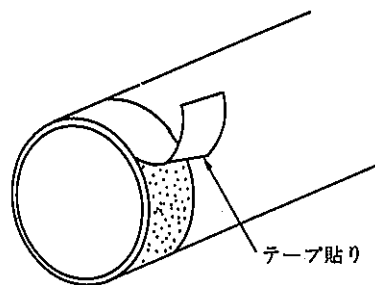


図18 鋼管の端部不めっき処理

めっき浴内で、溶融亜鉛との接触時間が長いと、部分的に塗布した塗料が消失し、めっき皮膜が形成され易くなるため、塗料の重ね塗りや、塗布後シールテープを貼る、などの処置をする。

(9) 冷間加工

大きな引張り応力を受けている鋼材を、溶融亜鉛浴に浸漬すると、鋼材に亀裂を発生することがある。

この現象は、理論的には明確になっていないが、現在のところ溶融金属脆化の一種と、考えられており、溶融亜鉛めっきの作業管理では、防止することができず、完全な防止には、素材の内部応力を、ある一定限度以下に保つことである。

この脆化を防ぐため、一般的に次のような基準が推奨されている。

曲げ加工：冷間の曲げ加工は、鋼材の厚みの3倍を直径とする曲率まで、とする。

もし、これ以上の曲率を必要とするときは、焼鈍をするか熱間加工をする。

穴あけ加工：穴あけはドリルを使用することが望ましい。

12mm厚さ以下の鋼板は、パンチングでも良いが、これ以上の厚みのものは、パンチング後、周囲を約3mmリーミングした方が良い。

切断加工：切断加工は、溶断または鋸によるのが、望ましい。

(10) 素材の汚れ

アルカリ性水溶液で、除去されない油脂類として、フェノール系樹脂、エポキシ樹脂、コールタール、ピッチ、などがある。

アルカリ脱脂でも、除去不可能な油脂類が、鉄鋼製品に付着している場合には、めっき工程から離れた、脱脂法を考えねばならない。

例えば有機溶剤による脱脂とか、プラスト処理、あるいは焼却炉で焼く、などの方法もあるが、余分な工数を費やし、めっきのコストにも大きく影響を及ぼす。

従って、めっきを施す素材は、とれにくい塗膜や、汚れの付着しないもので

あることが、必要である。また、一時的なマーキングなどに、使用するペイントにも、油性のものは避け、できるだけ水溶性のものをを用いることが、必要である。

(11) ひずみ

鉄鋼製品の構成鋼材には、残留応力があり、これをめっきすることによりひずみとなって現れることがある。

ひずみ発生の程度は、許容限度内か、または矯正が容易か否か、などが問題になる。

ひずみの発生の仕方、ひずみの大きさに、関係する要因としては、製品の寸法、形状、構造、溶接方法、素材時の内部応力、及びめっき条件、等があり、これらが単独、または相乗的に関連して、ひずみが発生するので、事前にひずみ量を予測することは、困難である。

冷間加工における鋼材の残留応力

鋼材に残留応力がある場合は、めっき前に焼なまし等の熱処理により、残留応力を開放すれば、ひずみ発生を軽減できる。

また補強材をつけるか、用途上支障がなければ、溝加工や折返し加工をすると、ひずみを抑えることができる。

めっき工程で生じる温度差

めっき浴への浸漬、引き上げ、および冷却時などにおける急熱、急冷によって、製品に部分的な温度差を生じることは避け難く、この熱膨張の変化により、ひずみが発生し、常温に均熱化しても残留する。

この現象は、特に肉厚差の大きい部材を組合わせた場合に、多く発生する。

溶接継目とめっきによるひずみ

鋼材を溶接すると、局部加熱により、引張りおよび圧縮応力を生じ、ある方向に、ひずみが発生することがある。一般的なひずみ発生の傾向として、次のことがいえる。

- ・ 構造：左右対称の構造であればひずみは少なく、また溶接箇所が少ない

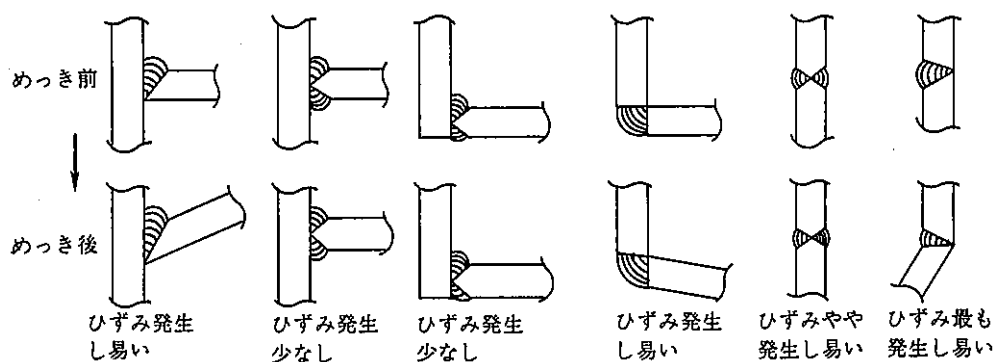


図19 溶接方法とひずみ発生の例

い方が、単純なひずみとなり、トラス構造は、非常にひずみが少ない。

・溶接方法：溶接方法として、図19のようなことが、基本的な傾向である。

しかし全体的な構造や、溶接条件などにより、発生しない場合もある。

(12) めっき前後の鋼材の機械的強度変化

一般にはSS 41、SM 41、SM 50、等の鋼材が広く使用されているが、これらの鋼材は、めっきによる機械的強度の変化は、ないと言われている。

さらに日本溶融亜鉛鍍金協会と武蔵工業大学の共同研究によると、SM 41、SM 58ともめっき後、引張強さは JIS 規格を満足し、素材（めっき前）と比較しても、顕著な差は認められない。曲げ試験においても差異は認められず、めっきによる影響はな、.としている。その結果の一例を以下に示す。

この試験は表3に示す素材の、SM41、SM58Qの12mm厚と22mm厚の鋼板によるもので、機械的強度の影響についての結果は、表4、表5、表6の通りである。引張試験では降伏点、引張強さ、伸び、いずれもめっきの有無、まためっき条件によっても有意な差は見い出せず、切欠材の疲れ強さ試験（回転曲げ疲れ試験、2840rpm）による結果は、図20、図21に示すように、これもめっきによって、特に有意な差は生じないと見なせる結果、となっている。

いずれにしても、60kgf/mm²程度までの鋼材は、めっきによる強度変化はないと、考えて差支えはない。(SM 41、SM 58は、それぞれ現在のSM 400、

表3 供試体鋼材の化学成分

鋼種	板厚 _{mm}	化 学 成 分 (%)							
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	V
SM 41 A	12	0.12	0.22	0.70	0.012	0.018	—	—	—
	22	0.10	0.22	0.95	0.013	0.022	—	—	—
JIS 規定値		0.23以下	—	2.5× C以上	0.040 以下	0.040 以下	—	—	—
SM 58Q	12	0.13	0.34	1.46	0.014	0.009	—	—	—
	22	0.14	0.24	1.32	0.015	0.008	0.13	0.04	0.04
JIS 規定値		0.18 以下	0.55 以下	1.50 以下	0.040 以下	0.040 以下	必要に応じて合金元素を 添加		

表4 SM41 (12mm厚) のめっきによる強度変化

試験片 No.	め っ き 条 件				結 果		
	浴 温 度 (℃)	浸 漬 時 間 (分)	冷 却 方 法	前 処 理 法	降 伏 点 kgf/mm ²	引 張 強 さ kgf/mm ²	伸 び %
素 材	—	—	—	—	31.8	44.8	29.7
11-1	430	15	水 冷	ショット	33.4	45.5	30.2
11-2	450	10	水 冷	ショット	34.1	46.3	29.7
11-3	450	5	空 冷	ショット	33.9	45.5	30.2
11-4	470	10	空 冷	ショット	33.0	45.5	29.8
11-5	430	10	空 冷	酸 洗	32.6	45.1	29.0
11-6	450	15	空 冷	酸 洗	32.1	44.9	29.7
11-7	450	10	水 冷	酸 洗	32.7	46.1	30.0
11-8	470	5	水 冷	酸 洗	33.2	46.5	30.8

SM570である)

4. めっき後の処置

(1) めっき皮膜の補修

めっき製品に切断、穴あけ、溶接などの加工をしたり、構造上、取扱い上、および素材表面の異常状態によっては、素地の鋼材が部分的に露出する。

表5 SM58Q (12mm厚) のめっきによる強度変化

試験片 No.	めっき条件				結果		
	浴温度 (℃)	浸漬時間 (分)	冷却方法	前処理法	降伏点 kgf/mm ²	引張強さ kgf/mm ²	伸び %
素材	—	—	—	—	61.8	66.4	31.5
31-1	430	15	水 冷	ショット	62.6	68.4	32.0
31-2	450	10	水 冷	ショット	64.2	67.7	31.3
31-3	450	5	空 冷	ショット	63.0	66.9	31.0
31-4	470	10	空 冷	ショット	63.6	67.6	31.0
31-5	430	10	空 冷	酸 洗	61.5	67.1	31.7
31-6	450	15	空 冷	酸 洗	62.8	67.2	32.7
31-7	450	10	水 冷	酸 洗	62.5	66.8	34.3
31-8	470	5	水 冷	酸 洗	62.7	67.7	31.7

表6 SM58Q (22mm厚) のめっきによる強度変化

試験片 No.	めっき条件				結果		
	浴温度 (℃)	浸漬時間 (分)	冷却方法	前処理法	降伏点 kgf/mm ²	引張強さ kgf/mm ²	伸び %
素材	—	—	—	—	60.5	68.2	27.5
41-1	430	15	水 冷	ショット	61.9	69.9	27.4
41-2	450	10	水 冷	ショット	62.8	70.0	27.5
41-3	450	5	空 冷	ショット	60.8	69.0	27.5
41-4	470	10	空 冷	ショット	62.6	70.1	26.8
41-5	430	10	空 冷	酸 洗	62.7	69.6	26.8
41-6	450	15	空 冷	酸 洗	63.0	69.9	27.3
41-7	450	10	水 冷	酸 洗	62.5	69.5	27.7
41-8	470	5	水 冷	酸 洗	63.2	69.6	28.3

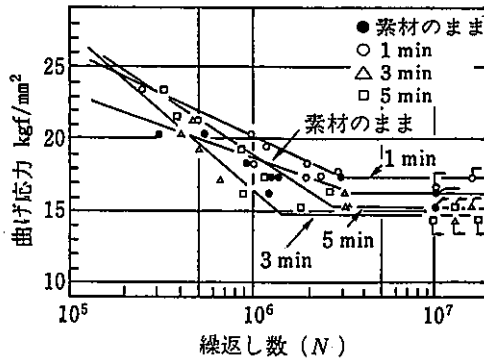


図20 SM58Q切欠き試験片の回転曲げ疲れ試験結果（水冷）

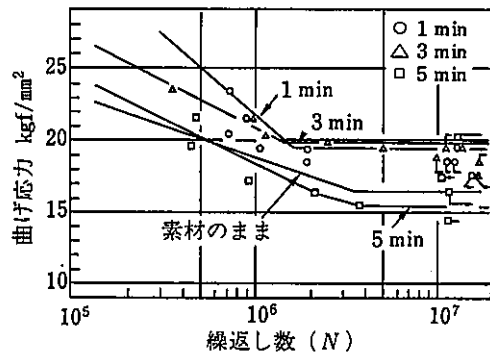


図21 SM58Q切欠き試験片の回転曲げ疲れ試験結果（空冷）

このめっきのない部分には、めっきと同等の耐食性を備えた補修が必要となるが、耐食性以外に密着がよく、作業が容易なことから、一般には高濃度亜鉛末塗料（ジंकリッチペイント）が用いられている。

このほか、亜鉛合金類の融着、亜鉛溶射による方法がある。

いずれの方法も、補修部分はブラッシング、やすり掛けなどで、異物を完全に除いてから、行うことが必要である。

* 高濃度亜鉛末塗料

多量（90%以上）の金属亜鉛末と、展色剤よりなる、亜鉛の電気化学的防食能力を持つ塗料である。はけでの1回塗りで、50ミクロン程度の塗膜が得られ、優れた防食性があり、最も便利な補修材といえる。

（2）曲げ加工

亜鉛めっき層は、純亜鉛層と合金層からなり、その亜鉛層、および合金層の伸びに、限界があり、これを越えるような、過酷な曲げ加工の場合、めっき層に、亀裂や剥離を、生じることがある。水道用亜鉛めっき鋼管の規格や、外国の規格（BS）に、曲げ試験が規定されており、その規格によると、曲げ内側半径が、管の外径の8倍で、90度に曲げるものである。

この規格でも判るように、曲げは、比較的大きな曲げ半径で、曲げることになっている。

めっき層の曲げに対する剥離要因は、曲げ半径および曲げ角度が大きな要因であり、曲げ半径が小さくなるに従って、めっき層は剥離し易くなる。

曲げ加工性も、めっき条件によって影響されるので、めっき条件を、充分考慮する必要がある。曲げ加工性を良くするには、合金層の成長をできるだけ抑え、純亜鉛層を均一につけることである。

このためには、めっき温度を比較的低温度にし、浸漬時間もできるだけ短くし、また、めっき後、できるだけ早く、冷却する必要がある。

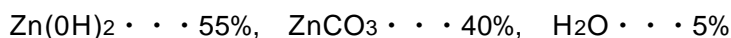
しかし、めっき製品の、めっき後の曲げ加工には、限界があり、過酷な曲げ加工が行われる場合は、めっき前に曲げ加工を、施しておくことが望ましく、やむを得ずめっき後、曲げ加工する場合には、事前に充分な打合せをするのが良い。

(3) 白さび防止対策

発生原因

白さびは、亜鉛光沢のあるめっき層が、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時に、発生するが、めっき製品が、水中に浸漬されたような状態では、発生しない。めっき表面に亜鉛を腐食させる物質、たとえば酸性物質、アルカリ性物質、有機酸、食塩などが付着すると、著しい白さびを生じる。

海上輸送などで、海水がかかる場合など、非常に多いケースである。白さびは塩基性炭酸亜鉛が主成分であり、その組成の一例は次のようである。



白さび発生には、必ず水分が関与する。

めっき層の一部が乾燥し、一部が濡れている状態で、その境界線が長時間移動しないときに、その境界線に隣接する、濡れている側の、めっき層上に発生する場合が、多く見られる。水滴は、わずかでも塩類を含み、電気を伝える。

また、水滴の外周は空気に触れているため、内部より空気中の酸素を

多く、溶解している。このような状態の時に、酸素濃淡電池という現象が起こる。

この状態で、水滴の中央部に接する亜鉛表面は、水滴外周の境界線に接する、亜鉛表面より低電位になる。

このため中央部に近い亜鉛が、イオン化され、水中に溶出して、水酸基や炭酸イオンより、塩基性炭酸亜鉛に変わり、表面に沈着して、白さびとなる。

白さびは、かさばった亜鉛酸化物なので、実際のめっき層の浸食がわずかでも、著しく浸食されているように見える。

かなり進行して、白さびの下が黒変している場合でも、外観からの感じより、浸食されている量は、はるかに少量になっている。

通常、白さびによる亜鉛減量は、めっき膜厚にして1ミクロン以下である。

白さびは、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するので、耐食性には影響なく、日時とともに、通常部との、外観上の差もなくなる。

従って、白さびは、めっき品質上の欠陥として、扱う問題ではない。

白さびの防止対策

一般用途では、品質上問題にすべきではないが、特定用途で白さびを防止したい場合は、次の対策がある。

環境の改善

白さびを防止するには、保管および取扱い時に、発生するような環境にならないようすることが、効果的で、具体的には

- イ. 通風の良い、屋内で保管する。
- ロ. 屋外保管では、水はけのよい場所に、地面とのすきまをあけて、置く。
- ハ. 部分的に雨漏りをつくらぬよう、工夫しておく。
- ニ. 積み重ねなど、接触部の多いものは、雨天の荷役を避ける。

ホ. 屋外保管の場合、雨天時は完全にシートで覆い、晴天になったら、すみやかにシートをはずす。

ヘ. 潮解性物質、吸湿性物質の近くには置かない。海上輸送、岸壁保管等では、海水の飛沫がかからないようにする。

参考文献

- (1) 「溶融亜鉛めっき鋼構造物の手引き」：日本鋼構造協会
- (2) 「鋼構造物の溶融亜鉛めっきQ&A」：亜鉛めっき鋼構造物研究会
- (3) 「鉛と亜鉛」：日本鋳業協会鉛亜鉛需要開発センター