



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0047722
(43) 공개일자 2025년04월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 9/04 (2006.01) C22F 1/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 9/04 (2013.01)
C22F 1/08 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2025-7001935
(22) 출원일자(국제) 2023년07월20일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2025년01월20일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2023/000049
(87) 국제공개번호 WO 2024/032924
국제공개일자 2024년02월15일
(30) 우선권주장
10 2022 002 927.8 2022년08월11일 독일(DE)

(71) 출원인
빌란트-베르케악티엔게젤샤프트
독일연방공화국 89079 올름 그라프-아르코-슈트라
췌 36
(72) 발명자
알렌더거 티모
독일 89134 블라우슈타인 리카르다-후흐-백 15
보가츠 다니엘
독일 89134 블라우슈타인 에밀-베링-슈트라췌 10
(74) 대리인
(뒷면에 계속)
리엔목특허법인

전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 구리-아연 전신재 합금, 구리-아연 전신재 합금으로 만들어진 반제품 및 이러한 반제품의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 와이어, 관 또는 봉 형상의 반제품 제조용 구리-아연 전신재 합금에 관한 것으로서, 상기 구리-아연 전신재 합금은 중량%로 Cu: 58.0 내지 63.0%, Si: 0.04 내지 0.32%, P: 0.05 내지 0.20%, Sn: 선택적으로 (optionally) 최대 0.25%, Al: 선택적으로 최대 0.10%, Fe: 선택적으로 최대 0.30%, Ni: 선택적으로 최대 0.30%, Pb: 선택적으로 최대 0.25%, Te, Se, In: 선택적으로 각각 최대 0.10%, Bi: 최대 0.009%, 잔부: Zn 및 불가피한 불순물의 조성을 가지며, 여기에서, 상기 불가피한 불순물의 비율이 0.20 중량% 미만이다. P 중량 비율 및 Al 중량 비율의 비(ratio)는 적어도 1.0이다. 상기 구리-아연 전신재 합금은 구상(球狀)의 α상, β상 및 인화물(phosphide) 입자의 조직을 갖는다. 상기 α상과 상기 β상의 합계에서 상기 β상의 비율은 적어도 20 체적% 및 최대 70 체적%이다. Si는 상기 α상과 상기 β상 모두에 존재한다. 21000 μm²의 면적에서 등가 직경이 0.5 내지 1 μm인 인화물 입자 7 내지 200 개, 등가 직경이 1 내지 2 μm인 인화물 입자 4 내지 150 개, 및 등가 직경이 2 μm 초과인 인화물 입자 최대 30 개가 존재한다.

(72) 발명자

코이플러 안드레아

독일 89231 노이-울름 질허쉬트라셰 30

홀리 수잔느

독일 89188 메르클린겐 슈발벤베크 1

명세서

청구범위

청구항 1

와이어, 관 또는 봉 형상의 반제품 제조용 구리-아연 전신재 합금으로서, 상기 구리-아연 전신재 합금은 중량%

Cu: 58.0 내지 63.0%,

Si: 0.04 내지 0.32%,

P: 0.05 내지 0.20%,

Sn: 선택적으로(optionally) 최대 0.25%,

Al: 선택적으로 최대 0.10%,

Fe: 선택적으로 최대 0.30%,

Ni: 선택적으로 최대 0.30%,

Pb: 선택적으로 최대 0.25%,

Te, Se, In: 선택적으로 각각 최대 0.10%,

Bi: 최대 0.009%,

잔부: Zn 및 불가피한 불순물의 조성을 갖고,

여기에서, 상기 불가피한 불순물의 비율이 0.20 중량% 미만이고,

P 중량 비율 및 Al 중량 비율의 비(ratio)는 적어도 1.0이고,

상기 구리-아연 전신재 합금은 구상(球狀)의 α 상, β 상 및 인화물(phosphide) 입자의 조직을 가지며, 상기 α 상과 상기 β 상의 합계에서 상기 β 상의 비율이 적어도 20 체적% 및 최대 70 체적%이고,

Si는 상기 α 상과 상기 β 상 모두에 존재하며,

21000 μm^2 의 면적에서 등가 직경이 0.5 내지 1 μm 인 인화물 입자 7 내지 200 개, 등가 직경이 1 내지 2 μm 인 인화물 입자 4 내지 150 개, 및 등가 직경이 2 μm 초과인 인화물 입자 최대 30 개가 존재하는, 구리-아연 전신재 합금.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 Pb 비율이 적어도 0.02 중량%인 것을 특징으로 하는 구리-아연 전신재 합금.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 Pb 비율이 최대 0.15 중량%인 것을 특징으로 하는 구리-아연 전신재 합금.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, P/Fe 비가 적어도 1.0인 것을 특징으로 하는 구리-아연 전신재 합금.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 Fe 비율은 0.10 중량% 미만이고, Ni 비율은 최대 0.07 중량%인 것을 특징으로 하는 구리-아연 전신재 합금.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 Si 비율이 최소 0.23 중량%인 것을 특징으로 하는 구리-아연

전신재 합금.

청구항 7

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 Si 비율이 최대 0.15 중량%인 것을 특징으로 하는 구리-아연 전신재 합금.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 P 비율이 최대 0.10 중량%인 것을 특징으로 하는 구리-아연 전신재 합금.

청구항 9

제7항 또는 제8항에 있어서, 상기 Cu 비율이 최대 59.5 중량%인 것을 특징으로 하는 구리-아연 전신재 합금.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 원소 Cu, Zn, Si, P 및 Pb의 합계 비율이 적어도 99.75 중량%인 것을 특징으로 하는 구리-아연 전신재 합금.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 구리-아연 전신재 합금이 적어도 120 HV10, 바람직하게는 적어도 150 HV10의 경도를 갖는 것을 특징으로 하는 구리-아연 전신재 합금.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 구리-아연 전신재 합금이 적어도 500 MPa, 바람직하게는 적어도 530 MPa의 인장 강도 Rm을 갖는 것을 특징으로 하는 구리-아연 전신재 합금.

청구항 13

제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 구리-아연 전신재 합금이 적어도 12.5 MS/m의 전기전도도를 갖는 것을 특징으로 하는 구리-아연 전신재 합금.

청구항 14

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항에 따른 구리-아연 전신재 합금으로 만들어진 와이어, 관 또는 봉 형상의 반제품.

청구항 15

제14항에 따른 반제품으로부터 절삭 가공 및 선택적인(optional) 추가 가공 단계에 의해 제조된 부품.

청구항 16

제14항에 따른 와이어, 관 또는 봉 형상의 반제품의 제조 방법으로서,

- 제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 따른 조성을 갖는 구리 합금을 용융하는 단계,
- 수냉식 주형을 사용하여 관상 또는 볼트상 주조 포맷을 연속 주조하는 단계,
- 620 내지 700 °C의 온도에서 상기 주조 포맷을 열간 프레스한 후 550 내지 350 °C의 온도 범위에서 분당 30 내지 60 °C의 냉각 속도로 냉각하는 단계,
- 선택적으로(optionally) 525 내지 625 °C의 온도 범위에서 1 내지 5 시간 동안 열처리한 후 500 내지 350 °C의 온도 범위에서 분당 20 내지 40 °C의 냉각 속도로 냉각하는 단계,
- 선택적으로(optionally) 냉간 성형하는 단계를 포함하는 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 와이어, 관 또는 봉 형상의 반제품 제조용 구리-아연 전신재 합금(copper-zinc wrought alloy), 구리-아연 전신재 합금으로 만들어진 반제품 및 이러한 반제품의 제조 방법에 관한 것이다. 구리-아연 전신재 합금은 일반적으로 구리-아연 합금으로부터 만들어진 전신재 재료를 의미하는 것으로 이해된다.

배경 기술

[0002] 3 내지 5 중량%의 납을 갖는 구리-아연 합금은 절삭 가공이 쉽고 열간 성형성 및 냉간 성형성도 매우 양호하다. 따라서 납 함유 구리-아연 합금은 예를 들면 자동차 산업, 건축 기술, 기계 공학, 전기 제품 및 전자 부품, 전 기통신에서의 연결 및 구성 요소, 및 수도설비에서의 이음쇠(fitting)와 같은 다양한 응용 분야에 사용된다.

[0003] 구리-아연 전신재 합금에서 납의 긍정적인 효과는 납이 조직에서 입자로서 원소 형태로 존재하고 이러한 입자가 칩 브레이커(chip breaker) 역할을 한다는 사실에 기초한다. 절삭 가공 중에 납은 공작물(workpiece)의 강한 국 부적 변형과 그에 따른 국부적인 온도 상승으로 인해 액체상으로 존재한다. 납은 액체 상태에서 응력을 흡수할 수 없기 때문에 하중을 전달하는 약화된 매트릭스에 응력이 집중되어 칩 파절(chip breakage)이 더 쉬워진다. 또한, 절삭 가공 중에 재료와 공구 사이의 마찰층에 납이 포함되어 있어 효과적인 윤활이 이루어지고 마찰과 마 모가 감소한다. 또한, 납은 용해도가 낮기 때문에 전기 전도도에 거의 영향을 미치지 않는다. 이는 전기 응용 분야에 사용되는 재료에 특히 유리하다. 또한, 납은 구리-아연 합금에서 상당한 결정립 미세화(grain refinement)를 유발하는 것으로 알려져 있다. 이는 특히 봉상 반제품(rod-shaped semi-finished products)의 직진도 및 치수 정밀도에 도움이 된다. 전자 와이어를 압착(crimping)할 때도 높은 치수 정밀도가 필요하다. 또 한, 납은 가격이 저렴하다.

[0004] 그러나, 납은 환경에 해롭다. 납은 소량이라도 흡수되면 인체에 축적되어 건강 문제를 일으킬 수 있다. 그렇기 때문에 EU, 미국, 중국 및 기타 국가에서는 구리 합금에서의 이의 허용기준치를 지속적으로 낮추고 있으며, 납 함유 황동을 납 감소 또는 납 무함유 절삭성 구리 합금으로 대체하는 것을 목표로 하고 있다. 허용기준치는 RoHS(Directive 2011/65/EU)와 같은 EU 지침의 틀 내에서 지정되며, 이는 1000ppm(0.1 중량%) Pb를 상한값으로 설정한다. 이렇게 낮은 납 함량에서도 소재의 우수한 절삭성(machinability)을 보장하기 위해 납을 대체할 다양 한 합금 원소가 제안된다.

[0005] 절삭성을 향상시키기 위해 납의 대체재로 비스무트(Bi)를 사용할 수 있다는 것은 많은 출판물을 통해 알려져 있 다. 결정립계를 따른 Bi의 막 형성 문제와 응력 균열 및 고온 균열에 대한 민감성을 완화하기 위해 기타 원소의 합금화가 제안되었다. 이와 관련하여, 특히 공개공보 KR 10 0 555 854 B1, KR 10 2006 096 877 A, JP 2005 290 475 A, JP 2014 122 427 A 및 JP 2006 083 443 A를 참조한다. 그럼에도 불구하고, Bi는 한편으로는 제한된 양 으로서만 구할 수 있는 금속이고, 다른 한편으로는 구리 재료의 재료 사이클 내에서 열 취성(hot brittleness)을 유발하기 때문에 바람직하지 않다.

[0006] 또한, 문헌 EP 2 194 150 B1으로부터 Si 0.1 내지 1.5 중량%, Al 0.03 내지 0.4 중량%, P 0.01 내지 0.36 중량 %, Sn 0.05 내지 0.5 중량%, 및 희토류 0.001 내지 0.05 중량%를 함유하는 구리-아연 합금이 알려져 있다. 이 합금은 α , β 및 경우에 따라서는 γ 조직의 형성으로 인해 절삭 가공이 용이하다. Al 함량에 의해 Al 인화물 (Al phosphides)이 형성된다. γ 상과 Al 인화물은 칩 형성을 향상시키지만 공구 수명을 악화시킨다. 또한, 희 토류의 함량은 아마도 조직의 취성을 초래할 수 있다. 이 합금은 주조 부품 및 열간 프레스 부품에 사용된다.

[0007] 납을 합금에서 취성 인화물을 형성하는 인으로 대체하는 것에 대해서는 또한 공개공보 WO 2020/261 604 A1에 Cu 58.5 내지 63.5 중량%, Si 0.4 내지 1.0 중량%, P 0.005 내지 0.19 중량%, Pb 0.003 내지 0.25 중량%. 나머지 아연 및 기타 임의의 원소를 갖는 재료가 기재되어 있다. 인화물을 형성하기 위해 P를 0.005 내지 0.19중량% 첨 가하고 α 및 β 상을 강화하기 위해 Si를 0.4 내지 1.0 중량% 첨가하면 절삭 가공이 용이한 재료가 된다. 그러 나 Si 함량이 높기 때문에 납을 함유한 황동에 비해 전도성이 감소한다. 한편으로는 이는 전자 부품으로 사용하 기에 불리하며, 다른 한편으로는 인화물은 취성을 상실하며, 따라서 특히 고온에서, 예를 들어 드릴링 중에 발 생하는 고온에서 칩 파절 기능을 잃는다. 이 효과는 재료의 열 전도도가 나빠질수록, 따라서 재료의 전기 전도 도가 나빠질수록 더욱 두드러진다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 특히 드릴링 시 절삭성이 뛰어나고 전기 전도도가 양호하며 생태학적으로 해로운 합금 성분의 함량이

가능한 낮은 와이어, 관 또는 봉 형상의 반제품 제조용 구리-아연 전신재 합금을 제공하는 목적을 기반으로 한다. 더욱이, 이 합금은 산업적 규모로 가공하기 쉬워야 한다. 이를 위해서는 압출 등을 통해 쉽게 열간 성형할 수 있어야 하고, 인발이나 압착(crimping) 등을 통해 쉽게 냉간 성형할 수 있어야 하며, 이 합금으로 만든 반제품은 우수한 직진도 및 매우 우수한 치수 정밀도를 가져야 한다. 또한, 본 발명은 이러한 합금으로부터 와이어, 관 또는 봉 형상의 반제품을 제조하는 방법을 특정하는 목적을 기반으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0009] 본 발명은 전신재 구리-아연 합금에 관한 청구항 1의 특징 및 제조 방법에 관한 청구항 16의 특징에 의해 표현된다. 추가적인 종속 청구항은 본 발명의 유리한 발전 및 추가적인 발전에 관한 것이다.
- [0010] 본 발명은 와이어, 관 또는 봉 형상의 반제품 제조용 구리-아연 전신재 합금에 관한 것으로서, 상기 구리-아연 전신재 합금은 중량%로
- [0011] Cu: 58.0 내지 63.0%,
- [0012] Si: 0.04 내지 0.32%,
- [0013] P: 0.05 내지 0.20%,
- [0014] Sn: 선택적으로(optionally) 최대 0.25%,
- [0015] Al: 선택적으로 최대 0.10%, 바람직하게는 최대 0.05%,
- [0016] Fe: 선택적으로 최대 0.30%, 바람직하게는 최대 0.10%,
- [0017] Ni: 선택적으로 최대 0.30%,
- [0018] Pb: 선택적으로 최대 0.25%, 바람직하게는 최대 0.10%,
- [0019] Te, Se, In: 선택적으로 각각 최대 0.10%,
- [0020] Bi: 최대 0.009%,
- [0021] 잔부: Zn 및 불가피한 불순물의 조성을 갖고,
- [0022] 여기에서, 상기 불가피한 불순물의 비율이 0.20 중량% 미만이다. P 중량 비율 및 Al 중량 비율의 비(ratio)는 적어도 1.0이다. 상기 합금은 구상(球狀)의 α 상, β 상 및 인화물(phosphide) 입자의 조직을 갖는다. 상기 α 상과 상기 β 상의 합계에서 상기 β 상의 비율이 적어도 20 체적%, 바람직하게는 적어도 30 체적%, 및 최대 70 체적%이고, 바람직하게는 최대 50 체적%이다. Si는 상기 α 상과 상기 β 상 모두에 존재한다. $21000 \mu\text{m}^2$ 의 면적에서 등가 직경이 0.5 내지 $1 \mu\text{m}$ 인 인화물 입자 7 내지 200 개, 등가 직경이 1 내지 $2 \mu\text{m}$ 인 인화물 입자 4 내지 150 개, 및 등가 직경이 $2 \mu\text{m}$ 초과인 인화물 입자 최대 30 개가 존재한다.
- [0023] 본 발명은 합금의 절삭성을 손상시키지 않으면서 구리-아연 합금 중의 Pb의 비율을 가능한 한 많이 감소시키려는 아이디어에 기초하고 있다. 이러한 목적을 위하여 Si 및 P를 합금에 특별히 첨가하고 β 상의 비율을 조정함으로써, 한편으로는 특히 드릴링 시 유리한 절삭성 및 높은 전도성 결과가 얻어지고, 다른 한편으로는 합금의 열간 및 냉간 성형성이 손상되지 않으며, 이 합금으로 제조된 반제품은 우수한 직진도를 갖는다. 또한, 특히 주조 및 열간 성형 중의 공정 제어는 목적하는 성질이 얻어지도록 선택된다.
- [0024] 구상 α 상은 반제품의 우수한 직진도 및 치수 정밀도를 위한 전제조건이다. 열간 성형 후 β 상으로부터 α 상이 생성된다. 따라서, 주조 상태(as-cast state)에서 β 상은 미세 결정립(fine-grained)이어야 한다. 놀랍게도, 주조 상태의 미세 결정립 β 상은 균일하게 미세하게 분포된 구리 및/또는 아연 함유 인화물에 의해 촉진되는 것으로 나타났다. β 미결정(β crystallite)의 1차 결정화 동안, 잔류 용융물은 P로 농축되어 β 상의 세분화(subdivision)로 이어진다. 응고하는 동안 인화물과 β 상으로 이루어진 공정(eutectic)이 형성된다. β 상의 베이스 매트릭스의 결정립 미세화(grain refinement) 이외에도 α 미결정(α crystallite)의 결정립 미세화가 관찰된다. P에 의한 주조 조직의 이러한 결정립 미세화는 열간 성형을 용이하게 하고, 열간 성형 후의 조직까지 계속되어, 그 결과 최종 상태에서 결정립 미세화를 유도한다. P 비율이 적어도 0.20 중량%인 경우, 인화물 입자는 최종 상태에서 β 상에 존재한다. P 함량이 0.20 중량%를 초과하면 합금의 연성이 낮다.
- [0025] 또한, Si와 조합된 높은 P 비율은 전기 전도성에 불리한 영향을 미친다. 따라서 본 발명의 바람직한

구현예에서, Si 및 P의 비율의 합은 바람직하게는 최대 0.45 중량%이다.

- [0026] 또한, 구상 α 상의 경우, 열간 성형 후 재료의 냉각이 제어된 방식으로 이루어져야 하는 것이 필요하다: 550 °C 내지 350 °C의 온도 범위에서 냉각 속도는 적어도 분당 30 °C(30 °C/분), 바람직하게는 적어도 분당 40 °C, 최대 분당 60 °C, 바람직하게는 최대 분당 50 °C이어야 한다. 주조 상태에서 미세 결정립 β 상에 수반되는 균일하고 미세하게 분포된 인화물은 열간 성형 중에 매트릭스에 용해된 다음 열간 성형 중 냉각 공정 중에 새로이 형성된다. 이러한 방식으로, 주조 상태의 인화물의 특징적인 분포는 궁극적으로 최종 상태의 조직에 반영된다. 따라서 최종 상태의 인화물 분포와 α 상의 구상 형태는 합금의 화학적 조성뿐만 아니라 주조 및 열간 성형 중의 공정 제어에 의해서도 결정된다. 따라서 최종 상태의 인화물의 특성은 특별한 공정 제어가 제품에 남기는 지문과 같다. 최종 상태에서의 인화물 분포는 다음과 같이 특성화(characterization)될 수 있다: 21000 μm^2 의 면적에서 등가 직경이 0.5 내지 1 μm 인 인화물 입자 7 내지 200 개, 등가 직경이 1 내지 2 μm 인 인화물 입자 4 내지 150 개, 및 등가 직경이 2 μm 초과인 인화물 입자 최대 30 개가 존재한다. 인화물 입자의 등가 직경은 인화물 입자와 동일한 면적을 갖는 원의 직경으로 이해된다. 등가 직경이 적어도 0.5 μm 인 대부분의 인화물 입자는 등가 직경이 최대 2 μm 이다. 바람직하게는, 등가 직경이 0.5 μm 내지 2 μm 인 인화물 입자의 비율은 등가 직경이 적어도 0.5 μm 인 전체 인화물 입자 수의 적어도 70%이다. 특히 바람직하게는 이 비율은 적어도 75%이다. 또한, 등가 직경이 적어도 0.5 μm 인 모든 인화물 입자의 적어도 30%, 바람직하게는 적어도 50%는 등가 직경이 최대 1 μm 인 것이 유리하다. 등가 직경이 0.5 μm 미만인 인화물이 합금중에 존재하는 것도 배제되지 않는다.
- [0027] 취성 구조 성분들은 절삭 가공 중에 분리점(separation points) 역할을 하여 칩 파절을 지원하므로 합금의 절삭성에 유리하다. β 상은 취성이어서 절삭성을 촉진한다. β 상의 비율 증가는 Zn 함량을 증가시키거나 및/또는 규소를 함유함으로써 달성될 수 있는데, 그 이유는 규소가 β 상을 안정화시키기 때문이다. 우수한 절삭성을 위해서는 α 상의 연성이 감소하는 것이 또한 유리한 것으로 입증되었다. 이는 α 상에 규소를 함유화하고 통합함으로써 달성된다. 따라서, 합금 중의 Si 비율은 적어도 0.04 중량%이어야 한다. Si 비율이 0.32 중량%를 초과하면, 전기 전도도가 12 MS/m 미만인 것이 되어 불충분하다. 적어도 0.05 중량%의 P 비율은 드릴링 시 양호한 칩을 생성한다. 더욱이, 소량의 선택적인(optional) Pb 비율은 절삭성에 유리한 효과를 갖는다.
- [0028] 합금의 Cu 함량은 58.0 내지 63.0 중량%이다. Cu 비율이 58.0 중량% 미만이면 합금의 연성이 너무 낮다. Cu 비율이 63.0 중량%를 초과하면, 합금 중의 아연 비율이 너무 낮아서 우수한 절삭성을 달성할 수 없다.
- [0029] P 및 Al의 중량 비율의 비는 적어도 1.0이다. 알루미늄은 인과 결합하여 알루미늄 인화물(aluminium phosphides)을 형성한다. 그러나, 이는 절삭 거동을 개선하지 않기 때문에 바람직하지 않다. 구리 및/또는 아연 함유 인화물을 형성하기 위해 충분한 과량의 P가 존재하는 것을 보장하기 위해 합금에서 P 및 Al의 중량 비율의 비는 적어도 1.0이어야 한다.
- [0030] 선택적인 원소인 Sn 및 Al은 β 상의 형성을 지원한다. Sn 비율이 0.20 중량%를 초과하면 합금의 절삭 특성이 저하된다. 그러나 이러한 저하는 Sn 비율이 0.25중량%까지 증가할 때까지 열처리를 통해 보상될 수 있다. 바람직하게는, 주석의 비율은 최대 0.20 중량%, 특히 바람직하게는 최대 0.10 중량%이어야 한다.
- [0031] 알루미늄은 인과 알루미늄 인화물을 형성한다. 그러나, 이는 바람직하지 않으므로, Al 비율은 0.10 중량%, 바람직하게는 0.05 중량%를 초과해서는 안 된다.
- [0032] 철은 조직의 결정립 미세화로 이어진다. 또한, 철은 경질 인화물을 형성하여 절삭 가공 중 공구의 사용 수명에 불리한 영향을 미친다. 따라서, 철의 비율은 0.30 중량%를 초과하면 안되며, 바람직하게는 최대 0.10 중량%를 초과하면 안된다.
- [0033] 니켈은 α 상의 형성을 지원하며 이로 인해 냉간 성형성이 향상된다. 더욱이, 니켈은 인화물을 형성하는데, 이는 절삭성에 아무런 유익한 영향을 미치지 않는다. 따라서, 니켈의 비율은 0.30 중량%를 초과하면 안되며, 바람직하게는 최대 0.10 중량%를 초과하면 안된다.
- [0034] Bi 원소는 예를 들면 고철 등의 2차 원료에 불순물로 존재한다. 이는 합금의 절삭성을 향상시킬 수 있다. 그러나, 0.009 중량%를 초과하는 비율은 열간 성형성에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서 합금에서 최대 0.009 중량%의 Bi가 허용된다.
- [0035] Te, Se 및 In 원소는 합금의 절삭성에 유익한 영향을 미칠 수 있다. 각각 최대 0.1 중량%까지의 양에서는, 이들 원소는 합금에 부정적인 영향을 미치지 않는다. 따라서, 합금에서 각각 최대 0.1 중량%의 Te, Se 및 In이 허용된다.

- [0036] 합금 조성물의 나머지는 아연과 불가피한 불순물로 구성된다. 불순물이 합금 특성에 미치는 제어할 수 없는 영향을 회피하기 위해 이들 불순물의 비율은 최대 0.2 중량%이다. 바람직하게는, Mn 및 Mg의 비율은 각각 최대 0.1 중량%, 특히 바람직하게는 각각 최대 0.07 중량%이어야 하는데, 그 이유는 이들 원소가 구리 및/또는 아연 함유 인화물과 경쟁할 수 있는 인화물을 형성할 수 있기 때문이다.
- [0037] 본 발명의 바람직한 구현예에서, 합금 중의 Pb 비율은 적어도 0.02 중량%일 수 있다. 이렇게 적은 양의 Pb라도 절삭성을 향상시키고 결정립 미세화에 긍정적인 영향을 미친다.
- [0038] 유리하게는, P 비율은 최대 0.15 중량%, 특히 바람직하게는 최대 0.12 중량%일 수 있다. 이는 합금의 열간 성형에 긍정적인 영향을 미친다.
- [0039] 본 발명의 유리한 구현예에서, P/Fe 비율은 적어도 1.0 일 수 있다. 철은 인과 경질 철 인화물을 형성한다. 그러나 이는 공구의 사용 수명을 단축시키기 때문에 바람직하지 않다. 합금 내에 구리 및/또는 아연 함유 인화물을 형성하기에 충분한 양의 P가 존재하는 것을 보장하기 위해 P 및 Fe의 중량비율의 비는 적어도 1.0이어야 한다.
- [0040] 본 발명의 바람직한 구현예의 맥락에서, Fe 비율은 0.10 중량% 미만일 수 있고, Ni 비율은 최대 0.07 중량%일 수 있다. 이러한 제한은 절삭 가공에 유리한 구리 및/또는 아연 함유 인화물의 형성에 비해 철 인화물 및 니켈 인화물의 형성을 억제한다. 특히 P/Fe 비가 적어도 1.0 이라는 조건이 충족되는 경우, 매우 유리한 특성이 달성된다. 또한, Fe 비율이 최대 0.05 중량% 및/또는 Ni 비율이 최대 0.04 중량%인 것이 특히 바람직하다.
- [0041] 본 발명의 유리한 구현예에서, Si 비율은 적어도 0.23 중량%일 수 있다. 이는 합금의 절삭 가공 특성을 향상시킨다. 게다가 적어도 0.23 중량%의 Si 비율은 제품 표면 품질에 긍정적인 영향을 미친다.
- [0042] 본 발명의 대안적인 구현예에서, Si 비율은 최대 0.15 중량%, 바람직하게는 최대 0.12 중량%, 특히 바람직하게는 최대 0.08 중량%일 수 있다. 이러한 Si 비율의 제한은 합금의 전기 전도도에 긍정적인 영향을 미친다.
- [0043] 본 발명의 이러한 대안적인 구현예에서, P 비율은 유리하게는 최대 0.10 중량%일 수 있다. 이는 특히 합금의 전기 전도도를 향상시킨다.
- [0044] 더욱이, 본 발명의 이러한 대안적인 구현예에서는 Cu 비율은 최대 59.5 중량%일 수 있다. Cu 비율에 대한 이러한 상한은 특히 전도성, 절삭성, 기계적 성질 및 가공성의 유리한 조합을 가져온다.
- [0045] 본 발명의 추가적인 구현예에서, Cu, Zn, Si, P 및 Pb 원소의 비율은 합계로 적어도 99.75 중량%에 달할 수 있다. 이에 의해 합금의 특성이 본질적으로 합금 원소 Cu, Zn, Si, P 및 Pb에 의해 결정되고, 다른 원소의 영향은 매우 작은 역할만 하는 것이 보장된다. 대안적으로 또는 추가적으로, Cu, Zn, Si, P, Sn 및 Pb 원소의 비율이 합계로 적어도 99.85 중량%가 되도록 합금의 조성을 선택하는 것이 유리할 수 있다. 주석 인화물이 형성되지 않기 때문에, 합금 성분으로서 이들은 예를 들면 Fe, Ni 또는 Al보다 덜 중요하다.
- [0046] 유리하게는, 상기 구리-아연 전신재 합금은 적어도 120 HV10, 바람직하게는 적어도 150 HV10의 경도를 가질 수 있다.
- [0047] 유리하게는, 상기 구리-아연 전신재 합금은 적어도 500 MPa, 바람직하게는 적어도 530 MPa의 인장 강도 Rm을 가질 수 있다.
- [0048] 유리하게는, 구리-아연 전신재 합금은 적어도 12.5 MS/m, 바람직하게는 적어도 12.7 MS/m, 특히 바람직하게는 적어도 13.0 MS/m의 전기 전도도를 가질 수 있다.
- [0049] 특히 유리한 특성 조합을 갖는 합금은 중량%로 다음과 같은 조성을 갖는다:
- [0050] Cu: 58.5 내지 59.0%
- [0051] Si: 0.04 내지 0.09%
- [0052] P: 0.05 내지 0.10%
- [0053] 납: 0.04 내지 0.08%
- [0054] Fe: 선택적으로(optionally) 최대 0.10%
- [0055] Ni: 선택적으로 최대 0.07%

- [0056] Sn: 선택적으로 최대 0.20%
- [0057] Al: 선택적으로 최대 0.05%.
- [0058] 나머지는 아연과 불가피한 불순물이며, 불가피한 불순물의 비율은 0.1 중량% 미만이다. 합금 원소 Si 및 P의 비율이 낮기 때문에 적어도 14 MS/m, 바람직하게는 적어도 15 MS/m의 특히 높은 전기 전도도가 달성된다. 절삭성은 0.04 내지 0.08중량%의 Pb 비율에 의해 뒷받침된다.
- [0059] 본 발명은 또한 위에서 설명한 구리-아연 전신재 합금으로 제조된 와이어, 관 또는 봉 형상의 반제품 뿐만 아니라 이러한 반제품으로부터 절삭 가공 및 선택적인 추가적인 가공 단계로부터 제조되는 부품에 관한 것이다. 상기 반제품은 프로파일 형태일 수도 있다.
- [0060] 본 발명의 또 다른 측면은 와이어, 관 또는 봉 형상의 반제품을 제조하는 방법에 관한 것이다. 이 방법은 다음 단계를 포함한다:
- [0061] a) 위에서 설명한 조성을 갖는 구리 합금을 용융하는 단계,
- [0062] b) 수냉식 주형을 사용하여 관상 또는 볼트상 주조 포맷(tubular or bolt-shaped casting format)을 연속 주조하는 단계,
- [0063] c) 620 내지 700 °C의 온도에서 상기 주조 포맷을 열간 프레스한 후 550 내지 350°C의 온도 범위에서 분당 30 내지 60 °C의 냉각 속도로 냉각하는 단계,
- [0064] d) 선택적으로(optionally) 525 내지 625 °C의 온도 범위에서 1 내지 5 시간 동안 열처리한 후 500 내지 350 °C의 온도 범위에서 분당 20 내지 40 °C의 냉각 속도로 냉각하는 단계,
- [0065] e) 선택적으로(optionally) 냉간 성형하는 단계.
- [0066] Cu 캐소드, Zn 잉곳, 황동 스크랩, Cu-P 마스터 합금 및 Cu-Si 마스터 합금을 사용하여 합금을 용융할 수 있다. 용융은 바람직하게는 유도로에서 수행된다. 용융물은 수냉식 주형에서 관상 또는 볼트상 주조 포맷으로 주조된다.
- [0067] 주조 포맷은 선택적으로 밀링된 다음 620 내지 700 °C의 온도에서 열간 프레스될 수 있다. 이어서, 열간 프레스된 중간 생성물은 냉각되며, 이때 이 냉각은 분당 30 내지 60 °C, 바람직하게는 분당 40 내지 50 °C의 냉각 속도로 550 내지 350 °C의 온도 범위에서 일어난다. 이와 같이 정의된(defined) 냉각에 의해 α 상 및 β 상 비율의 유리한 비율뿐만 아니라 구리 및/또는 아연을 함유하는 인화물의 유리한 입자 분포가 설정된다. 열간 프레스 전에, 선택적인 열처리가 주조 제품을 균질화하기 위해 수행될 수 있다.
- [0068] 제1 제조 공정에서, 더 이상의 중간 단계 없이 열간 프레스 후 산세척(pickling)과 그 후 냉간 성형이 이루어질 수 있다. 냉간 성형시 변형도(degree of deformation)는 바람직하게는 3 내지 30%이다. 여기서 변형도란 제품의 단면적이 상대적으로 감소하는 것을 의미한다. 산세척 공정을 제외하고 열간 프레스와 냉간 성형 사이에 추가 작업 단계가 없기 때문에 이 제1 제조 공정은 매우 저렴하다.
- [0069] 제2 제조 공정에서는 열간 프레스 후 525 내지 625 °C, 바람직하게는 550 내지 600 °C에서 1 내지 5 시간의 기간 동안 열처리한 후, 500 내지 350 °C의 온도 범위에서 분당 20 내지 40 °C의 냉각속도로 냉각한다. 열처리 후 정의된(defined) 냉각과 조합하여 열처리 조건을 선택함으로써 α 상 비율 및 β 상 비율의 유리한 비(ratio)뿐만 아니라 구리 및/또는 아연 함유 인화물의 유리한 입자 분포를 설정할 수 있다. β 상의 비율을 증가시키는 것이 요구되는 경우, 열처리는 약 600 °C에서 수행되어야 한다. α 상의 비율을 증가시키는 것이 요구되는 경우, 열처리는 약 550 °C에서 수행되어야 한다. 열처리를 통해 인화물의 입자 분포뿐만 아니라 α 상 비율 및 β 상 비율의 비를 조정하고 최적화할 수 있다. 특히, 연성이 향상될 수 있다. 열처리 후, 상기 제1 제조 공정에서와 동일하게 산세척 및 냉간 성형 단계가 뒤따른다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0070] 본 발명에 따른 방법의 추가적인 기술적 특징 및 이점과 관련하여, 본 발명에 따른 구리-아연 전신재 합금과 관련된 설명 및 예시적인 구현예를 명시적으로 참조한다.
- [0071] 본 발명은 예시적인 구현예를 사용하여 더 자세히 설명된다.
- [0072] 샘플 번호 1 내지 44는 유도로에서 용융된 후 주조되었다. 샘플의 조성은 표 1 내지 4에 기록되어 있다. 샘플

번호 10은 납 함유 참조 합금 CuZn39Pb3을 나타낸다. 샘플들은 밀링되었고 1 시간 동안 균질화된 후 열간 성형되었다. 샘플 번호 8 및 9는 630 °C에서 프레스하여 열간 성형되었고, 나머지 샘플은 650 °C에서 압연(rolling)하여 열간 성형되었다. 열간 성형 후 냉각 시, 550 내지 350 °C의 온도 범위에서 압연된 샘플의 냉각 속도는 분당 약 40 °C, 프레스된 샘플의 냉각 속도는 분당 약 30 °C였다.

[0073] 샘플 번호 1 내지 7 및 10 내지 23은 열간 성형 후 밀링된 후 변형도 20%의 냉간 성형이 실시되었다. 샘플 번호 8 및 9는 열간 성형 후 산세척되었고, 그 후 변형도 7%로 냉간 성형되었다.

[0074] 샘플 번호 24 내지 44는 열간 성형 후 3 시간 동안 어닐링되었다. 샘플 번호 26, 27, 및 38 내지 41의 어닐링 온도는 약 550 °C인 반면, 샘플 번호 24, 25, 28 내지 37, 및 42 내지 44의 어닐링 온도는 약 600 °C였다. 어닐링 후, 분당 약 25°C의 냉각 속도로 500 내지 350 °C의 온도 범위에서 냉각이 이루어졌다. 샘플 번호 24 내지 44는 그 후 밀링된 후 변형도 20%로 냉간 성형되었다.

[0075] 최종 상태에서 인장시험에 의한 인장강도 R_m 과 과단신율, 경도(비커스 경도 HV10), 전기전도도 λ 가 각각 측정되었다. 광학 현미경을 사용하여 샘플의 세로 단면이 검사되었다. 이로부터 α 결정립 크기뿐만 아니라 체적 비율에 해당하는 α 상과 β 상의 면적 비율도 측정되었다. 에칭되지 않은 샘플의 광학 현미경 이미지를 사용하여 인화물 입자의 크기 분포가 정량적으로 측정되었다. 167 $\mu\text{m} \times 126 \mu\text{m}$ (21000 μm^2 면적에 해당) 크기의 이미지 섹션이 선택되고 이것은 ImageJ 소프트웨어를 사용하여 1000x 배율에서 평가되었다. 이러한 방식으로, 개개의 입자들이 인식되고 이들의 등가 직경과 면적을 결정하는 것이 가능했다. 등가 직경을 기준으로 인화물 입자는 0.5 내지 1 μm , 1 내지 2 μm , 및 2 μm 보다 큰 범주로 분류되었다.

[0076] 최종 상태에서 절삭성은 드릴링 시험을 통해 평가되었다. 드릴링 시험은 계측화된 드릴 헤드를 사용하여 수행되었다. 드릴링 시험은 다음과 같은 파라미터를 사용하여 수행되었다.

[0077] 트위스트 드릴, 직경 5 mm

[0078] 회전수 3200 회전/분

[0079] 이송 속도 0.04 mm/회전

[0080] 샘플당 5개의 구멍, 각 샘플마다 새로운 드릴이 사용됨.

[0081] 드릴링 깊이 10 mm.

[0082] 구멍은 성형 방향을 따라 드릴링되었다. 드릴의 절삭날에 작용하는 토크와 수직력(normal force)을 측정하였다. 어닐링되지 않은 상태의 합금 CuZn39Pb3를 참조(reference)로서 사용했다. 각각의 샘플에서 측정된 토크는, 참조 합금에서 측정된 토크를 각각의 샘플에서 측정된 토크와 관련시켜 정규화되었다. 따라서 샘플에서 측정된 토크가 작을수록 해당 샘플의 정규화된 토크는 커진다. 측정된 수직력은 유사한 방식으로 각각의 샘플에 대해 정규화되었다. 이 두 값의 산술 평균은 정규화된 토크 M^{norm} 및 정규화된 수직력 F_N^{norm} 으로부터 계산되었다. 이런 방식으로 계산된 산술 평균이 0.75 미만인 샘플은 우수한 절삭성에 대한 요구 사항을 충족하지 못한다.

[0083] 칩 형태는 독일 구리 연구소(German Copper Institute)에서 발행한 "Richtwerte fuer die spanende Bearbeitung von Kupfer und Kupferlegierungen(구리 및 구리 합금 가공을 위한 지침)", Information Print i.18에 따라 분류되었다. 이를 기준으로 칩은 우수(2), 보통(1), 불량(0)으로 평가되었다. 특히, 긴 접힌 칩(long folding chip)은 부정적인 평가를 받았다.

[0084] 이들 시험으로부터의 측정된 정규화된 토크 및 수직력과 이들로부터 계산된 산술 평균(표 헤더에서 $(M+F_N)/2$ 로 지정됨)이 칩 형태 및 인장 시험과 경도 측정에서 얻은 특성 값과 함께 표 1 내지 4에 리스트되어 있다.

표 1: 본 발명에 따른 샘플, 어닐링되지 않음

샘플 번호	Cu	Zn	Si	P	Pb	기타 원소	α 상	β 상	α 결정립 크기 μm	인화물 0.5 - 1 μm 21000 μm^2 당	인화물 1 - 2 μm 21000 μm^2 당	인화물 > 2 μm 21000 μm^2 당
	중량%	중량%	중량%	중량%	중량%	중량%	체적%	체적%				
1	60.92	38.69	0.277	0.102			67	33	20	195	79	
2	59.89	39.78	0.274	0.051			54	46	24	21	10	
3	59.98	39.61	0.298	0.102			62	38	18	45	37	1
4	59.68	39.79	0.272	0.133	0.118		61	39	15	102	41	1
5	59.82	39.59	0.284	0.104		Fe: 0.195	59	41	13	59	34	8
6	60.09	39.49	0.284	0.057		Mn: 0.068	62	38	20	55	12	
7	60.59	38.85	0.269	0.154	0.125		67	33	22	132	66	3
8	59.27	40.218	0.37	0.14	0.002		59	41	35	19	7	11
9	58.62	41.09	0.081	0.091	0.06		54	46	32	18	8	7

표 1(계속) : 본 발명에 따른 샘플, 어닐링되지 않음

샘플 번호	Cu	Zn	Si	P	Pb	기타 원소	경도 HV10	R _m MPa	A %	λ MS/m	M _{norm} -	F _N ^{norm} -	(M+F _N)/2 -	질 형태
	종량%	종량%	종량%	종량%	종량%	종량%								-
1	60.92	38.69	0.277	0.102			167	531	14.6	12.73	0.91	0.67	0.79	2
2	59.89	39.78	0.274	0.051			197	573	14	13.47	0.96	0.54	0.75	1
3	59.98	39.61	0.298	0.102			176	583	10.3	13.00	1.00	0.64	0.82	2
4	59.68	39.79	0.272	0.133	0.118		175	550	14.4	12.96	1.08	0.47	0.78	2
5	59.82	39.59	0.284	0.104		Fe: 0.195	174	561	14.9	13.62	0.91	0.65	0.78	1
6	60.09	39.49	0.284	0.057		Mn: 0.068	179	558	15.2	13.33	0.85	0.65	0.75	2
7	60.59	38.85	0.269	0.154	0.125		171	536	11.8	12.74	0.95	0.56	0.76	2
8	59.27	40.22	0.37	0.14	0.002		163	559	13.9	12.95	0.86	0.64	0.75	1-2
9	58.62	41.09	0.081	0.091	0.06		168	521	16.7	15.71	0.88	0.63	0.76	1-2

표 2: 비교 샘플, 어닐링되지 않음

샘플 번호	Cu	Zn	Si	P	Pb	기타 원소	α 상 체적%	β 상 체적%	α 결정립 크기 μm	인화물 $0.5 - 1 \mu\text{m}$ 당	인화물 $1 - 2 \mu\text{m}$ 당	인화물 $> 2 \mu\text{m}$ 당
	중량%	중량%	중량%	중량%	중량%	중량%						
10	57.64	39.00			3.358		70	30	17			
11	57.63	40.32			2.047		63	37	19			
12	59.52	40.17					59	41	21			
13	60.85	38.87	0.269				65	35	23			
14	62.4	37.06	0.53				73	27	25			
15	62.3	37.02	0.579	0.102			71	29	22	94	103	2
16	58.96	41.03					62	38	16			
17	59.85	39.87	0.272				60	40	17			
18	59.98	39.36	0.269	0.363			63	35	12	128	103	47
19	58.75	41.13		0.109			63	37	25	76	82	2
20	61.33	38.03	0.552	0.075			62	38	21	50	47	3
21	59.93	39.53	0.272	0.056		Sn: 0.215	53	47	12	51	3	
22	58.79	40.91		0.294			73	27	11	33	27	6
23	60.88	38.53	0.286	0.295			76	24	15	385	74	3

표 2 (계속): 비교 샘플, 어닐링되지 않음

샘플 번호	Cu	Zn	Si	P	Pb	기타 원소	경도 HV10	R _m MPa	A %	λ MS/m	M ^{nom} -	F _N ^{nom} -	(M+F _N)/2 -	칩 형태
	중량%	중량%	중량%	중량%	중량%	중량%								-
10	57.64	39.00			3.358		161	489	15.8	16.29	1.00	1.00	1.00	2
11	57.63	40.32			2.047		155	501	21.8	16.9	1.14	0.61	0.88	2
12	59.52	40.17					156	492	22.3	16.78	0.34	0.54	0.44	0
13	60.85	38.87	0.269				173	525	20.4	13.58	0.95	0.62	0.79	0
14	62.4	37.06	0.53				174	538	16.2	11.4	0.83	0.44	0.64	0
15	62.3	37.02	0.579	0.102			174	560	10.6	10.7	0.91	0.62	0.77	1
16	58.96	41.03					161	515	25	17.28	0.77	0.37	0.57	0
17	59.85	39.87	0.272				179	556	21	14	0.87	0.68	0.78	0
18	59.98	39.36	0.269	0.383			191	565	6.8	12.43	0.93	0.56	0.75	2
19	58.75	41.13		0.109			172	519	15.8	16.31	0.85	0.58	0.72	2
20	61.33	38.03	0.552	0.075			174	558	16.9	11.23	0.78	0.63	0.71	1-2
21	59.93	39.53	0.272	0.056		Sn: 0.215	180	562	12	13.23	0.85	0.51	0.68	1
22	58.79	40.91		0.294			174	527	12.1	15.74	0.85	0.37	0.61	1
23	60.88	38.53	0.286	0.295			185	564	10.2	12.06	0.80	0.60	0.70	2

표 3: 본 발명에 따른 샘플, 어닐링됨

샘플 번호	Cu	Zn	Si	P	Pb	기타 원소	α 상	β 상	α 결정립 크기 μm	인화물 $0.5-1\ \mu\text{m}$ 단	인화물 $1-2\ \mu\text{m}$ 단	인화물 $>2\ \mu\text{m}$ 단
	중량%	중량%	중량%	중량%	중량%	중량%	체적%	체적%				
24	60.774	38.888	0.281	0.051			64	36	31	22	15	0
25	60.922	38.69	0.277	0.102			69	31	39	23	38	18
26	59.886	39.781	0.274	0.051			55	45	28	30	18	0
27	59.984	39.61	0.298	0.102			59	41	26	23	32	15
28	59.684	39.787	0.272	0.133	0.118		62	38	33	48	30	18
29	59.82	39.59	0.284	0.104		Fe: 0.195	56	44	32	17	21	9
30	60.09	39.49	0.284	0.057		Mn: 0.068	51	49	33	28	13	
31	59.93	39.53	0.272	0.056		Sn: 0.215	54	46	32	38	17	

표 3(계속): 본 발명에 따른 샘플, 어닐링됨

샘플 번호	Cu	Zn	Si	P	Pb	기타 원소	경도	R _m	A	λ	M ^{norm}	F _N ^{norm}	(M+F _N)/2	칩 형태
	중량%	중량%	중량%	중량%	중량%	중량%	HV10	MPa	%	MS/m	-	-	-	-
24	60.774	38.888	0.281	0.051			161	511	17.7	13.13	0.95	0.58	0.77	2
25	60.922	38.69	0.277	0.102			163	515	15.6	12.72	1.00	0.57	0.79	2
26	59.886	39.781	0.274	0.051			190	541	12.6	13.4	1.03	0.66	0.85	2
27	59.984	39.61	0.298	0.102			174	557	16.2	12.99	1.00	0.61	0.81	2
28	59.684	39.787	0.272	0.133	0.118		172	536	12.4	13.03	0.95	0.61	0.78	2
29	59.82	39.59	0.284	0.104		Fe: 0.195	170	551	18.1	13.66	0.79	0.71	0.75	1
30	60.09	39.49	0.284	0.057		Mn: 0.068	171	549	14.1	13.48	1.00	0.56	0.78	1
31	59.93	39.53	0.272	0.056		Sn: 0.215	163	551	11.6	13.2	0.93	0.62	0.78	2

표 4: 비교 샘플, 어닐링됨

샘플 번호	Cu	Zn	Si	P	Pb	기타 원소	α 상 체적%	β 상 체적%	α 결정립 크기 μm	인화물 $0.5 - 1 \mu\text{m}$ 당 $21000 \mu\text{m}^2$	인화물 $1 - 2 \mu\text{m}$ 당 $21000 \mu\text{m}^2$	인화물 $> 2 \mu\text{m}$ 당 $21000 \mu\text{m}^2$
	중량%	중량%	중량%	중량%	중량%	중량%						
32	57.64	39.00			3.358		66	34	32			
33	57.63	40.32			2.047		61	39	29			
34	59.52	40.17					63	37	39			
35	60.85	38.87	0.269				70	30	31			
36	62.4	37.06	0.53				69	31	38			
37	62.3	37.02	0.579	0.102			65	35	33	20	27	24
38	58.96	41.03					66	34	19			
39	59.85	39.87	0.272				59	41	24			
40	59.98	39.36	0.269	0.383			62	38	15	105	106	50
41	58.75	41.13		0.109			60	40	29	39	57	1
42	61.33	38.03	0.552	0.075			59	41	37	17	24	7
43	58.79	40.91		0.294			63	37	23	20	25	59
44	60.88	38.53	0.286	0.295			61	39	21	73	47	48

표 4 (계속): 비교 샘플, 어닐링됨

샘플 번호	Cu	Zn	Si	P	Pb	기타 원소	경도 HV10	R _m MPa	A %	λ MS/m	M _{norm} -	F _{Nnorm} -	(M+F _N)/2 -	칩 형태
32	57.64	39.00			3.358		148	434	4.4	16.3	1.11	0.91	1.01	2
33	57.63	40.32			2.047		151	446	3.5	16.77	1.21	0.80	1.01	2
34	59.52	40.17					157	468	25.8	16.97	0.22	0.50	0.36	0
35	60.85	38.87	0.269				150	489	21.5	13.7	0.43	0.83	0.63	0
36	62.4	37.06	0.53				164	510	20.6	11.51	0.45	0.77	0.61	1
37	62.3	37.02	0.579	0.102			156	531	12.7	10.71	1.03	0.68	0.86	1
38	58.96	41.03					155	489	24.6	16.96	0.78	0.67	0.73	0
39	59.85	39.87	0.272				171	536	19	13.95	0.98	0.69	0.84	0
40	59.98	39.36	0.269	0.383			173	555	15	12.45	1.00	0.62	0.81	2
41	58.75	41.13		0.109			158	518	18	16.16	0.85	0.62	0.74	2
42	61.33	38.03	0.552	0.075			171	537	13.6	11.28	0.80	0.71	0.76	1
43	58.79	40.91		0.294			169	501	17.6	15.6	0.58	0.49	0.54	1
44	60.88	38.53	0.286	0.295			172	526	13.4	12.06	1.05	0.70	0.88	1-2

샘플 번호 1 내지 9(표 1)는 어닐링되지 않은 상태에서의 본 발명에 따른 샘플이다. β 상의 체적 비율은 적어도 33%, 최대 46%이다. α 결정립 크기는 압연된 샘플의 경우 최대 24 μm 이고, 프레스된 샘플의 경우 최대 35 μm 이다. 샘플 번호 5의 작은 α 결정립 크기는 합금 원소 Fe에 기인할 수 있다. 경도는 적어도 160 HV10이고 인장강도 R_m은 적어도 520 MPa이다. 파단신율은 적어도 10%이다. 전기 전도도는 모든 샘플에 대해 적어도 12.7 MS/m이고, 대부분 샘플에 대해 적어도 13.0 MS/m 이다. 샘플 번호 9의 경우 전기 전도도는 15.5 MS/m 초과이다. 정규화된 토크는 0.85 내지 1.08 이다. 정규화된 수직력은 0.45 내지 0.7 이다. 정규화된 토크와 정규화된 수직력의 산술 평균은 항상 적어도 0.75이다. 칩 형태는 항상 우수(2) 또는 보통(1)으로 평가되었다.

샘플 번호 10 내지 23(표 2)은 어닐링되지 않은 상태의 비교 샘플이다. 참조 샘플 번호 10은 3.3 중량%의 납을 함유하며 매우 우수한 절삭성을 보여준다. 2.0 중량%의 납을 함유한 샘플 번호 11도 우수한 절삭성을 보여준다. 샘플 번호 12 및 16은 납과 다른 합금 원소가 없을 경우 절삭성이 매우 좋지 않다는 것을 실증한다.

샘플 번호 13 및 17은 Cu와 Zn 이외에 0.27 중량%의 Si만을 함유한다. 드릴에 작용하는 힘은 허용 범위 내에 있지만 칩 형태가 좋지 않다. 이는 칩 브레이커 역할을 하는 인화물 입자가 부족하기 때문일 수 있다. 샘플 번호 14에서는 샘플 번호 13에 비해 Cu 비율 및 Si 비율이 증가하였다. 드릴에 작용하는 힘이 허용 한계 내에 있지

않으며 칩 형태가 불량하다. 더욱이 전기전도도도 낮다.

- [0096] 샘플 번호 15에서는 샘플 번호 14에 비해 Si 함량이 약간 증가하였고, 0.1 중량%의 P가 첨가되었다. 드릴에 작용하는 힘이 감소하였고 칩 형태가 약간 개선되었다. 그러나, 파단신율 및 전기전도도가 낮다. 샘플 번호 1과 비교하여, 샘플 번호 15는 더 높은 Si 비율을 보이며, 비슷한 P 함량 및 비슷한 β 상 체적 비율을 갖는다. 드릴에 작용하는 힘은 비슷하게 좋지만, 샘플 번호 15의 칩 형태는 그다지 좋지 않고 전도도가 더 나쁘다.
- [0097] 샘플 번호 18은 샘플 번호 17과 비교하여 0.38 중량% P에 의해 구별된다. 이에 의하여 칩 형태가 본질적으로 상당히 개선되었다. 그러나 파단신율은 매우 낮다.
- [0098] 샘플 번호 19는 Cu 및 Zn 이외에 0.11 중량 % P만을 포함한다. 이는 칩 형태를 개선하지만 드릴에 작용하는 힘은 만족스럽지 않다. 샘플 번호 22에서는 샘플 번호 19에 비해 P의 비율이 0.29 중량%로 증가하여 수직력이 저하되었다.
- [0099] 샘플 번호 20이 샘플 번호 15와 구별되는 지점은 본질적으로 P 비율이 약간 낮다는 점이다. 이로 인해 파단신율이 향상된다. 그러나, Si 비율이 높아 전기전도도가 원하는 수준에 도달하지 못한다.
- [0100] 샘플 번호 21은 0.27 중량% Si 및 0.06 중량% P 이외에 0.22 중량% Sn을 포함한다. 주석을 함유하지 않은 샘플 번호 2와 비교했을 때, 주석 첨가에 의하여 드릴에 작용하는 힘이 약간 약화된다. 직경이 0.5 내지 1 μ m인 인화물 입자가 거의 독점적으로 관찰되었다. 0.22 중량% Sn은 전기전도도에 거의 영향을 주지 않는다.
- [0101] 샘플 번호 23은 0.29 중량% Si 및 0.30 중량% P를 함유한다. 샘플 번호 18과 비슷하게, 칩 형태는 우수하나 파단신율, 전도도 및 드릴링 중 작용하는 힘이 만족스럽지 않다.
- [0102] 샘플 번호 24 내지 31(표 3)은 어닐링 상태에서의 본 발명에 따른 샘플이다. 샘플 번호 26 및 27은 550 $^{\circ}$ C에서 어닐링되었고, 표 3의 다른 샘플들은 600 $^{\circ}$ C에서 어닐링되었다. β 상의 체적 비율은 적어도 31% 및 최대 49%이다. α 결정립 크기는 25 내지 40 μ m이며, 샘플 번호 26 및 27이 가장 작은 결정립 크기를 갖는다. 경도는 적어도 160 HV10이고 인장강도 Rm은 적어도 510 MPa이다. 파단신율은 적어도 11.5%이다. 전기전도도는 모든 샘플에 대해 적어도 12.7 MS/m이고, 대부분 샘플에 대해 적어도 13.0 MS/m이다. 정규화된 토크는 0.79 내지 1.03이다. 정규화된 수직력은 0.56 내지 0.71이다. 정규화된 토크 및 정규화된 수직력의 산술 평균은 항상 적어도 0.75 이다. 칩 형태는 항상 우수 (2) 또는 보통 (1)으로 평가되었다. 조성이 어닐링되지 않은 샘플 번호 21에 해당하는 샘플 번호 31의 경우, 어닐링을 통해 드릴링 중에 작용하는 힘 및 칩 형태가 상당히 개선되었다. 더욱이, 어닐링은 인화물 입자 분포의 중심을 더 큰 입자 쪽으로 이동시킨 것을 볼 수 있다.
- [0103] 샘플 번호 32 내지 44(표 4)는 어닐링된 상태에서의 비교 샘플이다. 납 함유샘플 번호 32 및 33은 어닐링된 상태에서 우수한 절삭성을 보여준다. Cu 및 Zn만을 함유하는 샘플 번호 34(600 $^{\circ}$ C에서 어닐링됨) 및 샘플 번호 38(550 $^{\circ}$ C에서 어닐링됨)은 어닐링된 상태에서도 드릴링 특성이 좋지 않은 것이 특징이다.
- [0104] 실리콘을 함유하지만 인을 함유하지 않으며, 600 $^{\circ}$ C에서 어닐링된 샘플 번호 35 및 36은 참조 샘플 번호 10에서 측정된 토크보다 2배 이상 큰 드릴링 토크를 생성한다. 샘플 번호 36에서 더 큰 Si 비율이 칩 형태를 개선하지만 전기전도도는 감소한다. 실리콘을 함유하지만 인을 함유하지 않으며, 550 $^{\circ}$ C에서 어닐링된 샘플 번호 39는 샘플 번호 35 및 36보다 더 유리한 드릴링 힘을 보여준다. 이는 β 상의 비율이 훨씬 더 높은 데 기인할 수 있다. 그러나, 칩 형태가 불량하다.
- [0105] 0.58 중량% Si 및 0.10 중량% P를 함유하고 600 $^{\circ}$ C에서 어닐링된 샘플 번호 37은 어닐링되지 않은 상태에서 동일한 조성을 갖는 샘플 번호 15보다 더 유리한 드릴링 특성을 보이지만, Si 비율이 높아 전기전도도가 부족하다.
- [0106] 550 $^{\circ}$ C에서 어닐링되고 조성이 각각 샘플 번호 18 및 19와 일치하는 샘플 번호 40 및 41의 경우, 어닐링으로 인해 드릴에 작용하는 힘이 개선되었으며, 특히, 샘플 번호 40에서는 연성도 상당히 향상된 것이 확인되었다. 그러나, 샘플 번호 40은 Si 및 P의 비율이 높아 전기전도도가 낮다. 샘플 번호 41에서는 드릴링 힘이 허용가능한 수준이 되도록 Si의 부족을 어닐링하는 것으로 보상할 수 없다.
- [0107] Si 비율이 0.55 중량%이고 P 비율이 0.075 중량%인 샘플 번호 42는 Si 비율이 높아 전기전도도가 너무 낮다.
- [0108] 조성이 어닐링되지 않은 샘플 번호 22 및 23과 일치하는 샘플 번호 43 및 44는 600 $^{\circ}$ C에서 어닐링됨으로써 연성이 상당히 향상되었다. 샘플 번호 43은 어닐링 후에도 만족스럽지 못한 절삭성을 보여준다. 샘플 번호 44에서는 0.3 중량%의 P 비율 및 0.29 중량%의 Si 비율이 조합되어 전기전도도가 낮아진다.

- [0109] 샘플 번호 1 내지 44는 Si 및 P 원소를 신중하게 선택함으로써 유리한 특성들의 조합을 갖는 합금을 생산할 수 있음을 실증한다. Si는 드릴에 작용하는 힘을 감소시켜 절삭 특성을 향상시킨다. 그러나, Si 비율이 0.32 중량%를 초과하면 전기 전도도가 감소한다. 0.05 내지 0.2 중량%의 P 비율은 칩 형성을 촉진한다. P의 비율이 높아지면 Si와 조합하여 연성과 전기전도도를 저하시킨다. 이러한 특성들이 적절하게 조합된 합금은 어닐링 없이 제조될 수 있다. 어닐링, 특히 550 °C 내지 600 °C에서의 어닐링을 통해 일부 원소의 조합의 절삭 특성은 β 상 비율 및 인화물 입자를 구체적으로 조정하여 이후에 개선될 수 있다.
- [0110] 위에 설명된 조성을 갖는 합금은 또한 주물용 주조 합금으로도 사용될 수 있다.