



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112048637 A

(43) 申请公布日 2020.12.08

(21) 申请号 202010971426.7

(22) 申请日 2020.09.15

(71) 申请人 杭州铜信科技有限公司

地址 310000 浙江省杭州市余杭区五常街
道文一西路998号1幢601室

(72) 发明人 高维林 屠晓梅

(74) 专利代理机构 北京轻创知识产权代理有限公司 11212

代理人 孟鹏超

(51) Int. Cl.

G22C 9/06 (2006.01)

G22F 1/08 (2006.01)

H01B 1/02 (2006.01)

权利要求书1页 说明书7页

(54) 发明名称

一种铜合金材料及其制造方法

(57) 摘要

本发明提供一种铜合金材料,其含有0.2-0.5wt%的Co,0.2-0.5wt%的Ni,0.10-0.33wt%的P,进一步含有选自Fe,Mg,Cr,Sn,Zn,Zr和Ti中的一种或多种,而且其总量为0.2wt%以下,其余为Cu及不可避不纯物组成,该铜合金板材具有满足下面式(1)和(2)的成分比例关系 $0.5 \leq \{Co\} / \{Ni\} \leq 2.0$ ……(1) $3.0 \leq (\{Co\} + \{Ni\}) / \{P\} \leq 4.0$ ……(2);其中{Co},{Ni}和{P}分别表示铜合金材料中Co,Ni和P的wt%。该铜合金材料是通过高温短时间和低温长时间相结合的特殊热处理工艺制造的,具有导电率70%IACS以上,拉伸强度700MPa以上,良好的导热性,耐热性和弯曲加工性。

1. 一种铜合金材料,其含有0.2-0.5wt%的Co,0.2-0.5wt%的Ni,0.10-0.33wt%的P,其余为Cu及不可避不纯物组成,该铜合金板材具有满足下面式(1)和(2)的成分比例关系:

$$0.5 \leq \{Co\} / \{Ni\} \leq 2.0 \cdots \cdots (1)$$

$$3.0 \leq (\{Co\} + \{Ni\}) / \{P\} \leq 4.0 \cdots \cdots (2)$$

其中{Co},{Ni}和{P}分别表示铜合金板材中Co,Ni和P的重量百分比。

2. 根据权利要求1所述的铜合金材料,其特征在于,还含有选自Fe,Mg,Cr,Sn,Zn,Zr和Ti中的一种或多种的元素,而且其总量为0.01-0.2wt%。

3. 根据权利要求2所述的铜合金材料,其特征在于,Fe,Mg,Cr,Sn,Zn,Zr和Ti中的一种或多种的元素的总量为0.01-0.15wt%。

4. 根据权利要求1或2或3所述的铜合金材料,其特征在于,铜合金板材的导电率70% IACS以上,热传导系数在275W/(m,k)以上,拉伸强度700MPa以上,耐热温度450℃以上,最小弯曲半径与板厚比R/t小于2.0。

5. 权利要求1-4中任一项所述铜合金材料的制造方法,其特征在于,其包括顺序进行的以下步骤:熔融铸造,950-1000℃加热3-5h后热加工处理,然后冷加工,在600-700℃之间进行30秒到3分钟之间的中间热处理,20-60%加工率的冷加工,350-450℃温度区间内3-6小时的时效处理,最终冷轧及最终冷轧后进行的低温退火,;

或者,包括顺序进行的以下步骤:熔融铸造,950-1000℃加热3-5h后热加工处理,然后冷加工,再于800-1000℃的固溶处理,在600-700℃之间进行30秒到3分钟之间的中间热处理,而后20-60%加工率的中间冷加工,350-450℃温度区间内3-5小时的时效处理,最终冷轧及最终冷轧后进行的低温退火。

6. 根据权利要求5所述的铜合金材料的制造方法,其特征在于,所述热加工处理为热轧、热锻或热挤压中的任意一种,热加工后采用水冷。

7. 根据权利要求5所述的铜合金材料的制造方法,其特征在于,低温退火为350-550℃内,数秒钟至数分钟的连续退火,或者150-350℃内数小时钟罩炉退火。

8. 根据权利要求5所述的铜合金材料的制造方法,其特征在于,熔融铸造中,P在Cu及其它合金元素完成溶解后,临铸造开始前添加。

9. 根据权利要求8所述的铜合金材料的制造方法,其特征在于,在溶解炉和流槽内添加木炭和/或通入氮气。

一种铜合金材料及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及作为高速铁路用接触线,各种连接器,集成电路引线框架,散热器,继电器,开关等电器和电子部件中,对材料导电性和传热性要求高的铜合金材料及其制造方法。该铜合金材料具有优异的导电性和传热性的同时,具有良好的强度,耐热性和弯曲加工性。

背景技术

[0002] 各种电器和电子部件的基础铜材料在使用中,为了抑制通电时产生的热量,要求材料具有良好的导电性和传热性(散热性),同时,为了保证电流流通,需要部件间有足够的接触压力,因此要求铜合金材料具有足够高的强度。并且,为了防止电器和电子部件在使用中的发热导致材料变软(强度低下),材料要有良好的耐热性。另外,电子部件一般是通过弯曲而成形的,因此要求材料具有良好的弯曲加工性。

[0003] 目前广泛使用的高导电和高强度的铜合金材料,主要有两个特性区域;一是导电率在80-85% IACS,拉伸强度在500-550MPa。主要有Cu-Cr-(Zr)系合金(比如C18140, C18150, C18400, C18080等)和Cu-Co-P系合金(比如日本DOWA公司的KD-10合金,三菱伸铜公司的HRSC合金等);二是导电率在60-65% IACS左右,拉伸强度在600-650MPa。主要是Cu-Co-Si系合金(比如日本日矿金属公司的NKC4419等)和Cu-Ni-P系合金(比如日本神户制钢公司的KLF170等)。而在上述两者的中间区域,即导电率70% IACS左右(65-75% IACS之间),目前还没有商品化的铜合金。

[0004] 近年来,随着高速铁路的增速,电器和电子部件的高速传输(大电流)化和小型化,要求所使用的铜合金材料的强度和导电率越来越高;具体地对拉伸强度在700MPa以上,同时导电率在70% IACS以上(即所谓的70合金)的要求越来越迫切。

[0005] 在上述各合金系基础上进行合金成分的调整,以及传统工艺下的工艺参数的调整,由于众所周知的强度与导电率互为相反的关系,导电率70% IACS左右时的拉伸强度应该在550-600MPa,很难达到700MPa以上。

[0006] 鉴于市场的实际需求和现有铜合金不能满足,具有导电率70% IACS,拉伸强度700MPa以上、同时具有良好的耐热性和弯曲加工性的现状,对此进行针对开发和完成了本发明。

发明内容

[0007] 本申请基于对Cu-x%Co-z%P合金,Cu-x%Ni-z%P合金以及这两种合金的混合成分Cu-x%Co-x%Ni-2z%P合金的详细调查研究发现,在一般的固溶-时效工艺条件下,Cu-Co-P合金的最佳时效温度在550℃,得到的导电率-拉伸强度是80% IACS-500MPa左右;Cu-Ni-P合金的最佳时效温度在450℃,得到的导电率-拉伸强度是60% IACS-600MPa左右;这些结果与目前报导的结果是一致的。Cu-Co-Ni-P合金在550℃或450℃时效后得到的拉伸强度分别与Cu-Co-P或Cu-Ni-P合金的强度相近,而导电率都降低了10% IACS左右。说明Co-P析

出物和Ni-P析出物的析出温度不同,导致析出强化没有期待的叠加效果。因此,到目前为止,除了Cu-Co-P合金中添加微量的Ni,或者Cu-Ni-P合金添加微量的Co,还没有Cu-Co-Ni-P系的商品化合金。

[0008] 本申请发现通过Co,Ni,P的成分优化和合理的制造工艺条件,最终能达到Co-P和Ni-P析出物的叠加强化效果,达到导电性,传热性,强度,耐热性和弯曲加工性等综合特性优异的铜合金材料。本发明是基于这些发现而完成的。

[0009] 本发明提供一种铜合金材料,其含有0.2-0.5wt%的Co,0.2-0.5wt%的Ni,0.10-0.33wt%的P,进一步含有选自Fe,Mg,Cr,Sn,Zn,Zr和Ti中的一种或多种,而且其总量为0.2wt%以下,其余为Cu及不可避不纯物组成,该铜合金板材具有满足下面式(1)和(2)的成分范围和比例关系

$$[0010] \quad 0.5 \leq \{Co\} / \{Ni\} \leq 2.0 \text{wt}\% \cdots \cdots (1)$$

$$[0011] \quad 3.0 \leq (\{Co\} + \{Ni\}) / \{P\} \leq 4.0 \cdots \cdots (2)$$

[0012] 其中{Co},{Ni}和{P}分别表示铜合金材料中Co,Ni和P的重量百分比。

[0013] 上述的铜合金板材的导电率在70% IACS以上(热传导系数在275W/(m,k)以上,拉伸强度在700MPa以上,耐热温度在450℃以上,代表弯曲加工性的最小可弯曲半径R与板厚t的比R/t在2.0以下。

[0014] 导电率按照JISH0505规定的方法测定。热传导系数按Wiedemann-Franz法则与导电率成线性比例关系算出。拉伸强度是从材料的长度方向切取试样,按照JISZ2241规定的方法测定。耐热温度是将板状试样100-600℃之间(间隔50℃)加热保持30分钟后,测量硬度。随着加热保持温度的升高,硬度会降低。以试样加热保持后的硬度为加热前硬度的80%时所对应的温度为耐热温度。即,在耐热温度以下的温度区间保持30分钟时,硬度会保持80%以上。弯曲加工性是针对板带材,在长度方向分别为轧制方向(LD)和垂直于轧制方向(TD)上采取的试样(宽度均为10mm),按JISH3110规定的90°W型弯曲加工法进行弯曲加工,得到不发生裂纹的最小弯曲半径R于板厚t的比R/t的值来评价。

[0015] 本发明还提供了该铜合金材料的制造方法,该方法包括对具有上述组成的铜合金顺次进行以下步骤,连续或半连续铸造法铸造的坯锭,热轧(热锻,热挤压)等热加工,冷轧(冷锻,冷拔)等冷加工,固溶和时效等热处理,铣面和酸洗等常规的制造工艺。上述制造过程中,具体的加工热处理工艺采用本发明的特殊工艺条件。

[0016] 根据本发明得到的铜合金材料,具有按目前现有合金成分和制造技术是很难得到的优异综合特性。为了满足可以预见的今后对电子部件的大电流高传输化,小型化和密集化需要而产生的。

具体实施方式

[0017] 下面结合具体实施例,对本发明的技术方案进一步的阐述说明。

[0018] 一、合金组成

[0019] Co(钴)和Ni(镍)都能与P(磷)产生化合物,利用这些化合物的析出强化达到提高铜合金强度的作用。Co以及Ni含有量小于0.2wt%的话,强化效果不足;超过0.5wt%的话,容易导致导电率的低下,达不到材料最终导电率超过70% IACS的目的。即,Co含有量在0.2-0.5wt%之间,Ni含有量在0.2-0.5wt%之间。

[0020] 本发明的目的是充分利用Co-P和Ni-P化合物析出强化的叠加效果,因此Co和Ni的含有量不能相差太多,应满足下面式(1)

$$[0021] \quad 0.5 \leq \{Co\} / \{Ni\} \leq 2.0 \cdots \cdots (1)$$

[0022] 如果 $\{Co\} / \{Ni\}$ 比小于0.5或大于2.0,Co和Ni的含有量相差太大,得到的合金特性接近Cu-Ni-P系合金或Cu-Co-P系合金,达不到本发明的目的。

[0023] P(磷)与Co及Ni都能形成析出物达到析出强化的效果。析出物的种类很多,随P与Co及Ni的含有量比例而变化。本发明的调查结果发现,Co、Ni与P含有量比值在下面式(2)的范围内,得到的导电率和强度的平衡最佳。

$$[0024] \quad 3.0 \leq (\{Co\} + \{Ni\}) / \{P\} \leq 4.0 \cdots \cdots (2)$$

[0025] 这个比值反映了Co和Ni与P化合物中各含有量的平衡,小于3.0或大于4.0表示P含有量的不足或过剩,都会导致导电率和强度的低下。根据Co和Ni含有范围和式(2),P含有量在0.10-0.33wt%之间。另外,P含有量过大的话(比如0.3wt%以上),容易产生热加工开裂问题,因此,在满足式(2)的范围内,从制造性的角度,尽可能选择式(2)中比值的上限,即P含有量偏低的值。

[0026] 对于其它的元素,根据具体情况可以含有选自Fe,Mg,Cr,Sn,Zr和Ti中的一种或多种元素。比如Cr、Mg,Zr和Ti有细化晶粒和提高耐热性作用;Sn具有固溶强化效果;Zn具有防止表面电镀层脱落的作用等。这些元素中的一种或一种以上添加时,要充分发挥上述的各种作用,其总含有量优选在0.01wt%以上。但是,上述各种元素的含有量过多,容易导致导电率的降低。因此,这些元素的总含有量优选控制在0.2wt%以下,更优选在0.15wt%以下。

[0027] 二、特性

[0028] 1、导电性(和热传导性)和强度:

[0029] 目前高速铁路接触线,智能手机,电脑等部件(电源端子,USB,充电器等)最常用的高导电和高强度铜合金板带主要可分两大类,一类是导电率80% IACS左右(75-85% IACS)的Cu-Cr-Zr系合金和Cu-Co-P系合金,拉伸强度在500-600MPa之间;另一类是导电率在60-65% IACS之间的Cu-Ni-P系和Cu-Co-Si系合金,拉伸强度在600-650MPa之间。

[0030] 随着对电器和电子部件的小型化,对铜合金材料的强度要求的提高,前一类铜合金的强度无法满足要求;另一方面,随着大电流高速传输和快速充电的发展要求,后一类铜合金不仅导电率而且强度也无法满足要求;在两类之间,对特性平衡良好的铜合金,导电率在70% IACS左右,拉伸强度700MPa硬度HV180以上的铜合金材料的要求越来越高。

[0031] 对应大电流高速传输化带来的温升问题也越来越严重,要求铜合金材料有更好的散热性(热传导性)。由于热传导性系数与导电率成正比例关系,一般对散热性和导电性一意化,即可以导电性的好坏统一表示。

[0032] 耐热性:为了防止大电流化使用环境下温升,特别是引线框架和散热基板等需要焊接,以及加工成电器和电子部件后需要去应力退火等,铜合金材料变软的问题,要求材料具有良好的耐热性。具体地,比如使用无铅焊锡焊接以及去应力退火时的温度可高达350℃,为了防止局部过热,要求铜合金材料在400℃时的硬度不能低于80%。就是说要求铜合金板材的耐热温度要在400℃以上。

[0033] 弯曲加工性:对于高导电铜合金用途,一般要求弯曲加工性相对低一点。如果把板面上和轧制方向平行和垂直的方向分别称为LD和TD方向时,要求LD和TD方向的弯曲加工性

满足,90°W型弯曲加工时不发生裂纹的最小弯曲半径R和板厚t的比R/t,一般要求在2.5以下。这里所述的LD方向的弯曲加工性是指,按试样的长度方向与轧制方向平行来切取试样,弯曲加工时的弯曲轴线为TD方向。同样,TD方向的弯曲加工性是指,按试样的长度方向与轧制方向垂直来切取试样,弯曲加工时的弯曲轴线为LD方向。

[0034] 三、制造方法

[0035] 以上所述的本发明的铜合金材料可以是板带,棒线,管状和异型材,例如可以通过下述的一般工艺流程来制造。即:熔融/铸造-加热热加工(热轧,热锻,热挤压等)-冷加工(冷轧,冷锻,拉拔等)-热处理(固溶,时效,再结晶退火等)-最终精加工-低温去应力退火等。

[0036] 不过,如下面所述得那样,其中的几个工艺条件的控制是非常重要的。另外,虽然上面没有提到,根据实际需要,在热轧后可以进行可选的铣面(facing),热处理后可以进行可选的酸洗,研磨或脱脂,拉弯矫直等。下面就各工艺进一步说明。

[0037] 1、[熔融铸造]

[0038] 使用一般的铜合金的连续和半连铸方法都可以。为了防止P的氧化,P要在Cu即其他合金元素完全溶解后,临铸造开始前添加,也可在熔解炉和流槽内加木炭,通氮气等。

[0039] 2、[加热-热加工]

[0040] 一般铜合金的加热温度在900-950℃之间,本发明的铜合金,在铸造组织中凝固在树枝间的粗大Co-P和Ni-P化合物的固溶温度比较高,因此,加热温度要比一般铜合金的加热温度高,应在950-1000℃之间。如果加热温度不够高,Co-P和Ni-P化合物不能完全固溶(有残留),最终时效中微细析出少,导致强度不高。

[0041] 铸锭在950-1000℃之间加热3-5小时后进行热加工(热轧,热锻,热挤压等),热加工工艺可以按一般铜合金的工艺进行。热加工后最好尽可能地水冷,防止Co-P和Ni-P化合物的析出。

[0042] 3、[冷加工]

[0043] 接下来进行冷加工,根据最后成品尺寸及最终加工率,冷加工到所定尺寸。

[0044] 4、[固溶处理]

[0045] 为了使热加工过程中析出的少量Co-P和Ni-P化合物再固溶,进行固溶处理。适合的固溶处理温度随合金成分而变化。本发明的合金成分范围内,适合的固溶处理温度在800-1000℃,处理时间可在几秒种~几分钟之间。合适的固溶处理时间随处理温度和材料尺寸而变,可以通过实验来确定。具体地,可以通过观察固溶处理后的组织决定。精密的方法是通过透射电镜观察析出物的有无,也可以用简便的金相观察法,以再结晶晶粒直径10μm左右作为析出物基本固溶了的条件。固溶处理后要水冷。

[0046] 如果热加工能在800℃以上的温度内完成,且热加工后的冷却速度在5℃/秒以上,析出物少,此次的固溶处理可以省略。

[0047] 5、[中间热处理]

[0048] 接下来按一般的工艺流程是进行时效处理(或冷加工-时效处理)。本发明在此次进行中间热处理。一般的析出型铜合金,有一个最佳析出温度 T_m (也是时效温度)区间,高于 T_m 温度时效时,析出物的核少而且由于温度高析出物成长快,导致析出物的尺寸大而密度小,析出强化效果小;低于 T_m 温度时效时,析出物的形核核成长都慢,同样析出强化效果小,

或者是需要及其长的时效时间而无法进行规模化生产。

[0049] Cu-Co-Ni-P系合金有Co-P和Ni-P两种析出物,对应着不同的析出温度区间。Co-P析出物的析出温度区间大约在400-700℃(最佳析出温度 T_m 在550℃左右),Ni-P析出物的析出温度区间300-600℃(最佳析出温度 T_m 在450℃左右)。如果Cu-Co-Ni-P系合金在550℃时效,相对Ni-P析出物,温度过高,Ni-P析出物密度小且快速长大,析出强化效果变得很小;如果在450℃时效,相对Co-P析出物,温度过低,从而析出量小,析出强化效果变得很小。

[0050] 本发明在此阶段进行中间热处理,热处理温度在600-700℃之间,热处理时间在30秒到3分钟之间。中间热处理的目的是,在Ni-P化合物不析出的条件下,让Co-P化合物析出且不长大。如果温度过低(600℃以下),容易导致Ni-P化合物析出且快速长大,起不到析出强化效果,而且导致固溶量的减少,在之后的时效中进一步析出的动力减弱。如果温度过高(700℃以上),容易导致Co-P析出物的快速长大。热处理时间过短,Co-P化合物的析出不充分;热处理时间过长,导致Co-P析出物的粗大。

[0051] 6、[中间冷加工]

[0052] 接下来进行加工率20-60%的冷加工。这一阶段的冷加工一是提高材料的强度,更重要的是为了促进下面时效时Ni-P化合物的析出和Co-P化合物的进一步析出。加工率过低,达不到促进析出的效果;加工率过高,容易导致下面时效过程中产生过时效现象。

[0053] 7、[时效处理]

[0054] 接下来进行时效处理。时效处理温度优选在350-450℃之间,时效处理时间在大致在3-6小时范围内就能得到良好的结果。时效的目的是使Ni-P化合物的尽可能地析出和Co-P化合物的进一步析出。通过这两种析出物的叠加析出效果,提高材料的强度和导电率。同样地,时效温度过低和时效时间过短,析出不充分;时效温度过高和时效时间过长,容易导致过时效,强度低下。

[0055] 8、[最终冷加工]

[0056] 为了进一步提高材料的强度,在时效处理后可以进行轧制率20-60%的最终冷加工。随着加工率的增大强度增加,同时耐热性和弯曲加工性有所降低。本发明者通过详细的研究调查,发现如果轧制率控制在20-60%之间,能达到本发明效果的强度,耐热性和弯曲加工性的目标。

[0057] 9、[低温退火]

[0058] 如果进行了最终冷加工,为了减小和消除材料中的残留应力和提高耐热性,加工后要进行低温退火。同时低温退火还可以使导电性有所提高。低温退火中的加热温度可以设定在350-550℃内,数秒钟~数分钟的连续退火,或者150-350℃内,数小时钟罩炉退火。相应地如果温度设定得太高,容易导致板材的软化。反之,如果温度设定得太低,达不到预期的效果。

[0059] 四、实施例

[0060] 利用纵式半连铸机铸造了成分如表1所示的方形铸锭。把铸锭切除头尾后,加热到960保持4小时后进行热轧。热轧后水冷,通过铣面去掉表面的氧化膜。接着进行冷轧至所需厚度,800-1000℃的固溶处理,对于不同成分的合金,通过调整处理时间使其处理后的平均晶粒直径达到8-12 μm 所对应的时间作为固溶处理时间。600-700℃ \times 1-2min的中间热处理,轧制率40%的冷轧,400℃的时效处理,在400℃温度下通过调整时效时间使其硬度达到最

大值。对于合金组成的最佳时效处理时间由事先的实验得知。时效处理后的材料样进行50%轧制率的最终冷轧，冷轧后在400℃的加热炉中进行1分钟的低温退火。中间根据必要进行酸洗，脱脂，拉弯矫，剪边等工序。最后对得到的板材进行特性评价。试样的板厚统一为0.30mm。各试样的主要制造条件如表2所示。

[0061] 【表1】:

区分	No.	化学成分(wt%)						
		Cu	Co	Ni	P	Co/Ni	(Ni+Co) /P	其它的元素
发 明 例	1	余量	0.31	0.25	0.175	1.24	3.20	-
	2	余量	0.36	0.19	0.150	1.90	3.66	Zn:0.04, Cr:0.04
	3	余量	0.28	0.35	0.203	0.80	3.93	Sn:0.04
	4	余量	0.45	0.23	0.222	1.95	3.05	Fe:0.05, Mg:0.03
	5	余量	0.24	0.45	0.174	0.53	3.96	Zr:0.02, Ti:0.03
[0062] 比 较 例	21	余量	<u>0.15</u>	<u>0.12</u>	<u>0.08</u>	1.25	3.28	-
	22	余量	<u>0.56</u>	<u>0.62</u>	<u>0.36</u>	0.90	3.11	-
	23	余量	0.27	<u>0.04</u>	0.08	<u>6.75</u>	3.88	Sn:0.04
	24	余量	<u>0.10</u>	0.48	0.15	<u>0.21</u>	3.87	-
	25	余量	0.32	0.28	0.23	1.14	<u>2.60</u>	-
	26	余量	0.30	0.31	0.12	0.97	<u>5.08</u>	-

[0063] 注：下线表示超出了本发明规定的范围

[0064] 对得到的试样特性进行了以下的各项评价。即：导电率，维氏硬度，耐热温度和弯曲加工性。

[0065] [导电率]：按照JISH0505规定的方法测定。

[0066] [拉伸强度]：按照JISZ2241规定的方法测定。

[0067] [耐热温度]：将板状试样在100-600℃之间(间隔50℃)加热保持30分钟后，测量硬度。随着加热保持温度的升高，硬度会降低。以试样加热保持后的硬度为加热前硬度的80%时所对应的温度为耐热温度。

[0068] [弯曲加工性]：长度方向分别为LD和TD切取的板状试样(宽度均为10mm)，按JISH3110规定的90°W型弯曲加工法进行弯曲加工。用光学显微镜在100倍下对弯曲加工后的试样表面和断面进行观察。得到不发生裂纹的最小弯曲半径R。以最小弯曲半径R和板厚t的比R/t的值作为对弯曲加工性的评价。R/t的值越小，说明弯曲加工性越好。

[0069] 特性评价的结果，如表2所示。

[0070] 【表2】:

分类	No.	中间热处理条件		时效条件		特性				
		温度 (°C)	时间 (sec)	温度 (°C)	时间 (hr)	导电率 (%IACS)	拉伸强度 (MPa)	耐热温度 (°C)	弯曲加工性 (R/t)	
									LD	TD
发明 例	1	650	100	400	4.0	71.3	714	450	0.5	1.0
	2	680	60	400	3.5	72.6	711	450	0.5	1.5
	3	650	80	400	4.5	73.5	709	440	0.5	1.5
	4	650	80	450	3.0	70.5	728	450	0.5	1.5
	5	630	120	350	8.0	71.7	716	460	0.5	1.5
比较 例	21	650	100	450	5.0	80.4	585	350	0.0	0.5
	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23	650	100	450	5.0	84.4	565	360	0.0	0.5
	24	650	100	400	4.0	61.8	654	430	0.5	2.0
	25	650	100	450	4.0	62.4	637	380	0.5	1.5
	26	650	100	450	4.0	64.3	608	370	0.5	1.5
	31	-	-	550	2.0	64.2	615	380	1.0	2.0
	32	-	-	500	3.5	66.8	658	380	1.0	2.0
	33	-	-	450	5.5	62.9	618	380	1.0	2.0
	34	650	900	400	4.0	76.2	570	350	0.0	0.5
	35	750	120	400	4.0	71.3	542	350	0.0	0.5

[0072] 注：有下划线表示超出了本发明的规定范围。

[0073] 从表2中可以看到，所有的发明例都具有本发明的成分要求和制造工艺条件下，导电率在70% IACS (热传导系数275W/(m, k)) 以上的同时，具有拉伸强度700MPa以上的高强度，耐热温度400°C以上优异的耐热性，具有LD和TD方向的R/t都小于2.0的良好的弯曲加工性。

[0074] 与此相比，比较例No. 21-24是由于Co, Ni和P的含有量或比例超出了本发明规定的范围，而没有得到良好特性的例子。No. 21的Co, Ni和P的含有量太低，结果由于生成的析出物太少，强度低下。比较例No. 22由于Co, Ni和P的含有量过高，特别是P含有量超过了0.35wt%，造成了热轧开裂，无法进行后续工艺过程和特性评价。No. 23和24是Co和Ni含有量的比值过大和过小，导致强度或导电率低下的例子。No. 23的Ni含有量过少，导致与一般Cu-Co-P系合金相近结果，即导电率很高但强度过低。No. 24的Co含有量过少，导致与一般Cu-Ni-P系合金相近结果，即拉伸强度能达到比较高的650MPa，但导电率只有62% IACS左右。No. 25和26是(Co+Ni)/P比值过大和过小，即(Co+Ni)或P的一方相对过剩，导致析出量少，强度和导电率都低下的例子。

[0075] 比较例No. 31-35是合金成分发明例1的合金，制造工艺条件超出了本发明规定的范围，而没有得到良好特性的例子。No. 31-33没有进行中间热处理，按通常工艺流程调整时效温度和时效时间达到最佳时效条件的结果，其他制造条件与发明例1相同，结果强度和导电率都远低于发明例1。No. 34和No. 35的中间热处理时间过长或温度过高，导致Co-P析出物粗大，强度不高的例子。