

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2016 年 11 月 10 日 (10.11.2016)



(10) 国际公布号
WO 2016/177018 A1

- (51) 国际专利分类号:
C22C 9/04 (2006.01) C22C 30/06 (2006.01)
C22C 18/02 (2006.01) C22C 1/02 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/000230
- (22) 国际申请日: 2016 年 4 月 29 日 (29.04.2016)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201510225000.6 2015 年 5 月 5 日 (05.05.2015) CN
- (71) 申请人: 宁波博威合金材料股份有限公司 (NINGBO POWERWAY ALLOY MATERIAL CO., LTD.) [CN/CN]; 中国浙江省宁波市鄞州区云龙镇太平桥, Zhejiang 315137 (CN)。
- (72) 发明人: 梅景 (MEI, Jing); 中国浙江省宁波市鄞州区云龙镇太平桥宁波博威合金材料股份有限公司, Zhejiang 315137 (CN)。 任世影 (REN, Shiyang); 中国浙江省宁波市鄞州区云龙镇太平桥宁波博威合金材料股份有限公司, Zhejiang 315137 (CN)。 陈湖 (CHEN, Hu); 中国浙江省宁波市鄞州区云龙镇太平桥宁波博威合金材料股份有限公司, Zhejiang 315137 (CN)。 赵红彬 (ZHAO, Hongbin); 中国浙江省宁波市鄞州区云龙镇太平桥宁波博威合金材料

股份有限公司, Zhejiang 315137 (CN)。 杨朝勇 (YANG, Chaoyong); 中国浙江省宁波市鄞州区云龙镇太平桥宁波博威合金材料股份有限公司, Zhejiang 315137 (CN)。 毛建锋 (MAO, Jianfeng); 中国浙江省宁波市鄞州区云龙镇太平桥宁波博威合金材料股份有限公司, Zhejiang 315137 (CN)。

(74) 代理人: 宁波诚源专利事务所有限公司 (NINGBO CHANNEL PATENT ATTORNEYS OFFICE); 中国浙江省宁波市解放南路 65 号阳光大厦 16 层, Zhejiang 315010 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ,

[见续页]

(54) Title: CUTTABLE MACHINABLE BRASS ALLOY AND MANUFACTURING METHOD

(54) 发明名称: 一种可切削加工黄铜合金及制备方法

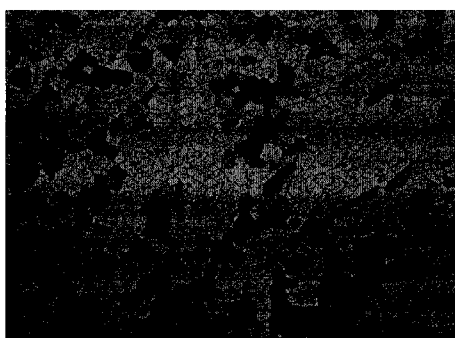


图 9

(57) Abstract: A cuttable machinable brass alloy and manufacturing method. The brass alloy comprises the following components in percentage by weight: 45-54 wt% of copper, 0.5-9.0 wt% of manganese, and 37-53 wt% of zinc, wherein the percentage sum of copper, manganese and zinc is greater than or equal to 95 wt%, and inevitable impurities are less than or equal to 0.1 wt%. The alloy comprises a Cu-Zn solid solution having a body-centered cubic structure and a face-centered cubic Cu-Mn solid solution. Primary steps of the manufacturing method include: mixing materials, smelting, continuous casting, scalping, drawing, stress relieving and annealing, straightening, sizing, packaging, etc. The cuttability performance and mechanical properties of the brass alloy is superior and can replace the existing cuttable brass alloy, thus addressing the scarcity of copper resources and excess of zinc resources.

(57) 摘要: 一种可切削加工黄铜合金及制备方法, 其中, 黄铜合金包括下述重量组成: 铜 45wt%-54wt%、锰 0.5wt%-9.0wt%、锌 37wt%-53wt%, 铜、锰、锌三者之和 $\geq 95\text{wt}\%$, 不可避免杂质含量 $\leq 0.1\text{wt}\%$; 并且该合金中含有体心立方结构的 Cu-Zn 固溶体和面心立方的 Cu-Mn 固溶体。制备方法主要步骤包括配料 $\rightarrow$ 熔炼 $\rightarrow$ 连铸 $\rightarrow$ 刨皮 $\rightarrow$ 拉拔 $\rightarrow$ 去应力退火 $\rightarrow$ 校直 $\rightarrow$ 定尺 $\rightarrow$ 包装等。该黄铜合金切削性能和机械性能更优异, 可替代现有的可切削黄铜合金, 缓解铜资源短缺以及锌资源过剩的问题。



WO 2016/177018 A1



BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则 4.17 的声明:

- 关于申请人有权申请并被授予专利(细则 4.17(ii))

- 关于申请人有权要求在先申请的优先权(细则 4.17(iii))

- 发明人资格(细则 4.17(iv))

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种可切削加工黄铜合金及制备方法

技术领域

本发明涉及到合金的技术领域，具体指一种可切削加工黄铜合金及制备方法。

背景技术

黄铜有良好的工艺性能、机械性能和耐蚀性能，是有色金属中应用最广泛的合金材料之一。在铜锌合金中加入一些功能元素，构成多元黄铜合金，使其能满足特定工况的应用，最广泛使用的是在铜锌合金中加入铅元素形成的铅黄铜。铅黄铜具有普通黄铜的机械性能、耐蚀性能、冷热加工性能，并且由于铅在合金中以游离的铅质点存在，在切削加工过程中使切削屑呈碎沫状，在高速切削后可获得光洁度很高的表面，因此铅黄铜在航空航天、汽车、紧固件、五金件等各行各业都有广泛的应用。目前铅黄铜合金中铜含量一般在 57~75%之间，铜含量较高。

我国是铜资源紧缺的国家，2014 年我国精铜消费量 872 万吨，其中 359 万吨为进口，进口比例达到 41%，并且由于铜价持续保持高位，铜原材料价格占铜合金售价的 70%以上，因此对铜合金加工企业而言，铜价对其资金流动和市场供求关系的影响非常严重。而在锌资源储备方面，2010 年起，中国矿山产量增加幅度较大，国产锌矿供应能力增强，自 2011 年起国内锌精矿市场处于过剩状态，市场积压了大量锌精矿库存。并且锌原材料的价格仅为铜价的三分之一左右。因此降低铜合金的成本已经成为迫在眉睫的问题。

如中国专利申请 CN101532100A(申请号为 200910058578.1)公开了一种铜合金耐磨材料及其制备方法，该合金组分如下：Cu：54%-57%；Al：3%-5.0%；Mn：3.5%-5.5%；Si：0.5%-1.3%；Fe：0.7%-1.5%；Zn：余量。该合金的铜含量较 HPb59-1 降低了 2%以上，能较好的降低原材料的成本，但根据说明书记载，该合金材料的抗拉强度 $\geq 700\text{MPa}$ ，硬度 $\geq 90\text{HRB}$ ，延伸率 3-5%，性能与铅黄铜差异极大，由于该材料具有很高的强度和硬度，使得材料的切削加工性能较差，对刀具的磨损极大，不能满足高速切削的要求。

又如中国专利申请 CN101906556A(申请号为 201010232763.0)公开了一种无铅易切削变形锡铋锌铝合金，该合金组成为铝 8-12%；铜 0.8-1.5%；铋 0.05-0.2%；锡 0.05-0.15%；其余为锌和不可避免的杂质；杂质含量 $\leq 0.05\%$ 。该合金大量使用廉价的锌、铝等元素，并且具有较好的切削加工性能，但由于锌铝合金的强度、硬度、抗蠕变性能、疲劳强度等性能较铅黄铜要低很多，不能完全满足应用的需求。

发明内容

本发明所要解决的第一个技术问题是针对现有技术的现状提供一种能大大降低合金成本且切削性能更好的可切削加工黄铜合金。

本发明所要解决的第二个技术问题是提供一种能大大降低合金成本且切削性能更好的可切削加工黄铜合金的制备方法。

本发明解决上述第一个技术问题所采用的技术方案为：该可切削加工黄铜合金，其特征在于包括下述重量组成：

铜	45wt%-54wt%
锰	0.5wt%-9.0wt%
锌	37wt%-53wt%

铜、锰、锌三者之和 $\geq 95\text{wt}\%$ ，不可避免杂质含量 $\leq 0.1\text{wt}\%$ ；

并且该合金中含有体心立方结构的 Cu-Zn 固溶体和面心立方的 Cu-Mn 固溶体。

较好的，所述 Cu-Zn 固溶体的比例 $\geq 80\%$ ，Cu-Mn 固溶体比例 $\leq 20\%$ ；并且 Cu-Zn 固溶体中体心立方结构的比例 $\geq 85\%$ 。

更好的，所述 Cu-Zn 固溶体中体心立方结构的比例为 95-100%。

优选所述 Cu-Zn 固溶体粒径为 10-30nm，Cu-Mn 固溶体的粒径为 15-40nm。

所述合金的晶粒度为 0.03-0.2mm。

该合金还可以包含 0.001wt%-4wt%的组分 X，所述 X 选自 0.1wt%-4wt%的 Pb、0.1wt%-4wt%的 Bi、0.1wt%-4wt%的 Sb、0.1wt%-4wt%的 Se、0.001wt%-2.0wt%的 B、0.001wt%-2.0wt%的 P 和 0.001wt%-1wt%的 As 中的至少一种。

优选，所述 Pb 的含量为 0.5wt%-3.0wt%，所述 Bi 的含量为 0.1wt%-3.0wt%，所述 Sb 的含量为 0.1wt%-2.5wt%，所述 Se 的含量为 0.1wt%-2.0wt%，所述 B 的含量为 0.01wt%-1.0wt%，所述 P 的含量为 0.001wt%-1.0wt%，所述 As 的含量为 0.002wt%-0.6wt%。

更有选，所述 Pb 的含量为 0.8wt%-2.5wt%，所述 Bi 的含量为 0.5wt%-2.5wt%，所述 Sb 的含量为 0.2wt%-1.5wt%，所述 Se 的含量为 0.2wt%-1.0wt%，所述 B 的含量为 0.05wt%-0.5wt%，所述 P 的含量为 0.01wt%-0.8wt%，所述 As 的含量为 0.003-0.3wt%。

进一步地，该合金还包含 0.01wt%-5wt%的组分 Y，所述 Y 选自 Al、Fe、Si、Sn、Ni 和 Co 中的至少一种。

优选，所述 Al 的含量为 0.1wt%-3.5wt%，所述 Fe 的含量为 0.1wt%-3.0wt%，所述 Si 的含量为 0.05wt%-1.2wt%，所述 Sn 的含量为 0.05wt%-3wt%，所述 Ni 的含量为 0.5wt%-2.5wt%，所述 Co 的含量为 0.1wt%-2wt%。

更有选，所述 Al 的含量为 0.5wt%-3wt%，所述 Fe 的含量为 0.1wt%-2.5wt%，所述 Si 的含量为 0.08wt%-1.0wt%，所述 Sn 的含量为 0.1wt%-1.5wt%，所述 Ni 的含量为

0.6wt%-1.5wt%，所述 Co 的含量为 0.5wt%-1wt%。

上述各方案中，，优选所述 Cu 的含量为 47.8wt%-53.5wt%，所述 Mn 的含量为 0.8wt%-6.0wt%。

更优选，所述 Cu 的含量为 48.9wt%至 52.7wt%，所述 Mn 的含量为 1.0wt%-3.9wt%。

本发明为解决上述第二个技术问题所采用的一种技术方案为：该可切削加工黄铜合金的制备方法，其特征在于依次包括下述步骤：

配料→熔炼→垂直半连铸铸锭→加热挤压→拉拔→去应力退火→校直→定尺→包装；

其中，所述垂直半连铸的温度为 980℃-1080℃，所述加热挤压温度为 550℃-750℃，所述去应力退火温度为 200℃-400℃，所述去应力退火加热速率为 2-50℃/分钟，所述去应力退火的冷却速度为 5-50℃/分钟。

本发明为解决上述第二个技术问题所采用的又一种技术方案为：该可切削加工黄铜合金的制备方法，其特征在于依次包括下述步骤：

配料→熔炼→水平连铸铸锭→加热挤压→拉拔→去应力退火→校直→定尺→包装；

其中，所述水平连铸的温度为 950℃-1080℃，所述加热挤压温度为 550℃-750℃，所述去应力退火温度为 200℃-400℃，所述去应力退火的加热速率为 2-50℃/分钟，所述去应力退火的冷却速度为 5-50℃/分钟。

本发明为解决上述第二个技术问题所采用的再一种技术方案为：该可切削加工黄铜合金的制备方法，其特征在于依次包括下述步骤：

配料→熔炼→水平连铸棒坯→刨皮→拉拔→去应力退火→校直→定尺→包装；

其中，所述水平连铸的温度为 950℃-1080℃，所述去应力退火温度为 200℃-400℃，所述去应力退火的加热速率为 2-50℃/分钟，所述去应力退火的冷却速度为 5-50℃/分钟。

经大量实验发现，铜与锌形成固溶体，而且根据不同的铜锌比例，形成不同结构类型的固溶体，如面心立方结构、体心立方结构。当铜含量在 54wt%以下时，体心立方结构的 Cu-Zn 固溶体具有特殊的原子力方向和应力分布，使得材料在切削过程中切削屑能更容易断裂，从而提高材料切削性能；而铜含量低于 45wt%会导致材料变脆，合金的综合性能急剧下降，硬度急剧上升。使得黄铜合金的切削阻力变大，切削加工性能变差。本申请将铜含量控制在 45wt%~54wt%，能够兼顾合金的切削性能和机械性能，且能大大降低合金成本。铜含量优选为 47.8wt%至 53.5wt%，更优选为 48.9wt%至 52.7wt%。

锰与铜能够形成面心立方结构的 Cu-Mn 固溶体，可改善机械性能，使本发明的黄铜合金的性能更加符合传统铅黄铜的应用。当锰含量小于 0.5wt%时，其不能与铜形成足够量的面心立方结构的 Cu-Mn 固溶体，材料塑性不好；随着锰含量的增加，产品的综合性能提高；当锰含量大于 9.0wt%时，会导致铸造时沉渣量过多，影响铸造性能并且由于锰的固溶强化效果，会导致材料的强度和塑性急剧降低、硬度过高，切削难度增

加,使其不能达到 HPb59-1 等铅黄铜的综合性能水平;当锰含量超过 6wt%时,会使黄铜合金的黄色偏白,因此锰的含量优选 0.8wt%-6.0wt%,更优选为 1.0wt%-3.9wt%。

优选方案中,铅元素由于其不固溶于铜,以游离态质点形式分布于基体上,形成有效的切削屑断点。同时铅元素很软,具有润滑作用,能显著地减少切削阻力,明显提升黄铜合金的切削性能。当铅元素的低于 0.1wt%,改善效果不明显,超过 4wt%则断屑效果不再增加,因此铅元素含量控制在 0.1wt%-4wt%,优选为 0.5wt%-3.0wt%,更优选为 0.8wt%-2.5wt%。

铋元素在黄铜合金中以片状分布在基体上,能显著改善黄铜合金的断屑性能并减少切削阻力,在加入铅元素的基础上加入铋元素,对黄铜合金的切削性能改善更加明显。当铋元素含量低于 0.1wt%,改善效果不明显,超过 4wt%,则铋元素在晶界上大量分布,降低黄铜合金的晶界强度,使得黄铜合金的机械性能降低。因此铋元素含量控制在 0.1wt%-4wt%,优选为 0.1wt%-3.0wt%,更优选为 0.5wt%-2.5wt%。

锑元素能少量固溶于黄铜合金中,提高黄铜合金的力学性能,并且锑元素能改善铋元素在黄铜合金中的分布形貌,在加入铋的基础上加入锑元素,能更好的改善黄铜合金的切削性能。当锑元素含量低于 0.1wt%,改善效果不明显,超过 4wt%则显著降低黄铜合金的塑性。因此黄铜合金中锑元素含量控制在 0.1wt%-4wt%,优选为 0.1wt%-2.5wt%,更优选为 0.2wt%-1.5wt%。

硒元素在本发明黄铜合金中以 CuSe 化合物的形式存在,而 CuSe 化合物较硬,可使得车削屑能顺利断裂,从而提高黄铜合金的切削性能,而在含有铋元素的黄铜合金中,加入硒元素能更明显的改善切削性能。硒元素含量低于 0.1wt%时,不能形成足够量的化合物以改善黄铜合金的切削性能,但是硒含量大于 4wt%,会导致黄铜合金的延伸率降低,因此硒元素含量控制在 0.1wt%-4wt%,优选为 0.1wt%-2.0wt%,更优选为 0.2wt%-1.0wt%。

硼元素、磷元素能够细化晶粒,提高黄铜合金的强度、硬度及塑性;其中硼元素以氧化物形式存在基体上,改善材料的组织和性能,并且硼元素能改善铅的分布,使铅以细小均匀的球状分布在基体上,提高黄铜合金的切削稳定性;硼元素含量若低于 0.001wt%,则不能明显的改善黄铜合金的切削性能。而磷元素与铜形成 Cu_3P 化合物,在黄铜合金基体上形成“空穴效应”,增加黄铜合金在切削过程的断屑能力,提高材料的切削性能,磷元素含量低于 0.001wt%,不能形成足够量的化合物,不能明显的改善黄铜合金的切削加工性能。但硼或磷元素超过 2wt%则使材料的机械性能急剧下降,因此硼元素含量控制在 0.001wt%-2wt%,优选为 0.01wt%-1.0wt%,更优选为 0.05wt%-0.5wt%;磷元素含量控制在 0.001wt%-2wt%,优选为 0.001wt%-1.0wt%,更优选为 0.01wt%-0.8wt%。

铁元素在黄铜合金中作为形核剂,增加形核的数量,阻碍了晶粒的长大,起到细化

晶粒的效果,提高材料的综合性能,并且铁元素未固溶部分以星花状分布在黄铜基体上,能促进切削屑的断裂,改善黄铜合金的切削性能。但是过量的铁元素,特别是含量超过 5wt%时,会出现铁偏析聚集的问题,导致材料的综合性能变差。因此铁元素含量控制在 0.01wt%-5wt%,优选为 0.1wt%-3.0wt%,更优选为 0.1wt%-2.5wt%。

铝元素起到稳定并强化体心立方结构 Cu-Zn 固溶体的效果,使得黄铜合金的基体具有更高的强度及稳定性。在添加铁的情况下,加入铝元素,可形成 FeAl 化合物,进一步提高材料的机械性能。另外,铝元素的加入可在黄铜合金表面形成致密的氧化铝保护膜,增加黄铜合金的耐蚀性能。铝元素含量低于 0.01wt%,改善效果不明显,但由于铝元素的固溶强化效果非常明显,过量的铝,特别是超过 5wt%,会使黄铜合金的强度和硬度急剧上升,延伸急剧下降,会限制黄铜合金的应用范围。因此铝元素含量控制在 0.01wt%-5wt%,优选为 0.1wt%-3.5wt%,更优选为 0.5wt%-3wt%。

硅元素的加入与黄铜合金中的锰形成 SiMn 化合物,并且 SiMn 化合物的硬度极高,可增加黄铜合金的强度和硬度,并且提高黄铜合金的耐磨性能,因此在需要耐磨领域应用的黄铜合金可选择性添加硅元素,硅元素含量低于 0.01wt%,不能明显的改善材料的性能并无法形成足够量的 SiMn 化合物,但由于硅元素的虚拟锌当量是最高的,如硅元素含量超过 1.5wt%,材料的脆性急剧增加,塑性急剧下降。因此硅元素含量控制在 0.01wt%-1.5wt%,优选为 0.05wt%-1.2wt%,更优选为 0.08wt%-1.0wt%。

锡元素能少量固溶于铜中,提高黄铜合金的机械性能,同时在黄铜合金表面形成一层氧化锡,可显著地增加黄铜合金的耐蚀性能,有利于黄铜合金在湿度高的环境中应用。锡元素含量小于 0.01wt%,则以上改善效果不明显,含量大于 5wt%,容易出现锡的反偏析问题,影响黄铜合金性能的稳定性,并且影响黄铜合金的经济效果。因此锡元素含量控制在 0.01wt%-5wt%,优选为 0.05wt%-3wt%,更优选为 0.1wt%-1.5wt%。

镍元素、钴元素有较好的固溶强化效果,能增强体心立方结构 Cu-Zn 固溶体的稳定性,并改善其应力分布,有利于降低黄铜合金切削阻力,改善黄铜合金的切削加工性能。镍元素或钴元素与硅元素同时加入可形成稳定的 NiSi、CoSi 化合物,形成应力集中点,改善黄铜合金的切削断屑性能,并增加材料的耐磨性能,使得黄铜合金能适用于有耐磨要求的领域。含量若低于 0.01wt%,则以上改善效果不明显,由于镍、钴价格高昂,若含量高于 5wt%,影响黄铜合金的经济效果,并且过高的镍、钴含量使得黄铜合金的硬度升高明显,增加黄铜合金的切削阻力,降低黄铜合金的切削性能。因此镍元素含量控制在 0.01wt%-5wt%,优选为 0.5wt%-2.5wt%,更优选为 0.6wt%-1.5wt%;钴元素含量控制在 0.01wt%-5wt%,优选为 0.1wt%-2wt%,更优选为 0.5wt%-1wt%。

砷元素在黄铜合金的晶界上形成 Cu-As-Zn 保护层,阻止了锌的溶解,能极大的提高黄铜合金的耐蚀性能,因此黄铜合金在有耐腐蚀性能要求时,可添加少量的 As 元素,含量低于 0.001wt%,耐蚀性能不明显,过量的 As(超过 1.5wt%)会增加黄铜应力腐蚀破

裂的敏感性，因此 As 含量需控制在 0.001wt%-1.0wt%以下，优选为 0.002wt%-0.6wt%，更优选为 0.003-0.3wt%。并且砷与硼形成的 As-B 原子对可快速填充脱锌腐蚀后的空位处，阻止了锌的进一步溶解，可进一步提高黄铜合金的耐蚀性能。

本发明中合金在加工时，在切削加工过程中体心立方结构的 Cu-Zn 固溶体会形成应力集中点，有利于切削加工过程切削屑的断裂，提高材料的切削加工性能。当 Cu-Zn 固溶体比例低于 80%，则以上的效果不明显。而面心立方结构的 Cu-Mn 固溶体在切削加工过程中无法形成应力集中点，不利于车削屑的断裂；当面心立方结构的 Cu-Mn 固溶体含量大于 20%时，会导致切削加工过程的切削难度增大。因此本发明优选方案中，将 Cu-Zn 固溶体比例控制在 $\geq 80\%$ ，Cu-Mn 固溶体比例控制在 $\leq 20\%$ 。为了保证两者固溶体的比例，Cu, Mn, Zn 元素的总和需 $\geq 95\text{wt}\%$ 。Cu-Zn 固溶体中体心立方结构由于其特殊的原子力和应力方向特点使得其加工应力集中的特点较面心立方结构更加明显，更加充分的保证车削屑顺利断开，避免了车削加工过程的缠刀，排屑不畅等问题，改善了可切削加工黄铜合金的切削性能，在 Cu-Zn 固溶体中体心立方结构比例 $\geq 85\%$ ，黄铜合金的切削屑很小，不会出现缠刀的问题，当体心立方结构比例达到 95-100%时，切削性能进一步得到改善。

Cu-Zn 固溶体的粒径决定其切削加工应力集中的难易程度，Cu-Zn 固溶体粒径大于 30nm，其加工应力分布较分散，不能形成满足切削断屑要求的应力集中点，但固溶体粒径小于 10nm 时，其加工应力集中效果非常明显，在加工过程中容易导致其应力开裂。因此可切削加工黄铜合金的 Cu-Zn 固溶体粒径控制在 10-30nm。Cu-Mn 固溶体的粒径决定可切削加工黄铜合金的机械性能，当 Cu-Mn 固溶体粒径小于 15nm 时，可切削加工黄铜合金的塑性降低明显，机械性能无法满足应用要求，而 Cu-Zn 固溶体粒径大于 40nm 时，则黄铜合金的强度、硬度过低，同样无法满足应用要求。因此优选方案中 Cu-Mn 固溶体粒径控制在 15-40nm。

合金的晶粒度小于 0.03mm，黄铜合金的强度、硬度过高，不利于后续的铆接、热锻、折弯等加工；而晶粒度大于 0.2mm，黄铜合金的机械性能变差，不能完全满足应用的要求；因此本发明将黄铜合金晶粒度控制在 0.03-0.2mm。

本发明提供的可切削加工黄铜合金抗拉强度大于 450MPa 以上，完全能够满足应用的结构强度要求；延伸率大于 15%，满足冷镦、铆接、折弯等应用要求；HB 硬度在 110-180 之间，加工过程中不会产生变形，对刀具的磨损小；与现有技术中 HPb59-1、C36000 等牌号的铅黄铜合金相比较，切削性能和机械性能更优异，并且大大降低了合金的成本，可替代现有的可切削黄铜合金应用于阀门铜部件、同轴连接器铜部件、泵头、锁具铜部件等领域，可缓解我国铜资源短缺以及锌资源过剩的问题。

附图说明

- 图 1 为 Mn 含量与合金抗拉强度的关系；
图 2 为 Mn 含量与延伸率的关系；
图 3 为 Mn 含量与合金硬度的关系；
图 4 为 Mn 含量与切削力的关系；
图 5 为不同锰含量的产品表面颜色照片，图中的标号为实施例编号；
图 6 和图 7 为实施例 16 的 XRD 固溶体测试结构图；
图 8 为实施例 30 至实施例 35 切削后的碎沫照片，图中的标号为实施例编号；
图 9 为实施例 54 的显微组织照片；
图 10 为实施例 54 显微维氏硬度计上对 CuSe 化合物硬度测试电镜扫描照片；
图 11 实施例 86 切削得到的产品照片；
图 12 为实施例 87 切削得到的产品照片。

具体实施方式

以下结合附图实施例对本发明作进一步详细描述。

实施例 1 至实施例 15

实施例 1 至实施例 15 的配方如表 1 所示。

其中实施例 1 和实施例 2 为 HPb59-1 和 C36000 铅黄铜合金，其按照常规的熔铸、挤压、拉拔、校直、退火工艺步骤进行生产。

实施例 3 至实施例 15 的制备方法如下：

各组分配料，在低频熔炼炉熔炼，垂直半连铸铸锭，所述的铸造温度为 990℃-1030℃，加热挤压成 Φ20mm 棒坯，所述的挤压温度为 630℃-670℃，拉拔成 Φ19mm 棒坯，之后在 250℃-280℃下去应力退火，去应力退火加热速率在 200℃以下时为 40-45℃/分钟，在 200℃以上时为 5-8℃/分钟。所述的去应力退火冷却速率 300℃以上时为 5-7℃/分钟，300℃以下时为 45-48℃/分钟。最后校直定尺出成品棒坯。对所得的棒坯取样，按照 GB/T5121-2008 测试实施例 1 至实施例 15 各样品中各元素的含量，结果如表 1 所示。

所得棒坯取样制备成 Φ8mm 的抗拉样品。在 10 吨液压拉伸机上对样品进行拉力测试，测试得到的抗拉强度和延伸率结果如表 1 所示。

所获得的棒坯取样制备成 Φ19mm，厚度为 30mm 的硬度样品。所述的硬度样品在布氏硬度计上进行测试，测试采用的圆球直径 2.5mm，压力为 62.5 公斤力，测试得到的 HB 硬度结果如表 1 所示。

所获得的棒坯取样制备成 Φ19mm，长度 300mm 的切削力样品，进行切削力测试，测试设备为重庆迪佳切削力测试系统，测试条件为：进给量 0.078，切削速度 31.5674，背吃刀量 0.5。测试样品切削过程中的切向力、轴向力、径向力，测试结果以及按照切

削力计算公式计算得到的切削力如表 2 所示。

表 1

实施 例	元素含量(wt%)					性能		
	Cu	Mn	其它	Zn	Cu+Mn+Zn	抗拉强度 (MPa)	延伸率 (%)	HB 硬度
1	58.52	无	铅：1.341	余量		510	28	130
2	61.88	0	铅：2.889	余量		459	22	132
3	50.51	0	无	49.39	99.9	650	10	170
4	50.45	0.5	无	48.95	99.9	550	28	151
5	50.59	0.9167	无	48.42	99.93	537	36.7	148
6	50.42	1.97	无	47.54	99.93	527	36.7	132
7	50.67	3.174	无	46.07	99.91	536	33.3	137
8	50.64	4.074	无	45.19	99.904	546	33.3	143
9	50.66	4.935	无	44.39	99.99	570	33.3	147
10	50.41	5.115	无	44.43	99.96	575	34	148
11	50.58	6.052	无	43.31	99.942	582	33.3	149
12	50.62	7.952	无	41.36	99.932	599	29.9	164
13	50.57	9	无	40.35	99.92	602	30.85	170
14	50.52	10.03	无	39.41	99.96	650	29	197
15	50.49	14.74	无	34.68	99.91	700	3.3	196

实施例 1、2、3、14、15 为对比例，其中实施例 2 为现有的牌号为 C36000 铅黄铜合金的标准配方。

Mn 含量与合金抗拉强度的关系如图 1 所示，Mn 含量与延伸率的关系如图 2 所示，Mn 含量与合金硬度的关系如图 3 所示。

由图 1 至图 3 可知，Mn 含量在 0.5wt%-10.03wt%之间可切削加工黄铜合金的延伸率较 HPb59-1 铅黄铜要高。Mn 含量高于 9.0wt%，可切削加工黄铜合金的硬度开始急剧升高，远远高出 HPb59-1 铅黄铜。Mn 含量低于 0.5wt%，或高于 9.0wt%，可切削加工黄铜合金的抗拉强度远远高于 HPb59-1 铅黄铜，而在 0.5wt%-6wt%之间，可切削加工黄铜合金的抗拉强度较 HPb59-1 铅黄铜有少量的升高。因此 Mn 的适宜添加范围在 0.5wt%-9.0wt%。

表 2

实施例	切 向 力 (KN)	轴 向 力 (KN)	径 向 力 (KN)	切 削 力 (KN)
1	69.11	53	71.42	112.632
2	49.84	57.56	50.51	91.37
3	117.78	85.759	70.634	161.913
4	43.43	71.145	69.346	108.428

5	44.006	64.034	69.522	104.26
6	44.13	66.028	68.363	104.789
7	37.731	78.268	59.517	105.318
8	56.74	67.561	58.939	106.102
9	58.94	67.161	57.939	106.496
10	44.573	68.202	69.699	107.22
11	48.541	67.532	69.004	108.066
12	48.329	67.079	71.149	109.075
13	51.06	73.761	64.832	110.684
14	52.13	71.528	73.363	114.961
15	111.79	118.27	134.33	211.02

Mn 含量与切削力的关系如图 4 所示。

根据图 4 可知, Mn 含量低于 0.5wt%或高于 9.0wt%, 可切削加工黄铜合金的切削力较 C36000 要急剧升高, Mn 含量在 0.5wt%-9.0wt%, 可切削加工黄铜合金的切削力较 C36000 有少量的升高。在有色金属加工领域 C36000 的切削性能是现有技术中公认最优秀的铜合金, 而本发明合金配方的切削力是 C36000 的 1.04-1.15 倍, 能满足高速切削的要求。

实施例 4、实施例 5、实施例 7、实施例 11、实施例 12、实施例 13 切削力样品车削后的表面颜色如图 5 所示。由图 5 可以看出, 当 Mn 含量在 6.0wt%以下, 可切削加工黄铜合金的表面呈亮黄色, Mn 含量在 6wt%以上, 可切削加工黄铜合金的表面颜色发白, Mn 含量达到 9.0wt%, 黄铜合金的表面颜色为白色。

综上所述可知, Mn 元素含量为 0.5wt%-9.0wt%是合适的, Mn 含量在 1.0wt%-6.0wt%时效果更优, 理想的 Mn 含量为 1.3wt%-4.9wt%。

实施例 16 至实施例 25

实施例 16 至实施例 25 的制备方法与实施例 1 至实施例 16 相同。

对制备得到的棒坯取样, 按照 GB/T5121-2008 测试各实施例样品中铜和各元素的含量, 测试结果如表 3 所示。

取样制备成 $\Phi 8\text{mm}$ 的抗拉样。样品在 10 吨液压拉伸机上进行拉力测试, 测试得到的抗拉强度和延伸率结果如表 3 所示。所获得的棒坯取样制备成 $\Phi 19\text{mm}$, 厚度为 30mm 的硬度样品。所述的硬度样品在布氏硬度计上进行测试, 测试采用的圆球直径 2.5mm, 压力为 62.5 公斤力, 测试得到的 HB 硬度结果如表 3 所示。

表 3

实 施 例	元素含量 (wt%)					性能		
	Cu	Mn	其它	Zn	Cu+Mn+Zn	抗拉强度 (MPa)	延伸率 (%)	HB 硬度
16	50.22	3.465	无	46.3	99.98	538	30	139
17	53.51	7.697	无	38.72	99.93	503	36	148
18	45.08	5.002	无	49.86	99.94	632	12.5	175
19	49.01	3.064	无	47.9	99.97	592	32	164
20	54.02	6.994	无	38.9	99.914	489	41	155
21	54.5	4.565	无	40.85	99.915	546	33.3	143
22	53.51	9.097	无	37.34	99.947	599	32	159
23	54.15	2.565	铅: 2.267 硅: 1.256	余量	-	589	19	168
24	60.23	2.653	铝: 1.102 硅: 0.8921	余量	-	639	16	215
25	56.52	2.311	硅: 1.567 铅: 1.355	余量	-	568	22	169

实施例 20、21、22、23、24、25 为对比例。

由表 3 可以看出, Cu 含量大于 45wt%, 可切削加工黄铜合金的抗拉强度、延伸率和 HB 硬度是比较接近铅黄铜的, 当 Cu 含量大于 54wt%, 可切削加工黄铜合金的抗拉强度较铅黄铜要偏低, 延伸率较铅黄铜要稍高。因此可切削加工黄铜合金的 Cu 含量范围在 45wt%-54wt%是合适的。

将实施例 16 至实施例 25 制备得到的黄铜棒坯制成 $\Phi 19\text{mm}$ 、厚度为 1mm 的 XRD 样品, 将 XRD 样品在德国布鲁克 X 射线衍射仪上进行固溶体结构和比例的测试, 测试结果如表 4 所示。

将实施例 16 至实施例 25 制备得到的黄铜棒坯制成 $\Phi 19\text{mm}$ 、长度为 300mm 的切削力样品, 在重庆迪佳切削力测试系统上进行切削力测试。测试条件为: 进给量 0.078, 切削速度 31.5674, 背吃刀量 0.5。测试切向力、轴向力和径向力, 测试结果以及按照切削力计算公式计算得到的切削力如表 4 所示。

图 6 和图 7 为实施例 16 的 XRD 分析固溶体结构图。

表 4

实施 例	Cu-Zn 固溶体 比例 (%)	Cu-Mn 固溶体比 例 (%)	Cu-Zn 固溶 体中体心立 方结构比例 (%)	切向力 (KN)	轴向力 (KN)	径向力 (KN)	切削力 (KN)
16	96.4	3.6	90.8	46.132	64.094	70.428	105.813
17	80	20	85.4	52.006	68.739	73.695	113.405
18	98.5	1.5	100	45.012	63.973	68.092	103.707
19	90.3	9.7	100	50.523	68.067	75.057	113.222
20	77.5	22.5	78.9	56.785	78.458	89.906	132.149
21	85.9	14.1	85	66.29	92.192	63.652	130.174
22	79.8	20.2	86	54.549	73.858	85.778	125.652
23	88	12	89	48.391	83.1	75.202	122.076
24	93	7	91	74.534	83.992	78.374	136.94
25	81	19	87	68.701	83.993	62.352	125.15

由表 4 可知, Cu-Zn 固溶体比例 $\geq 80\%$, 并且 Cu-Zn 固溶体中体心立方结构比例 $\geq 85\%$; Cu-Mn 固溶体比例 $\leq 20\%$, 可切削加工黄铜合金的切削力处于较低的水平。因此可切削加工黄铜合金的 Cu-Zn 固溶体比例 $\geq 80\%$, Cu-Mn 固溶体比例 $\leq 20\%$ 是比较合适的。根据实施例 23-25, 当铜含量在 54wt%以上, Cu-Zn 固溶体在 80%以上, 并且 Cu-Zn 固溶体中体心立方结构比例 $\geq 85\%$, 产品的切削力处于较高的水平, 说明了体心立方结构的 Cu-Zn 固溶体改善切削性能的前提是铜含量需低于 54wt%。

实施例 26 至实施例 32

实施例 26 至实施例 29 的制备方法如下:

各组分配料, 在低频熔炼炉熔炼后进行水平连铸铸锭, 水平连铸的铸造温度为 970℃-1020℃; 然后加热挤压成 $\Phi 20\text{mm}$ 棒坯, 加热挤压温度为 620℃-660℃; 拉拔成 $\Phi 19\text{mm}$ 棒坯; 之后去应力退火, 去应力退火温度为 260℃-300℃, 200℃以下时去应力退火加热速率为 40-43℃/分钟, 200℃以上时为 8-10℃/分钟; 200℃以上时去应力退火冷却速度为 5-6℃/分钟, 200℃以下为 32-34℃/分钟; 最后校直定尺出成品棒坯。

实施例 30 至实施例 32 的制备方法如下:

各组分配料, 在低频熔炼炉熔炼后进行水平连铸铸锭, 水平连铸的铸造温度为 970℃-1020℃; 然后加热挤压成 $\Phi 20\text{mm}$ 棒坯, 加热挤压温度为 620℃-660℃; 拉拔成 $\Phi 19\text{mm}$ 棒坯; 之后去应力退火, 所述的去应力退火温度为 180℃-200℃, 所述的去应力退火加热速度为 51-55℃/分钟, 所述的去应力退火冷却速度为 51-55℃/分钟; 最后校直定尺出成品棒坯。

对所得的棒坯取样按照 GB/T5121-2008 测试各实施例样品中铜和各元素的含量,

测试结果如表 5 所示，并取样制备成Φ8mm 的抗拉样。将得到的样品在 10 吨液压拉伸机上进行拉力测试，测试得到的抗拉强度和延伸率结果如表 5 所示。

将所获得的棒坯取样制备成Φ19mm、厚度为 30mm 的硬度样品，在布氏硬度计上进行测试，测试采用的圆球直径 2.5mm，压力为 62.5 公斤力，测试得到的 HB 硬度结果如表 5 所示。

将制备得到的棒坯制备成Φ19mm、厚度为 1mm 的 XRD 样品，在德国布鲁克 X 射线衍射仪上进行体心立方结构 Cu-Zn 固溶体和面心立方结构 Cu-Mn 固溶体的粒径测试，测试结果如表 6 所示。

将制备得到的棒坯制备成Φ19mm、长度为 300mm 的切削力样品，在重庆迪佳切削力测试系统上进行切削力测试。测试条件为：进给量 0.078，切削速度 31.5674，背吃刀量 0.5。测试材料切削过程中的切向力、轴向力、径向力，测试结果以及按照切削力计算公式计算得到的切削力如表 6 所示。

表 5

实施 例	元素含量 (wt%)					性能		
	Cu	Mn	其它	Zn	Cu+Mn+Zn	抗拉强度 (MPa)	延伸率 (%)	HB 硬度
26	48.58	2.174	无	49.2	99.954	538	28	134
27	52.39	4.074	无	43.52	99.98	555	24	159
28	49.86	1.078	无	49.02	99.96	546	30	129
29	45.54	6.152	无	48.26	99.95	593	28	148
30	50.18	5.115	无	44.66	99.955	592	24	166
31	50.99	4.936	无	44.07	99.996	588	27	162
32	53.87	7.952	无	38.13	99.952	576	23	158

其中，实施例 27、30、31、32 是对比例。

表 6

实施例	Cu-Zn 固溶体 粒径 (nm)	Cu-Mn 固溶 体粒径 (nm)	切向力 (KN)	轴向力 (KN)	径向力 (KN)	切削力 (KN)
26	15.42	15	48.747	62.126	69.908	105.466
27	27.67	14.94	59.635	70.519	83.801	124.707
28	29.48	32.79	49.079	66.768	68.704	107.643
29	16.52	18.88	51.608	64.099	70.636	108.451
30	30.07	21.31	57.089	77.997	90.178	132.192
31	16.52	40.09	60.007	73.599	87.593	129.191
32	9.98	28.58	63.469	75.078	88.824	132.494

由表 5 和表 6 可知，当 Cu-Zn 固溶体粒径≤10nm 或 Cu-Zn 固溶体粒径≥30nm 时，可切削加工黄铜合金的切削力整体偏高，当 Cu-Mn 固溶体粒径≤15nm 或 Cu-Mn 固溶

体粒径 $\geq 40\text{nm}$ 时,可切削加工黄铜合金的切削力整体偏高。因此可切削加工黄铜合金的 Cu-Zn 固溶体粒径为 10-30nm, Cu-Mn 固溶体的粒径为 15-40nm 是合适的范围。

实施例 33 至实施例 38

实施例 33 至实施例 38 的制备方法如下:

配料,在中频熔炼炉熔炼;水平连铸棒坯;水平连铸的铸造温度为 970°C - 1020°C ;刨皮;拉拔成 $\Phi 19\text{mm}$ 棒坯;之后去应力退火,去应力退火温度为 250°C - 280°C ,去应力退火加热速率为 $2\text{-}5^{\circ}\text{C}/\text{分钟}$,去应力退火冷却速度为 $5\text{-}8^{\circ}\text{C}/\text{分钟}$;最后校直定尺出成品棒坯。

所得棒坯取样按照 GB/T5121-2008 测试各实施例样品中铜和各元素的含量,测试结果如表 7 所示。

所得棒坯制备成 $\Phi 8\text{mm}$ 的抗拉样,在 10 吨液压拉伸机上进行拉力测试,测试得到的抗拉强度和延伸率结果如表 7 所示。

所得棒坯制成 $\Phi 19\text{mm}$ 、厚度 30mm 的硬度样品,在布氏硬度计上进行测试,测试采用的圆球直径 2.5mm,压力为 62.5 公斤力,测试得到的 HB 硬度结果如表 7 所示。

所得棒坯制成 $\Phi 19\text{mm}$ 、长度为 300mm 的切削力样品,在重庆迪佳切削力测试系统进行切削力测试。测试条件为:进给量 0.078,切削速度 31.5674,背吃刀量 0.5。测试切削过程中的切向力、轴向力、径向力,测试结果以及按照切削力计算公式计算得到的切削力如表 8 所示。

实施例 30 至实施例 35 切削后的碎沫照片如图 8 所示。

表 7

实施例	元素含量 (wt%)					性能		
	Cu	Mn	其他	Zn	Cu+Mn+Zn	抗拉强度 (MPa)	延伸率 (%)	HB 硬度
33	50.21	3.189	铅: 0.5001	46.01	99.409	551.5	33.35	125
34	50.33	3.408	铅: 0.8051	45.36	99.1	558	30	134
35	50.43	3.286	铅: 2.012	44.23	97.95	538.5	31.65	138
36	50.31	3.339	铅: 2.515	43.77	97.42	520.5	28.35	137
37	50.22	3.397	铅: 3.024	43.26	96.88	511.5	26.7	136
38	50.14	3.258	铅: 4.013	42.58	95.98	505.5	18.15	130

其中实施例 38 是对比例。

表 8

实施例	切向力 (KN)	轴向力 (KN)	径向力 (KN)	切削力 (KN)
33	54.122	67.399	73.764	113.635
34	55.208	63.176	67.903	107.935
35	53.13	69.121	66.607	109.713
36	52.863	64.56	65.189	105.887
37	52.303	65.161	59.05	102.316
38	51.391	64.489	57.965	100.796

由表 7、表 8 和图 8 可知,添加一定量的 Pb 元素,切削碎沫随着 Pb 元素的增加变小,更有利于切削加工过程中切削碎沫的排出,并且切口表面光洁度提高;但随着 Pb 元素的增加,延伸率呈降低的趋势;当 Pb 元素含量超过 4wt%时,其延伸率会有较大幅度的下降。因此 Pb 元素的含量应控制在 0.1wt%-4wt%,优选为 0.5wt%-3.0wt%,更优选为 0.8wt%-2.5wt%。

实施例 39 至实施例 51

实施例 39 至实施例 51 的制备方法与实施例 33 至实施例 38 相同。制备样品测定各组份含量以及各合金的抗拉强度、延伸率和硬度结果如表 9 所示;切削力测试结果如表 10 所示。

表 9

实施例	元素含量 (wt%)					性能		
	Cu	Mn	其它	Zn	Cu+Mn+Zn	抗拉强度 (MPa)	延伸率 (%)	HB 硬度
39	50.52	3.339	Bi: 0.1069	46.03	99.889	561	38	136
40	50.66	3.397	Bi: 0.5161	45.42	99.477	575	30	130
41	50.6	3.258	Bi: 2.585	43.50	97.358	546	28.5	136
42	50.62	6.034	Bi: 3.997	39.34	95.994	585	17.2	149
43	50.12	2.653	Bi: 1.507, Pb: 1.051	44.64	97.413	557	26	126
44	47.78	2.811	Sb: 0.1081	49.28	99.871	611	30	151
45	49.67	3.019	Sb: 0.202	47.05	99.739	588	27	145
46	53.78	3.249	Sb: 2.021	40.89	97.919	545	30	130
47	51.17	7.214	Sb: 4.099	37.51	95.894	591	15.8	154
48	50.18	0.9561	Sb: 1.49, Bi: 2.522	44.84	95.9761	548	26	127
49	50.55	1.525	Bi: 0.0278	47.88	99.955	534	37	122

50	49.98	2.187	Sb: 1.989	45.84	98.007	565	22	146
51	52.12	2.002	Sb: 2.607 Bi: 1.381	41.89	96.012	588	16	168

实施例 44 是对比例。

表 10

实施例	切向力 (KN)	轴向力 (KN)	径向力 (KN)	切削力 (KN)
39	54.012	66.258	65.919	107.948
40	53.13	65.228	65.363	106.535
41	52.132	57.094	65.428	101.283
42	54.034	61.176	64.903	104.281
43	49.132	55.094	65.428	98.641
44	50.079	64.768	67.704	106.239
45	51.108	64.099	66.636	105.646
46	54.121	65.096	65.172	106.836
47	53.127	64.018	61.119	103.229
48	50.028	56.199	67.182	100.869
49	51.01	76.34	56.65	107.884
50	69.006	61.534	60.722	110.614
51	59.329	64.079	77.149	116.525

实施例 47 是对比例。

由表 9 和表 10 可知，添加一定量的 Bi, Sb 元素，可减少切削加工过程的切削力，有利于提高可切削加工黄铜合金的切削加工性能。但 Sb, Bi 元素添加超过 4wt%，合金的延伸率出现了较大幅度的下降，因此 Bi, Sb 的含量需控制在 4wt%以下；而 Bi, Sb 元素添加量小于 0.1wt%时，改善效果不明显。因此 Bi, Sb 元素添加范围为 0.1wt%-4wt%；并且，根据实施例 43 和实施例 48 的分析结果，在 Bi 元素存在的情况下同时添加 Pb 或 Sb 元素，可更有效的降低切削力。

实施例 52 至实施例 56

实施例 52 至实施例 56 的制备方法与实施例 33 至实施例 38 相同。各实施例样品组分含量以及抗拉强度、延伸率和硬度的测试结果如表 11 所示；切削力测试结果如表 12 所示。

将实施例 54 制备得到的棒坯取 $\Phi 19\text{mm}$ ，厚度为 30mm 的金相样品，经金相抛光机抛光后使用三氯化铁盐酸酒精溶液中腐蚀后在莱卡显微镜下观察组织形貌，显微组织如图 9(放大倍率为 100X)所示。金相测试完成后取该样品在维氏显微硬度计下测试化合物的硬度，测试结果如表 13 所示。图 10 为在显微维氏硬度计上对 CuSe 化合物进行硬度测试的照片。

表 11

实施 例	元素含量(wt%)					性能		
	Cu	Mn	其它	Zn	Cu+Mn+Zn	抗拉强度 (MPa)	延伸率 (%)	HB 硬度
52	50.58	1.082	Se: 0.1069	48.23	99.892	561	36.7	129
53	50.23	2.206	Se: 0.2161	47.32	99.756	566	29.2	143
54	50.45	2.988	Se: 0.9882	45.55	98.988	580.4	28.3	146
55	50.35	3.154	Se: 2.085, Bi: 1.064	43.25	96.754	570.4	25	156
56	50.62	4.675	Se: 3.997	40.70	95.995	586	11.6	159

表 12

实施例	切向力(KN)	轴向力(KN)	径向力(KN)	切削力(KN)
52	55.137	68.109	69.216	111.668
53	54.189	69.012	66.218	109.927
54	54.228	68.92	64.209	108.690
55	53.001	64.292	65.201	105.800
56	53.192	63.299	64.829	105.066

表 13

实施例 54	1	2	3	4	5	平均值
CuSe 化合物显微硬度测试	413.8	401.2	486.0	451.6	442.3	438.98

由表 11、表 12、表 13 和图 10 可知, 加入 Se 元素可形成 CuSe 化合物, 化合物显微硬度较高, 在切削过程中能够形成应力集中点, 有利于黄铜合金在切削加工过程中的断屑, 提高黄铜合金的切削加工性能。而 Se 存在下再加入 Bi 元素, 合金的切削力处于较低的水平, 可显著改善黄铜合金的切削性能。但当 Se 含量超过 4wt%, 合金的延伸率有较大幅度的下降, 因此 Se 的含量控制在 0.1wt%-4wt%, 优选为 0.1wt%-2.0wt%, 更优选为 0.2wt%-1.0wt%。

实施例 57 至实施例 67

实施例 57 至实施例 67 的制备方法和测试方法与实施例 33 至实施例 38 的相同。各

实施例样品中各组分含量及抗拉强度、延伸率和硬度的测试结果如表 14 所示，切削力测试结果如表 15 所示。

表 14

实施例	元素含量(wt%)					性能		
	Cu	Mn	其它	Zn	Cu+Mn+Zn	抗拉强度(MPa)	延伸率(%)	HB 硬度
57	51.09	1.8686	B: 0.0152	46.95	99.9086	508	28.7	121
58	51.07	1.9135	B: 0.0501	46.96	99.9435	539	35	130
59	50.63	1.9167	B: 0.5109	46.88	99.4267	587.5	30	138
60	50.3	2.082	B: 0.9978	46.62	99.002	561	20	154
61	50.56	2.116	B: 2.01	45.27	97.946	632.5	14	177
62	50.69	1.716	B: 0.1828 Pb: 1.878	45.52	97.926	561.5	30	129
63	50.07	1.93	P: 0.0012	47.95	99.95	595.5	33.3	133
64	50.36	1.97	P: 0.0131	47.99	99.99	527	36.7	132
65	50.73	2.08	P: 0.8002	47.65	99.98	619	28.5	138
66	50.49	2.206	P: 1.012	46.37	99.18	636	20	159
67	50.79	2.609	P: 2.002	46.27	98.966	684.5	13	182

实施例 61、67 是对比例。

表 15

实施例	切向力(KN)	轴向力(KN)	径向力(KN)	切削力(KN)
57	55.731	67.189	66.916	109.991
58	56.468	71.432	74.192	117.455
59	60.287	66.567	71.841	115.008
60	64.774	70.061	66.939	116.555
61	75.251	76.239	78.089	132.563
62	53.798	65.295	63.713	105.910
63	61.582	58.767	69.089	109.632
64	56.695	61.842	69.415	108.891
65	58.387	59.29	69.498	108.417
66	61.208	62.911	74.125	114.886
67	75.499	76.383	72.957	129.835

由表 14 和表 15 可知，加入 B 和/或 P 元素，可改善合金的机械性能，可切削力未明显增加。但 B 元素 $\geq 2\text{wt}\%$ 或 P 元素 $\geq 2\text{wt}\%$ ，可切削加工黄铜合金的延伸率急剧降低，

而低于 0.001wt%则效果不明显。因此 B 元素含量 0.001wt%-2wt%，P 元素含量控制在 0.001wt%-2wt%。

实施例 68 至实施例 85

实施例 57 至实施例 67 的制备方法和测试方法与实施例 33 至实施例 38 的相同。各组分含量、抗拉强度、延伸率和硬度结果如表 16 所示，切削力测试结果如表 17 所示。

表 16

实施例	元素含量 (wt%)					性能		
	Cu	Mn	其它	Zn	Cu+Mn+Zn	抗拉强度 (MPa)	延伸率 (%)	HB 硬度
68	51.09	1.8686	Al: 0.0128	46.93	99.8886	508	38	123
69	51.07	3.116	Al: 2.497	43.22	97.406	581	24	159
70	50.63	2.509	Al: 3.991	42.86	95.999	654	15	172
71	50.3	2.549	Fe: 0.0129	47.12	99.969	537	32	134
72	50.56	1.137	Fe: 2.528 As: 0.925	44.78 5	96.482	646.5	25	147
73	50.69	1.482	Fe: 3.989	43.83	96.002	665	16	157
74	50.07	2.366	Al: 1.002, Fe: 1.053	45.43	97.866	616	25	158
75	50.36	2.889	Si: 0.0115	46.69	99.939	501	31	135
76	50.73	3.587	Si: 1.956 As: 0.061	43.58	97.897	595	22	165
77	50.49	4.097	Si: 3.996	41.32	95.907	688	16	175
78	50.79	1.8686	Pb: 1.021, Fe: 1.102, Si: 0.898	44.24	96.8986	608	22	152
79	50.43	0.6756	Sn:0.0212	48.86	99.9656	516	38	122
80	51.22	2.908	Sn: 4.886	40.98	95.108	676	17	179
81	50.89	2.009	Ni: 0.2192	46.79	99.689	522	40	127
82	48.98	1.686	Ni: 3.7858 As: 0.0012	45.54	96.206	666	18	166
83	50.32	2.102	Co: 0.2012	47.31	99.732	551	34	133
84	52.21	2.331	Co: 4.287	41.12	95.661	645	18	176
85	50.19	3.201	Co: 1.098 Ni: 1.278 Si: 0.521	43.71	97.101	598	29	153

表 17

实施例	切向力(KN)	轴向力(KN)	径向力(KN)	切削力(KN)
68	63.991	62.226	62.621	109.034
69	62.021	64.461	70.004	113.589
70	63.925	68.464	78.139	121.981
71	59.755	63.273	63.16	107.533
72	63.318	69.339	74.176	119.663
73	68.134	72.007	71.831	122.421
74	60.891	68.631	65.905	112.966
75	60.181	65.755	66.078	110.958
76	62.228	70.211	72.28	118.433
77	64.983	73.21	77.063	124.584
78	65.673	64.802	65.73	113.281
79	62.09	61.718	60.094	106.186
80	76.375	74.792	66.607	125.950
81	60.201	63.815	60.15	106.370
82	66.06	68.761	71.832	119.381
83	53.13	63.228	65.363	105.323
84	70.95	73.291	70.075	123.758
85	65.512	61.205	64.095	110.209

由表 16 和表 17 可知，在可切削加工黄铜合金中加入 Fe, Al, Si, Sn, Ni, Co 元素的一种或多种可提高产品的机械性能，改善了可切削加工黄铜合金的综合性能。但 Fe, Al, Si, Sn, Ni 或 Co 元素含量超过 5wt% 时，可切削加工黄铜合金的延伸率急剧降低，含量低于 0.01wt% 时改善效果不明显，因此可切削加工黄铜的 Fe 含量控制在 0.01wt%-5wt%，Al 含量控制在 0.01wt%-5wt%，Si 含量控制在 0.01wt%-5wt%，Sn 含量控制在 0.01wt%-5wt%，Ni 含量控制在 0.01wt%-5wt%，Co 含量控制在 0.01wt%-5wt%。同时加入 Al 和 Fe 元素，黄铜合金的机械性能整体提高，切削力有小幅度的升高，在可切削加工黄铜合金中同时加入 Ni、Co 和 Si 元素，黄铜合金的机械性能整体提高，切削力有小幅度的升高，而在可切削加工黄铜合金中同时加入 Fe、Si 和 Pb 元素，黄铜合金的切削力未明显增加，机械性能整体提高。

实施例 86 和实施例 87

实施例 86 是作为对比的 C3604 铅黄铜合金，其按照常规的熔铸、挤压、拉拔、校直、退火工艺步骤进行生产出 $\Phi 40\text{mm}$ 棒坯。实施例 87 的制备方法如下：

配料，在低频熔炼炉熔炼，垂直半连铸铸锭，所述的铸造温度为 1000℃-1040℃，加热挤压成Φ42mm 棒坯，所述的挤压温度为 620℃-690℃，拉拔成Φ40mm 棒坯，之后去应力退火，所述的去应力退火温度为 250℃-350℃，，去应力退火加热速率为 2-5℃/分钟，去应力退火冷却速度为 5-8℃/分钟；最后校直定尺出成品棒坯。实施例 86 与实施例 87 的抗拉强度、延伸率、HB 硬度及切削力的测试结果如表 18 所示，切削力测试结果见表 19。

表 18

实施例	元素含量(wt%)					性能		
	Cu	Mn	其它	Zn	Cu+Mn+Zn	抗拉强度(MPa)	延伸率(%)	HB 硬度
86	59.65	无	Pb: 2.314	余量	-	514	22	141
87	50.34	3.115	无	46.53	99.99	538	30	139

实施例 86 是对比例。

表 19

实施例	切向力(KN)	轴向力(KN)	径向力(KN)	切削力(KN)
86	46.315	62.089	65.918	101.712
87	47.214	63.186	68.428	104.422

将实施例 86 和实施例 87 采用钨钢刀具，在马扎克数控车床上制备成高频连接器铜部件。加工后的产品如图 11 和图 12 所示。经表面光洁度测试，实施例 86(C3604)的表面光洁度为 1.38，实施例 87 的表面光洁度为 0.65。由此可知，本发明合金较传统铅黄铜具有更优秀的表面光洁度。

从实施例 86 和实施例 87 上各取 50mm 长的试验料 5 个，经 680℃加热 30 分钟后取出，在 315 吨立式油压机上压缩至指定高度，并观察表面裂纹情况。测试结果如表 20 所示。

表 20

实施例	压缩比				
	1.67	2	2.5	3.33	5
86	优	优	优	良	差
87	优	优	优	良	良

计算压缩比(压缩比=50/压缩后的高度),表 20 中的优表示压缩后的样品表面光洁且无裂纹；良为表面粗糙且无明显裂纹；表面存在裂纹为差。

由表 20 可知，本发明合金较传统铅黄铜具有更优秀的锻造性能。

权 利 要 求

1、一种可切削加工黄铜合金，其特征在于包括下述重量组成：

铜	45wt%-54wt%
锰	0.5wt%-9.0wt%
锌	37wt%-53wt%

铜、锰、锌三者之和 $\geq 95\text{wt}\%$ ，不可避免杂质含量 $\leq 0.1\text{wt}\%$ ；

并且该合金中含有体心立方结构的 Cu-Zn 固溶体和面心立方的 Cu-Mn 固溶体。

2、根据权利要求 1 所述的可切削加工黄铜合金，其特征在于所述 Cu-Zn 固溶体的比例 $\geq 80\%$ ，Cu-Mn 固溶体比例 $\leq 20\%$ ；并且 Cu-Zn 固溶体中体心立方结构的比例 $\geq 85\%$ 。

3、根据权利要求 2 所述的可切削加工黄铜合金，其特征在于所述 Cu-Zn 固溶体中体心立方结构的比例为 95-100%。

4、根据权利要求 1、2 或 3 所述的可切削加工黄铜合金，其特征在于所述 Cu-Zn 固溶体粒径为 10-30nm，Cu-Mn 固溶体的粒径为 15-40nm。

5、根据权利要求 4 所述的可切削加工黄铜合金，其特征在于所述合金的晶粒度为 0.03-0.2mm。

6、根据权利要求 5 所述的可切削加工黄铜合金，其特征在于该合金还包含 0.001wt%-4wt%的组分 X，所述 X 选自 0.1wt%-4wt%的 Pb、0.1wt%-4wt%的 Bi、0.1wt%-4wt%的 Sb、0.1wt%-4wt%的 Se、0.001wt%-2.0wt%的 B、0.001wt%-2.0wt%的 P 和 0.001wt%-1wt%的 As 中的至少一种。

7、根据权利要求 6 所述的可切削加工黄铜合金，其特征在于所述 Pb 的含量为 0.5wt%-3.0wt%，所述 Bi 的含量为 0.1wt%-3.0wt%，所述 Sb 的含量为 0.1wt%-2.5wt%，所述 Se 的含量为 0.1wt%-2.0wt%，所述 B 的含量为 0.01wt%-1.0wt%，所述 P 的含量为 0.001wt%-1.0wt%，所述 As 的含量为 0.002wt%-0.6wt%。

8、根据权利要求 7 所述的可切削加工黄铜合金，其特征在于所述 Pb 的含量为 0.8wt%-2.5wt%，所述 Bi 的含量为 0.5wt%-2.5wt%，所述 Sb 的含量为 0.2wt%-1.5wt%，所述 Se 的含量为 0.2wt%-1.0wt%，所述 B 的含量为 0.05wt%-0.5wt%，所述 P 的含量为 0.01wt%-0.8wt%，所述 As 的含量为 0.003-0.3wt%。

9、根据权利要求 6 所述的所述的可切削加工黄铜合金，其特征在于该合金还包含 0.01wt%-5wt%的组分 Y，所述 Y 选自 Al、Fe、Si、Sn、Ni 和 Co 中的至少一种。

10、根据权利要求 9 所述的可切削加工黄铜合金，其特征在于所述 Al 的含量为 0.1wt%-3.5wt%，所述 Fe 的含量为 0.1wt%-3.0wt%，所述 Si 的含量为 0.05wt%-1.2wt%，所述 Sn 的含量为 0.05wt%-3wt%，所述 Ni 的含量为 0.5wt%-2.5wt%，所述 Co 的含量为 0.1wt%-2wt%。

11、根据权利要求 10 所述的可切削加工黄铜合金，其特征在于所述 Al 的含量为 0.5wt%-3wt%，所述 Fe 的含量为 0.1wt%-2.5wt%，所述 Si 的含量为 0.08wt%-1.0wt%，所述 Sn 的含量为 0.1wt%-1.5wt%，所述 Ni 的含量为 0.6wt%-1.5wt%，所述 Co 的含量为 0.5wt%-1wt%。

12、根据权利要求 6 所述的可切削加工黄铜合金，其特征在于所述 Cu 的含量为 47.8wt%-53.5wt%，所述 Mn 的含量为 0.8wt%-6.0wt%。

13、根据权利要求 12 所述的可切削加工黄铜合金，其特征在于所述 Cu 的含量为 48.9wt%至 52.7wt%，所述 Mn 的含量为 1.0wt%-3.9wt%。

14、一种如权利要求 1 所述的可切削加工黄铜合金的制备方法，其特征在于依次包括下述步骤：

配料→熔炼→垂直半连铸铸锭→加热挤压→拉拔→去应力退火→校直→定尺→包装；

其中，所述垂直半连铸的温度为 980℃-1080℃，所述加热挤压温度为 550℃-750℃，所述去应力退火温度为 200℃-400℃，所述去应力退火加热速率为 2-50℃/分钟，所述去应力退火的冷却速度为 5-50℃/分钟。

15、一种如权利要求 1 所述的可切削加工黄铜合金的制备方法，其特征在于依次包括下述步骤：

配料→熔炼→水平连铸铸锭→加热挤压→拉拔→去应力退火→校直→定尺→包装；

其中，所述水平连铸的温度为 950℃-1080℃，所述加热挤压温度为 550℃-750℃，所述去应力退火温度为 200℃-400℃，所述去应力退火的加热速率为 2-50℃/分钟，所述去应力退火的冷却速度为 5-50℃/分钟。

16、一种如权利要求 1 所述的可切削加工黄铜合金的制备方法，其特征在于依次包括下述步骤：

配料→熔炼→水平连铸棒坯→刨皮→拉拔→去应力退火→校直→定尺→包装；

其中，所述水平连铸的温度为 950℃-1080℃，所述去应力退火温度为 200℃-400℃，所述去应力退火的加热速率为 2-50℃/分钟，所述去应力退火的冷却速度为 5-50℃/分钟。

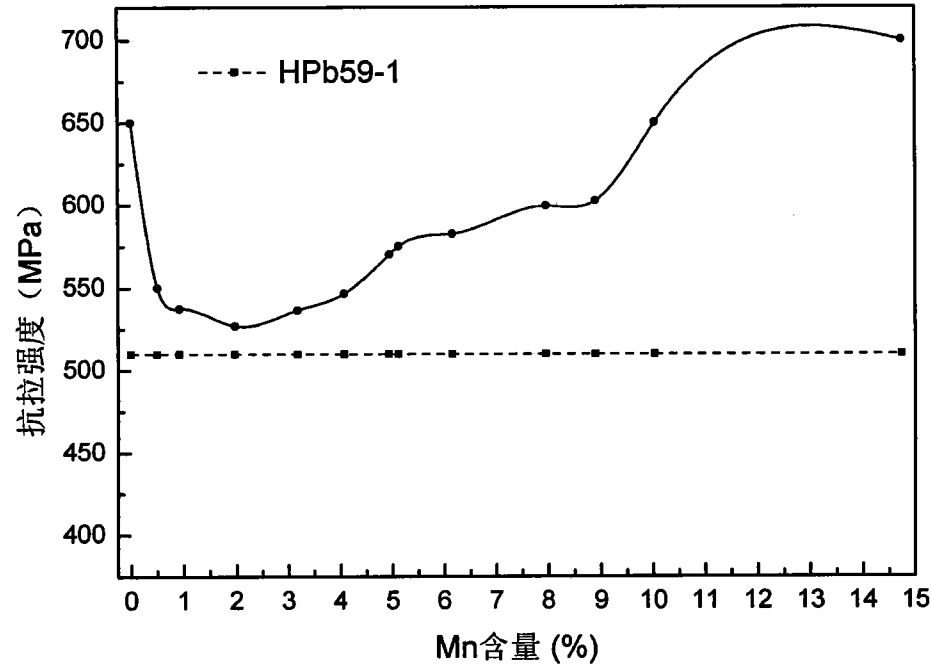


图 1

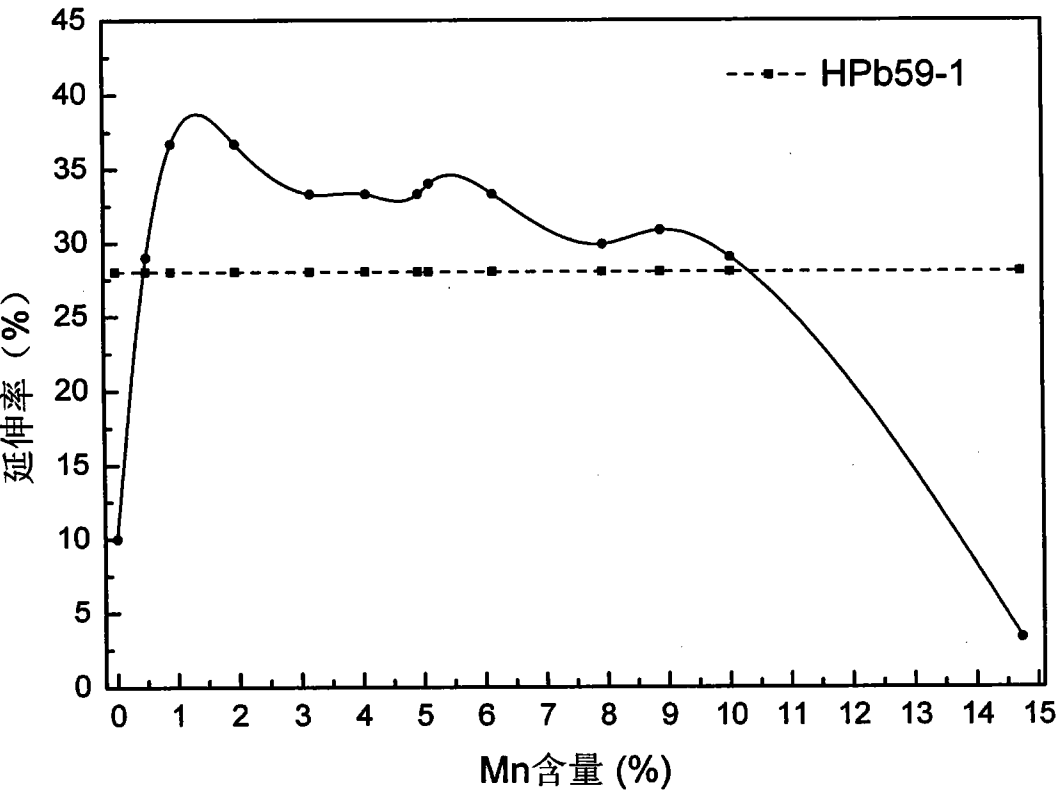


图 2

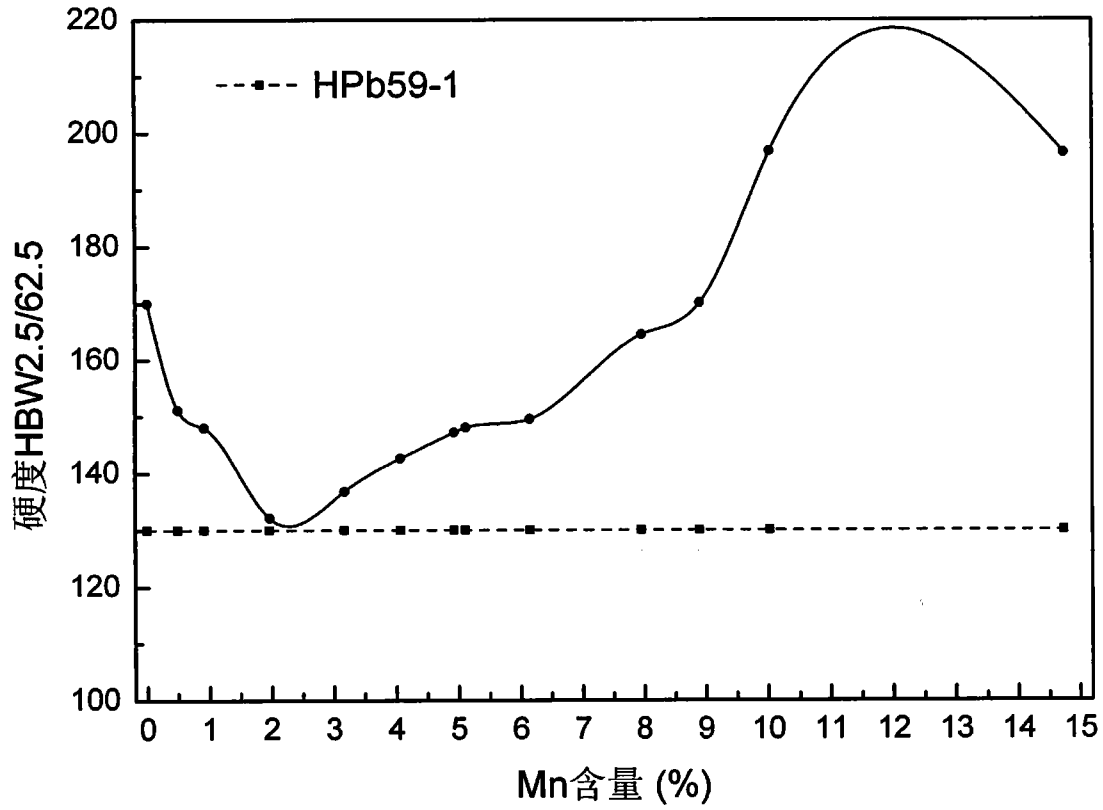


图 3

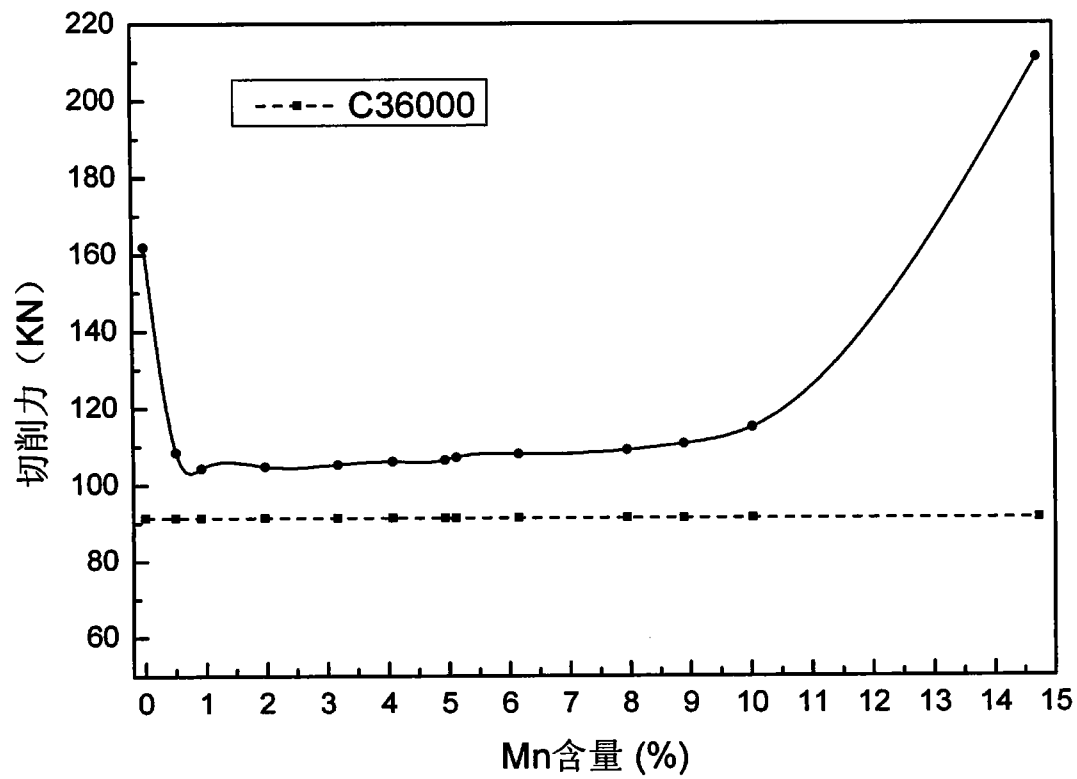


图 4

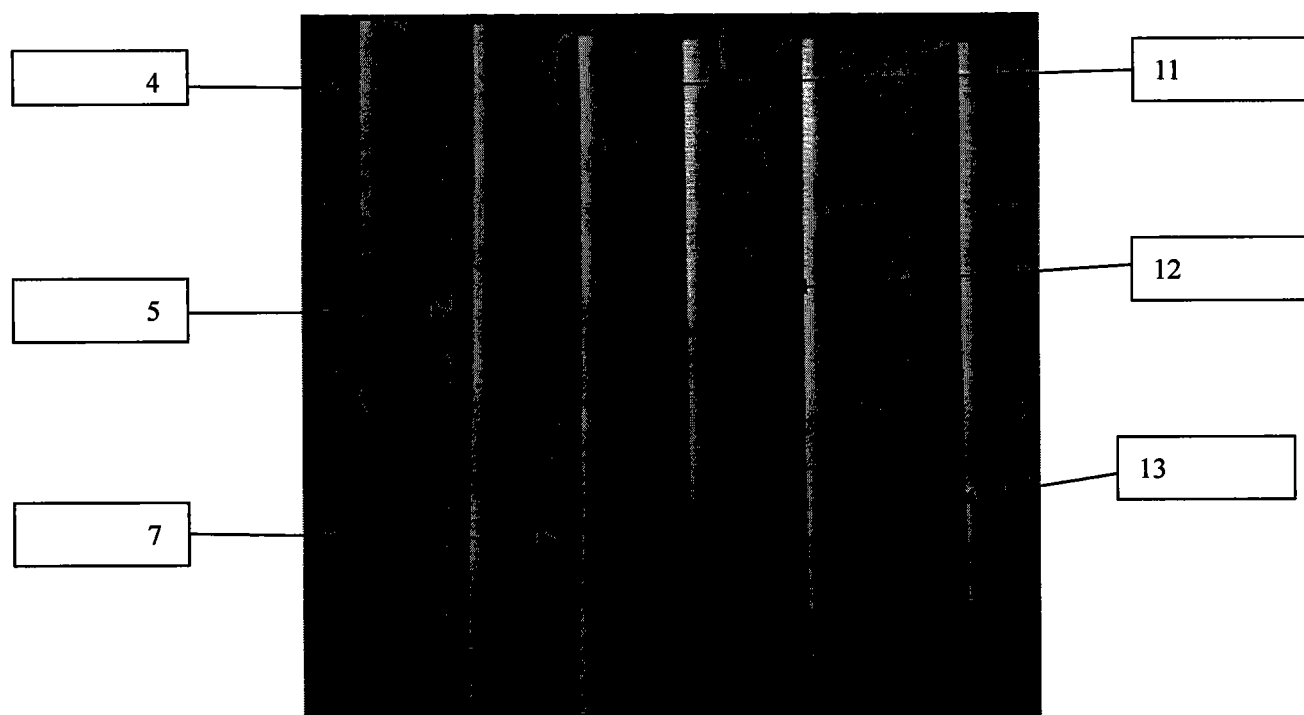


图 5

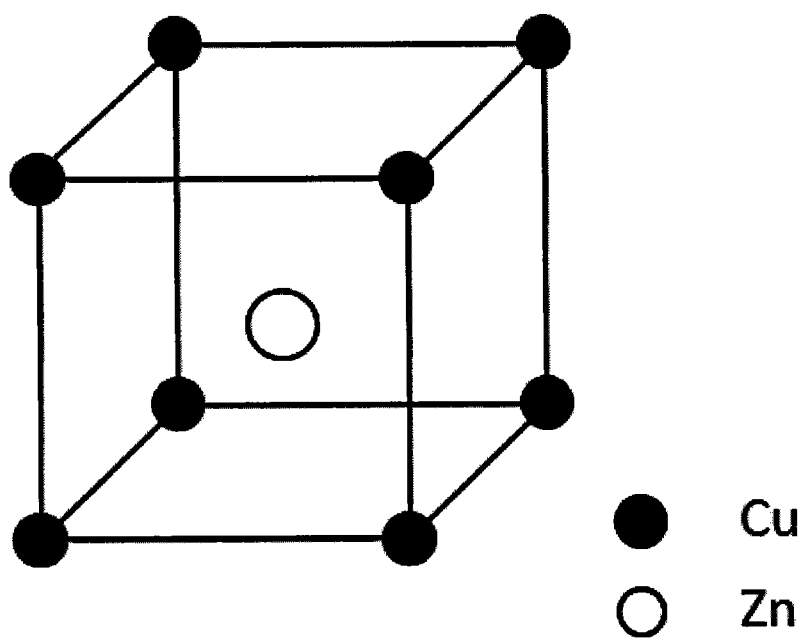


图 6

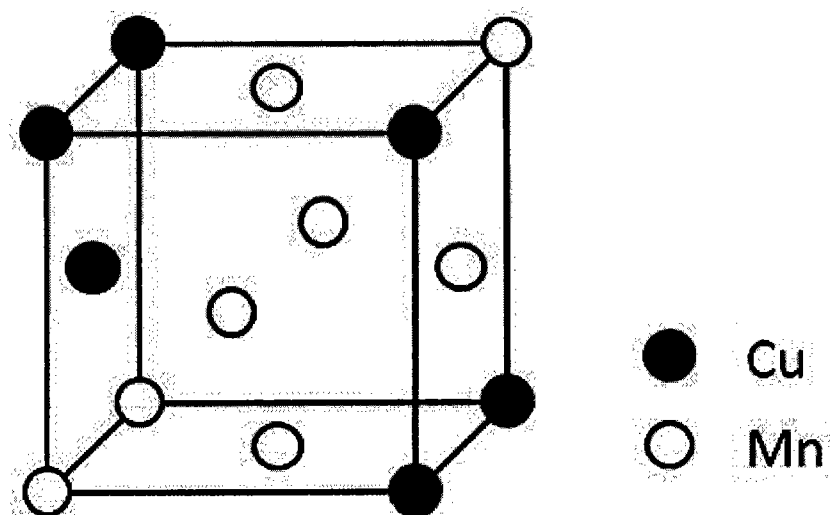


图 7

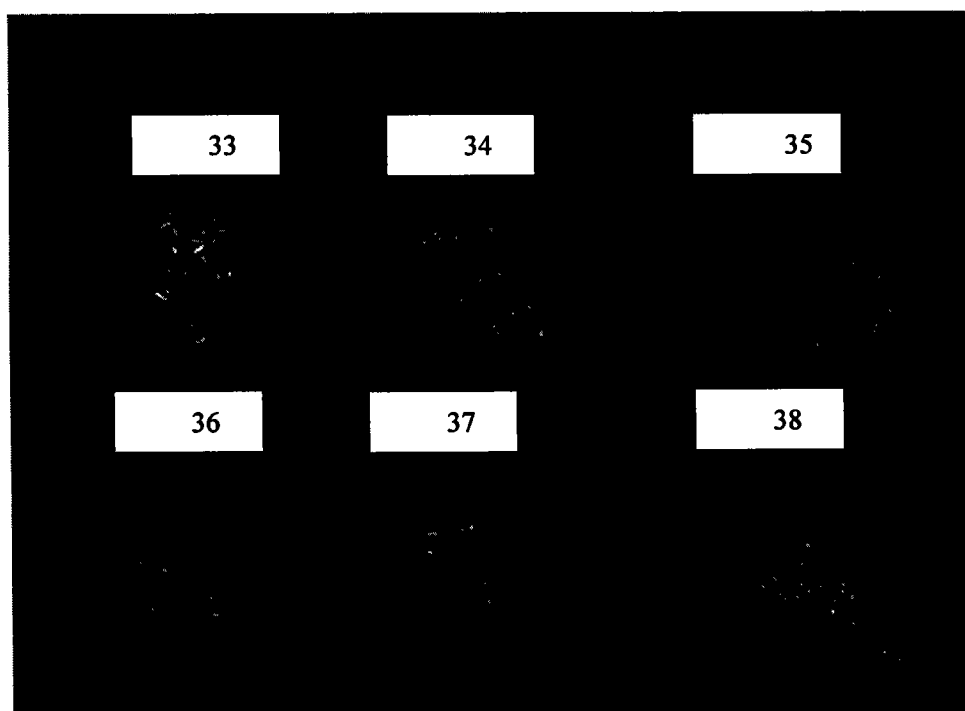


图 8

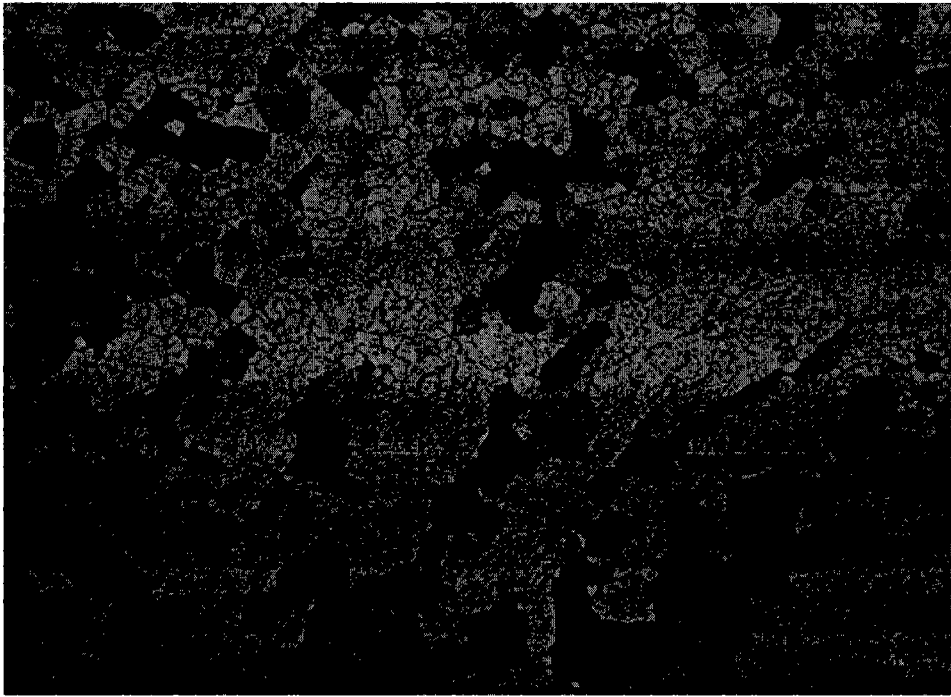


图 9

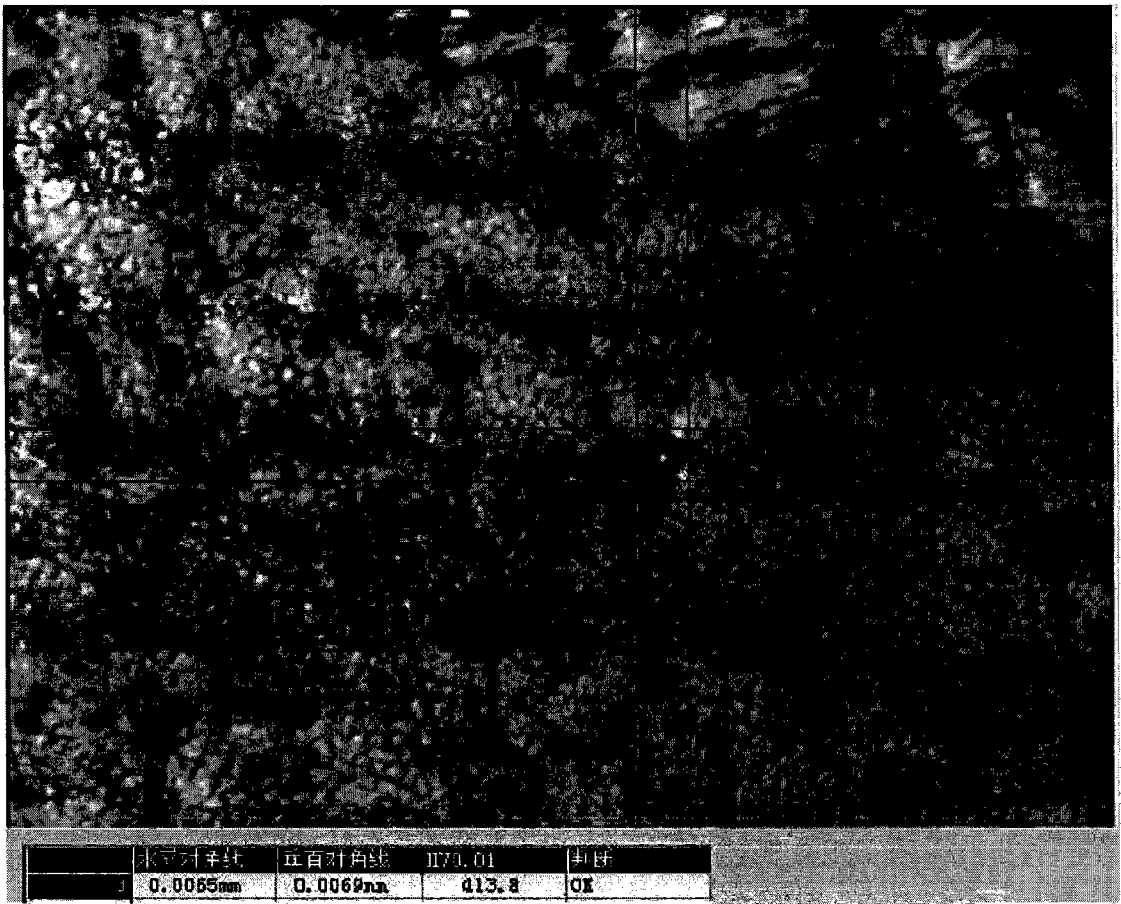


图 10

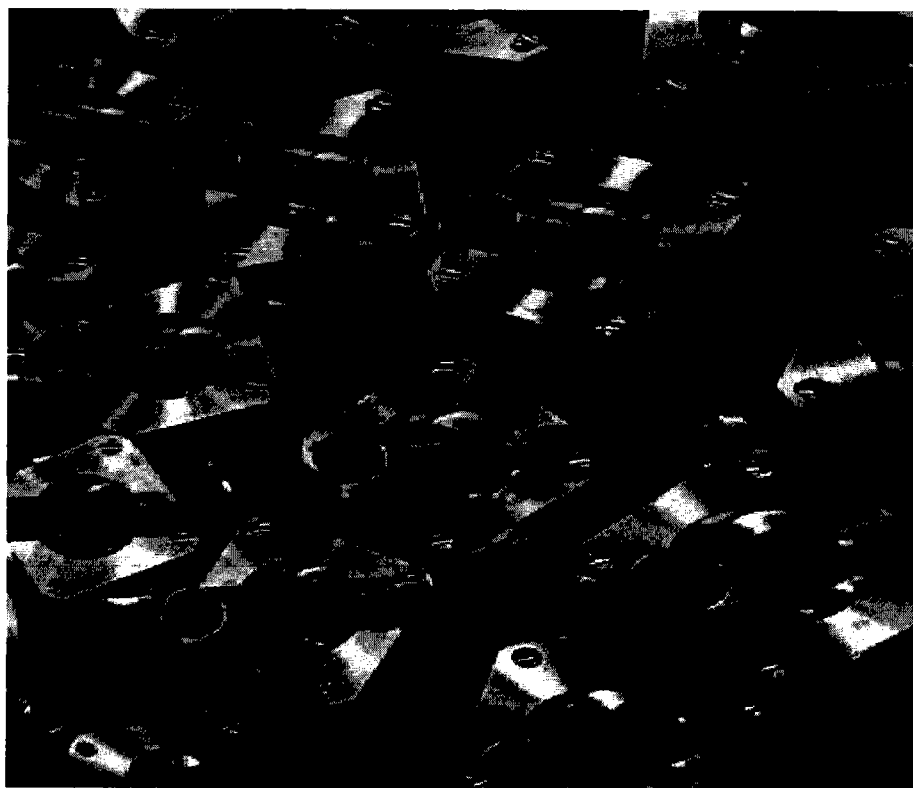


图 11



图 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2016/000230

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C22C 9/04 (2006.01) i; C22C 18/02 (2006.01) i; C22C 30/06 (2006.01) i; C22C 1/02 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C22C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

SIPOABS, CNTXT, DWPI, CNKI: cut, selenium, zinc, lead, continuous casting, brass, Mn, manganese, Cu, copper, Se, Zn, Pb, solute, cast, continuous

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 105039777 A (NINGBO POWERWAY ALLOY MATERIALS CO., LTD.), 11 November 2015 (11.11.2015), claims 1-16	1-16
X	CN 104294082 A (NINGBO POWERWAY ALLOY MATERIALS CO., LTD.), 21 January 2015 (21.01.2015), description, paragraphs 7-19, 25-39 and 42-48	1-16
A	CN 102443716 A (XIAMEN LOTA INTERNATIONAL CO., LTD.), 09 May 2012 (09.05.2012), the whole document	1-16
A	EP 1612285 A1 (DOWA MINING CO.), 04 January 2006 (04.01.2006), the whole document	1-16

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 28 July 2016 (28.07.2016)	Date of mailing of the international search report 12 August 2016 (12.08.2016)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer CHEN, Dazhou Telephone No.: (86-10) 62084752

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2016/000230

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 105039777 A	11 November 2015	None	
CN 104294082 A	21 January 2015	None	
CN 102443716 A	09 May 2012	None	
EP 1612285 A1	04 January 2006	CN 100567531 C	09 December 2009
		US 8293039 B2	23 October 2012
		US 2006016528 A1	26 January 2006
		CN 1800426 A	12 July 2006
		JP 4660735 B2	30 March 2011
		JP 2006016667 A	19 January 2006
		US 2009014102 A1	15 January 2009

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2016/000230

A. 主题的分类

C22C 9/04(2006.01)i; C22C 18/02(2006.01)i; C22C 30/06(2006.01)i; C22C 1/02(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

C22C

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

SIPOABS, CNTXT, DWPI, CNKI: 黄铜, 切削, 铜, 锰, 硒, 锌, 铅, 铸造, 连铸, brass, Mn, manganese, Cu, copper, Se, Zn, Pb, solute, cast, continuous

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 105039777 A (宁波博威合金材料股份有限公司) 2015年 11月 11日 (2015 - 11 - 11) 权利要求1-16	1-16
X	CN 104294082 A (宁波博威合金材料股份有限公司) 2015年 1月 21日 (2015 - 01 - 21) 说明书第7-19, 25-39, 42-48段	1-16
A	CN 102443716 A (路达厦门工业有限公司) 2012年 5月 9日 (2012 - 05 - 09) 全文	1-16
A	EP 1612285 A1 (DOWA MINING CO) 2006年 1月 4日 (2006 - 01 - 04) 全文	1-16

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2016年 7月 28日

国际检索报告邮寄日期

2016年 8月 12日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

授权官员

陈大洲

电话号码 (86-10)62084752

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2016/000230

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	105039777	A	2015年 11月 11日	无			
CN	104294082	A	2015年 1月 21日	无			
CN	102443716	A	2012年 5月 9日	无			
EP	1612285	A1	2006年 1月 4日	CN	100567531	C	2009年 12月 9日
				US	8293039	B2	2012年 10月 23日
				US	2006016528	A1	2006年 1月 26日
				CN	1800426	A	2006年 7月 12日
				JP	4660735	B2	2011年 3月 30日
				JP	2006016667	A	2006年 1月 19日
				US	2009014102	A1	2009年 1月 15日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)