(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0112865
(43) 공개일자 2015년10월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/58 (2006.01) *C22C 38/44* (2006.01)
C22C 38/46 (2006.01) *F16C 3/06* (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 38/58 (2013.01)
C22C 38/44 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0042163
(22) 출원일자 2015년03월26일
심사청구일자 2015년03월26일
(30) 우선권주장
JP-P-2014-070215 2014년03월28일 일본(JP)

(71) 출원인
가부시키가이샤 고베 세이코쇼
일본 효고켄 고베시 쥬오쿠 와키노하마 가이간도오리 2초메 2방 4고
(72) 발명자
야쿠라 료타
일본 효고켄 다카사고시 아라이초 신하마 2초메 3반 1고 가부시키가이샤 고베 세이코쇼 다카사고 제작소 내
(74) 대리인
제일특허법인

전체 청구항 수 : 총 2 항

(54) 발명의 명칭 **단강품용 저합금강 및 크랭크축**

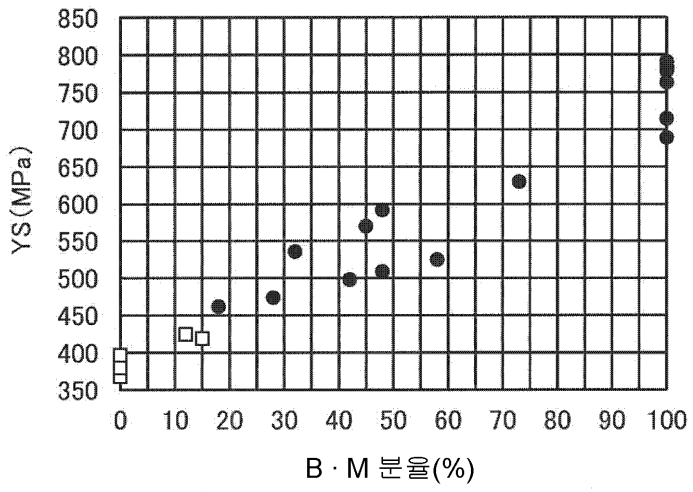
(57) 요 약

대형 단강품에 요구되는 항복 강도 및 인성을 갖고, 또한 피삭성이 우수한 단강품용 저합금강을 제공한다.

본 발명의 단강품용 저합금강은, C: 0.30질량% 이상 0.40질량% 이하, Si: 0질량% 초과 0.45질량% 이하, Mn: 0.50질량% 이상 1.90질량% 이하, Ni: 0.70질량% 이상 2.00질량% 이하, Cr: 1.00질량% 이상 2.30질량% 이하, Mo: 0질량% 초과 0.35질량% 이하, V: 0질량% 초과 0.20질량% 이하의 기본 성분을 포함하며, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물인 조성을 갖고, 베이나이트 조직, 마텐자이트 조직 또는 그들의 조합 조직을 17% 이상 함유하며, 잔부가 펄라이트 조직, 페라이트 조직 또는 그들의 조합 조직이고, 하기 식(1)을 만족시킨다.

$(1.5\times Mn+2\times Ni)/Cr < 2.35$ · · ·(1)

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C22C 38/46 (2013.01)
F16C 3/06 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

C: 0.30질량% 이상 0.40질량% 이하,

Si: 0질량% 초과 0.45질량% 이하,

Mn: 0.50질량% 이상 1.90질량% 이하,

Ni: 0.70질량% 이상 2.00질량% 이하,

Cr: 1.00질량% 이상 2.30질량% 이하,

Mo: 0질량% 초과 0.35질량% 이하,

V: 0질량% 초과 0.20질량% 이하

의 기본 성분을 포함하며, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물인 조성을 갖고,

베이나이트 조직, 마텐자이트 조직 또는 그들의 조합 조직을 17% 이상 함유하며, 잔부가 펄라이트 조직, 페라이트 조직 또는 그들의 조합 조직이고,

하기 식(1)을 만족시키는 단강품용 저합금강.

$(1.5\times Mn+2\times Ni)/Cr < 2.35$ ···(1)

청구항 2

제 1 항에 기재된 단강품용 저합금강으로 제조되는 크랭크축.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 단강품(鍛鋼品)용 저합금강 및 크랭크축에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 선박이나 발전기에 사용되는 디젤 기관의 전달 부재인 대형 크랭크축에 이용되는 강재에는, 디젤 기관의 출력 향상 및 컴팩트화를 실현시키기 위해서 고강도화가 요구된다.

[0003] 이에 대하여, 조립형의 크랭크축의 크랭크 스로(throw)에 사용할 수 있는 단조용 강이 개발되어 있다(예컨대 일본특허 제4150054호 공보 참조).

[0004] 그런데, 조립형의 크랭크축은, 단강품용 강을 성형하여 얻어지는 크랭크 스로와 크랭크 저널(journal)을 수축 끼워맞춤으로 결합시키는 것에 의해 제조된다. 그 때문에, 디젤 기관의 운전 중에 이 수축 끼워맞춤부가 미끄러지지 않도록 하기 위해, 크랭크 스로에 사용되는 단강품용 강에는 높은 항복 강도(YS)가 요구된다. 디젤 기관의 출력 향상에 수반하여, 최근에는 450MPa 이상이라는 높은 항복 강도가 요구되고 있다.

[0005] 그러나, 탄소강을 이용한 단강품용 강에서는 350MPa 이상 380MPa 이하 정도의 항복 강도밖에 얻어지지 않는다. 또한, 종래의 조성을 갖는 저합금강을 이용하는 단강품용 강의 경우, 대형이 되면 담금질 균열이 발생하기 때문에, 축 직경이 650mm를 초과하는 대형의 조립형 크랭크축에 사용할 수 있는 단강품용 강을 제조할 수 없다. 이와 같이, 450MPa 이상의 항복 강도를 갖고, 또한 대형의 조립형 크랭크축에 사용 가능한 단강품용 강을 제조하는 것은 곤란하다.

[0006] 또한, 조립형 크랭크축에 사용하는 크랭크 스로나 크랭크 저널은, 이들 형상으로 성형한 후, 절삭 가공에 의해 마무리되기 때문에, 조립형 크랭크축에 사용하는 단강품용 강에는 우수한 피삭성도 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 일본특허 제4150054호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 전술한 바와 같은 사정에 기초하여 이루어진 것으로, 대형 단강품에 요구되는 항복 강도 및 인성을 갖고, 또한 피삭성이 우수한 단강품용 저합금강의 제공을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 과제를 해결하기 위해서 이루어진 발명은, C(탄소): 0.30질량% 이상 0.40질량% 이하, Si(규소): 0질량% 초과 0.45질량% 이하, Mn(망간): 0.50질량% 이상 1.90질량% 이하, Ni(니켈): 0.70질량% 이상 2.00질량% 이하, Cr(크로뮴): 1.00질량% 이상 2.30질량% 이하, Mo(몰리브덴): 0질량% 초과 0.35질량% 이하, V(바나듐): 0질량% 초과 0.20질량% 이하의 기본 성분을 포함하며, 잔부가 Fe(철) 및 불가피적 불순물인 조성을 갖고, 베이나이트 조직, 마텐자이트 조직 또는 그들의 조합 조직을 17% 이상 함유하며, 잔부가 펄라이트 조직, 페라이트 조직 또는 그들의 조합 조직이고, 하기 식(1)을 만족시키는 단강품용 저합금강이다.

[0010] $(1.5\times Mn+2\times Ni)/Cr < 2.35$ ···(1)

[0011] 당해 단강품용 저합금강은, 강재의 각 조성의 함유량을 상기 범위이면서 상기 식(1)을 만족시키는 것으로 하고, 베이나이트 조직, 마텐자이트 조직 또는 그들의 조합 조직을 17% 이상 함유하는 것으로 함으로써, 우수한 인성이 얻어짐과 더불어, 대형의 크랭크축 등의 대형 단강품에 요구되는 높은 항복 강도를 확보할 수 있다. 또한, 당해 단강품용 저합금강은, 강재의 조성을 상기 식(1)을 만족시키는 것으로 하는 것에 의해, 금속 조직의 시멘타이트 중의 Cr 농도가 커지고, 이에 의해 절삭 시의 저항력이 감소하기 때문에 피삭성이 우수하다.

[0012] 또한, 상기 과제를 해결하기 위해서 이루어진 다른 발명은, 당해 단강품용 저합금강으로 제조되는 크랭크축이다. 당해 크랭크축은, 당해 단강품용 저합금강으로 이루어지기 때문에, 전술한 바와 같이 높은 항복 강도 및 인성을 갖고 또한 피삭성이 우수하다.

발명의 효과

[0013] 이상 설명한 바와 같이, 본 발명의 단강품용 저합금강은 대형 단강품에 요구되는 항복 강도 및 인성을 갖고, 또한 피삭성이 우수하기 때문에, 선박용의 조립형 대형 크랭크축 등에도 적합하게 이용된다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 실시예에 있어서의 베이나이트 조직, 마텐자이트 조직 또는 그들의 조합 조직의 조직 분율과 항복 강도의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 2는 실시예에 있어서의 Mn, Ni 및 Cr 함유량과 드릴 구멍 가공 시의 토크 저항의 관계를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 이하, 본 발명에 따른 단강품용 저합금강의 실시형태에 대하여 설명한다.

[0016] <금속 조직>

[0017] 당해 단강품용 저합금강의 금속 조직은 베이나이트 조직, 마텐자이트 조직 또는 그들의 조합 조직의 비율(조직 분율)이 17% 이상이며, 잔부가 펄라이트 조직, 페라이트 조직 또는 그들의 조합 조직이다. 이와 같이 금속 조직에 있어서 베이나이트 조직, 마텐자이트 조직 또는 그들의 조합 조직의 조직 분율이 상기 하한 이상이 되도록 함으로써, 당해 단강품용 저합금강은 선박용의 조립형 대형 크랭크축 등으로서 요구되는 높은 항복 강도(450MPa

이상)를 갖는다. 한편, 베이나이트 조직, 마텐자이트 조직 또는 그들의 조합 조직의 조직 분율의 측정 방법으로서는, 예컨대 단강품용 저합금강으로부터 마이크로 조직 관찰용의 시험편을 잘라내고, 이 시험편의 표면을 단신(鍛伸) 방향으로 경면 연마하고, 나이탈로 부식시켜 광학 현미경으로 관찰하는 것에 의해 행할 수 있다.

[0018] <조성>

[0019] 당해 단강품용 저합금강은, C: 0.30질량% 이상 0.40질량% 이하, Si: 0질량% 초과 0.45질량% 이하, Mn: 0.50질량% 이상 1.90질량% 이하, Ni: 0.70질량% 이상 2.00질량% 이하, Cr: 1.00질량% 이상 2.30질량% 이하, Mo: 0질량% 초과 0.35질량% 이하, V: 0질량% 초과 0.20질량% 이하의 기본 성분을 포함하며, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물인 조성을 갖고, 또한 하기 식(1)을 만족시킨다.

[0020] $(1.5\times Mn+2\times Ni)/Cr < 2.35$ ···(1)

[0021] 당해 단강품용 저합금강의 C 함유율의 하한은 0.30질량%이며, 0.32질량%가 바람직하다. 한편, 당해 단강품용 저합금강의 C 함유율의 상한은 0.40질량%이며, 0.39질량%가 바람직하다. 당해 단강품용 저합금강의 C 함유율이 상기 하한 미만이면, 충분한 담금질성이 얻어지지 않고, 불림 후에 뜨임을 행하는 처리에 의한 조질(調質)에서 충분한 항복 강도가 얻어지는 금속 조직의 조직 분율을 확보할 수 없을 우려가 있다. 반대로, 당해 단강품용 저합금강의 C 함유율이 상기 상한을 초과하면, 인성이 극단적으로 저하됨과 더불어, 시멘타이트의 안정성을 높여 불림 시의 펄라이트의 생성이 촉진되기 때문에, 항복 강도가 저하될 우려가 있다. 당해 단강품용 저합금강의 C 함유율을 상기 범위로 함으로써, 당해 단강품용 저합금강의 담금질성 및 항복 강도를 적절히 확보할 수 있다.

[0022] 당해 단강품용 저합금강의 Si 함유율의 하한은 0질량% 초과이다. 한편, 당해 단강품용 저합금강의 Si 함유율의 상한은 0.45질량%이며, 0.32질량%가 바람직하다. 당해 단강품용 저합금강의 Si 함유율이 상기 상한을 초과하면, 인성이 손상될 우려가 있다. 당해 단강품용 저합금강의 Si 함유율을 상기 범위로 함으로써, 당해 단강품용 저합금강의 담금질성을 향상시켜 충분한 인성을 확보할 수 있다.

[0023] 당해 단강품용 저합금강의 Mn 함유율의 하한은 0.50질량%이며, 0.80질량%가 바람직하다. 한편, 당해 단강품용 저합금강의 Mn 함유율의 상한은 1.90질량%이며, 1.50질량%가 바람직하다. 당해 단강품용 저합금강의 Mn 함유율이 상기 하한 미만이면, 충분한 담금질성이 얻어지지 않고, 불림 후에 뜨임을 행하는 처리에 의한 조질에서 충분한 항복 강도가 얻어지는 금속 조직의 조직 분율을 확보할 수 없게 됨과 더불어, 충분한 인성이 얻어지지 않을 우려가 있다. 반대로, 당해 단강품용 저합금강의 Mn 함유율이 상기 상한을 초과하면, 시멘타이트 중의 Cr 농도가 저하되어 피삭성이 손상될 우려가 있다. 당해 단강품용 저합금강의 Mn 함유율을 상기 범위로 함으로써, 당해 단강품용 저합금강의 항복 강도 및 인성을 적절히 확보할 수 있다.

[0024] 당해 단강품용 저합금강의 Ni 함유율의 하한은 0.70질량%이며, 0.74질량%가 바람직하다. 한편, 당해 단강품용 저합금강의 Ni 함유율의 상한은 2.00질량%이며, 1.50질량%가 바람직하다. 당해 단강품용 저합금강의 Ni 함유율이 상기 하한 미만이면, 충분한 담금질성이 얻어지지 않고, 불림 후에 뜨임을 행하는 처리에 의한 조질에서 충분한 항복 강도가 얻어지는 금속 조직의 조직 분율을 확보할 수 없게 될 우려가 있다. 또한, 당해 단강품용 저합금강의 Ni 함유율이 상기 상한을 초과하면, 시멘타이트 중의 Cr 농도를 저하시켜 피삭성이 손상될 우려가 있다. 당해 단강품용 저합금강의 Ni 함유율을 상기 범위로 함으로써, 당해 단강품용 저합금강의 담금질성 및 강도를 적절히 확보할 수 있다.

[0025] 당해 단강품용 저합금강의 Cr 함유율의 하한은 1.00질량%이며, 1.40질량%가 바람직하다. 한편, 당해 단강품용 저합금강의 Cr 함유율의 상한은 2.30질량%이며, 2.10질량%가 바람직하다. 당해 단강품용 저합금강의 Cr 함유율이 상기 하한 미만이면, 충분한 담금질성이 얻어지지 않고, 불림 후에 뜨임을 행하는 처리에 의한 조질에서 충분한 항복 강도가 얻어지는 금속 조직의 조직 분율을 확보할 수 없게 되어, 충분한 강도가 얻어지지 않게 될 우려가 있다. 반대로, 당해 단강품용 저합금강의 Cr 함유율이 상기 상한을 초과하면, 금속 조직의 시멘타이트의 비율이 증가하여 인성이 손상될 우려가 있다. 당해 단강품용 저합금강의 Cr 함유율을 상기 범위로 함으로써, 당해 단강품용 저합금강의 담금질성, 강도 및 인성을 적절히 확보할 수 있다.

[0026] 당해 단강품용 저합금강의 Mo 함유율의 하한은 0질량% 초과이다. 한편, 당해 단강품용 저합금강의 Mo 함유율의 상한은 0.35질량%이며, 0.32질량%가 바람직하다. 당해 단강품용 저합금강의 Mo 함유율이 상기 상한을 초과하면, 미세 탄화물이 생성되어 인성이 손상될 우려가 있다. 당해 단강품용 저합금강이 상기 범위의 Mo를 함유함으로써, 담금질성이 향상되고, 불림 후에 뜨임을 행하는 처리에 의한 조질에서 충분한 항복 강도가 얻어지는 금속 조직의 조직 분율을 확보할 수 있어, 충분한 강도가 얻어진다.

[0027] 당해 단강품용 저합금강의 V 함유율의 하한은 0질량% 초과이다. 한편, 당해 단강품용 저합금강의 V 함유율의 상한은 0.20질량%이며, 0.10질량%가 바람직하다. 당해 단강품용 저합금강의 V 함유율이 상기 상한을 초과하면, 미세 탄화물이 생성되어 인성이 손상될 우려가 있다. 당해 단강품용 저합금강이 상기 범위의 V를 함유함으로써, 담금질성이 향상되고, 불림 후에 뜨임을 행하는 처리에 의한 조질에서 충분한 항복 강도가 얻어지는 금속 조직의 조직 분율을 확보할 수 있어, 충분한 강도가 얻어진다.

[0028] 당해 단강품용 저합금강은, 전술한 기본 성분 이외에, 잔부에 Fe 및 불가피적 불순물을 포함한다. 또한, 불가피적 불순물로서는, 예컨대 원료, 자재, 제조 설비 등의 상황에 따라서 유입되는 Cu(구리), Sn(주석), As(비소), Pb(납), Ti(타이타늄) 등의 원소의 혼입이 허용된다. 또한, 추가로 그 밖의 조성을 적극적으로 함유시키는 것도 유효하며, 함유되는 조성의 종류에 따라서 단강재의 특성이 더욱 개선된다.

[0029] <각 조성의 관계식>

[0030] 당해 단강품용 저합금강에 있어서, 각 원소의 함유량이 하기 식(1)을 만족시킨다.

[0031] $(1.5\times Mn+2\times Ni)/Cr < 2.35 \cdots (1)$

[0032] 각 원소의 함유량이 상기 식(1)을 만족시키는 범위에서는, Cr 농도가 24% 이상인 비교적 취성의 시멘타이트가 생성된다. 이 비교적 취성의 시멘타이트가 생성됨으로써, 절삭 시의 저항력이 감소하여, 피삭성이 향상된다고 생각된다. 한편, 시멘타이트 중의 Cr 농도가 적어도 22% 이상이면, 대형 크랭크축용 부품의 절삭 가공에서 요구되는 충분한 피삭성이 얻어진다.

[0033] <기계적 성질>

[0034] 당해 단강품용 저합금강의 항복 강도(YS)의 하한은 450MPa가 바람직하고, 500MPa가 보다 바람직하다. 당해 단강품용 저합금강의 항복 강도가 상기 하한 이상이면, 조립형의 대형 크랭크축의 요구를 만족시켜, 축 직경 650mm 이상의 크랭크축을 제조할 수 있다. 항복 강도의 평가는, 예컨대 JIS-Z2241(2011)에 준거한 인장 시험에 의해 행할 수 있다.

[0035] 당해 단강품용 저합금강의 흡수 에너지 vE(실온에서의 흡수 에너지)의 하한은 20J이 바람직하고, 30J이 보다 바람직하다. 당해 단강품용 저합금강의 흡수 에너지가 상기 하한 이상이면, 조립형의 대형 크랭크축에 요구되는 인성을 만족시킬 수 있다. 흡수 에너지의 평가는, 예컨대 JIS-Z2242(2005)에 준거한 샤르피 충격 시험에 의해 행할 수 있다.

[0036] <단강품용 저합금강 및 크랭크축의 제조 방법>

[0037] 당해 단강품용 저합금강은, 예컨대 용제 공정, 주조 공정, 가열 공정, 단조 공정 및 열처리 공정을 구비하는 제조 방법에 의해 제조된다. 나아가, 당해 단강품용 저합금강을 기계 가공 공정에 의해 가공함으로써 당해 크랭크축이 제조된다.

[0038] (용제 공정)

[0039] 용제 공정에서는, 우선 고주파 용해로, 전기로, 전로 등을 이용하여, 전술한 소정의 조성으로 조정한 강을 용제한다. 그 후, 그 용강에 진공 처리를 실시하여, O(산소), H(수소) 등의 가스 성분이나 불순 원소를 제거한다.

[0040] (주조 공정)

[0041] 주조 공정에서는, 상기 용제 공정에서 성분 조정한 강을 이용하여 잉곳(강괴)을 주조한다. 대형 단강품용 강의 경우에는 주로 잉곳 주조가 채용되고, 비교적 소형 단강품의 경우에는 연속 주조법을 채용하는 것도 가능하다.

[0042] (가열 공정)

[0043] 가열 공정에서는, 소정의 온도에서 소정 시간, 강괴를 가열한다. 저온이 되면 재료의 변형 저항이 증대되기 때문에, 재료의 변형능이 양호한 범위에서 가공을 행하기 위해서, 가열 온도는 예컨대 1150℃ 이상으로 한다. 또한, 강괴의 표면과 내부의 온도를 균일하게 하기 위해서 소정의 가열 시간이 필요하며, 가열 시간은 예컨대 3시간 이상으로 한다. 가열 시간은 일반적으로 피가공물의 직경의 2승에 비례한다고 생각되고 있으며, 대형재일수록 가열 유지 시간은 길어진다.

[0044] (단조 공정)

[0045] 단조 공정에서는, 가열 공정에서 1150℃ 이상의 온도로 가열된 강괴를 단조한다. 수축 공동이나 미소 공동 등

의 주조 결함을 압착시키기 위해서, 단련 성형비로서는 3S 이상이 바람직하다.

[0046] (열처리 공정)

[0047] 열처리 공정에서는, 소둔 처리 및 불림 처리를 행한 후, 뜨임 처리를 행한다.

[0048] 우선, 단조한 강괴의 소둔 처리를 행한다. 소둔 처리에서는, 단조 강괴를 가열하여 소정의 온도(예컨대 250℃ 이상 350℃ 이하)에서 소정 시간(예컨대 5시간 이상) 유지한다. 그 후, 오스테나이트화 온도 이상(예컨대 850℃ 이상 920℃ 이하)까지 가열하여, 소정 시간(예컨대 3시간 이상) 유지한 후, 소정 온도(예컨대 50℃ 이상 200℃ 이하)가 될 때까지 서냉한다. 추가로, 상기 냉각 후, 소정의 온도(예컨대 500℃ 이상 800℃ 이하)까지 승온 속도 30℃/hr 이상 70℃/hr 이하로 서가열하여, 일정 시간(예컨대 5시간 이상) 유지한다.

[0049] 불림 처리에서는, 소둔 처리 후, 실온까지 냉각된 단조 강괴로부터 강재를 잘라내고, 우선 그 강재의 오스테나이트화를 행한다. 오스테나이트화는 Ac3 변태점(830℃) 이상으로 승온 속도 30℃/hr 이상 70℃/hr 이하로 서가열하여, 일정 시간(예컨대 1시간 이상) 유지한다. 한편, 대형 강재의 경우, 가열 시에 재료의 내외에서 온도차가 생기기 때문에, 오스테나이트화 온도까지 서가열하고, 강재의 표면과 내부의 온도를 균일하게 하기 위해서 일정 시간 유지할 필요가 있다. 이 유지 시간은 강재 직경에 의존하여, 대형재일수록 길게 할 필요가 있다.

[0050] 다음으로, 불림 처리에 있어서, 오스테나이트화에 의해 강재의 온도가 균질하게 된 후, 강재를 냉각한다. 이때의 냉각 속도의 하한은 0.5℃/분이 바람직하고, 1℃/분이 보다 바람직하다. 또한, 상기 냉각 속도의 상한은 8℃/분이 바람직하고, 5℃/분이 보다 바람직하다. 상기 냉각 속도가 상기 하한 미만이면, 베이나이트 조직, 마텐자이트 조직 또는 그들의 조합 조직이 감소하여, 충분한 항복 강도가 얻어지지 않게 될 우려가 있다. 한편, 상기 냉각 속도가 상기 상한을 초과하면, 냉각 시의 열 응력이나 변태 응력에 의해 균열이 발생할 우려가 있다.

[0051] 상기 냉각 후, 뜨임 처리를 행하는 것에 의해 당해 단강품용 저합금강이 얻어진다. 강재의 뜨임은 소정의 온도까지 승온 속도 30℃/hr 이상 70℃/hr 이하로 서가열하여, 일정 시간(예컨대 5시간 이상) 유지한다. 뜨임은 강도, 연성 및 인성의 밸런스를 조정함과 더불어, 상변태로 생긴 내부 응력(잔류 응력)을 제거하기 위해 예컨대 550℃ 이상에서 행한다. 단, 고온이 되면 탄화물의 조대화, 전위 조직의 회복 등에 의해 강재가 연화되어, 충분한 강도를 확보할 수 없기 때문에 예컨대 650℃ 이하로 한다.

[0052] (기계 가공 공정)

[0053] 열처리 공정 후의 당해 단강품용 저합금강을 크랭크 스로나 크랭크 저널로 단조한 후, 절삭 또는 연삭을 포함하는 마무리 기계 가공을 실시함으로써, 당해 크랭크축용의 부품을 얻을 수 있다. 그리고, 마무리 기계 가공을 실시한 크랭크 스로와 크랭크 저널을 수축 끼워맞추는 것에 의해 당해 크랭크축이 얻어진다.

[0054] **실시예**

[0055] 이하, 실시예에 의해서 본 발명을 더욱 상세히 설명하지만, 본 발명은 이들 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[0056] 〔강종 및 조질 방법의 평가〕

[0057] 우선, 강종 및 조질 방법에 관하여, 대형 크랭크축에 대한 적용성에 대하여 평가했다.

[0058] (실시예 1)

[0059] 실시예 1은, 표 1에 나타내는 조성을 갖는 강을 900℃ 이상 1230℃ 이하의 온도 사이에서 열간 단조한 후, 가스 절단에 의해 축 직경 950㎜의 크랭크 스로의 형상으로 성형했다. 다음으로, 이 성형한 크랭크 스로를 870℃로 가열한 후, 공냉에 의해 냉각하여 불림을 행했다. 추가로, 냉각한 크랭크 스로를 620℃까지 가열하여 뜨임을 실시했다.

[0060] (비교예 1~3)

[0061] 비교예 1~3은, 표 1에 나타내는 조성을 갖는 강을 900℃ 이상 1230℃ 이하의 온도 사이에서 열간 단조한 후, 가스 절단에 의해 축 직경 620㎜, 720㎜ 및 1062㎜의 크랭크 스로의 형상으로 성형했다. 다음으로, 이들 성형된 크랭크 스로를 870℃로 가열한 후, 공냉에 의해 냉각하여 불림을 행했다. 추가로, 냉각한 크랭크 스로를 620℃까지 가열하여 뜨임을 실시했다.

[0062] (비교예 4)

[0063] 비교예 4는, 표 1에 나타내는 조성을 갖는 강을 900℃ 이상 1230℃ 이하의 온도 사이에서 열간 단조한 후, 가스

절단에 의해 축 직경 720㎜의 크랭크 스로의 형상으로 성형했다. 다음으로, 이 성형한 크랭크 스로를 870℃로 가열한 후, 수용액의 농도를 25질량%로 조정한 폴리알킬렌글리콜계의 폴리머액에 의해 냉각하여 담금질을 행했다. 추가로, 냉각한 크랭크 스로를 620℃까지 가열하여 뜨임을 실시했다.

[0064] [담금질 균열 평가]

[0065] 조질을 행한 크랭크 스로를 육안 검사에 의해 관찰하여 균열의 유무를 확인했다.

[0066] [항복 강도 평가]

[0067] 조질을 행한 크랭크 스로의 수축 끼워맞춤부 근방으로부터 시험편을 채취하고, JIS-Z2241(2011)에 준거하여 인장 시험을 실시했다. 시험편의 형상은 JIS-Z2241(2011)의 14A호 시험편으로 ø6×G.L. 30㎜로 하여 항복 강도를 측정했다. 본 시험에서는, 항복 강도 450MPa 이상인 것을 합격으로 했다.

[0068] 본 시험에서는, 크랭크 스로에 균열이 확인되지 않고, 또한 항복 강도가 450MPa 이상인 것을 종합 평가 「A」로 했다. 또한, 항복 강도가 450MPa 미만인 것을 종합 평가 「B」, 균열이 확인된 것을 종합 평가 「C」로 했다. 이들 측정 결과를 표 1에 나타낸다.

표 1

[0069]

	축 직경 (mm)	조성 함유율 (질량%)							조질 방법	균열	항복 강도 (MPa)	종합 평가
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V				
실시예 1	950	0.37	0.31	0.89	0.98	1.97	0.31	0.09	불림	없음	633	A
비교예 1	620	0.38	0.27	1.16	0.24	0.25	0.06	0.08	불림	없음	373	B
비교예 2	720	0.39	0.30	1.15	0.25	0.25	0.05	0.08	불림	없음	377	B
비교예 3	1062	0.37	0.26	1.16	0.25	0.25	0.06	0.08	불림	없음	380	B
비교예 4	720	0.38	0.27	0.89	0.38	2.16	0.19	0.01	담금질	있음	723	C

[0070] [측정 결과]

[0071] 실시예 1의 크랭크 스로는, 담금질 균열이 확인되지 않고, 또한 450MPa 이상의 항복 강도가 얻어졌다. 이에 의해, 본 발명의 기본 성분을 함유하고, 불림 후에 뜨임을 행하는 처리에 의한 조질을 행한 강이, 대형 크랭크축에 적합하게 사용될 수 있다는 것을 알 수 있었다.

[0072] 한편, 비교예 1~3의 강을 이용한 크랭크 스로는, 담금질 균열은 확인되지 않았지만, 항복 강도가 낮아, 조립형의 대형 크랭크축에 적용할 수 없다고 할 수 있다.

[0073] 또한, 비교예 4의 강을 이용한 크랭크 스로는, 비교적 축 직경이 큼에도 불구하고 담금질했기 때문에 표층과 내부의 온도차가 생기기 쉽고, 담금질 시에 생긴 상기 온도차에 의해서 열 응력 또는 변태 응력이 발생하여, 그 때문에 균열이 발생했다고 생각된다.

[0074] 〔강의 조성 및 금속 조직 평가〕

[0075] 다음으로, 강의 조성 및 금속 조직에 대하여 평가했다.

[0076] (실시예 2~5, 비교예 5~15)

[0077] 실시예 2~5, 비교예 5~15는, 표 2에 나타내는 조성을 갖는 강을 용제하여, 시험용의 단강품용 강을 제조했다. 우선, 고주파로를 이용하여 표 1에 나타내는 조성의 강을 용제해서, 폭 170㎜×두께 120㎜×높이 230㎜의 40kg의 강괴를 주조했다. 다음으로, 얻어진 강괴의 압탕(押湯) 부분을 절제하고, 1230℃에서 5시간 이상 10시간 이하 가열했다. 다음으로, 자유 단조 프레스기에 의해, 가열한 강괴를 높이비로 1/2까지 압축하고, 강괴 중심선을 90° 회전시켜 단조하여, 폭 90㎜×두께 90㎜×길이 450㎜까지 잡아늘인 후, 그 소재를 대기 중에서 방냉했다. 그 후, 250℃ 이상 300℃ 이하로 냉각된 소재를 가열로에서 10시간 이상 유지한 후, 50℃/hr로 가열하여 870℃에서 5시간 유지했다. 그 후, 그 소재를 100℃ 이상 150℃ 이하까지 노냉한 후, 다시 50℃/hr로 가열하고, 650℃에서 15시간 유지한 후, 대기 중에서 방냉하여 소둔 처리를 실시했다.

[0078] 다음으로, 실온까지 방냉한 상기 소재로부터 폭 20㎜×두께 20㎜×길이 200㎜의 각재(角材)를 잘라내고, 소형 시뮬레이터로를 이용하여 오스테나이트화 처리를 실시했다. 오스테나이트화 처리는, 잘라낸 소재(상기 각재)를 50℃/hr로 870℃까지 승온시켜 1시간 유지한 후, 870℃로부터 500℃까지의 온도 범위에서의 평균 냉각 속도가 1.0℃/min이 되도록 냉각을 행했다. 그 후, 상기 소재를 실온까지 냉각한 후, 뜨임 처리로서 620℃에서 10시간

유지하고 나서 대기 중에서 방냉했다. 한편, 전술한 오스테나이트화 처리한 후의 870℃로부터 500℃까지의 온도 범위에서의 1.0℃/min이라는 평균 냉각 속도는, 대형 단강품 중의 불림 후의 냉각을 모의한 냉각 속도이다.

[0079] (비교예 16~19)

[0080] 비교예 16~19는, 조성이 실시예 2~5와 동일한 조성의 강을 이용하고, 불림 후의 냉각에 있어서의 평균 냉각 속도를 0.3℃/min으로 한 것 이외에는 상기 실시예 2와 마찬가지의 제조 방법에 의해 시험용 소재를 제조했다.

[0081] (비교예 20, 21)

[0082] 비교예 20, 21은, 표 2에 나타내는 조성을 갖는 강을 이용하고, 상기 실시예 2와 마찬가지의 제조 방법에 의해 시험용 소재를 제조했다. 한편, 비교예 20, 21에서 이용한 강은 그의 조성이 상기 식(1)을 가지게 하지 않은 것이다.

[0083] (실시예 6~9)

[0084] 실시예 6~9는, 조성이 실시예 2~5와 동일한 조성의 강을 이용하고, 불림 후의 냉각에 있어서의 평균 냉각 속도를 5.0℃/min으로 한 것 이외에는 상기 실시예 2와 마찬가지의 제조 방법에 의해 시험용 소재를 제조했다.

[0085] (비교예 22, 23)

[0086] 비교예 22, 23은, 조성이 비교예 20, 21과 동일한 조성의 강을 이용하고, 불림 후의 냉각에 있어서의 평균 냉각 속도를 5.0℃/min으로 한 것 이외에는 상기 실시예 2와 마찬가지의 제조 방법에 의해 시험용 소재를 제조했다.

[0087] [기계적 성질의 측정]

[0088] 제조한 상기 시험 소재로부터 시험편을 채취하고, JIS-Z2241(2011)에 준거하여 인장 시험을 실시했다. 시험편의 형상은 JIS-Z2241(2011)의 14A호 시험편으로 ø6×G.L. 30mm로 하여 항복 강도(YS)를 측정했다. 이 시험에서는, 항복 강도 450MPa 이상인 것을 합격으로 했다.

[0089] 또한, 샤르피 충격 시험에 의해 상기 시험 소재의 흡수 에너지(vE)(실온에서의 흡수 에너지)를 측정하여 인성의 평가를 행했다. 샤르피 충격 시험은 JIS-Z2242(2005)에 준거하여 실시하고, 이때의 시험편 형상은 JIS-Z2242(2005)의 2mm V 노치를 채용했다. 이 시험에서는, 흡수 에너지가 20J 이상인 것을 합격으로 판정했다.

[0090] [금속 조직의 관찰]

[0091] 시험 소재로부터 금속 조직 관찰용의 시험편을 잘라내고, 그 시험편을 3% 나이탈액으로 부식시켜 광학 현미경으로 관찰했다. 구체적으로는, 광학 현미경으로 100배의 배율로 관찰 및 촬영을 행하고, 촬영한 사진에 대하여 11행×11열의 격자를 대어 베이나이트 조직 또는 마텐자이트 조직에 해당하는 격자점을 세었다. 그리고, 이 격자점의 수를 전체 격자수 121로 나누는 것에 의해서 각 시야에 있어서의 베이나이트 조직, 마텐자이트 조직 또는 그들의 조합 조직의 조직 분율(금속 조직에 있어서의 비율)로 했다. 시험 소재마다 마찬가지의 측정을 3시야에서 행하고, 그 평균값을 각 소재에 있어서의 베이나이트 조직, 마텐자이트 조직 또는 그들의 조합 조직의 조직 분율로 했다. 표 2에서는, 이 조직 분율을 「B·M 분율」로 기재했다.

[0092] [시멘타이트 중의 합금 원소의 농도 분석]

[0093] 시멘타이트 중의 합금 원소의 농도 분석은 주사형 전자 현미경(SEM) 부속의 EDX로 정량 분석하는 것에 의해 행했다. EDX는 전자선 조사에 의해 발생하는 특성 X선을 검출하여, 에너지로 분광시키는 것에 의해 원소 분석이나 조성 분석을 행하는 수법이다. 한편, 표 2 중에서 「시멘타이트 중 Cr 농도」란에 사선이 그어져 있는 비교예 5~8, 10, 12~19에 대해서는, 시멘타이트 중의 합금 원소의 농도 분석을 실시하지 않았다.

[0094] [피삭성 평가]

[0095] 피삭성의 평가로서, 시험 소재에 대하여 드릴 구멍 가공 시의 토크 저항값의 측정 시험을 행했다. 폭 20mm×두께 20mm×길이 200mm의 시험 소재로부터 길이 12mm로 절단한 각재를 시험편으로 하고, 이 시험편의 절단면에 대하여 드릴 구멍 가공을 행했다. ø5mm의 초경(超硬) 드릴(샌드빅주식회사의 「860.1-0500-019A1-PM4234」)을 이용하여, 시험편 하나당 1개의 드릴로 깊이 10mm의 구멍을 2개 뚫었다. 드릴 가공은 회전수 4,000rpm, 전송 속도 0.25mm/rev로, 윤활유(수용성 윤활제(유시로화학공업주식회사의 유시로켄 「EC50」)를 50배 희석)를 10L/min의 유량으로 드릴 가공부에 공급하면서 행했다. 피삭성 평가에서는, 드릴이 시험편에 접촉하고 나서 깊이 10mm의 구멍을 다 뚫어 마치기까지의 동안의 토크 저항의 평균값을 측정하여, 180N·cm 이하를 합격으로 했다. 한편, 표 2 중에서 「토크 저항」란에 사선이 그어져 있는 비교예 5~8, 10, 12~19에 대해서는, 피삭성의

평가를 실시하지 않았다.

[0096] 본 시험에서는, 항복 강도, 흡수 에너지 및 피삭성이 모두 합격으로 판정된 것을 종합 평가 「A」로 했다. 또한, 항복 강도(YS)가 450MPa 미만인 것을 종합 평가 「B」, 흡수 에너지(vE)가 20J 미만인 것을 종합 평가 「C」, 드릴 구멍 가공 시의 토크 저항이 180N·cm를 초과하는 것을 종합 평가 「D」로 했다. 이들 측정 결과를 표 2에 나타낸다.

표 2

	조성 함유율(질량%)							냉각 속도 (℃/min)	뜨임		B·M 분율 (%)	YS (MPa)	vE (J)	식(1)의 좌변	시멘타이트 중 Cr 농도 (질량%)	토크 저항 N·cm	종합 평가
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V		(℃)	(시간)							
실시예 2	0.38	0.26	0.92	0.75	1.52	0.30	0.08	1.0	620	10	18	462	32	1.89	26.7	172	A
실시예 3	0.39	0.24	0.91	1.01	1.49	0.29	0.08	1.0	620	10	28	474	36	2.27	24.3	176	A
실시예 4	0.38	0.21	0.86	0.99	2.02	0.31	0.09	1.0	620	10	48	509	34	1.62	29.4	171	A
실시예 5	0.38	0.23	1.27	0.74	1.50	0.30	0.04	1.0	620	10	42	498	30	2.26	24.2	173	A
비교예 5	0.27	0.27	0.90	1.03	2.00	0.28	0.08	1.0	620	10	0	372	24	1.71			B
비교예 6	0.42	0.21	0.92	1.00	1.98	0.31	0.09	1.0	620	10	12	425	19	1.71			B,C
비교예 7	0.37	0.48	0.88	1.02	2.01	0.27	0.07	1.0	620	10	58	525	17	1.67			C
비교예 8	0.38	0.28	0.48	0.98	2.01	0.29	0.08	1.0	620	10	0	380	24	1.33			B
비교예 9	0.39	0.27	1.92	0.99	1.99	0.31	0.08	1.0	620	10	100	715	32	2.44	20.3	189	D
비교예 10	0.38	0.24	0.93	0.65	1.98	0.31	0.09	1.0	620	10	0	395	30	1.36			B
비교예 11	0.38	0.24	0.89	2.02	1.99	0.30	0.07	1.0	620	10	100	689	42	2.70	19.8	196	D
비교예 12	0.37	0.26	0.92	1.01	0.97	0.32	0.09	1.0	620	10	15	419	18	3.51			B,C
비교예 13	0.38	0.25	0.93	0.98	2.32	0.30	0.08	1.0	620	10	48	592	19	1.45			C
비교예 14	0.38	0.21	0.92	0.99	1.97	0.39	0.08	1.0	620	10	100	763	18	1.71			C
비교예 15	0.38	0.21	0.92	1.01	1.99	0.30	0.21	1.0	620	10	45	570	17	1.71			C
비교예 16	0.38	0.26	0.92	0.75	1.52	0.30	0.08	0.3	620	10	0	368	23	1.89			B
비교예 17	0.39	0.24	0.91	1.01	1.49	0.29	0.08	0.3	620	10	0	384	25	2.27			B
비교예 18	0.38	0.21	0.86	0.99	2.02	0.31	0.09	0.3	620	10	0	397	24	1.62			B
비교예 19	0.38	0.23	1.27	0.74	1.50	0.30	0.04	0.3	620	10	0	380	23	2.26			B
비교예 20	0.36	0.20	0.57	1.64	0.26	0.15	0.08	1.0	620	10	73	630	37	2.58	21.2	198	D
비교예 21	0.36	0.20	0.58	1.50	1.48	0.22	0.08	1.0	620	10	32	536	31	2.61	17.2	186	D
실시예 6	0.38	0.26	0.92	0.75	1.52	0.30	0.08	5.0	620	10	100	782	38	1.89	26.3	175	A
실시예 7	0.39	0.24	0.91	1.01	1.49	0.29	0.08	5.0	620	10	100	779	45	2.27	25.4	178	A
실시예 8	0.38	0.21	0.86	0.99	2.02	0.31	0.09	5.0	620	10	100	791	42	1.62	28.7	169	A
실시예 9	0.38	0.23	1.27	0.74	1.50	0.30	0.04	5.0	620	10	100	785	23	2.26	25.3	171	A
비교예 22	0.36	0.20	0.57	1.64	1.60	0.26	0.15	5.0	620	10	100	798	27	2.58	20.3	202	D
비교예 23	0.36	0.20	0.58	1.50	1.48	0.22	0.08	5.0	620	10	100	789	31	2.61	16.9	192	D

[0097]

[0098] [측정 결과]

[0099] 실시예 2~9는 모두 항복 강도가 높고 인성 및 피삭성도 우수하여 종합 평가 A였다. 이들 단강품용 저합금강은 대형 크랭크축으로서 적합하게 사용할 수 있다고 할 수 있다.

[0100] 이에 비하여, 비교예 5~15는 항복 강도, 인성 및 피삭성 중 적어도 어느 하나가 합격의 범위를 만족시키지 않

았다. 이들 시험 소재는 본 발명의 기본 성분의 범위를 만족시키지 않는 조성을 갖는 강을 이용하여 작성한 것이다. 본 발명의 기본 성분 중, C, Mn, Ni, Cr은 강도 향상에 기여하는 원소이며, 본 발명에서 규정하는 이들 원소의 함유량의 하한 미만의 원소를 갖는 조성인 것(비교예 5, 8, 10, 12)의 항복 강도가 저하되어 있다고 할 수 있다. 또한, 본 발명의 기본 성분 중, C, Si, Cr, Mo, V는 과잉이면 인성을 손상시키는 원소이며, 본 발명에서 규정하는 이들 원소의 함유량의 상한을 초과하는 원소를 갖는 조성인 것(비교예 6, 7, 13, 14, 15)의 인성이 저하되어 있다. 또한, 본 발명의 기본 성분 중, Mn 및 Ni는 과잉이면 시멘타이트 조직 중의 Cr 농도가 저하되기 때문에, 본 발명에서 규정하는 이들 원소의 함유량의 상한을 초과하는 원소를 갖는 조성인 것(비교예 9, 11)은 피삭성이 저하되어 있다.

[0101] 비교예 16~19는 불림 후의 냉각에 있어서의 평균 냉각 속도를 작게 했기 때문에, 시험 소재 중의 베이나이트 조직 및 마텐자이트 조직이 적어져, 어느 시험 소재 중에도 베이나이트 조직 및 마텐자이트 조직이 확인되지 않았다. 비교예 16~19는 베이나이트 조직 및 마텐자이트 조직이 적기 때문에, 항복 강도가 저하되어 있다고 생각된다.

[0102] 비교예 20 및 21은 본 발명의 기본 성분의 범위를 만족시키는 조성을 갖는 강을 이용하고 있지만, Mn, Ni 및 Cr의 함유량이 상기 식(1)을 만족시키고 있지 않다. 그 때문에, 시멘타이트 중의 Cr 농도가 낮아져, 피삭성이 저하되었다고 생각된다.

[0103] 실시예 6~9는 불림 후의 냉각에 있어서의 평균 냉각 속도를 크게 했기 때문에, 시험 소재 중의 베이나이트 조직 또는 마텐자이트 조직의 비율이 많아져, 시험 소재의 금속 조직 전부가 베이나이트 조직 및 마텐자이트 조직이 되었다. 그 때문에, 시멘타이트 중의 Cr 농도가 저하되지 않아, 피삭성이 저하되지 않았다고 할 수 있다. 또한, 실시예 6~9는 항복 강도가 실시예 2~5보다도 향상되어 있어, 불림 후의 냉각에 있어서의 평균 냉각 속도를 제어하는 것에 의해 항복 강도를 향상시킬 수 있다고 할 수 있다.

[0104] 비교예 22 및 23은 비교예 20 및 21보다도 불림 후의 냉각에 있어서의 평균 냉각 속도를 크게 했기 때문에, 시험 소재 중의 베이나이트 조직 또는 마텐자이트 조직의 비율이 비교예 20 및 21보다도 많아져 있다. 그러나, Mn, Ni 및 Cr의 함유량이 상기 식(1)을 만족시키고 있지 않기 때문에, 시멘타이트 중의 Cr 농도가 높아지지 않아, 비교예 20 및 21에 비하여 피삭성이 향상되지 않았다고 생각된다.

[0105] 상기 실시예 2~9, 비교예 5~23의 측정 결과에 대하여, 베이나이트 조직, 마텐자이트 조직 또는 그들의 조합 조직의 조직 분율(B·M 분율)과 항복 강도(YS)의 관계를 도 1에 나타낸다. 도 1의 검은 원의 플롯은 실시예의 측정 결과를 나타내고, 사각형의 플롯은 비교예의 측정 결과를 나타내고 있다. 도 1로부터, 베이나이트 조직, 마텐자이트 조직 또는 그들의 조합 조직의 조직 분율이 높을수록 항복 강도가 향상되는 경향이 있으며, 베이나이트 조직, 마텐자이트 조직 또는 그들의 조합 조직의 조직 분율이 17% 이상이면 450MPa 이상의 높은 항복 강도가 얻어진다는 것을 알 수 있다.

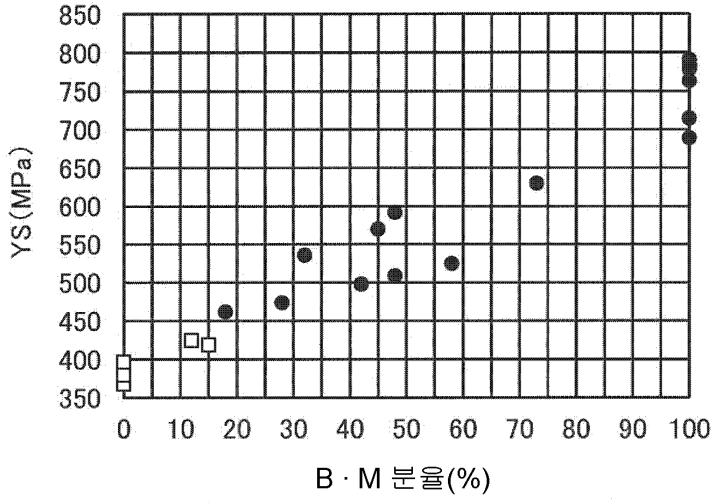
[0106] 또한, 상기 실시예 2~9, 비교예 9, 11, 20~23의 측정 결과에 대하여, 상기 식(1)의 좌변의 값과 토크 저항의 관계를 도 2에 나타낸다. 도 2의 검은 원의 플롯은 실시예의 측정 결과를 나타내고, 사각형의 플롯은 비교예의 측정 결과를 나타내고 있다. 도 2로부터, 상기 식(1)의 좌변의 값이 클수록 토크 저항이 커지는 경향이 있으며, 상기 식(1)의 좌변의 값이 2.35 미만이면 토크 저항이 180N·cm 이하가 되어, 우수한 피삭성이 얻어진다는 것을 알 수 있다.

산업상 이용가능성

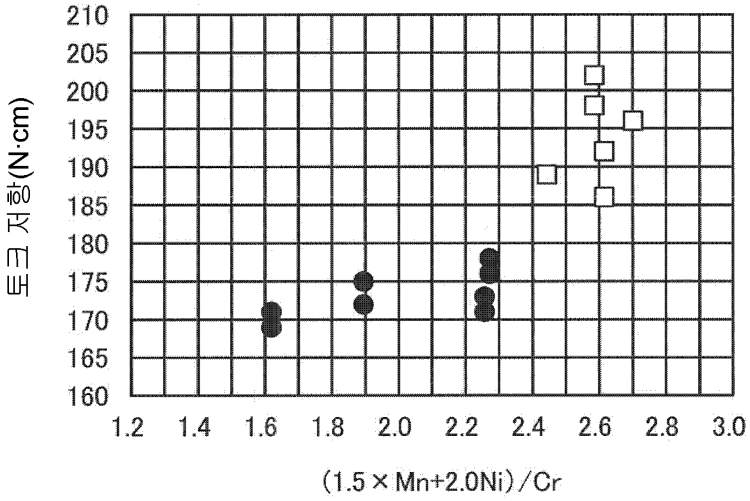
[0107] 이상 설명한 바와 같이, 당해 단강품용 저합금강은 대형 단강품에 요구되는 높은 항복 강도 및 인성을 갖고, 또한 피삭성이 우수하기 때문에, 선박용의 조립형 대형 크랭크축 등에 적합하게 이용된다.

도면

도면1


850
800
750
700
650
600
550
500
450
400
350
YS(MPa)
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
B · M 분율(%)

도면2


210
205
200
195
190
185
180
175
170
165
160
토크 저항(N·cm)
1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 2.2 2.4 2.6 2.8 3.0
(1.5×Mn+2.0Ni)/Cr