

33118

銅的電弧銲接

馬姆斯特歷姆著



機械工業出版社

2644

銅 的 電 弧 鐸 接

馬姆斯特歷姆著

龔 敏 譯



機械工業出版社

1955

出版者的話

銅製結構在目前工業上應用很廣，各種盛器、導管等幾乎都用紫銅和黃銅板鐸成；特別是在造船工業中，有大量結構是用銅板鐸成的。但是由於銅的性能特殊，鐸接工作往往不易掌握，故本書的出版是有特殊意義的。

本書敘述銅的電弧鐸接經驗、鐸銅用的鐸條、填充金屬和鐸劑，以及使用金屬極和碳極的銅的電弧鐸接工藝。

本書可供從事鐸接工作的工人、工長及工程技術人員參考。

蘇聯 А. И. Мальмстрем 著 'Электрическая дуговая сварка меди' (Машгиз 1954 年第一版)

* * *

書號 0745

1955 年 10 月第一版 1955 年 10 月第一版第一次印刷

787×1092 $\frac{1}{32}$ 字數 52 千字 印張 2 $\frac{1}{2}$ 0,001—1,800 冊

機械工業出版社(北京東交民巷 27 號)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可證出字第 008 號 定價(8) 0.41 元

序言.....	4
一 總論.....	5
銅的性能.....	5
銅的鐸接特性.....	9
雜質對銅的鐸接性的影響.....	10
鐸接設備和工具.....	12
二 鐸銅用的電極、填充金屬和鐸劑.....	15
金屬弧鐸銅用的電極.....	15
碳弧鐸銅用的電極.....	22
碳弧鐸銅用的填充金屬.....	24
碳弧鐸銅用的鐸劑.....	25
三 銅的電弧鐸接工藝.....	28
銅的鐸接接頭的主要類型.....	28
鐸前的製備.....	29
鐸前的裝配.....	33
金屬極鐸接.....	41
碳極鐸接.....	50
鐸接結構施鐸實例.....	56
銅的自動鐸接.....	68
鐸接接頭的性能.....	72
鐸接接頭的缺陷.....	76
參考文獻.....	77
中俄名詞對照表.....	78

序 言

金屬銲接是由俄國學者彼得洛夫(В.В.Петров)、別納爾道斯(Н.Н.Бенардос)和斯拉汶諾夫(Н.Г.Славянов)發明的，它是金屬加工主要的工藝方法之一。銲接在各個工業部門中廣泛的應用，促使我國(蘇聯)社會主義經濟順利地發展。就應用銲接的範圍和多樣化方面說來，蘇聯佔世界第一位。

近年來蘇聯許多企業已經應用了更有效的製造銅製件的方法，這就是碳極電弧銲接(別納爾道斯方法)和金屬極電弧銲接(斯拉汶諾夫的方法)。

這兩種方法比鈎銲和氣銲具有重大的工藝優點，在銲接接頭有高的機械性能的條件下，能大大地減縮工作勞動量和生產週期。

1952年年底，以巴東(Е.О.Патон)院士命名的電銲研究所總結了關於掌握使用金屬極在銲劑層下銅的自動銲接的研究工作。這個研究所的科學工作者們指出了完全有可能施行這種比手工銲接具有性能更好的銅製件銲接接頭的方法。隨同銲劑層下銅的自動銲接的運用，能更進一步地增長勞動生產率，改善銅製件的質量，並提高生產技藝。

銅製結構在現代工業的各個部門中獲得了廣泛的應用。這是由銅的許多可貴的性能決定的，如在各種侵蝕性的介質中有耐蝕性；有良好的可塑性(在熱的或冷的狀態下都容易加工)；有良好的導電性和導熱性。

在造船工業中有大量的結構，是用銅板製成的(例如，冷凝器、蒸發器和熱交換器的殼體)，而各種導管也都應用銅管。銅的電弧銲接，在各企業中廣泛地運用將促使我國的造船技藝提高到更高的階段。

本書作者的寫作目的，是闡述銅的電弧銲接方面的生產經驗。

本書是綜合現有的銅的電弧銲接材料的初步經驗，有關本書的任何批評，作者是非常感謝的。

作者

— 總 論

銅 的 性 能

技術上所用的純銅，事實上所以叫做紫銅，是因為它的顏色特別紅的原故。

銅的特性：

比重	8.93
熔化溫度(熔點)	1083°C
沸騰溫度	2310°C
每升1°C的線膨脹係數	16.8×10^{-6}
體積收縮率	4.2%

純銅具有高度導電性、導熱性、可塑性和耐蝕性。銅的導電性比鑄鐵的導電性大 4.7 倍，正因為銅有高的導電性，所以在電氣工業中受到廣泛的應用。銅的導熱性比其他的工業用的金屬要大好多倍(例如，比鑄鐵大 5.3 倍)。又因為銅有大的可塑性，所以在冷的狀態中能很好地把它輾壓成極薄的板料，而沒有任何工藝上的困難。

退火銅的機械性能：

強度極限 σ_B	不低於 20 公斤/公厘 ²
延伸率 δ	達 50%
布氏硬度 H_B	約 35 公斤/公厘 ²

用冷硬的方法，可以使銅的強度極限和硬度增加到 σ_B 為 40~50 公斤/公厘² 和 H_B 為 100~120[●] 公斤/公厘²。這時，可塑性將

● 原文誤為 220。——譯者

大大地降低。

當溫度一直降低到 -253°C 時，銅的機械性能不再降低，相反地，強度極限和延伸率却會增大，根據這種情形，可以廣泛地利用銅製造在低溫中工作的結構。當提高溫度時，銅的強度極限大大地降低。如把銅加熱到溫度 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 時，可塑性下降，但是隨溫度的增高而遞增，而在溫度 800°C 左右時，達到最大值。因此，銅的熱加工一般是在溫度不低於 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ 的情況下進行的。

銅的性能多半決定於機械加工和熱處理的條件，以及它含有的雜質。銅內大致有這些雜質，如氧(O_2)、鉍(Bi)、鉛(Pb)、硫(S)、磷(P)、銻(Sb)、砷(As)等。降低強度和工藝性能的這些有害雜質就是鉍、鉛、硫及氧。因此，這些雜質在銅內應當是最少的。

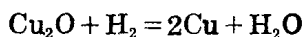
最危險和最有害的雜質是鉍和鉛。它們不溶於銅，並在晶粒周圍形成脆而易熔的薄層，所以在優質銅內，這兩種雜質的含量是有限度的，鉍的含量不允許超過 0.002% ；而鉛的含量必須在 0.005% 以下。其他雜質的含量如果對機械性能的危害影響較小的，可以允許其含量達 0.1% 。

一般在生產中所用的技術用銅及電解銅，在它的成分中含有氧，氧的含量允許到 0.1% 。銅內的氧是以氧化亞銅(Cu_2O)的夾雜物而存在的。在含氧量小的情況下（在 0.07% 以下），所形成的氧化亞銅促使晶粒變粗，但不會引起強度和可塑性的降低以及使冷加工的性能變壞。在軋壓的退火銅中，氧化亞銅是呈一種分散的圓形夾雜物形狀的。氧化亞銅類似這樣的分佈是最有利的，因為在這種形態中，它幾乎對機械性能沒有影響。如把含氧量超過 0.01% 的銅加熱到溫度超過 750°C 時，會產生裂紋，應

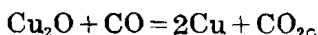
當指出，這種現象只能在有着氫(H_2)、一氧化碳(CO)、甲烷(CH_4)等還原性氣氛中或其他的還原性氣體中進行加熱的情況下才會發生。

氫和一氧化碳在高溫時很易滲透到固體銅內去，並在銅內形成氧化亞銅(Cu_2O)，使銅還原，同時形成水蒸氣(H_2O)或二氧化碳(CO_2)。

銅的還原反應式如下：



或



所形成的水蒸氣或二氧化碳不溶於銅，並且不能自由地游離出來。

由於高溫而處於高壓之下的水蒸氣和二氧化碳破壞金屬的晶粒邊界，使大的和小的晶粒之間形成裂紋。這種現象叫做[氫素病]。

液體狀態的銅容易吸收氣體和氧化，所以限制它用於澆鑄工件，因為在工件凝固時，溶解氣體不能從其中析出，結果造成許多氣孔。工業上主要是用軋軋或拉製成絲狀、條狀、帶狀、板狀和管狀等形式的銅料，以及製造合金用的電解銅和銅錠。通常在製造各種銅零件和銅結構方面，採用 M0、M1、M2、M3 及 M3C 牌號的銅；在 M2 及 M3 牌號的銅內，氧的含量可允許到 0.1%。

含氧量不多的銅，就是所謂[無氧銅]，在生產上因有許多工藝方面的困難，所以，這種銅的生產，目前是有限的。

在工業中應用的各種技術用銅的成分和用途，由 ГОСТ 859-41 規定有六種牌號。這些牌號的銅的化學成分列於表 1。

表 I 按ГОСТ 859-41規定的技術用銅的成分和大概用途

牌號	銅 Cu	雜質，不超過 %										大概用途	
		鉍 Bi	銻 Sb	砷 As	鐵 Fe	鎳 Ni	鉛 Pb	錫 Sn	硫 S	氧 O ₂	鋅 Zn		其餘的 雜質
M0	99.95	0.002	0.002	0.002	0.005	0.002	0.005	0.002	0.005	0.02	0.005	0.05	用於高頻率導電零件 及合金
M1	99.90	0.002	0.002	0.002	0.005	0.002	0.005	0.002	0.005	0.08	0.005	0.10	用於導電體、銅材及 高級優質合金
M2	99.70	0.002	0.005	0.010	0.050	0.200	0.010	0.050	0.010	0.10	—	0.30	用於高級優質半成品 (導電體除外)和壓力加 工的銅質合金
M3	99.50	0.003	0.050	0.050	0.050	0.200	0.050	0.050	0.010	0.10	—	0.50	用於銅材及銅質合金 以及管子用的鑄造合 金
M4	99.00	0.005	0.200	0.200	0.100	—	0.300	—	0.020	0.15	—	1.00	用於各種非主要合金 的鑄造青銅
M3C	99.50	0.003	0.050	0.050	0.050	—	0.030	0.050	0.01	0.01	—	0.50	用於管子

用於高頻率導電零件及合金

用於導電體、鋼材及高級優質合金

用於高級優質半成品(導電體除外)和壓力加工的銅質合金

用於鋼材及銅質合金以及管子用的鑄造合金

用於各種非主要合金的鑄造青銅

用於管子

銅的鐸接特性

一直到最近,不論用氣鐸也好,電弧鐸也好,銅是屬於不良的鐸接金屬之列的。

通過近年來關於掌握銅的電弧鐸接的試驗和研究工作,指出了完全有可能獲得具有高度機械性能的强大鐸接接頭。銅的電弧鐸接可以按照別納爾道斯的方法(碳極),或斯拉汶諾夫的方法(金屬極)來完成。

在上述的鐸接方法中,熱源就是電弧(彼得洛夫弧)。

鐸接弧——就是在鐸條(電極)和被鐸(基體)金屬之間强烈的放電,同時發出大量的熱來。由電弧放出的熱,集中在燃燒區域中的不大的段落上。這個因素,在銅的鐸接情況下,由於銅有大的熱容量和導熱性,而得到特別重大的意義。在施行銅的電弧鐸接時,不論哪一種方法,都不能不認為比鋼的鐸接工作具有某些特點。由於熔化了銅,有很大的流動性(基本金屬和鐸條金屬),以致不能在所有的空間位置施行銅的鐸接。

目前,用現有的鐸條施行銅的鐸接時,只能在平鐸位置或傾斜角不大(20° 以下)的情況下才可以。

沒有特別的防止辦法,實際上不可能在懸空位置施行單側對接鐸,因為在這種情況下,鐸縫不可能完全鐸透,而鐸縫背面也不可能有良好的成形,故這種情況就得需要在特殊的襯墊上施行單道對接鐸。一般應用鐸劑、銅條、石墨、乾石棉等作為襯墊,把它們緊貼在鐸縫背面。銅的高度導熱性需要用强大的電流和直徑大的電極,以及將鐸縫始端預熱到溫度 $250\sim 350^{\circ}\text{C}$ 。

鐸銅時,使用直流電。鐸縫質量多半決定於鐸接速度,鐸接速度越高,鐸接質量越好。在用手工電弧鐸法時,不管用碳極或

金屬極施焊，焊接接頭的質量大都決定於焊工的熟練程度，因此對於銅的焊接工作，必須讓熟練的（有合格證書的）、參加過專業學習班而兼有經驗的焊工來担任。

雜質對銅的焊接性的影響

使用碳極或金屬極的銅的焊接性，大都決定於銅內的雜質。在銅內含有的雜質對於銅的焊接性、機械性能及工藝性質具有各種不同的影響：有些雜質能改善這些性能，而另外的一些雜質能降低這些性能。

在製造各種結構方面，普遍地應用 M1、M2、M3 牌號的銅板，它們含有氧、鉍、鉛、銻、硫、砷等雜質。

磷是一種較好的脫氧劑，在焊縫中含有少量的磷，不但不會使焊接質量變壞，而相反地，使氧化物轉移到熔渣中去，提高焊接接頭的強度。但是磷在焊着金屬中的含量不應當超過 0.1%；如果磷的含量大，焊縫的脆性就要大，因此，在選擇填充金屬時，必須考慮到這一點。

磷既是良好的脫氧劑，但同時也能減弱銅吸收氣體的能力，並提高它的流動性。後者對於焊接質量具有重大的影響，在實際工作中指出，熔化金屬的流動性大，能提高焊接速度，這點對於銅的焊接來說是特別重要的。因為加大焊接速度，焊縫質量就會更好。

砷在銅內的含量在 0.05% 以下，不會使銅的焊接性變壞，並且可促成強固的焊縫，於是使焊接接頭的性能改善。

硫是銅內有害的雜質，因為它會形成硫化物。當含硫量大時，硫化物分佈在晶粒邊界，使銅的強度減低，並造成紅脆現象。在焊接含有硫的銅時，熔潭內發生化學反應，這種化學反應的結

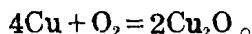
果會形成二氧化硫(SO_2)，這種氣體在鉚縫金屬凝固時析出而造成有孔的鉚縫。

鉍幾乎不溶於固體銅內；它在銅的晶粒周圍形成易熔的和脆的薄層，因此鉚縫在冷的或熱的狀態中是脆性的。鉍在銅內的含量不允許超過 0.003%。

在一般溫度下，鉛在銅內的含量達百分之零點幾是不會起有害影響的，不過當提高溫度時，鉛在這種比率上的含量，就會引起紅脆性。

氧的含量對銅的鉚接性具有很大的影響：銅的含氧量越大，鉚接性就越壞。在 M2 及 M3 牌號的銅內所允許的含氧量達 0.1%。在銅內的氧主要是以氧化亞銅的形態存在。鉚接時，銅被加熱到高溫的地方，可發現因吸收空氣中的氧而加大含氧量。

氧特別劇烈地增多發生在銅的熔化區域內，這時，銅被加熱到溫度接近於熔化溫度。氧化亞銅的形成是依下式進行的：



氧化亞銅在熱影響區域中的增多會增加脆性，並時常在冷的或熱的狀態中變形時促使形成裂紋。鉚接時，當加熱含氧量為 0.01%，甚至含氧量更多的銅時，在還原性氣體中，氫或一氧化碳，及其他的氣體便擴散到銅內，使它還原，同時形成不溶於銅的水蒸氣和二氧化碳。由於高溫而處於高壓下的水蒸氣和二氧化碳破壞金屬，使晶粒之間形成大的和小的裂紋。

銅由於[氮素病]而造成的破壞，往往發生在施鉚過程中和以後的冷態或熱態的變形中。

熔化狀態的銅很易和空氣中的氧化合。當鉚縫金屬凝固時所形成的氧化亞銅是以共晶體的形態[銅-氧化亞銅 ($\text{Cu} + \text{Cu}_2\text{O}$)]析出的，並以網狀組織分佈在銅的晶粒邊界。當它的

數量較多時，會形成各個共晶段或共晶場。

如有氧化亞銅，則在頗大的程度上減低銅在冷態時的強度和可塑性。

如果在電弧銲銅時，沒有採取適當的預防辦法，在受到熔化和高溫加熱的地方一定會產生銅的氧化過程。因而在施行電銲工作時，應當採取特種辦法來防止空氣中的氧侵入熔化的銅內去，或是儘可能使這個階段的工作短促。

銲接設備和工具

銲銅時所採用的電銲機必須保證下列各點：供應電弧所需的電規範；電弧穩定地燃燒；有可能精確地和平順地調整銲接電流。銲接發電機應當有不低於 60 伏特的無載電壓。

在銲銅方面，可以採用[電工]工廠出品的直流電單站式可移式電銲機，其牌號如下：ΠС-500、ΠС-300、СУГ-2а、СУГ-2б、СУГ-2р；或者 ΠСМ-1000 型固定式多站式電銲機。

用金屬極和碳極施銲時，最流行和最方便的是 ΠС-500 銲接發電機，其規格如下：

額定工作電壓	40 伏特
無載電壓	60~90 伏特
銲接電流強度	120~600 安培

ΠС-300、СУГ-2а、СУГ-2б 和 СУГ-2р 型單站式電銲機只實用於金屬極施銲工作上。因為這類銲接機的額定工作電壓為 25~30 伏特，這樣不可能用長弧工作，所以它們不能夠用於碳極施銲工作上。

上述的電銲機（除 ΠС-500 型外），由於其載荷為百分之五十時的最大工作電流達 350 安培，所以它們可以用來銲接厚度

在 6 公厘以內的銅板。當所需的電流必需大於 350 安培時，應當應用並聯[線路]的單站式電鉗機。

並聯工作只能以同一型式的電鉗機方可，因為它們要有同樣的電特性。在並聯中，所有的正極都接在一點，而所有的負極接在另一點；接線圖示於圖 1。鉗接電路中的電流強度是等於所有接入並聯工作的發電機電流強度的總和。當發電機接入並聯工作以前，每一台發電機的無載電壓必須相等，並確信每台發電機有正確的極性。

PCM-1000 型多站式電鉗機能同時供應九個或六個電鉗站，它的無載電壓為 60 伏特；電流強度達 1000 安培。每個鉗接站均備有 PB-200、PB-300 型穩定變阻器，這種穩定變阻器是順次接入鉗接電路中的。PB-200 型穩定變阻器能夠把鉗接電流在 10~200 安培的範圍中調整，而 PB-300 型穩定變阻器能調整電流自 20~300 安培。

PCM-1000 型多站式電鉗機可在能夠保證必要的鉗接電流強度的穩定變阻器並聯的情況下，用碳極或金屬極進行銅的鉗接。

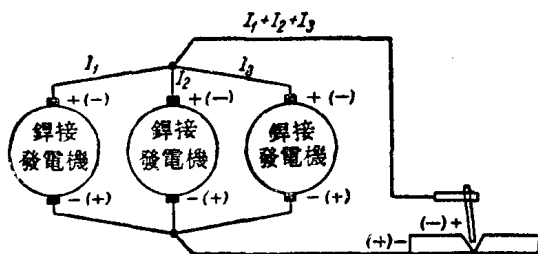


圖 1 鉗接發電機並聯原理圖。

鉗接電路中的總電流將等於通過每個穩定變阻器的電流總和。穩定變阻器並聯接線圖示於圖 2。

電極夾持器是每個焊工的主要工具，沒有它不可能施行銲接。電極夾持器用來夾持電極並使電流傳到電極。電極夾持器必須有簡單而便於使用的構造和不大的重量；在銲接過程中它不應當劇烈地受熱，夾持器的構造必須保證快速地掉換電極和可靠地夾持電極。

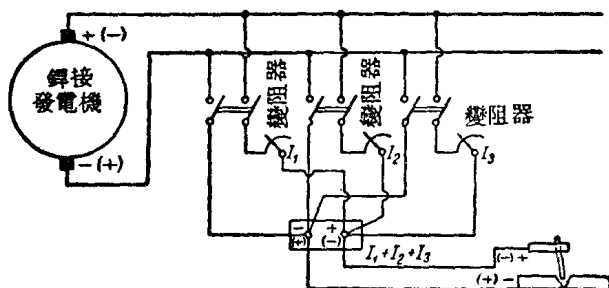


圖2 穩定變阻器並聯原理圖。

電極夾持器必須備有長度不少於1.5公尺的軟電纜。剛性電纜會造成困難，有時簡直在銲接過程中不可能用手操縱電極。

用金屬極施銲時，可以採用[電工]工廠出品的ЭД2型電極夾持器，當用碳極施銲時，這種構造的電極夾持器是不適用的，因為它沒有保護夾具，可以使接近於熱源(電弧)的焊工雙手不受損害。同時，又因為它夾緊電極不方便。使用碳極施銲時，必須採用特種構造的電極夾持器。

施銲時必須戴盾式或盔式面罩以保護眼睛和臉部免受熔化金屬和有害弧光的影響。

用金屬極施銲時，根據工作條件和熟練程度，焊工可以帶盾式或盔式面罩工作。用碳弧銲接時，只能戴盔式面罩，因為此時焊工兩手均需工作。

焊工的輔助工具有金屬刷、鑿子、鑿子、手鎚、檢驗銲縫和銲

前坡口用的成套樣板、安放工具和銲條用的箱子等等。

進行銲銅的段落，必須有良好的一般吸氣和排氣的通風裝置。此外，在每個工作地點，應備有噴射式可搬式通風裝置，可以把它直接裝置在施行銲接的地方。

在銲接有色金屬的實際工作中，採用如圖 3 所示的裝置簡單的噴射式通風機是極為相宜的。

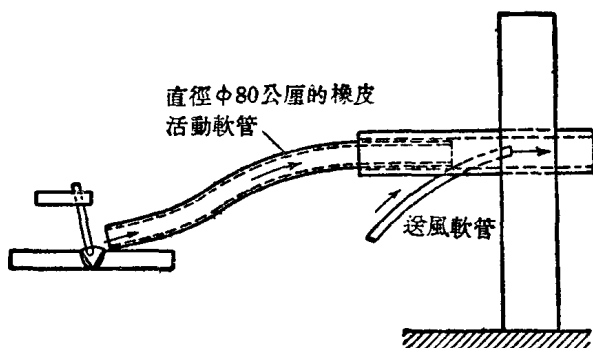


圖 3 噴射式局部通風裝置。

二 銲銅用的電極、填充金屬和銲劑

金屬弧銲銅用的電極

銅的電弧銲接可用熔化的金屬極施行，而金屬極同時也是填充金屬；或者用不熔化的碳極或石墨極施行。在後面這種情形裏，填充金屬是另外加進去的。

金屬極是由兩個部分組成的，即銲條芯和塗料。銲條芯直徑取用電極直徑。銲條塗料根據它在銲接過程中應起的作用，分成穩定的、形成氣體的、形成熔渣的和形成合金的幾種。

穩定塗料的主要功用是使電弧燃燒穩定。這種塗料是用白堊、食鹽、碳酸鉀、碳酸鋇等組成的。穩定塗料在銲條芯上塗上薄

薄的一層便可(十分之幾公厘)。在這種情況下,塗料的重量佔鉚條芯重量的1~5%。穩定塗料事實上跟使用裸鉚條(沒有塗料)施行的鉚接比起來,並不能改善鉚接接頭的質量。

形成保護氣體的塗料是由下列成分合成的,即木炭粉、澱粉、麵粉、糊精等。形成熔渣的塗料是由精選鈦礦、錳礦石、長石、大理石、白堊、高嶺土、石英砂等合成的。加入形成熔渣塗料成分內的白堊同時也可作為穩定劑。加入塗料成分中形成熔渣的成分應當促使熔渣均勻地蓋覆鉚縫表面、熔渣從鉚縫金屬中完全分離出來,以及必須保證鉚完後熔渣容易被清除掉,形成氣體和熔渣成分的功用是保護熔潭中的熔化金屬免受周圍空氣中的氧和氮的有害作用。

為了獲得高度機械性能的鉚接接頭,在塗料成分中加入形成合金的成分,這種成分在熔化過程中轉移到鉚縫金屬中去(例如錳、矽等)。同時,形成合金的填充金屬可作為熔潭金屬的脫氧劑。形成合金的元素是以錳鐵和矽鐵等形態加入塗料中去的。

在鉚接方面,多半採用複合塗料的鉚條。在這種塗料的成分中有穩定的,有形成保護氣體和保護熔渣的,以及形成合金的成分。具有這種塗料的鉚條,通常在實際的鉚接工作中叫做厚塗料鉚條;也就是優質鉚條。在厚塗料鉚條上,塗在它上面的塗料厚度有0.4公厘或者更厚;而塗料重量不小於鉚條芯重量的15~20%。

在把塗料塗到鉚條芯上時,不應當發生工藝上的困難。塗料應當跟鉚條芯有較好的黏結,並具有必要的機械強度及耐濕性。在塗料中,儘可能不加入稀有的和貴重的成分。

在鉚銅的情況下,除上述的一般要求外,鉚條塗料必須具有高度的發熱能力,以便補償由於銅的高度導熱性而造成由鉚接