

【명세서】

발명의 명칭

심리스 강관 및 그 제조 방법 {SEAMLESS STEEL PIPE AND METHOD FOR PRODUCTION THEREOF}

발명의 상세한 설명

기술 분야

본 발명은, 자동차용 드라이브 샤프트의 경량화에 적합한 중공(中空) 축 소재로서 이용되는 심리스(seamless) 강관에 관한 것이다. 더 상세하게는, 양단을 냉간 스웨이징 가공한 후, 열 처리를 실시하여 제작되는 중공 드라이브 샤프트의 소재로서 적합한, 냉간 가공성, 담금질성, 인성 및 비틀림 피로 강도가 우수한 심리스 강관 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

지구 환경 보호의 관점에서, 자동차 차체의 경량화를 도모하고, 연비를 향상시키는 것이 강하게 요구되고 있다. 이 때문에, 자동차용 부품에 있어서의 중실(中實) 부재를 중공 부재로 치환하는 다양한 시도가 이루어지고 있다. 그 시도 중에서 구동력을 차륜에 전달하는 드라이브 샤프트에 대해서도, 중공 소재의 채용이 검토되고 있다.

자동차용 부품을 중공화하는 목적은, 단순한 경량화 뿐만 아니라, 비틀림 강성의 향상에 의한 가속 응답의 개선이나, 진동 특성의 향상에 의한 주행 중의 실내 정숙성의 개선도 기대할 수 있기 때문에, 이것에 응할 수 있고, 그것에 수반하여, 특수 형상으로 가공된 중공 샤프트의 개발 요청이 높아지고 있다.

예를 들면, 양 축 단부를 등속 조인트에 체결하는 샤프트의 설계에 있어서, 샤프트의 중간부를 가능한 한 얇은 두께로 직경을 크게 하여, 비틀림 강성을 높이는 동시에, 진동 특성의 개선도 행해지고 있다. 또, 한편으로, 등속 조인트에 체결하는 양 축 단부를 종래 이용되어 온 중실 부재의 직경과 동등하게 함으로써, 기존의 등속 조인트를 그대로 사용할 수 있는 메리트가 있다.

중공 드라이브 샤프트의 제조 방법으로서, 중공 소관의 양단부에 중공 또는 중실의 샤프트를 마찰 압접 등으로 체결하여 제조하는 방법이 있다. 그러나, 이 방법으로는 중공부의 직경을 크게 하고 양단부의 직경을 작게 하는 것은 곤란하다. 상술한 이유로부터 중간부를 가능한 한 얇은 두께로 직경을 크게 하고, 양단부의 직경이 작은 형상의 드라이브 샤프트를 성형하기 위해, 강관 재료를 이용하여 냉간 가공을 실시하여, 중간부의 두께를 얇게 한 후, 강관 재료의 양단에 냉간 드로잉 가공 등을 실시하여, 양 축 단부의 외경을 줄이는 동시에 두께를 늘림으로써, 일체 성형형(成形型)의 중공 드라이브 샤프트를 제조하는 것이 검토되고 있다.

그러나, 상기의 일체 성형형의 중공 드라이브 샤프트는, 그 특이한 형상을 확보하기 위해, 복잡한 냉간 가공을 실시하여 성형된다. 이 때문에, 강관 재료로서 용접관을 이용하여 중공 드라이브 샤프트를 제조하면, 성형시에 용접부를 따라 분열이 발생하거나, 성형 후에 피로 시험을 실시하면, 용접부를 따라 피로 균열이 신장한다는 문제가 있다. 이 때문에, 용접관을 중공 드라이브 샤프트의 중공 축 소재로 하는 경우에는, 충분한 신뢰성이 얻어지고 있지 않은 것이 현재 상황이다.

따라서, 냉간 가공에 의한 성형시에 발생하는 분열을 없애고, 성형 후의 비틀림 피로 강도를 확보하기 위해, 일체 성형형의 중공 드라이브 샤프트의 중공 소재로서, 심리스 강관을 채용하는 요청이 강해지고 있다. 이러한 요청에 대응하여, 심리스 강관을 중공 축 소재에 채용한 중공 드라이브 샤프트가 제안되어 있다.

심리스 강관을 중공 축 소재에 이용하여 일체 성형형의 중공 드라이브 샤프트를 제조하는 경우에, 관 단의 드로잉 가공이나 전조(轉造) 가공에 기인하는 분열을 방지하는 것이 중요하다. 또한, 냉간 가공 후의 열 처리에

의해 강관 내면까지 경화시키는 동시에 높은 인성(靱性)을 확보하고, 또 제품으로서 고수명이 얻어지도록 비틀림 피로 강도를 확보하는 것이 요구된다.

바꿔 말하면, 중공 드라이브 샤프트의 중공 축 소재로서 심리스 강관을 이용하는 경우에는, 복잡한 성형이 문제없이 얻어지는 냉간 가공성, 열 처리에 따른 담금질성 및 인성, 및 드라이브 샤프트로서의 비틀림 피로 강도를 만족하는 것이 필수가 된다. 그러나, 종래로부터 제안되어 있는 중공 드라이브 샤프트에 있어서는, 이러한 관점에 의거하여 재질면에서 심리스 강관을 검토한 것은 거의 없다.

예를 들면, 일본 특개평 6-341422호 공보에는, 구동축용 강관에 회전 진동 퍼짐을 저감하기 위한 밸런스 웨이트를 장착한 드라이브 샤프트가 개시되어 있고, 이 구동축용 강관 및 밸런스 웨이트의 탄소 당량($C_{eq}=C+Si/24+Mn/6+Cr/5+Mo/4+Ni/40+V/14$)의 값을 규정함으로써, 밸런스 웨이트를 용접한 부위에서 발생하는 피로 파괴를 개선할 수 있는 것이 개시되어 있다.

그러나, 구동축용 강관과 밸런스 웨이트의 탄소 당량(C_{eq})을 규정하는 것만으로는, 냉간 가공성 및 피로 특성이 모두 우수한 구동축용 강관을 얻을 수 없다. 이 때문에, 일본 특개평 6-341422호 공보에서 개시되는 자동차 추진축을 일체 성형형의 중공 드라이브 샤프트로서 적용하는 것은 곤란하다.

다음에, 일본 특개평 7-18330호 공보에는, 자동차의 차륜을 지지하는 주변 장치에 사용되는 고강도 부재에 적합한 고강도 고인성 강관의 제조 방법이 제안되어 있다. 이 제안의 제조 방법에는 구체적인 성분계가 규정되어 있지만, Ti를 첨가하지 않고, N에 대한 규정도 없기 때문에, B를 첨가했다고 해도, 충분히 담금질성을 확보할 수 있는 성분계로 되어 있지 않다. 또한, 냉간 가공성이나 피로 특성도 고려한 성분 설계로 되어 있지 않기 때문에, 일본 특개평 7-18330호 공보에서 제안된 제조 방법으로는, 일체 성형형의 중공 드라이브 샤프트의 소재로서 적합한 심리스 강관을 얻는 것이 어렵다.

또한, 일본 특개평 7-88537호 공보에는, 소관을 플러그 외경과 다이스 내경으로 규정하는 두께를 얇게 하는 인발 가공에 의해 내경이 다른 강관을 제조하는, 일체 성형형의 중공 드라이브 샤프트의 가공 방법이 개시되어 있다. 그러나, 그 실시예에서 개시되어 있는 강관의 재질은 JIS에 규격되는 S48C 상당의 탄소강이며, 강의 화학 조성을 특정함으로써 냉간 가공성, 담금질성, 및 피로 특성을 개선하는 것을 의도하는 것은 아니다.

또, 일본 특개평 8-73938호 공보에서는, 열간 제관 압연 후에 단면 감소율이 10~70%인 냉간 가공을 실시하고, 그 다음에 어닐링을 행하며, 또한 고주파 담금질 후, 뜨임하는 고강도 고인성 강관의 제조 방법이 개시되어 있다. 일본 특개평 8-73938호 공보의 제조 방법에서는, 적용하는 강재(鋼材)의 구체적인 성분계를 규정하고 있지만, 상기 일본 특개평 7-18330호 공보의 제조 방법과 동일하게, Ti나 B를 첨가했다고 해도, 담금질성을 충분히 확보할 수 있는 성분계가 아니고, 또한 냉간 가공성이나 피로 특성을 고려한 성분 설계로 되어 있지 않기 때문에, 일체 성형형의 중공 드라이브 샤프트에 적합한 소재로 할 수 없다.

한편, 일본 특개 2000-204432호 공보에는, 흑연강을 고주파 담금질하여 표층을 경화시키는 동시에, 심부에 페라이트와 마르텐자이트의 2상 조직을 생성시킨 드라이브 샤프트가 개시되어 있다. 그러나, 일본 특개 2000-204432호 공보가 개시하는 화학 조성은, 마찰 압접형의 중공 드라이브 샤프트용 강재에 적합한 성분계를 나타내고 있고, 흑연화 강을 얻기 위해 장시간의 열 처리가 필요해진다. 또, Cr를 함유하지 않는 성분계이기 때문에, 담금질성 및 피로 강도가 충분하지 않고, 일체 성형형의 드라이브 샤프트용 강재로서 적합한 강관으로 할 수 없다.

그리고, 일본 특개 2001-355047호 공보는, 드라이브 샤프트의 소재로서, 시멘타이트의 입경을 $1\mu\text{m}$ 이하로 한 냉간 가공성 및 고주파 담금질성이 우수한 고탄소 강관을 제안하고 있다. 그러나, 일본 특개 2001-355047호 공보의 고탄소 강관에서는, 목적의 금속 조직을 얻기 위해 온간 가공이 필요해지고, 제조 비용이 상승하는 동시에, 개시된 성분 조성으로는, 냉간 가공성, 담금질성 및 피로 특성을 동시에 만족하는 일체 성형형의 드라이브 샤프트용 강재로 할 수 없다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

전술한 바와 같이, 중공 드라이브 샤프트의 중공 축 소재로서 심리스 강관을 이용하는 경우에는, 관 단의 드로잉 가공이나 전조 가공에 따라 발생하는 분열을 방지하는 동시에, 냉간 성형 가공 후의 열 처리에 의해, 강관 내면까지 경화시키는 동시에 고인성을 확보할 필요가 있다. 또, 중공 드라이브 샤프트로서 고수명을 더 달성하기 위해, 냉간 가공성, 담금질성, 인성 및 비틀림 피로 강도를 동시에 확보하는 것이 필요해진다.

그러나, 종래의 제안에 의한 심리스 강관에서는, 중공 드라이브 샤프트의 중공 축 소재로서, 우수한 냉간 가공성, 담금질성, 인성 및 비틀림 피로 강도 특성을 발휘할 수 있도록 재질면에서 검토를 더해, 화학 조성을 특정하는 시도는 거의 이루어지고 있지 않다.

바꾸어 말하면, 중공 드라이브 샤프트가 요구하는 이러한 특성은, 단독으로 개선하는 것은 그렇게 곤란하지는 않지만, 모든 특성을 동시에 만족시키는 것은, 종래의 지견으로는 곤란하게 되어 있었다. 예를 들면, 높은 피로 강도를 확보하기 위해서는, 강의 강도를 상승시키는 것이 유효하기 때문에, 소재로서 사용하는 강관을 고강도로 하면, 그것에 기인하여 냉간 가공성이 저하하게 된다.

본 발명은, 상술한 문제점을 감안하여 이루어진 것으로, 중공 드라이브 샤프트가 구비해야 할 특성에 의거하여 재질면에서 검토를 더해, 화학 조성을 특정함으로써, 일체 성형형의 중공 드라이브 샤프트의 중공 축 소재로서 적합한, 냉간 가공성, 담금질성, 인성 및 비틀림 피로 강도가 우수한 심리스 강관 및 그 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

과제 해결수단

본 발명자들은, 상기의 과제를 해결하기 위해, 냉간 가공성, 담금질성, 인성 및 비틀림 피로 강도에 미치는 합금 원소의 영향에 대해, 여러 가지의 검토를 거듭하였다. 그 결과, 냉간 가공성에 미치는 Si 및 Cr의 영향이 큰 것이 판명되었다.

도 1은, 냉간 가공성(냉간 단조)에 미치는 Si의 영향을 도시하는 도면이다. 베이스 강으로서 0.35%C-1.3%Mn-0.17%Cr-0.015%Ti-0.001%B강을 이용하여, Si 함유량을 변화시킨 경우의 외경 14mm, 길이 21mm의 압축 시험편에 있어서의 분열이 발생하지 않는 한계 가공도(%)와 경도(HRB)의 관계를 나타내고 있다.

도 2는, 냉간 가공성(냉간 단조)에 미치는 Cr의 영향을 도시하는 도면이다. 베이스 강으로서 0.35%C-0.2%Si-1.3%Mn-0.015%Ti-0.001%B강을 이용하여, Cr 함유량을 변화시킨 경우의 외경 14mm, 길이 21mm의 압축 시험편에 있어서의 분열이 발생하지 않는 한계 가공도(%)와 경도(HRB)의 관계를 나타내고 있다.

도 1에 도시하는 바와 같이, Si 함유량을 저감시킴으로써, 냉간 가공시의 분열 발생 한계 가공도가 크게 향상하는 것이 판명되었다. 또, 도 2에 도시하는 바와 같이, Cr 함유량을 증가함으로써 냉간 가공성이 약간 개선되는 것을 알 수 있었다. 이것에 대해, 다른 원소는 냉간 가공성을 약간 저하시키거나, 거의 영향을 나타내지 않았다.

그러나, 냉간 가공성을 향상시키기 위해 Si 함유량을 저감하면, 담금질성이 저하하게 되어, 강관의 열 처리 후에 내면의 강도를 확보할 수 없어진다. 이 때문에, Si 함유량의 저감에 의한 냉간 가공성의 향상에 더불어, 담금질성의 향상을 검토할 필요가 있다.

도 3은, 담금질성에 미치는 B 및 Cr의 영향을 도시하는 도면이다. 베이스 강은 0.35%C-0.05%Si-1.3%Mn-0.015%Ti-0.004%N강으로 하고, B-Cr 함유량을 변화시킨 시험편을 준비하여, 조미니 일단 담금질 시험을 행하였다. 도면 중에 수냉단으로부터의 거리와 경도 분포의 일례가 도시되어 있지만, 경도 저하의 기울기가 급격하게 커지는 지점의 수냉단으로부터의 거리를 담금질 깊이로 하였다. 도 3에 도시하는 바와 같이, B 또는/및 Cr의 함유량을 증가시킴으로써, 담금질성을 향상시킬 수 있다.

도 4는, 담금질성에 미치는 B, N 및 Ti의 영향을 도시하는 도면이다. 베이스 강은 (0.35~0.40)%C-(0.05~

0.3%Si-(1.0~1.5)%Mn-(0.1~0.5)%Cr강으로 하고, B, N 및 Ti의 함유량을 변화시켜, 상기 도 3과 동일하게, 조미니 일단 담금질 시험을 행하여, 담금질 깊이를 측정하였다.

이 때, 시험편의 담금질 깊이에 미치는 B, N 및 Ti의 함유 밸런스에 의한 영향을 조사하기 위해, 하기 (a) 또는 (b) 식으로 규정하는 B_{eff} 를 이용하였다.

$N_{eff} = N - 14 \times Ti / 47.9 \geq 0$ 인 경우에

$$B_{eff} = B - 10.8 \times (N - 14 \times Ti / 47.9) / 14 \quad \dots(a)$$

$N_{eff} = N - 14 \times Ti / 47.9 < 0$ 인 경우에

$$B_{eff} = B \quad \dots(b)$$

도 4에 도시하는 담금질 깊이와 B_{eff} 의 관계로부터, 강의 담금질성의 확보에는 B, Ti 및 N의 함유 밸런스가 중요한 요건이 되고, $B_{eff} \geq 0.0001$ 의 조건을 만족하지 않으면 충분한 담금질성이 얻어지는 않는 것을 알 수 있다.

도 5는, 피로 강도 및 내구비에 미치는 Cr의 영향을 도시하는 도면이다. 베이스 강으로서 0.35%C-0.2%Si-1.3%Mn-0.015%Ti-0.001%B강을 이용하고, Cr 함유량을 변화시켜, 오노식 회전 굽힘 시험에 의해 피로 한도 및 내구비를 측정하였다. 단, 내구비는 (피로 한도/인장 강도)로 나타내었다.

도 5에 도시하는 바와 같이, Cr의 함유를 증가시키면, 피로 강도의 상승에 따라 내구비가 거의 동등하게 상승하고 있기 때문에, 인장 강도를 높이지 않고 피로 강도를 상승시킬 수 있다. 이 때문에, Cr 함유량을 증가하여 피로 강도를 상승시키는 것은, 냉간 가공성이나 인성에는 악영향을 미치는 것이 적은 것을 알 수 있다.

종래로부터 피로 강도를 상승시키기 위해서는, 인장 강도를 상승시킬 필요가 있는 것이 알려져 있고, 피로 강도를 상승시키기 위해 C 함유량을 증가시키는 것이 행해지고 있었지만, C 함유량의 증가에 의해 냉간 가공성이나 인성이 저하하는 문제가 있었다. 그러나, 상기 도 5에 나타내는 지견으로부터, Cr 함유량을 증가하여 피로 강도를 상승시킴으로써, C 함유량을 증가시키지 않고 냉간 가공성이나 인성의 저하를 억제하면서, 피로 강도의 확보가 도모되게 된다.

또한, 냉간 가공시의 분열 및 드라이브 샤프트 성형 후의 비틀림 피로 강도에 대해서, S 함유량이 큰 영향을 미치는 것을 명확하게 하였다. 특히, 심리스 강관을 사용하여 냉간 가공을 실시하면, 결정립이 팬케이크 형상으로 변형되지만, 팬케이크가 층형상으로 겹쳐 쌓이는 면과, 전조 가공에 의한 분열 방향, 또는 비틀림 피로 시험에 의한 피로 균열 신장 방향이 일치한다. 또한 신장한 MnS가 기점이 되어, 전조 가공에 의한 분열이나 비틀림 피로에 의한 균열의 발생, 신장이 용이해진다. 이 때문에, 드라이브 샤프트에 이용되는 중공 축 소재로서는, MnS를 충분히 저감한 심리스 강관이 필요하다는 것이 판명되었다.

도 6은, 편평 굽힘 시험에 있어서 분열이 발생하는 한계 높이 방향 압하도(%)에 미치는 S 함유량의 영향을 도시하는 도면이다. 공시재는 여러 가지의 S 함유량으로 이루어지는 외경 31mm의 심리스 강관을 이용하여, 냉간 추신에 의해 외경 27.5mm로 더 가공하고, 내외면을 연삭하여 외경 25mm, 두께 5.7mm의 강관을 제작하였다. 또한 외경 18.2mm로 스웨이 가공하고, 내외면을 연삭하여 외경 17.5mm, 두께 4.8mm의 시험편을 3개 준비하였다. 이러한 시험편을 편평 시험하여, 분열이 발생한 높이 방향 압하도를 한계 높이 방향 압하도(%)로 하였다. 또한, 밀착할 때까지, 분열이 발생하지 않은 경우의 한계 높이 방향 압하도를 100%로 하였다.

도 6에 도시하는 바와 같이, S 함유량이 0.005% 이하가 되면, 각 3회의 시험 모두가 분열을 발생하지 않고 밀착할 때까지 가공할 수 있어, 한계 높이 방향 압하도가 크게 개선되어, 지나치게 가혹한 스웨이 가공이나 전조 가공에 견딜 수 있는 것을 알 수 있다.

도 7은, 열 처리 후의 강관의 비틀림 피로 강도에 미치는 S 함유량의 영향을 도시하는 도면이다. 고주파 가열

에 의해 담금질 후, 150℃로 뜨임하는 열 처리를 행한 심리스 강관을 사용하였다. 시험편 사이즈는 외경 20mm, 두께 5mm의 것을 이용하여, 부가 토크를 변화시켜, 1000000회까지 피로 파괴하지 않는 최고 토크 (N·m)를 플랫폼하였다.

도 7에 도시하는 바와 같이, 편평 굽힘 시험의 경우와 동일하게, S 함유량이 0.005% 이하가 되면, 최고 토크 (N·m)가 현저하게 개선되어, 드라이브 샤프트로서 양호한 비틀림 피로 강도를 갖고 있는 것을 알 수 있다.

상기 도 1~도 7에 도시되는 기술 지견에 의거하여 심리스 강관의 화학 조성을 특정함으로써, 우수한 냉간 가공성, 담금질성, 인성 및 비틀림 피로 강도를 확보할 수 있고, 일체 성형형의 중공 드라이브 샤프트의 중공 축 소재로서 적합한 심리스 강관을 얻을 수 있다.

그러나, 대상이 되는 드라이브 샤프트의 형상에 의해 가공이 더 지나치게 가혹해져, 일체 성형의 가공이나 스프라인의 전조 가공시에 분열이 발생하는 경우가 있다. 이 때문에, 보다 한층의 냉간 가공성이 요구되는 경우가 있다. 이러한 요구에 대응하기 위해, 심리스 강관의 제조 방법으로서, 다음의 프로세스를 채용함으로써, 양호한 냉간 가공성을 더 얻을 수 있다.

구체적으로는, 심리스 강관으로서 열간 제관된 후, 치수 정밀도를 조정하기 위해 냉간 추신 등의 냉간 가공을 단면 감소율 5% 이상으로 실시한다. 그러나, 냉간 가공인 채로는 드라이브 샤프트로서 충분한 냉간 가공성을 확보할 수 없는 경우는, 열 처리를 실시하여 냉간 가공성을 개선할 수 있다.

상기 열 처리로서, 치수 정밀도 개선을 위해 냉간 추신 등의 냉간 가공 후, 어닐링 또는 불림을 실시할 수 있다. 또는, 다른 열 처리로서, 냉간 가공 전 혹은 냉간 가공 후에 구상화 어닐링을 실시할 수 있다. 이러한 열 처리를 실시함으로써, 냉간 가공성을 대폭으로 개선하여, 지나치게 가혹한 성형 가공에 대응할 수 있는 심리스 강관을 얻을 수 있고, 높은 비틀림 강성이나, 고도의 실내 정숙성을 확보할 수 있는 드라이브 샤프트로의 가공이 용이해진다.

본 발명은, 상기의 지견에 의거하여 완성된 것으로, 하기 (1)~(4)의 심리스 강관 및 (5)의 심리스 강관의 제조 방법을 요지로 하고 있다.

(1) 질량%로, C : 0.30~0.50%, Si : 0.5% 이하, Mn : 0.3~2.0%, P : 0.025% 이하, S : 0.005% 이하, Cr : 0.15~1.0%, Al : 0.001~0.05%, Ti : 0.005~0.05%, N : 0.02% 이하, B : 0.0005~0.01% 및 O(산소) : 0.0050% 이하를 포함하고, 잔부가 Fe 및 불순물이며, 하기 (a) 또는 (b) 식에서 규정하는 B_{eff} 가 0.0001 이상인 것을 특징으로 하는 심리스 강관이다.

단, Ti, N 및 B를 함유량 %로 하고, $N_{eff} = N - 14 \times Ti / 47.9 \geq 0$ 인 경우에, $B_{eff} = B - 10.8 \times (N - 14 \times Ti / 47.9) / 14$... (a)

동일하게, $N_{eff} = N - 14 \times Ti / 47.9 < 0$ 인 경우에, $B_{eff} = B$... (b)

(2) 상기 (1)의 심리스 강관에서는, 또한, 질량%로, Cu : 0.05~1%, Ni : 0.05~1% 및 Mo : 0.05~1% 중에서 1종 또는 2종 이상을 함유해도 된다.

(3) 상기 (1) 및 (2)의 심리스 강관에서는, 또한, 질량%로, V : 0.005~0.1%, Nb : 0.005~0.1% 및 Zr : 0.005~0.1% 중에서 1종 또는 2종 이상을 함유해도 된다.

(4) 상기 (1)~(3)의 심리스 강관에서는, 또한, 질량%로, Ca : 0.0005~0.01%, Mg : 0.0005~0.01% 및 희토류 원소(REM) : 0.0005~0.01% 중에서 1종 또는 2종 이상을 함유해도 된다.

(5) 상기 (1)~(4) 중 어느 하나에 기재된 화학 조성을 갖는 소재를 이용하여 제관된 강관에, 단면 감소율 5% 이상의 냉간 가공을 실시하여 심리스 강관을 제조하는 방법으로서, 상기 냉간 가공의 후에 어닐링 혹은 불림을 실시하거나, 또는 상기 냉간 가공의 전 혹은 후에 구형상 어닐링을 실시하는 것을 특징으로 하는 심리스 강

관의 제조 방법이다.

효 과

본 발명의 심리스 강관에 의하면, 우수한 냉간 가공성, 담금질성, 인성 및 비틀림 피로 강도를 동시에 구비할 수 있기 때문에, 중공 드라이브 샤프트의 중공 축 소재로서 관 단의 드로잉 가공이나 전조 가공에 따라 발생하는 분열을 방지하는 동시에, 냉간 성형 가공에 따른 열 처리에 의해, 강관 내면까지 경화시키는 동시에 고인성을 확보하여, 드라이브 샤프트로서 고수명을 더 달성할 수 있다.

따라서, 본 발명의 심리스 강관은, 일체 성형형의 중공 드라이브 샤프트용의 중공 축 소재로서 최적이고, 자동차 부품용으로서 널리 채용할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

본 발명이 대상으로 하는 심리스 강관을 상기와 같이 규정한 이유에 대해, 화학 조성 및 제조 방법으로 구분하여 상세하게 설명한다. 이하의 설명에 있어서, 화학 조성은 「질량%」로 나타낸다.

1. 화학 조성

C : 0.30~0.50%

C는, 강도를 증가하여 피로 강도를 향상시키는 원소이지만, 냉간 가공성 및 인성을 저하시키는 원소이다. C 함유량이 0.30%미만이면, 충분한 피로 수명이 얻어지지 않는다. 한편, C 함유량이 0.50%를 넘으면, 냉간 가공성 및 인성이 현저하게 저하하기 때문에, C 함유량은 0.30~0.50%로 하였다.

또, 양호한 밸런스로 피로 강도 및 냉간 가공성 및 인성을 확보하기 위해서는, C 함유량을 0.33~0.47%로 하는 것이 바람직하고, 또한 그 함유량을 0.37~0.42%로 하는 것이 보다 바람직하다.

Si : 0.5% 이하

Si는, 탈산제로서 필요한 원소이다. 그러나, 그 함유량이 0.5%를 넘으면 냉간 가공성을 확보할 수 없기 때문에, 0.5% 이하로 하였다. 상기 도 1에 도시하는 바와 같이, Si 함유량은 적어지면 질수록, 냉간 가공성이 향상한다. 또, 드라이브 샤프트는 형상에 따라 요구되는 냉간 가공성이 변화하여, 지나치게 가혹한 냉간 가공이 행해지는 경우가 있다.

따라서, 보다 지나치게 가혹한 냉간 가공에도 대응할 수 있도록, Si 함유량은 0.3% 이하로 하는 것이 바람직하고, 더 바람직하게는 0.22% 이하이며, 가장 바람직하게는 0.15% 이하, 또한 0.1% 이하로 가능한 한 저감시키는 것이다.

Mn : 0.3~2.0%

Mn은, 성형 후의 열 처리시의 담금질성을 확보하는 데에 유효한 원소이다. 그 효과를 발휘하여 내면까지 충분히 경화시키기 위해서는, Mn 함유량은 0.3% 이상이 필요하다. 한편, Mn을 2.0%를 넘어 함유시키면, 냉간 가공성이 저하한다. 이 때문에, Mn 함유량은 0.3~2.0%로 하였다. 또, 양호한 밸런스로 담금질성 및 냉간 가공성을 확보하기 위해서는, Mn 함유량은 1.1~1.7%로 하는 것이 바람직하고, 또한 1.2~1.4%로 하는 것이 보다 바람직하다.

P : 0.025% 이하

P는, 강 중에 불순물로서 포함되고, 응고시에 최종 응고 위치 근방에 농화(濃化)하며, 또한 입계에 편석하여 열간 가공성, 인성 및 피로 강도를 저하시킨다. 그 때문에, 그 함유는 가급적 저감시키는 것이 바람직하지만,

0.025%까지는 특별히 문제없이 허용할 수 있기 때문에, P 함유량은 0.025% 이하로 하였다. 또한, 강의 인성 및 피로 강도를 높은 수준으로 유지하기 위해서는, P 함유량을 0.019% 이하로 하는 것이 바람직하고, 또한 0.009% 이하로 하는 것이 보다 바람직하다.

S : 0.005% 이하

S는, 강 중에 불순물로서 포함되고, 응고시에 입계에 편석하여, 열간 가공성 및 인성을 저하시키는 동시에, 상기도 6 및 도 7에 도시하는 바와 같이, 심리스 강관을 중공 축 소재로서 채용할 때, 특히 냉간 가공성 및 비틀림 피로 강도를 저하시킨다. 이 때문에, 드라이브 샤프트의 중공 축 소재에 이용되는 심리스 강관으로서 필요한 냉간 가공성 및 열처리 후의 비틀림 피로 강도를 확보하기 위해서는, S 함유량은 0.005% 이하로 할 필요가 있다.

드라이브 샤프트용 소재로서 냉간 가공성 및 비틀림 피로 강도의 확보가 한층 필요해지는 경우는, 또한 S 함유량을 저감하는 것이 바람직하여 0.003% 이하로 하고, 더 바람직하게는 0.002% 이하로 하며, 가장 바람직하게는 0.001% 이하로 한다.

Cr : 0.15~1.0%

Cr는, 상기도 2 및 도 5에 도시하는 바와 같이, 냉간 가공성을 그다지 저하시키지 않고 피로 강도를 높이는 원소이며, 또한 상기도 3에 도시하는 바와 같이, B와 동일하게 담금질성의 향상에도 유효한 원소이다. 따라서, Cr 함유량은, 소정의 피로 강도를 확보하기 위해, 0.15% 이상으로 한다. 한편, Cr는 1.0%를 넘어 함유하면, 냉간 가공성의 저하가 현저해진다. 이 때문에, Cr 함유량은 0.15~1.0%로 하였다.

또한, 양호한 밸런스로 피로 강도, 냉간 가공성 및 담금질성을 확보하기 위해서는, Cr 함유량을 0.2~0.8%로 하는 것이 바람직하고, 0.3~0.6%로 하는 것이 보다 바람직하다. 0.4~0.6%로 하면 더 바람직하다.

Al : 0.001~0.05%

Al은, 탈산제로서 작용하는 원소이다. 탈산제로서의 효과를 얻기 위해서는, 0.001% 이상의 함유가 필요하지만, 그 함유량이 0.05%를 넘으면, 알루미늄계 개재물이 증가하여, 피로 강도가 저하하는 동시에 표면 결함이 다발할 우려가 있다. 이 때문에, Al 함유량을 0.001~0.05%로 하였다. 또한, 안정된 표면 품질을 확보하기 위해서는, Al 함유량을 0.001~0.03%로 하는 것이 바람직하고, 또한 0.001~0.015%로 하면, 표면의 성질과 상태가 양호해지기 때문에 보다 바람직하다.

하기의 Ti, N 및 B는, 강의 담금질성을 확보하기 위해, 각각의 원소 함유량을 규정하는 동시에, 또한 서로의 함유량 밸런스를 규정하는 조건식을 만족할 필요가 있다.

Ti : 0.005~0.05%

Ti은, 강 중의 N를 TiN으로서 고정하는 작용을 갖고 있다. 그러나, Ti 함유량이 0.005% 미만에서는, N를 고정하는 능력이 충분히 발휘되지 않고, 한편, 0.05%를 넘으면, 강의 냉간 가공성 및 인성이 저하한다. 이 때문에, Ti 함유량은 0.005~0.05%로 한다.

N : 0.01% 이하

N는, 인성을 저하시키는 원소이며, 강 중에서 B와 결합하기 쉽다. N 함유량이 0.02%를 넘으면, 냉간 가공성 및 인성이 현저하게 저하하기 때문에, 그 함유량을 0.02% 이하로 하였다. 냉간 가공성 및 인성을 향상시키는 관점에서는, 0.01% 이하가 바람직하고, 0.007% 이하가 보다 바람직하다.

B : 0.0005~0.01%

B는, 담금질성을 향상시키는 원소이다. 그 함유량이 0.0005% 미만에서는, 담금질성이 부족하고, 한편, 0.01%를 넘어 함유하면, 냉간 가공성 및 인성이 저하한다. 그 때문에, B 함유량을 0.0005~0.01%로 하였다.

또한, 상기 도 4에 도시하는 바와 같이, B가 담금질성을 향상시키는 전제로 하여, 하기 (a) 또는 (b)식에서 규정하는 B_{eff} 가 0.0001 이상을 만족할 필요가 있다.

즉, $N_{eff} = N - 14 \times Ti / 47.9 \geq 0$ 인 경우에,

$$B_{eff} = B - 10.8 \times (N - 14 \times Ti / 47.9) \geq 0 \quad \dots (a)$$

동일하게, $N_{eff} = N - 14 \times Ti / 47.9 < 0$ 인 경우에,

$$B_{eff} = B \quad \dots (b)$$

B가 담금질성을 향상시키는 능력을 발휘하기 위해서는, 강 중의 N의 영향을 없앨 필요가 있다. B는 N와 결합하기 쉽고, 강 중에 프리인 N가 존재하면, N와 결합하여 BN이 생성되어, B가 구비하는 담금질성을 향상시키는 작용이 발휘되지 않는다. 이 때문에, N 함유량에 따라 Ti를 첨가하여, TiN으로서 고정함으로써, B를 강 중에 존재시켜 담금질성에 유효하게 작용시키기 위해, 상기 B_{eff} 가 0.0001 이상을 만족할 필요가 있다.

또, B_{eff} 의 값은 커지면 질수록, 담금질성이 향상하기 때문에, B_{eff} 가 0.0005 이상을 만족하는 것이 바람직하고, 또한 B_{eff} 가 0.001 이상을 만족하는 것이 보다 바람직하다.

O(산소) : 0.0050% 이하

O는, 인성 및 피로 강도를 저하시키는 불순물이다. O 함유량이 0.0050%를 넘으면, 인성 및 피로 강도가 현저하게 저하하기 때문에, 0.0050% 이하라고 규정하였다.

이하의 원소는 반드시 첨가하지 않아도 되지만, 필요에 따라, 1종 또는 2종 이상을 함유함으로써, 냉간 가공성, 담금질성, 인성 및 비틀림 피로 강도를 한층 향상시킬 수 있다.

Cu : 0.05~1%, Ni : 0.05~1% 및 Mo : 0.05~1%

Cu, Ni 및 Mo는, 모두 담금질성을 향상시키고 강의 강도를 높여, 피로 강도의 향상에 유효한 원소이다. 이러한 효과를 얻고 싶은 경우에는, 어느 하나를 1종 또는 2종 이상을 함유시킬 수 있다. 그 효과는, Cu, Ni 및 Mo의 어느 원소나, 함유량이 0.05% 이상으로 현저해진다. 그러나, 그 함유량이 1%를 넘으면, 냉간 가공성이 현저하게 저하한다. 이 때문에, 함유시키는 경우에는, Ni, Mo 및 Cu의 함유량은, 모두 0.05~1%로 하였다.

V : 0.005~0.1%, Nb : 0.005~0.1% 및 Zr : 0.005~0.1%

V, Nb 및 Zr은, 모두 탄화물을 형성하고, 열 처리의 가열시에서의 결정립이 거칠어지고 커지는 것을 억제하여, 인성을 향상시키는 데에 유효한 원소이다. 따라서, 강의 인성을 향상시키는 경우에, 어느 1종 또는 2종 이상을 함유시킬 수 있다. 그 효과는, V, Nb 및 Zr의 어느 원소나, 함유량이 0.005% 이상으로 얻어진다. 그러나, 모두 0.1%를 넘는 함유가 되면, 거칠고 큰 석출물이 생성되어, 오히려 인성을 저하시킨다. 이 때문에, 함유시키는 경우에는, V, Nb 및 Zr의 함유량은, 모두 0.005~0.1%로 하였다.

Ca : 0.0005~0.01%, Mg : 0.0005~0.01% 및 희토류 원소(REM) : 0.0005~0.01%

Ca, Mg 및 REM는, 냉간 가공성 및 비틀림 피로 강도의 향상에 기여하는 원소이다. 이러한 효과를 얻고 싶은 경우에는, 모두 1종 또는 2종 이상을 함유시킬 수 있다. Ca, Mg 및 REM의 어느 원소나, 0.0005% 이상의 함유로 현저한 효과가 얻어진다. 그러나, 모두 0.01%를 넘는 함유가 되면, 거칠고 큰 개재물이 생성되어, 오히려 피로 강도를 저하시킨다. 이 때문에, 함유시키는 경우에는, Ca, Mg 및 REM의 함유량은, 모두 0.0005~

0.01%로 하였다.

2. 제조 방법

본 발명에서는, 본 발명이 규정하는 화학 조성을 함유하는 강을 소재로 하여, 냉간 가공성, 담금질성, 인성 및 비틀림 피로 강도가 우수한 심리스 강관을 얻기 위해, 다음의 제조 방법을 채용할 수 있다.

즉, 본 발명의 심리스 강관은, 상기한 화학 조성의 강을 전로(轉爐)로 정련하거나, 전기로 또는 진공 용해로로 용제하여, 연속 주조법 또는 조괴법으로 응고시켜, 주조재를 그대로, 또는 주조재 혹은 조괴재를 분괴(分塊)하여 제관 소재(빌렛)로 하여, 통상의 이음매가 없는 강관의 제조 프로세스를 거쳐 강관으로 한 후, 방냉함으로써 제조할 수 있다.

일반적으로, 이음매가 없는 강관의 제조 프로세스를 거쳐 얻어진 심리스 강관은, 그대로 중공 드라이브 샤프트의 중공 축 소재로서 적용할 수도 있다. 그러나, 본 발명의 심리스 강관의 제조 방법에서는, 얻어진 강관에 단면 감소율이 5% 이상인 냉간 가공을 실시하여 치수 정밀도를 높인 후, 500~1100℃로 가열하여 방냉하는 어닐링 혹은 불림을 실시하거나, 상기 냉간 가공 전 혹은 냉간 가공 후에 구형상화 어닐링을 실시하는 것이다. 이러한 열 처리에 의해 심리스 강관의 냉간 가공성이 향상하여, 중공 드라이브 샤프트의 중공 축 소재로서, 적합한 특성을 확보할 수 있다.

본 발명의 심리스 강관의 제조 방법에서는, 단면 감소율이 5% 이상인 냉간 가공을 실시함으로써, 표면의 성질과 상태가 양호한 강관이 얻어져, 피로 파괴의 기점을 감소할 수 있고, 피로 강도의 향상을 도모할 수 있다.

또한, 냉간 가공 후의 어닐링 또는 불림의 가열 온도는, 500~1100℃로 한다. 가열 온도가 500℃ 미만에서는, 냉간 가공시의 왜곡이 잔존하여 냉간 가공성이 저하한다. 한편, 가열 온도가 1100℃를 넘으면, 결정립이 거칠어지고 커지며, 인성이 저하한다.

구상화 어닐링의 조건은 특별히 지정하지 않지만, 예를 들면, 720~850℃의 온도 범위로 가열하여, 650~670℃의 사이의 온도까지를 50℃/시간 이하의 냉각 속도로 서냉하는 처리를, 1회 또는 2회 이상 반복하는 열 처리를 실시할 수 있다. 냉각 속도는 늦으면 늦을수록, 탄화물의 구상화가 진행되기 때문에, 바람직하게는 40℃/시간 이하, 보다 바람직하게는 30℃/시간 이하이다. 구상화 어닐링에 의해, 펄라이트 조직의 시멘타이트가 분단되어 시멘타이트가 구상화되기 때문에, 냉간 가공성을 더 향상할 수 있다.

(실시예)

본 발명의 심리스 강관이 중공 드라이브 샤프트의 중공 축 소재로서 발휘하는 효과를, 구체적인 실시예에 의거하여 설명한다.

(실시예 1)

진공 용해하여, 표 1 및 표 2에 나타내는 화학 조성의 강 No.1~No.32의 강(발명예는 강 No.1~No.21, 비교예는 강 No.22~No.32)을 용제하여, 이것들을 소재(빌렛)로 하여 외경 50.8mm, 두께 7.9mm의 강관으로 제관 압연하였다.

[표 1]

강 No	화학 조성 (질량%, 잔부: Fe 및 불순물)																	규정식	
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ti	N	B	O	Cu, Mo, Ni	V, Nb, Zr	Ca, Mg, REM	Neff	Beff			
1	0.33	0.07	1.62	0.017	0.0019	0.49	0.022	0.019	0.0011	0.0008	0.0020				-0.0034	0.0008			
2	0.36	0.07	1.66	0.004	0.0002	0.52	0.019	0.016	0.0051	0.0010	0.0010				0.0003	0.0007			
3	0.37	0.06	1.71	0.011	0.0008	0.49	0.022	0.015	0.0045	0.0007	0.0008				0.0001	0.0006			
4	0.38	0.04	1.36	0.002	0.0012	0.31	0.020	0.017	0.0034	0.0007	0.0008				-0.0012	0.0007			
5	0.33	0.07	1.32	0.004	0.0009	0.59	0.013	0.023	0.0057	0.0007	0.0020				-0.0008	0.0007			
6	0.36	0.31	1.65	0.002	0.0040	0.41	0.023	0.025	0.0021	0.0009	0.0015				-0.0040	0.0009			
7	0.34	0.03	1.69	0.006	0.0025	0.25	0.012	0.024	0.0068	0.0006	0.0010	Cr: 0.15			-0.0002	0.0006			
8	0.34	0.07	1.25	0.009	0.0009	0.26	0.021	0.017	0.0055	0.0007	0.0020	Mo: 0.1 Ni: 0.3			0.0004	0.0003			
9	0.37	0.07	1.31	0.016	0.0026	0.59	0.010	0.017	0.002	0.0007	0.0014	V: 0.1 Nb: 0.025 Zr: 0.022			-0.0023	0.0007			
10	0.36	0.06	1.66	0.003	0.0025	0.21	0.027	0.018	0.0058	0.0007	0.0009				0.0004	0.0003			
11	0.35	0.05	1.39	0.004	0.0013	0.35	0.010	0.021	0.0066	0.0011	0.0008			Ca: 0.0011	0.0004	0.0007			
12	0.35	0.03	1.29	0.012	0.0023	0.57	0.021	0.019	0.0063	0.0008	0.0019			Mg: 0.0010 REM: 0.0015	0.0006	0.0003			
13	0.37	0.07	1.48	0.011	0.0009	0.32	0.020	0.020	0.0066	0.0008	0.0021	Cu: 0.2 Ni: 0.2			0.0006	0.0002			
14	0.36	0.06	1.60	0.004	0.0016	0.27	0.030	0.022	0.001	0.0012	0.0020	Mo: 0.1			-0.0042	0.0012			
15	0.33	0.07	1.71	0.008	0.0008	0.23	0.030	0.021	0.0042	0.0012	0.0016			Ca: 0.0005	-0.0015	0.0012			
16	0.37	0.05	1.31	0.004	0.0010	0.44	0.023	0.017	0.0044	0.0007	0.0022			REM: 0.0013 V: 0.15	-0.0004	0.0007			
17	0.36	0.06	1.71	0.011	0.0007	0.35	0.023	0.022	0.007	0.0011	0.0015	Cu: 0.18			0.0004	0.0007			
18	0.34	0.06	1.61	0.010	0.0014	0.35	0.024	0.020	0.0061	0.0006	0.0017	Ni: 0.15			0.0002	0.0004			
19	0.33	0.07	1.39	0.015	0.0015	0.48	0.022	0.021	0.0045	0.0008	0.0013	Ni: 0.34			-0.0013	0.0008			
20	0.33	0.05	1.46	0.010	0.0026	0.52	0.023	0.022	0.007	0.0009	0.0013	Mo: 0.09 Ni: 0.22 Zr: 0.031			0.0004	0.0005			
21	0.36	0.06	1.61	0.015	0.0005	0.21	0.015	0.019	0.0038	0.0012	0.0018	Cu: 0.1 Mo: 0.08			-0.0014	0.0012			

강	화학 조성 (질량%, 잔부: Fe 및 불순물)																	규정식	
	No	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ti	N	B	O	Cu, Mo, Ni	V, Nb, Zr	Ca, Mg, REM	Neff	Beff		
22	*0.27	0.06	0.06	1.66	0.016	0.0013	0.35	0.021	0.018	0.0055	0.0006	0.0015	Ni: 0.15			0.0002	0.0005		
23	*0.51	0.07	1.71	0.008	0.0014	0.35	0.020	0.023	0.0063	0.0007	0.0019					-0.0003	0.0007		
24	0.34	*0.55	1.55	0.020	0.0013	0.27	0.022	0.023	0.0066	0.0005	0.0022	Ni: 0.11				-0.0001	0.0005		
25	0.34	0.04	*0.28	0.002	0.0010	0.36	0.013	0.018	0.0058	0.0011	0.0018			Ca: 0.0007		0.0004	0.0007		
26	0.34	0.07	*2.53	0.010	0.0014	0.53	0.028	0.020	0.0068	0.0010	0.0009		V: 0.09			0.0007	0.0002		
27	0.35	0.07	1.64	0.017	*0.0071	0.21	0.030	0.016	0.0033	0.0011	0.0010					-0.0011	0.0010		
28	0.34	0.05	1.45	0.003	0.0029	*0.05	0.017	0.015	0.0049	0.0011	0.0021	Mo: 0.06		Ca: 0.0014		0.0004	0.0007		
29	0.34	0.04	1.71	0.010	0.0028	*1.21	0.024	0.024	0.0051	0.0005	0.0015			REM: 0.0007		-0.0015	0.0005		
30	0.33	0.04	1.54	0.016	0.0022	0.53	0.015	*0.001	0.0056	0.0010	0.0021			Mg: 0.0009		0.0041	-0.0031		
31	0.33	0.06	1.32	0.001	0.0022	0.25	0.012	0.025	*0.0218	0.0012	0.0010	Ni: 0.13		Ca: 0.0013		0.0112	-0.0100		
32	0.35	0.05	1.54	0.015	0.0005	0.21	0.016	0.023	0.0047	*	0.0015					-0.0016	-		

주) 표 중에서 * 를 붙인 것은, 본 발명에서 규정하는 조건을 벗어난 것을 나타낸다.

언어진 강관을 이용하여, 외경 40mm, 두께 7mm로 냉간 추신을 실시하고, 또한 외경 28mm, 두께 9mm로 스웨이지 가공을 실시하였다. 냉간 가공시에 발생하는 분열의 유무를 관찰하여, 표 3에 분열이 발생하지 않은 경우를 O로 나타내고, 분열이 발생한 경우를 ×로 나타내었다.

또, 냉간 전조 가공에 의한 스플라인 가공을 모의하여, 40%의 편평 프레스 가공을 실시하여, 분열의 유무를 관찰하였다. 표 3에 분열이 발생하지 않은 경우를 O로 나타내고, 분열이 발생한 경우를 ×로 나타내었다.

그 후, 스웨이지 가공된 외경 28mm, 두께 9mm의 소재에 고주파 가열 담금질을 실시하여, 담금질성을 조사하였다. 이 경우에, 외표면의 비커스 경도와 내표면의 비커스 경도를 측정하여, 그 차이가 50 이하인 경우에는, 담금질성을 O로 나타내고, 그 차이가 50을 넘는 경우에는, 담금질성은 충분하지 않은 것으로 하여 ×로 나타내었다.

다음에, 고주파 가열 담금질한 공시 강관에 150℃로 1시간의 뜨임을 행하여, JIS Z 2202 및 JIS Z 2242에 준거한 샤르피 파단 에너지값을 조사하였다. 하프 사이즈의 시험편(시험편 폭 5mm, 2mm의 U 노치 시험편)을 사용해 20℃ 시험에서의 샤르피 파단 에너지값(J)을 조사하여, 2개의 데이터의 평균값이 10J 이상인 경우를 O, 10J 미만의 경우를 ×로 나타내었다.

또, 피로 수명의 평가시에는, 부하 토크를 변화시켜 비틀림 피로 시험을 실시하여, 1000000회까지 피로 파괴를 일으키지 않는 최대 토크로 평가하여 2500N·m을 넘는 데이터를 O, 2500N·m 미만을 ×로 기재하였다.

[표 3]

강 No.	냉간 가공시의 분열	전조시의 분열	피로 수명	담금질성	인성	비고
1	○	○	○	○	○	발명예
2	○	○	○	○	○	발명예
3	○	○	○	○	○	발명예
4	○	○	○	○	○	발명예
5	○	○	○	○	○	발명예
6	○	○	○	○	○	발명예
7	○	○	○	○	○	발명예
8	○	○	○	○	○	발명예
9	○	○	○	○	○	발명예
10	○	○	○	○	○	발명예
11	○	○	○	○	○	발명예
12	○	○	○	○	○	발명예
13	○	○	○	○	○	발명예
14	○	○	○	○	○	발명예
15	○	○	○	○	○	발명예
16	○	○	○	○	○	발명예
17	○	○	○	○	○	발명예
18	○	○	○	○	○	발명예
19	○	○	○	○	○	발명예
20	○	○	○	○	○	발명예
21	○	○	○	○	○	발명예
22	○	○	x	x	○	비교예
23	x	x	○	○	x	비교예
24	x	x	○	○	○	비교예
25	○	○	○	x	○	비교예
26	x	x	○	○	x	비교예
27	x	x	x	○	○	비교예
28	○	x	x	x	○	비교예
29	x	x	○	○	x	비교예
30	x	x	x	x	○	비교예
31	x	x	x	x	○	비교예
32	○	○	○	x	○	비교예

표 3에 나타내는 바와 같이, 강 No.1~강 No.21의 강은, 본 발명에서 규정하는 조건을 만족하는 발명예이고, 어느 경우에도 냉간 가공성, 담금질성, 인성 및 비틀림 피로 강도의 기본 성능은 양호한 결과가 얻어졌다.

한편, 강 No.22~강 No.32의 강은, 본 발명에서 규정하는 조건 중 어느 하나를 만족하지 않는 비교예이기 때문에, 어느 하나의 기본 성능이 떨어지고, 어떠한 문제가 생길 우려가 있어, 드라이브 샤프트용 소재로서 사용할 수 없다.

(실시예 2)

상기 표 3에 나타내는 발명예로서, 그 기본 성능에 의해 냉간 가공시나 전조시에 분열을 발생하지 않는 경우에도, 냉간 가공도가 과대해지면, 분열을 발생하는 경우가 있다. 예를 들면, 상기 표 3에 나타내는 강 No.1은, 단면 감소도로 평가하는 냉간 가공도 60%에서는 분열의 발생이 없지만, 냉간 가공도 80% 이상이 되면, 분열을 발생하는 경우가 있다.

냉간 가공의 단면 감소율을 과대하게 한 경우에, 냉간 가공의 공정 중에 불림(노멀라이즈) 혹은 어닐링, 또는 냉간 가공 전 혹은 냉간 가공 후에 구상화 어닐링의 열 처리를 실시한 경우의 효과를 표 4에 나타내었다. 표 4 중의 분열 발생 상황은, 분열이 발생하지 않은 경우를 ○로 나타내고, 분열이 발생한 경우를 ×로 나타내었다. 또한 전조에 의한 스플라인 가공을 실시하였을 때에 분열이 발생하지 않은 경우를 ○로 나타내고, 분열이 발생한 경우를 ×로 나타내었다. 냉간 가공시에 분열이 발생하여, 전조 가공할 수 없는 경우를 -로 나타내었다.

[표 4]

시험번호	강No.	열처리	단면 감소율 (%)	냉간 가공시의 분열	전조시의 분열
A	1	무	80	x	-
B	1	구상화 어닐링	80	O	O
C	4	무	80	O	x
D	4	불림	80	O	O
E	6	무	60	O	x
F	6	불림	60	O	O
G	9	무	70	x	-
H	9	구상화 어닐링	70	O	O
I	9	어닐링	70	O	O
J	10	무	75	x	-
K	10	구상화 어닐링	75	O	O
L	12	무	70	O	x
M	12	불림	70	O	O
N	14	무	75	O	x
O	14	불림	75	O	O
P	18	무	80	O	x
Q	18	불림	80	O	O
R	20	무	70	x	-
S	20	불림	70	O	O
T	20	어닐링	80	O	O

표 4에 나타내는 바와 같이, 냉간 가공에 따라 불림(노멀라이즈), 또는 구상화 어닐링 열 처리를 실시함으로써, 냉간 가공시 또는 전조시에 발생하는 분열을 방지할 수 있다. 본 발명의 제조 방법이 채용하는 열 처리에 의해, 냉간 가공성이 현저한 효과가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

특허청구의 범위

청구항 1.

질량%로, C : 0.30~0.50%, Si : 0.5% 이하, Mn : 0.3~2.0%, P : 0.025% 이하, S : 0.004% 이하, Cr : 0.15~1.0%, Al : 0.001~0.05%, Ti : 0.005~0.05%, N : 0.02% 이하, B : 0.0005~0.01% 및 O(산소) : 0.0050% 이하를 포함하고, 또한, Ca : 0.0005~0.01%, Mg : 0.0005~0.01% 및 희토류 원소(REM) : 0.0005~0.01% 중에서 선택된 1종 또는 2종 이상을 함유하고, 잔부가 Fe 및 불순물이며, 하기 (a) 또는 (b) 식에서 규정하는 B_{eff} 가 0.0001 이상인 것을 특징으로 하는 심리스 강관.

단, Ti, N 및 B를 함유량 %로 하고, $N_{eff} = N - 14 \times Ti / 47.9 \geq 0$ 인 경우에

$$B_{eff} = B - 10.8 \times (N - 14 \times Ti / 47.9) / 14 \quad \dots (a)$$

동일하게, $N_{eff} = N - 14 \times Ti / 47.9 < 0$ 인 경우에

$$B_{eff} = B \quad \dots (b)$$

청구항 2.

청구항 1에 있어서,

또한, 질량%로, Cu : 0.05~1%, Ni : 0.05~1% 및 Mo : 0.05~1% 중에서 선택된 1종 또는 2종 이상을 함유하는 것을 특징으로 하는 심리스 강관.

청구항 3.

청구항 1에 있어서,

또한, 질량%로, V : 0.005~0.1%, Nb : 0.005~0.1% 및 Zr : 0.005~0.1% 중에서 선택된 1종 또는 2종 이

상을 함유하는 것을 특징으로 하는 심리스 강관.

청구항 4.

청구항 2에 있어서,

또한, 질량%로, V : 0.005~0.1%, Nb : 0.005~0.1% 및 Zr : 0.005~0.1% 중에서 선택된 1종 또는 2종 이상을 함유하는 것을 특징으로 하는 심리스 강관.

청구항 5.

청구항 1 내지 청구항 4 중 어느 한 항에 기재된 화학 조성을 갖는 소재를 이용하여 제관된 강관에, 단면 감소율 5% 이상의 냉간 가공을 실시하여 심리스 강관을 제조하는 방법으로서, 상기 냉간 가공의 후에 어닐링 또는 불림을 실시하거나, 또는 상기 냉간 가공의 전 혹은 후에 구상화 어닐링을 실시하는 것을 특징으로 하는 심리스 강관의 제조 방법.

도면의 간단한 설명

도 1은, 냉간 가공성에 미치는 Si의 영향을 도시하는 도면이다.

도 2는, 냉간 가공성에 미치는 Cr의 영향을 도시하는 도면이다.

도 3은, 담금질성에 미치는 B 및 Cr의 영향을 도시하는 도면이다.

도 4는, 담금질성에 미치는 B, N 및 Ti의 영향을 도시하는 도면이다.

도 5는, 피로 강도 및 내구비에 미치는 Cr의 영향을 도시하는 도면이다.

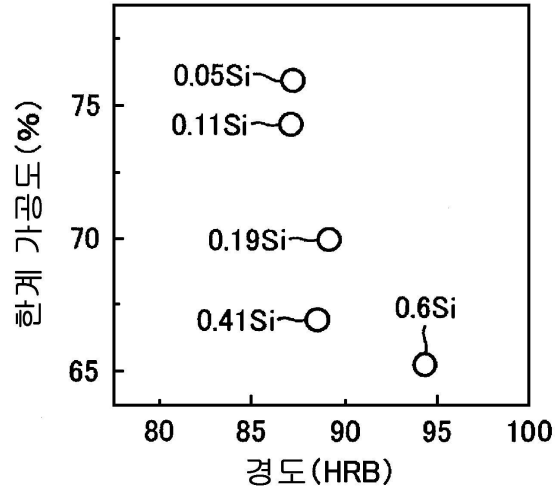
도 6은, 편평 굽힘 시험에 있어서 분열이 발생하는 한계 높이 방향 압하도(%)에 미치는 S 함유량의 영향을 도시하는 도면이다.

도 7은, 열 처리 후의 강관의 비틀림 피로 강도에 미치는 S 함유량의 영향을 도시하는 도면이다.

도면

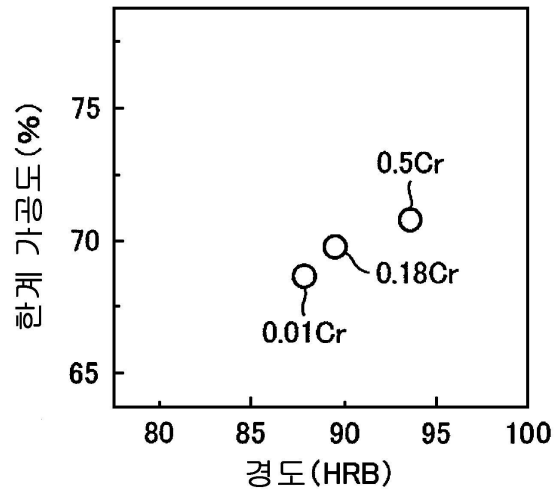
도면1

베이스 강:
0.35C-1.3Mn-0.17Cr-0.015Ti-0.001B

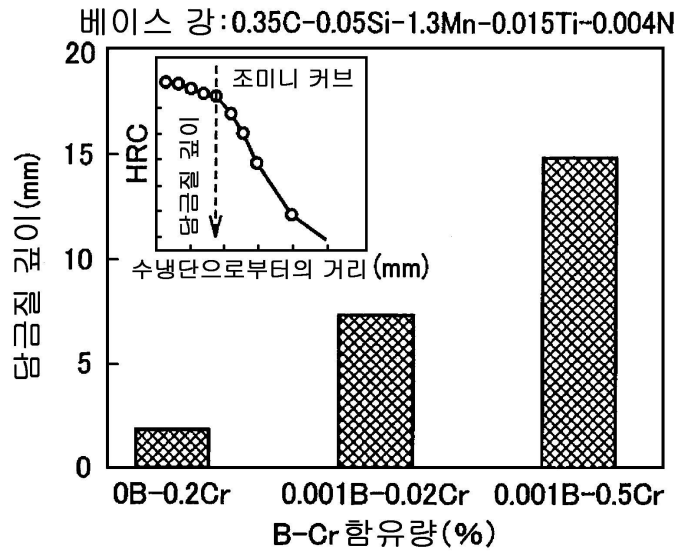


도면2

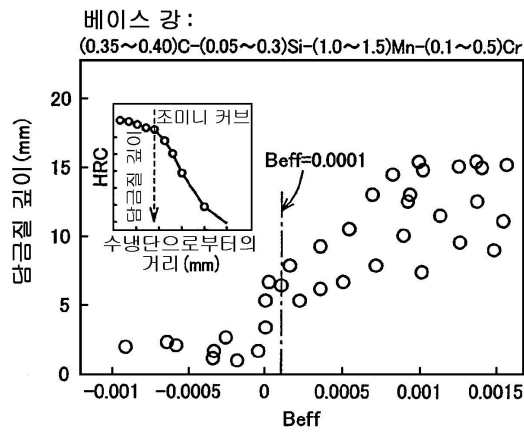
베이스 강:
0.35C-0.2Si-1.3Mn-0.015Ti-0.001B



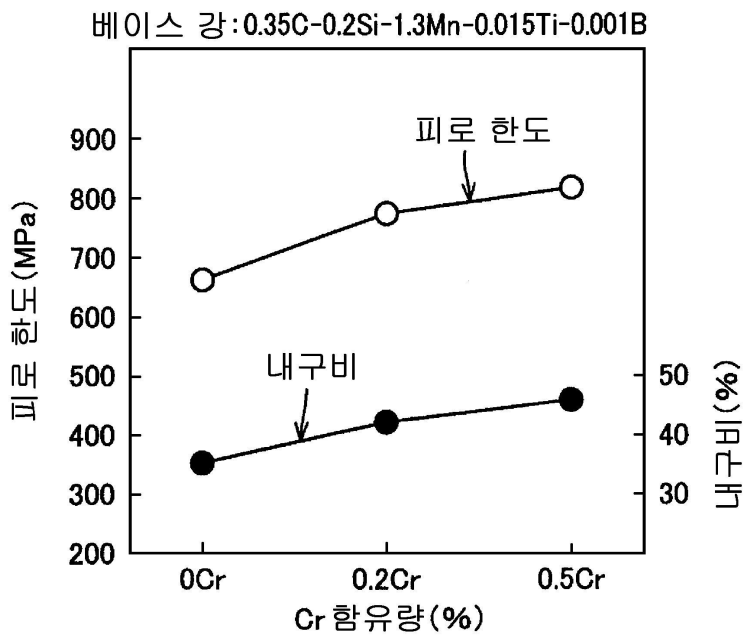
도면3



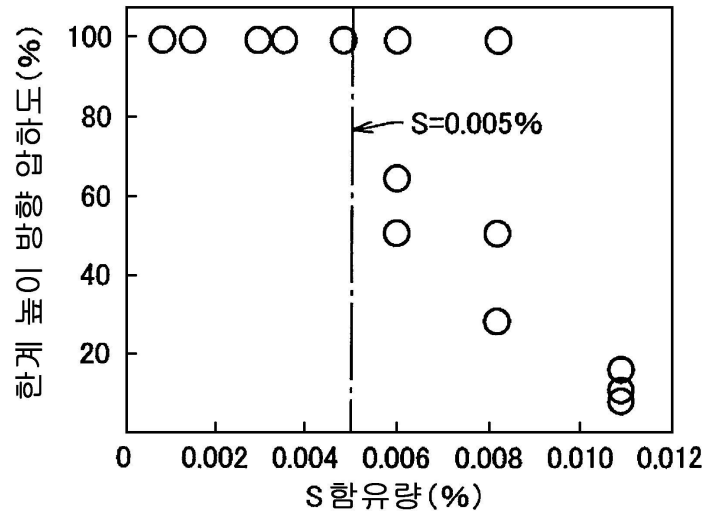
도면4



도면5



도면6



도면7

