



焊工革新者叢書

彼得洛夫著

有色金屬及其 合金的焊接

機械工業出版社

苏联 Г. Л. Петров 著 ‘Сварка цветных металлов и их сплавов(ЛДНГП и ЛОНИТОС 1954 年第一版)

* * *

著者: 彼得洛夫 譯者: 郭希烈

NO. 1496

1957 年 11 月第一版 1957 年 11 月第一版第一次印刷

787×1092 ¹/₃₂ 字数 19 千字 印張 7/8 0,001— 2,300 册

机械工業出版社(北京东交民巷 27 号)出版

机械工業出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版業營業
許可証出字第 008 号

統一書号 T15033·764
定 价 (9) 0.13 元

出版者的話

这套叢書是苏联列宁格勒科学技术推广所和全苏焊接科学技术工程学会列宁格勒分会編輯出版的。这套叢書系統地叙述焊接的各种方法、工艺规范和苏联在焊接方面的新成就，可以帮助我国熟练焊工和焊接工作人员进一步提高技术水平，所以我们决定把这套叢書翻譯出版。

本叢書一共有18本。它們是：[苏联焊接發展史和近代焊接法]、[焊接时發生的过程]、[低碳鋼的手工电弧焊接]、[手工电弧焊的高生产率方法]、[半自动焊接]、[自动电弧焊接和电渣焊接]、[接触焊接]、[气焊]、[气割]、[金屬的釐焊]、[合金鋼的焊接]、[有色金屬及其合金的焊接]、[鑄鉄焊接]、[金屬結構的裝配和焊接順序及防止弯曲的方法]、[焊接質量檢查]、[焊接生产中的技术定額和劳动組織]、[焊接生产中的劳动保护和安全技术]、[参考文献目录]。其中最后一册[参考文献目录]因跟工人同志的关系不大，所以不打算翻譯出版。

本書是叢書的第12册。

目 次

一	有色金屬及其合金的焊接特性·····	3
二	有色金屬及其合金的各种焊接方法·····	4
三	銅和銅合金的焊接·····	6
四	鋁和鋁合金的焊接·····	19

人們掌握有色金屬和它們的合金的焊接，比鋼的焊接少得多。因為這個原因，就還有着利用改進焊接的方法和選擇最適合的焊接材料，來進一步廣泛地改善有色金屬及其合金焊接工藝的可能性。

一 有色金屬及其合金的焊接特性

各種有色金屬及其合金，跟普通的鋼比較，有許多的特性，焊接有色金屬不容易得到良好的焊接接頭，並且焊接工藝也受限制。

有色金屬和它們的合金，比鋼的導熱性要高得多。例如銅的導熱性大概是鋼的6倍，黃銅和鋁是鋼的3~3.5倍。因此焊接的地方，就難以達到所需要的溫度，不得不採用大的熱量，有些時候，焊件還要預熱或者局部預熱。

比起鋼來，這些合金的導電性也相當高，當利用金屬焊條電弧焊（較〔冷的〕電弧）時，特別是應用電阻焊（電流通過時，所產生的熱量較少），同樣使焊件的加熱感到困難。

有色金屬普遍都缺少對於焊接有益的成分。在鋼裡面總含有碳、錳，還常含有硅，當焊接時，這些成分能使熔潭脫氧，提高焊接金屬的質量。可是銅或者鋁裡面就沒有這些脫氧劑，所以銅、鋁在焊接時，形成焊接金屬本身的各种氧化物，使焊縫的性質變壞。鋁和鎂非常容易氧化，利用其他各种化學元素脫氧很困難。熔化狀態的銅，也是十分容易氧化的。為了改善焊縫的性能，要求

附加一些藥品。此外，大多數種類的銅，在它們的成分里，都含有降低焊縫鑄造金屬性質的氧。

某些雜質（砷在銅中，氮在鋁合金中）對焊接有不良的影響。

焊接時在金屬里起作用的各種氣體，溶解在有色金屬中比溶解在鐵中來得多。例如溶解在銅里的氫和一氧化碳，在液體金屬冷卻和結晶的過程中，它們都想從熔潭里跑出，但是由於基本金屬導熱性高，熔潭金屬很快冷卻的原因，不容易使這些氣體自由而及時地排除，因而就造成了焊縫的多孔性。

銅或者在低溫時有高的強度，或者在高溫時有大的塑性。可是許多有色金屬當高溫時，它們的強度和塑性卻都降低。受有拉力時，它們抵抗裂紋形成的能力不好。銅在 $250\sim 500^{\circ}\text{C}$ 時，一些鋁合金當高於 350°C 的溫度時，就發生這種情況。

某些有色金屬和它們的合金，當冷軋（所謂「冷作硬化」）後，或者在特殊的處理後，也包括着熱處理在內，具有最好的機械性質。但當受焊接熱的影響時，會失掉以前利用加工所改善了的性質，所得焊接接頭的性能比不上母體金屬。尤其是一些鋁基合金（例如冷軋的鋁、硬鋁等）特別顯著。

除了上述的困難以外，當焊接有色金屬和它的合金時，還有困難的地方，例如鋁、特別是鎂的比重很小，在焊接過程中妨礙着焊劑和熔渣的排出；鎂當接近熔點時，能夠發生燃燒現象等等。

二 有色金屬及其合金的各種焊接方法

某些有色金屬及其合金，因為塑性很高，可以用加壓冷焊的方法接合起來。應用冷焊接合的有：鋁綫的對接、鋁的和銅的匯流排，若干鋁的電鍋零件。鎳、鉛和一些鋁合金以及其他塑性金屬，也可以用這種方法焊接。

用接觸焊（點焊、縫焊和對焊）焊接鋁合金和銅合金，由於它們的電阻不大和導熱性高的原因，應當使用大功率的機器。

直到最近，在熔融焊接方法中，焊接有色金屬和它們的合金，氣焊還是應用得最廣泛的。因為利用氣焊火焰，用不着把加熱跟填充金屬熔焊合在一起做，這樣就輕易地使母體金屬焊接達到所需要的溫度，以後焊縫也便於熱處理。此外，利用可燃氣體（普通為乙炔）和氧的用量比例，容易調整火焰的成分，還有可能應用各種焊劑，容許比較簡單地選擇實行焊接所必要的條件。

利用不熔化的石墨（碳精）電極的焊接，完全跟熔融氣焊一樣。石墨電極和焊件之間的電弧，一般比氣焊火焰的熱源較為集中，可以很迅速地使母體金屬加熱，在某些時候，這是非常重要的。

不論是氣焊或是應用石墨電極的電弧焊時，普通都要用填充金屬，並在許多的情況下，還要利用適宜於有色金屬和它的合金焊接的各種焊劑。

近來開始應用不熔化的電極（普通為鎢極），在中性保護的氣體中焊接的方法。

用熔化的金屬焊條焊接有色金屬和它們的合金，是極為困難的，開始研究和應用都還是不久以前的事情。當應用這種電弧焊時，其中的一個主要困難，就是焊條金屬在整個電弧燃燒的時間內都要熔化，其實，一般較大的母體金屬（焊件），在開始焊接的時候，還是加熱不夠的，因而會得到未焊透的結果。所以普通都必須把焊件預熱，或應用大的焊接電流，因而增大了焊條的直徑。舉例來說，焊接3~4公厘厚的鋼件，平常應用的也是3~4公厘直徑的焊條，但當焊接同一厚度的銅件時，就必須使用約6公厘直徑的焊條。

至於利用不熔化或熔化的電極，有色金屬和它們的合金的自

动焊接，不管是明弧，或是焊剂層下的埋弧，現在还都是在实验室里进行研究和創造的阶段。

实验室的試驗，对于应用熔化电極在焊剂層下来焊接銅，已經有了一些好結果，大概很快地就可以在生产上应用。

这样說来，許多有色金屬和它們合金的熔融焊接方法，已經能够应用在各种零件和結構的制造和修理的工作上。

三 銅和銅合金的焊接

銅不是輕金屬，它有高的导热性、导电性，在各种化学物質的作用下，也有高的化学稳定性。銅的机械性能很高，可以利用它作为制造各种結構的材料。在非常低的溫度，一切的鋼都几乎变脆的时候，銅却仍然保持着本身的性質不变，所以可应用它制造在極冷情况下使用的一些器皿。焊接的各种零件，主要是用軋制成的銅板或銅管制造。这些零件包括有各种槽、鍋、管道、配电匯流排和化学設備以及各种用具等。对于焊接接头除去特殊的要求（气密性、导电性等）之外，一般都要求有好的强度和塑性。

按照一般品种的銅的特性，氧是主要的雜質。銅和它的氧化物（氧化亞銅）生成的合金的熔点，比銅本身的熔点要低一些，这种合金在鑄造金屬中最后凝固。这时，銅的各个晶粒表面，好像被脆性的合金〔包围〕，所以未脫氧的鑄造銅的塑性很小。但是由于軋制的結果，这些脆性薄膜受到破坏，而使鄰近的晶粒彼此连接起来。因此軋制过的銅，就有了相当高的塑性。甚至軋制过銅也还含氧而降低塑性，并且銅的晶粒越小，氧就一定越多，使它的塑性降低。

苏联工業所生产的紅銅板的牌号，如表 1 所列，而氧含量对于銅的机械性質的影响，則如表 2 所示。

表 1 紅銅板的牌号

牌 号	化 学 成 分 (%)			
	銅不少于	氧不多于	鉍不多于	銻不多于
M-1	99.9	0.08	0.002	0.002
M-2	99.8	0.10	0.002	0.002
M-3	99.7	0.10	0.002	0.002
M-4	99.5	0.15	0.003	0.005
M-5	99.0	0.20	0.005	0.01

表 2 氧含量对于銅机械性質的影响

成 分 (%)		拉力强度 (公斤/公厘 ²)	延 伸 率 (%)
銅	氧		
99.64	0.25	24.5	29
99.69	0.18	24.0	35
99.68	0.12	23.8	44

銅的机械性質和溫度有很大的关系，在 250~550°C 的溫度範圍中，銅的強度被降低，而塑性也并不高（圖 1），在變形時可能產生裂紋。所以在這種溫度，對於銅不能錘打。銅在焊後冷卻過程中，在這個溫度範圍內，如果有焊接拉應力存在，就會產生裂紋。

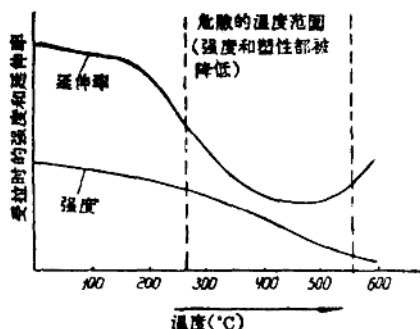


圖 1 銅的強度和塑性根據溫度變化的圖解。

銅在焊接時，因為本身有大的導熱性，會很快地從加熱地方把熱散開，所以銅的整個受熱區，比焊接鋼時要大大地加寬。當

气焊时铜有最宽的受热区。而手工电弧焊、特别是焊剂层下的自动电弧焊，它受热区的尺寸较小。铜当焊接时，由于有比钢大的受热区和高的热膨胀系数的原因，首先就发生相当大的热变形，并在焊缝冷却时，造成相当大的应力，尤其是刚性的

零件更为显著。钢和铜焊接时的热变形和热分布的一般略图如图2和图3所示。

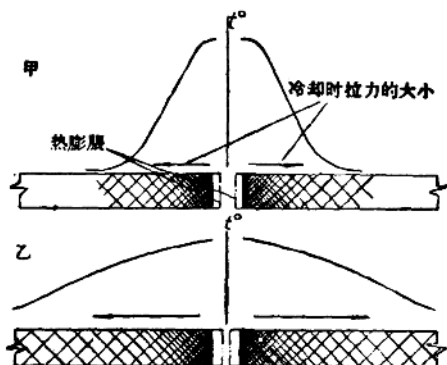


图2 受热板件的热膨胀和热的分布；冷却时拉力的大小(气焊)：

甲) 钢；乙) 铜。

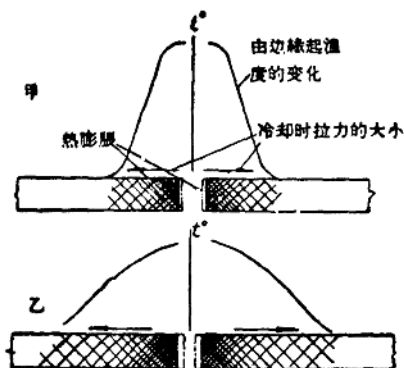


图3 受热板件的热膨胀和热的分布；冷却时拉力的大小(电弧焊)：

甲) 钢；乙) 铜。

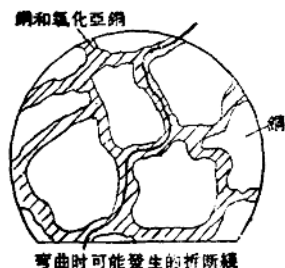


图4 含有氧化物的铜的显微组织(焊缝金属的特征)。

焊接时銅与各种气体特别是和氧發生强烈的反应。这时所产生的氧化亞銅和銅一起結晶，形成各个晶粒之間的脆性薄膜。圖4所表示的就是这种焊縫在显微镜下金屬組織的特征。当弯曲試驗时，总是沿着这些薄膜發生破坏，并帶有磚色特征的折断面。应用下列各种方法，可以得到塑性較好的金屬：

1. 保护着金屬不受氧化(气焊时一定要調整成标准火焰，气焊和碳極电弧焊接时使用焊剂，金屬極电弧焊时使用塗料、自动电弧焊时使用焊剂，应用中性保护气体)。

2. 用在焊着金屬中加入的脫氧剂，使熔潭的液体銅脫氧(气焊时加入0.1~0.2%的磷，电弧焊时加入1~3%的硅和錳)。

3. 利用錘击把氧化薄膜破坏(对于2~3公厘的薄金屬，可在低于200°C的溫度时錘击，厚金屬則要高于550~600°C的溫度)。

如果在被焊的銅中，含有多量的氧时，那么脆性薄膜不仅在焊縫中产生，而且也發生在鄰近焊縫的区域里。当加热到接近于銅的熔点溫度时，利用軋制所破坏了的薄膜，重新被熔化，鄰近焊縫区域的各个晶粒仍旧被「包圍」起来。假如只是錘打焊縫本身，那么当弯曲时，將要从焊縫的近旁發生破坏(圖5)。



圖5 含氧的銅焊縫被錘打时破坏的情况。

防止这种焊接接头减弱的方法为：

1. 应用含氧少的銅来作焊件。
2. 利用釐焊焊接(使邊緣和母体金屬的加热，不超过1064°C的溫度，因为达到这种溫度时，銅和它的氧化物的共晶体就被

熔化)。

3. 应用对母体金屬加热較小的焊接方法(利用电弧焊, 特别是自动电弧焊, 以代替气焊)。

4. 利用把边缘冷鍛的預先冷作硬化的焊接特殊准备(用鍛粗方法把边缘加厚)。

氫对銅的性質同样也發生有害的影响。氫容易溶解于熔化的銅中。当結晶时, 氫开始跟晶粒边界区域的氧化合, 形成水蒸汽。这种水蒸汽發生膨脹, 破坏还在薄弱的各晶粒之間的联系, 而产生[細微的]裂紋。这就是所謂銅的[氫病]。因此当焊接时, 在跟熔潭接触的气体中, 須尽可能地除掉氫(当气焊时不能应用乙炔过多的碳化焰, 在焊条塗料中不能加入淀粉、糊精等)。

对銅的性質有不良影响的还有硫、鉛和銻。它們都增加銅的热脆性, 而銻并能增加銅的冷脆性。

气焊 应用比焊接鋼有更大效能的火焰, 进行銅的气焊。所采用的噴咀, 比焊接同样厚度的鋼要大1~2号。当焊接大的相当厚的零件时, 必須使用两个焊槍进行預热, 而普通是第二个焊接工, 在实行焊接焊縫的第一个焊接工前面繼續預热。在这种情况下, 两个焊接工的焊槍, 在效能方面跟焊接同样厚度鋼板的焊槍号碼适合。

焊槍的火焰精确的調节成标准火焰, 不应用乙炔过多的碳化焰或氧气过多的氧化焰。火焰要柔和, 对于金屬的傾斜, 比焊接鋼时須較为垂直。

为了减少金屬的氧化起見, 以能保證得到所必須的深度的焊透速度, 实行最迅速地焊接。銅件的厚度从3公厘起, 对接焊縫应用开坡口的方法, 就可以达到这个目的。V形焊縫应开成 90° 的角。它的鈍边平均厚度須为2公厘。对于厚的焊件, 如果是兩

个焊工同时自接口兩方面进行垂直方向的焊接工作时，才应用X形焊缝。

焊接薄的焊件（3公厘以下），应用由电解铜制成的焊丝作为填充金属，可以得到满意的焊缝性质。进行高速焊接薄金属时，利用焊剂一般得不到效果。为了改善焊缝的性质，在焊接后须实行锤击。

厚零件的焊接，当应用含有脱氧剂的填充物时（普通含有磷或硅），可以得到较好的结果。填充丝的直径按照表3加以选择。

表3 焊接铜的填充物截面的选择

铜的厚度(公厘)	1.5以下	1.5~2.5	2.5~4	4~8	8~15	15以上
填充物的直径(公厘)	1.5	2.0	3.0	4.0~5.0	6.0	8.0

厚3公厘以上的铜，须应用焊剂焊接。焊接铜的焊剂，主要是由煅烧过的硼砂、硼酸和一些其他的成分所组成。细粉状的焊剂，借助加热了的填充物加入焊接熔潭中。最通用的各种焊剂成分如表4所列。

焊接时填充物应位于焊接熔潭的上面，以便不使它变冷。这个时候，所熔化的金属滴就落在熔潭中。为了不使金属滴受到很厉害的氧化，应把填充物拿近焊接熔潭的表面。

进行板件对接焊缝的焊接时，为了保证能焊透而且一次焊成，必须确使边缘熔化的瞬间，它的间隙不少于1.5公厘。考虑到边缘相当大的热膨胀（圖2），最初的间隙可以留得较大一些。但是维持所必需的间隙还是困难，因为把板件用点焊固定，当焊接时可以因为纵裂纹而使焊缝破裂（分两层焊接时，由于第一层固定的原因，可以使焊缝破裂。铜必须一次焊成）。所以长焊缝最好在

表 4 焊接銅的各种焊剂成分

組成焊剂的名称	焊 剂 成 分 (%)				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5 ①
熔化的硼砂	100	70	50	50	94
硼 酸	—	10	35	—	—
食 鹽	—	20	—	—	—
磷 酸 鈉	—	—	15	15	—
木 炭	—	—	—	20	—
石 英 砂	—	—	—	15	—
鎂	—	—	—	—	6

● № 5 焊剂(硼鎂熔渣)的制造,是在火焰爐中把鎂屑加入熔化的硼砂中。这时,須防止鎂的燃燒。其余的焊剂是把各种組成的細粉加以混合配制而成。

自由状态下焊接,不用点焊或坚固夾具把板件固定。全部或几乎全部的焊縫,自一端到另一端能够进行 [一次焊成],但是要求板件留有放寬的間隙。

随着焊接的进行,板將向一塊聚攏,但是跟着板的受热,焊接速度变化的原因,要想保証焊縫的每一段間隙都减少到所需要的大小是困难的。所以較好的方法是在接口的反面用石墨板垫起来,以阻止当大的間隙或强力的焊透时金屬流出来。如果制造这种垫板困难时;那么可应用点焊固着,但是在这种情况下,長焊縫应分成許多段落焊接(圖 6)。



各个阶段的長度

圖 6 实行点焊固着長焊縫的焊接示意图。

和数量,要按照銅焊件的厚度和焊縫的总長来决定。

假如焊縫过分凸起,那么当錘击之前必須把它錘掉,差不多

跟母体金屬的邊緣齐平，因为焊缝当錘击—[擴張]时，能够在接近熔合綫的地方形成裂紋。当焊缝凸起正常时，那么可以錘击，不必利用特殊的修平刀或鈍边的手錘把金屬錘掉。

除了錘打之外，为了改善焊接接头的組織和性質，最好焊接后进行热处理，把焊缝和鄰近焊缝的区段加热到 $550\sim 600^{\circ}\text{C}$ 的温度，放入水中使它迅速冷却。

应用气焊来焊接的焊接接头，不錘打时，拉力强度有 $12\sim 17$ 公斤/公厘²，而在錘打后，拉力强度则为 $18\sim 20$ 公斤/公厘²。这时，焊接接头金屬的塑性和弯曲角度，也同样相应地增加。

搭接接头特别是丁字形接头的焊接，有相当的困难，可以引起未焊透和咬边（当丁字形接头时）的現象。

在若干的場合下，利用硬焊料的釐焊，可以有成效地代替銅的气焊。銅的釐焊最通用的焊料就是黃銅和磷青銅。銅在釐焊时，应用黃銅焊料可以得到塑性較高的焊缝，对于致密的接头，則可利用較易熔化的磷青銅焊料。普通利用气焊接火焰来进行焊接，所应用的焊剂以硼砂和硼酸为主。

利用石墨（碳的）电极的电弧焊完全跟銅的气焊一样，但是在这种情况下，照例是在填充物和焊剂中应用各种脫氧剂。利用石墨（碳的）电极的手工焊接，使用長弧（电弧长度大于 $20\sim 25$ 公厘）、直流电正極性。填充物和电极的位置圖如圖7所示。利用短弧焊接銅时，可能得到多孔的焊缝。

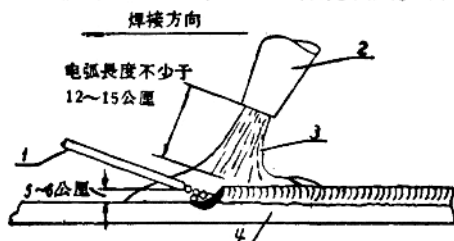


圖7 利用碳極焊接銅：

- 1—填充金屬；2—石墨極的末端；3—电弧；
4—母体金屬。

用在焊接的焊藥，普通是預先附着在填充金屬上面，但是也可能当焊接时加入焊剂。

普通最好利用脱氧的磷銅作为填充金屬。所应用的焊剂和气焊时相同。表 5 所列是应用石墨極手工电弧焊接銅的规范。

表 5 石墨極手工焊接銅的规范

銅焊件的厚度 (公厘)	石墨極的直徑 (公厘)①	电弧电压 (伏特)	焊接电流强度 (安培)
0.9	4.0	40~45	130~180
2.0	6.0	40~45	190~260
4.0	6.0	40~50	250~330
6.0	8.0	40~50	320~430
12.0	9.0	40~50	420~550

① 利用石墨極焊接时，它的直徑应当較大。電極的末端要打磨成圓錐體。

石墨極电弧焊仅能用在平焊上。焊接后最好錘击焊好的焊縫。

按实行技术方面来講，利用熔化焊条的金屬电弧焊，是最有效果和簡單的。所以銅焊接时也就自然的想用这种操作方法。但是在这方面仅在最近才达到实际的效果。

列宁格勒的某一工厂所創造的焊条，可以焊接銅制零件的对接焊縫和填角焊縫。

应用 KMn-3-1 的硅錳青銅作为焊条芯，其中含有 3% 的硅和 1% 的錳。在焊条芯上塗以 3T 成分的塗料 (%)：

錳矿——17.5

螢石——32

銀色石墨——16

硅鉄 (硅——75)——32

鋁粉——2.5

利用水玻璃混合塗料，塗在焊条芯上。对于 4~6 公厘直徑的焊条芯，塗料的厚度在各方面为 0.2~0.3 公厘。焊条要在 300°C 的温度时煅燒 2 小时。

利用直流电反極性进行焊接。焊缝金屬除去銅外，普通含有約1.5~2%的硅和約1%的錳。这种金屬成分的强度，当有充分良好的塑性时为22~26公斤/公厘²。这种焊条有成效地用以焊接中等厚度銅制造的板結構，以及用来把法蘭盤鑲焊在銅管上。

唐波夫的〔共青团員〕工厂創造了銅心的焊条。这种焊条塗料的成分如下(%)：

螢石——10

長石——12

錳鉄——50

硅鉄(硅——75)——8

利用水玻璃(所有混合物重量的20%)混合成塗料，塗在焊条芯上。塗料的厚度在各方面为0.4公厘左右。焊条要在300°C的溫度中煅燒2小时。

利用直流电反極性进行焊接，应用短弧而焊条不作橫向的摆动。

焊接后进行錘击，以改善金屬的性質。

焊接的結果，大致跟利用由Бр-КМц-3-1作成焊条芯的焊条焊接时相同。

銅有許多各式各样的合金。其中最通用的是黃銅(銅和鋅的合金)、錫青銅(銅和錫的合金)和無錫青銅(硅的、錳的、鋁的、鋁-鉄的和其他)。若干合金的成分中有鎳、磷和鉛。

黃銅应用得很广泛，主要是利用軋材。实际上最通用的是含有10(頓巴克黃銅)~40%鋅的合金。黃銅的机械性質由它的化学成分来决定。黃銅的平均極限强度达30~40公斤/公厘²，延伸率为15~40%。

黃銅的导热性比鋼高得多，但是大致为銅的二分之一。

焊接黃銅的主要困难，就是因为鋅的氧化和蒸發，使鋅大量