

千葉工業大学

正 江藤元大

正 船見国男

山本恭永

正 清水秀治

(株) 杉田製線工場

杉田平次

正○菊地 進

1. 緒言

溶融亜鉛めっきボルトはその耐蝕性の優れていることから、一般に送電線鉄塔などの屋外構造物の締結部品として用いられている。しかし、ボルトの表面処理である溶融亜鉛めっき時にボルト首下丸み部またはねじ谷底部などの応力集中部にき裂を生ずることがあり問題となることがある。筆者らはこれまでに、めっき浴浸漬時間およびめっき浴浸漬後の冷却条件を変化させ、溶融亜鉛めっき処理過程のいつの時点でき裂が発生するか調べた結果¹⁾²⁾、き裂はめっき浴浸漬後の冷却過程で生ずることが分かった。また、実作業においてき裂発生を防止するためのいくつかの冷却方法について実験により検討を行った結果³⁾、従来の浸漬水冷方法に比較してシャワー水冷方法や空冷方法が有効であることが分かった。

本研究は、き裂発生防止に対して有効なシャワー水冷方法や空冷方法により得られたボルトのめっきの密着性、めっき組織、めっき表面肌、締付特性および耐蝕性などのめっき性能について従来の浸漬水冷方法により得られたボルトとの比較検討を行ったものである。

2. 実験方法

2. 1 試験片

ボルト試験片は、表1に示した化学成分のSCR440の線材をM24六角ボルトに熱間鍛造した後焼入焼戻しを行った引張強さ1025MPaの量産ボルトを用いた。図1に、その形状および寸法を示す。また、ボルトの締付トルク試験を行うため、図1に示すような材質がS45CのM24六角ナットと材質がS45Cの座金を用いた。

2. 2 溶融亜鉛めっき処理

ボルト試験片とナット試験片および座金試験片とも、溶融亜鉛めっき処理は図2に示すような工程にしたがって行った。溶融亜鉛浴の温度はボルト試験片および座金試験片の場合は500℃で処理したが、ナット試験片はめっき処理をおわった段階でねじ谷底部に余分

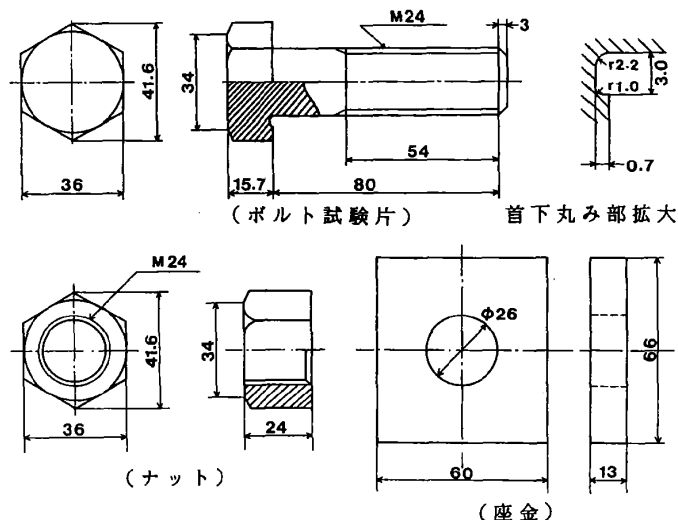


図1. 試験片の形状および寸法

に付着している溶融亜鉛を分離しやすいように510℃で処理した。また、めっき処理後に余分に付着している溶融亜鉛の分離は、ボルト試験片と座金試験片の場合は、試験片を大気中に取り出した後、手で振動を与えながら振り切る方法により行った。ナット試験片は遠心分離機を用いて行った。その後、各試験片とも塩化アンモン液に軽く浸漬し、冷却をおこなった。冷却方法は、(A) 通常の冷却方法として行われている水槽に浸漬し冷却する方法（以下、浸漬水冷方法と呼ぶ）、(B) 125ℓ/min/m²の水量のシャワーにより冷却する方法（以下、シャワー水冷方法と呼ぶ）及び(C) 大気中に放置し徐冷する方法（以下、空冷方法と呼ぶ）の3つの冷却方法により行った。

2. 3 試験方法

各冷却条件ごとに作成したボルト試験片各2本について引張試験を行いボルト強度の比較を行った。また、引張試験により破断した絞り部（以下、引張破断試験と呼ぶ）と、ボルト試験片各2本について引張試験機により引張荷重を負荷しねじ部に塑性変形を与え絞り率が15～20%程度になった段階で除荷し絞り部（以下、引張絞り試験と呼ぶ）のめっき層の剥離の有無を観察した。次に、めっきの密着性試験方法（JIS H0401）のハンマー試験によりめっきの密着性を調べた。また、めっき層組織の観察は、ボルト軸部を軸方向に対して直角に切断しパフ研磨した後5%ピクリン酸アルコール液で腐食を行い、光学顕微鏡により

表1. 試験片の化学成分 (wt%)

供試材	C	Si	Mn	P	S	Cr
SCR440	0.40	0.17	0.76	0.012	0.013	1.03

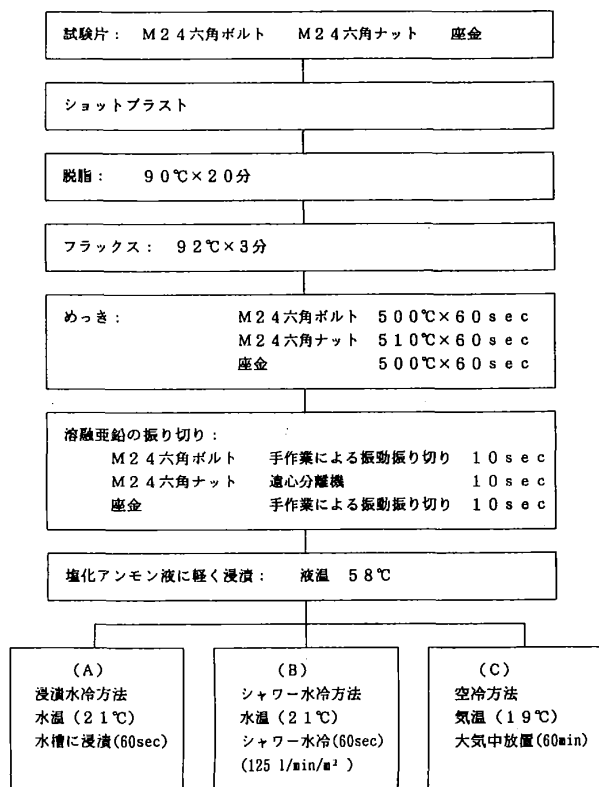


図2. 溶融亜鉛めっき処理工程

観察した。めっき表面肌はボルト軸部表面を走査型電子顕微鏡(SEM)により観察した。また、冷却条件の違いによるボルトの締付特性を調べるため締付トルク試験を行い、締付トルクと締付軸力の関係を示すトルク係数の測定を行った。また、締付過程でめっき層にき裂または剥離を生じ耐蝕性に影響しないかどうかを調べるため、トルク試験後取外した試験片について塩水浸漬試験を行った。なお、トルク試験の最大締付トルクは、このボルトの標準締付けトルクである127 KN・cmとその2倍である254 KN・cmの2種類について行った。なお、締付軸力が147 KNに達した段階で締付トルクの付加はその時点で中断した。また、トルク試験は同一冷却条件のボルト・ナット・座金の組み合わせにより行った。塩水浸漬試験は、締付トルク試験を行ったボルト、ナットおよび座金について各冷却条件ごとに行った5組のうち3組について試験した。また、試験溶液は5%のNaCl水溶液を用い、1サイクルは試験片を溶液に1時間浸漬後23時間大気中に放置として、30サイクルの試験を行った。そして、1サイクルごとに試験片の赤錆の発生の有無を調べた。

3. 実験結果および考察

3.1 冷却条件の違いによるめっきの密着性

上述の3つの冷却方法により作成したボルト試験片について引張破断試験と引張絞り試験を行い絞り部のめ

っきの剥離の有無を調べた。その結果を表2に示すように、冷却条件の違いによる引張強さの差はなかった。また、引張破断した絞り部の観察ではいずれもねじ底に沿ってめっき層にき裂を生じていたが、空冷方法による場合は、図3に示すようにねじ山およびねじフランク面にめっきの剥離を生じていた。それに対して浸漬水冷方法およびシャワー水冷方法の場合は、めっきの剥離はなかった。また、引張絞り試験の絞り部の観察では、いずれもねじ底に沿ってめっき層にき裂の発生は認められたが、ねじ山およびねじフランク面のめっきの剥離はなかった。

また、各冷却条件ごとのボルト、ナットおよび座金についてJISのめっきの密着性試験の一つの方法であるハンマー試験を行ったが、いずれの試験片もめっきの剥離はなかった。

表2. ボルト試験片の引張試験結果
(引張破断試験および引張絞り試験)

冷却条件	引張強さ MPa	破断位置	めっき剥離の有無	
			引張破断試験	引張絞り試験
浸漬水冷方法	1028	ねじ部	なし	なし
シャワー水冷方法	1022	"	"	"
空冷方法	1025	"	剥離	"



図3. 引張試験絞り部のめっきの剥離

3.2 冷却条件の違いによるめっき状態の比較

図4は合金層の組織状態、図5はめっき表面肌を示す。合金層厚さは浸漬水冷方法、シャワー水冷方法とも45 μm程度であり、その表面に約15 μm程度の亜鉛層を形成している。それに対して、空冷を行ったものは合金層が75 μm程度になっており空冷の間も表面に付着残存した溶融亜鉛の合金化が進んでいることが分かる。そのため、表面肌を観察すると図5のように空冷方法により冷却したものは表面まで合金化しておりその結晶が表面に現れ目視による観察では光沢のない肌をしている。それに対して浸漬水冷方法、シャワー水冷方法の表面は溶融亜鉛が凝固した部分であり、光沢のある肌をしていた。

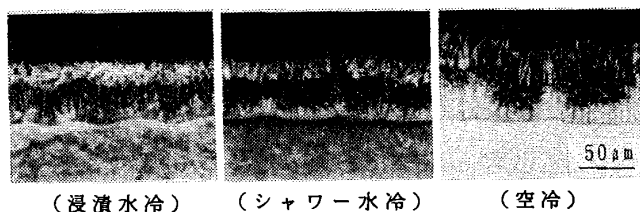


図4. 冷却条件の違いによるめっき組織の比較
(ボルト試験片)

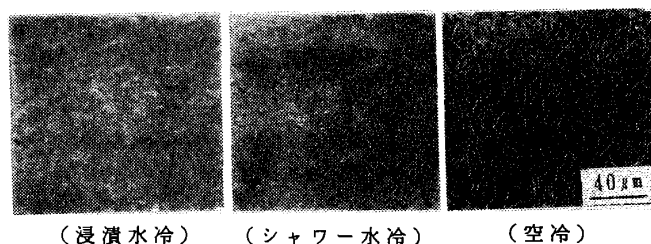


図5. 冷却条件の違いによるめっき表面肌の比較
(ボルト試験片)

3. 3 冷却条件の違いによる締付特性の比較

各冷却条件ごとに作成したボルト試験片の締付トルク試験を行いトルク係数を測定した。その結果を図6に示すように、浸漬水冷方法およびシャワー水冷方法はトルク係数は0.25前後と差はなかったが空冷方法は0.50程度と高かった。これは、浸漬水冷方法およびシャワー水冷方法の場合は、めっき層の表面に亜鉛層を形成しているのに対して、空冷方法はめっき層全体が合金層を形成しており、その結晶が表面に現れ表面的に粗くなっていることも一つの原因と考えられる。

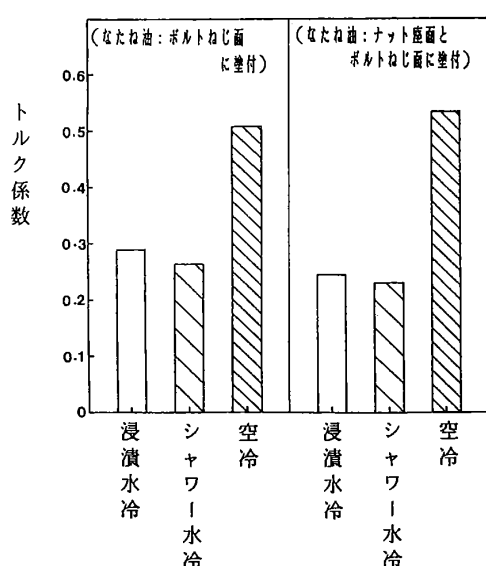


図6. 冷却条件の違いによるトルク係数の比較
(潤滑材として、なたね油を塗付)

3. 4 冷却条件の違いによる耐蝕性の比較

各冷却条件ごとに作成したボルト、ナットおよび座金試験片について、トルク試験後取外し個々に分解した状態で塩水浸漬試験をおこなった。それにより、締付過程でめっき層にき裂や剥離を生じ耐蝕性に影響しないかどうかを調べた。

その結果、30サイクル(30日間)の塩水浸漬試験を行ったが、いずれの試験片も赤錆などの発生はなく、各冷却条件により作成した試験片とも締付過程での顕著なめっき層の剥離やき裂の発生はなく、十分に締付作業に耐え得るめっき層であることが分かった。

4. 結言

ボルト首下丸み部などの応力集中部に溶融亜鉛めっきの際にき裂を生ずることがある。そのき裂発生防止に対して有効な、めっき浴浸漬後のシャワー水冷方法や空冷方法により得られたボルトのめっきの密着性、めっき組織、めっき表面肌、締付特性および耐蝕性などのめっき性能について従来の浸漬水冷方法により得られたボルトとの比較検討を行った結果、次のようなことが分かった。

- 1) 浸漬水冷方法、シャワー水冷方法および空冷方法により作成した試験片のハンマー試験を行ったが、いずれもめっきの剥離はなかった。
- 2) 締付トルク係数の測定を行ったところ、浸漬水冷方法およびシャワー水冷方法は0.25前後と差はなかったが空冷方法は0.5程度と高かった。これは、浸漬水冷方法およびシャワー水冷方法の場合は、めっき層の表面に亜鉛層を形成しているのに対して、空冷方法はめっき層全体が合金層を形成しており、その結晶が表面に現れ表面的に粗くなっていることも一つの原因と考えられる。
- 3) 締付トルク試験後の塩水浸漬試験を行ったが、いずれの試験片も赤錆の発生はなかった。すなわち、各冷却条件の試験片も締付過程での顕著なめっきの剥離やき裂の発生はないことが分かった。
- 4) シャワー水冷方法は溶融亜鉛めっき時のき裂発生防止に対して有効であるとともに、めっき性能や締付特性についても従来の冷却方法により得られたボルトと同等のめっき性能および締結特性を満足するものと考えられる。

本研究の遂行にあたり、試験片の作成と御指導をいただいた(株)後関製作所の杉山嘉俊氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 江藤元大他, 材料, 40, 595, (1991)
- 2) 江藤元大他, 材料, 41, 470, (1992)
- 3) 江藤元大他, 第41期学術講演会前刷, P151