

新金屬 高强度 合金의 개발

Development of High-Strength New Alloys

金 泳 吉

한국과학기술원 재료공학과 교수

1. 序 論

素材는 물질문명의 기본 요소이며 新素材 개발은 科學技術 혁신의 필수요건이다. 신소재의 創出은 기술혁신을 가능하게 했으며, 그것에서 파생된 새로운 과학기술은 더욱 고도의 특성을 가지는 새로운 素材를 탄생시키는 계기가 되었다. 그러기에 新素材의 개발과 科學技術의 발전과는 밀접한 불가분의 관계가 있다고 할 수 있다.

材料는 그 구성원소나 기능 및 특성에 따라서 金屬, 세라믹(窯業), 高分子등으로 나눌 수 있다. 또한 위의 세가지 素材가 적당히 조합되어 새로운 특성을 나타내는 複合材料를 만들 수도 있다. 이러한 新素材 중에서도 특히 고강도 新金屬의 개발 및 그 現況에 대하여 서술하고자 한다.

2. 新金屬의 開發方法

新金屬의 개발에는 두가지 방법이 있는데 첫째는 合金을 구성하고 있는 값비싼 원소들을 비싼 다른 元素들로 일부 또는 전부를 代替하고 생산단가를 낮추며 機械的, 電氣的 혹은 物理的인 특성이 더 우수한 새로운 合金을 제조하는 것이다. 그 예로써 미국 항공우주관리국 및 미 공군에서는 超耐熱合金에 많이 함유되는 코발트 및 크롬의 양을 줄이거나 除去하려는 연구를 "COSAM"(Conservation of Strategic Alloying Elements)이라는 과제 하에 政府-産業-學校의 공동연구로 1978년부터 수행해 오고 있다.

新金屬 개발의 두번째 방법으로는 合金元素의 化學組成을 변화시키지 않고 製造工程을 변화시킴으로써 새로운 物性を 갖도록 하는 것이다.

그 예로써 金屬을 溶解後 응고속도를 超高速(초당 10만~100만℃)으로 급냉을 하면 結晶体가 非晶質(Amorphous) 狀態가 되어 같은 化學組成에서도 전혀 다른 物性を 갖게 된다. 또 미국의 INCO社에서는 高融點의 Y_2O_3 와 N_2 등을 合金하는 방법으로 粉末冶金式 機械의 合金(Mechanical Alloying)法을 개발하였는데 이것은 分散強化와 析出強化를 조합할 수 있는 이점이 있다.

위와같은 두가지 방법에 의해서 지금까지 사용되고 있는 기존의 合金보다 현격하게 우수한 특성을 가지거나 혹은 같은 특성을 가지면서도 가격이 저렴한 새 合金을 개발하는 것이 新金屬 개발의 주된 목적이라고 할 수 있다.

3. 高强度를 얻는 方法

强度가 높다는 것은 材料에 應力(荷重)을 加하였을 때 變形이 일어나기 힘든 상태를 말한다. 그런데 재료의 강도는 온도에 따라 크게 영향을 받게 되는데 일반적으로 온도가 낮아질수록 강도는 향상되며, 반대로 고온으로 갈수록 강도가 낮아 재료는 쉽게 변형된다. 보통 상온에서 급속의 강도를 높이는 방법에는 다음의 여러가지 강화 방법이 있다.

- (1) 缺陷이 없는 單結晶상태를 만듦
 - (2) 合金元素를 첨가하는 固溶強化
 - (3) 열처리시 析出相을 형성하게 하는 析出強化
 - (4) 고온에서도 안정한 산화물을 분말로 미세하게 분산시키는 分散強化
 - (5) 冷間加工을 주어 강도를 증가시키는 加工硬化
 - (6) 結晶粒 微細化에 의한 強化機構
- 위의 여러 방법들 가운데 (1)의 방법은 構造用 재료로써 실용성이 없고, 그 이외의 (2) (3) (5)

(6)의 방법이 상온에서 사용되는 구조용 合金개발에 사용되고, (4)의 방법은 고온 超耐熱 合金 개발에 이용되고 있다.

상온에서의 강화방법이 고온에서 그대로 사용되지 못하는 것은 온도가 증가하면 조직이 高溫 擴散등에 의하여 시간에 따라 변형이 커지는 크립현상이 일어나기 때문이다. 고온강도를 유지하기 위해서는 크립현상을 최소화 하는 방법으로 강화를 시켜야 한다. 고온에서는 破壞靱性이 크게 중요하지 않지만 極低溫 材料는 강도증가와 더불어 일반적으로 延性이 줄고 파괴인성이 급격히 감소하므로 극저온 강에서는 잘 깨지지 않게 강도의 증가와 더불어 파괴인성의 증가가 매우 중요하다.

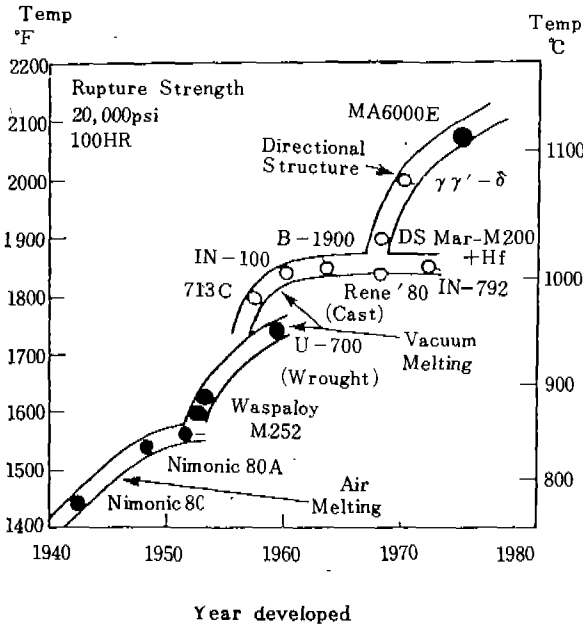
일반 강철에서는 고용강화로 탄소를 가해 강도를 증가시키지만 탄소에 의한 강도 증가는 파괴인성을 격감시키므로 탄소 사용시 열처리를 하여 강도를 다소 감소시켜 인성을 증가시키거나 아예 탄소를 사용하지 않고 열처리에 의하여 미세한 석출물을 형성케 하여 강도를 증가시킬 수 있다(예, 기존 마레이징 강).

또 반도체 리드프레임 소재는 고강도와 고전기전도도를 갖추어야 하고 성형성이 우수해야 하므로 석출강화 및 결정립 미세화를 시킨다.

4. 超耐熱 제트엔진 合金

제트엔진용 材料는 强度가 크고 耐蝕性이 우수해야 한다. 1925년에 제트엔진이 설계되었음에도 불구하고 적당한 材料가 개발되지 못해 生産되지 못했으며 1940년에야 비로소 제작이 실현되어 2차대전에 제트엔진이 사용되었다.

1950년 한국전쟁까지는 超耐熱合金으로 코발트계 合金이 사용되었으나 그 후 니켈계 合金으로 바뀌게 되었다. 제트엔진은 部品の 숫자가 약 200만개에 달하며 그중 高溫, 高應力, 腐蝕



〈그림 1〉 제트엔진 터빈블레이드의 발전

零圓氣에 가장 많이 노출되는 부분은 터빈 블레이드이다. 제트엔진에서 터빈의 작동온도가 높을수록 효율은 증대되고 推進力도 커지게 되어 燃料가 절감된다. 따라서 대부분의 제트엔진을 만드는 회사에서는 터빈의 작동온도를 더 증가시킬 수 있는 연구에 중점을 두고 있다.

그림 1은 1940년부터 현재까지 사용된 터빈 블레이드 材料의 발전 역사를 보여주고 있는데 현재 널리 쓰이고 있는 747점보기의 JT9D 제트엔진의 터빈블레이드에는 單結晶으로 제작된 Mar-M2000이라는 니켈계 超耐熱合金이 사용되고 있다.

1960년대에는 재래식으로 응고된 多結晶 터빈 블레이드가 1970년대에는 일방향 응고된 조직으로 바뀌었으며 1980년대에는 單結晶으로 제작되어 사용되고 있다. 기존의 니켈계 超耐熱合金은 溫度가 약 1050℃ 이상이 되면 強化要素인 析出物이 용해되어 그 이상의 온도에서는 사용될 수 없다.

또한 NASA와 INCO社가 공동 연구하여 개발한 'MA 6000'이라는 합금은 1050℃ 이상에서도 사용될 수 있는데 이 합금은 미세한 Y₂O₃ 산화물 粒子를 機械的 粉末冶金法으로 니켈金屬속에 分散強化시킨 것이다.

MA 6000은 현재 사용되고 있는 Mar-M200보다 1100℃에서 強度가 약 두배 정도 크며 耐酸化 및 耐硫化腐蝕성이 우수하다. MA6000보다 더 높은 高溫強度를 갖는 材料를 얻기 위해 W-fiber로 強化시킨 Fe-Cr-Al이나 Ni-Cr-Al 등의 複合材料가 NASA에서 연구중인데 이 材料는 고온에서의 크립-파열 강도는 우수하나 피로파괴에 약하며 또한 고온에서 Fiber와 금속의 계면에서 反應이 생기는 문제점이 있다.

5. 極低溫 合金

현재 사용되고 있는 極低溫合金을 살펴보면 LNG저장(-162℃) 탱크의 재료로 9% Ni강이 주로 사용되며 액체질소(-196℃) 온도 및 그 이하의 온도에서는 304L스테인레스강이 쓰이고 있다. 오스테니틱(Austenitic) 300계열 스테인레스강은 원래 극저온용으로 개발된 것은 아니나 低溫에서 연성이 우수하기 때문에 極低溫 材料로 사용되고 있다. 304L스테인레스강은 극저온에서(-196℃) 연신율은 높지만 降伏強度가 9%Ni강의 절반(60ksi) 밖에 되지 않는 단점이 있고 또 값비싼 Ni 및 Cr을 8% 및 18%나 함유하므로 가격이 비싸다.

일반적인 材料의 저온에서 機械的 性質을 살펴보면 저온으로 갈수록 強度 즉 硬度는 증가하지만 연신율 즉 韌性은 감소하여 극저온에서 잘 깨어지기 때문에 낮은 破壞韌性이 큰 문제이다.

韓國科學技術院의 合金開發室에서는 1982년부터 극저온합금 개발에 착수하여 저온으로 갈 수

특 強度와 연신율이 동시에 증가하는 새로운 極低温合金鋼“CAM-1”을 개발하여 미국 금속학회지에 발표하였다. 그 합금강의 조성은 Fe-30Mn-5Al-0.3C-0.1Nb이며 제조공정으로 재래식 熱間圧延이 아니라 특수한 制御圧延을 행하여 結晶粒을 미세화시키는 동시에 轉位密度를 증가시켜 強度를 더욱 높일 수 있었다. 강도는 기존의 9%Ni강과 동일하나 延性は 극저온(-196℃)에서 9%Ni강의 3배나 되었으며 304L 스테인레스강에 비하면 항복강도가 두배 이상 되었다. 또한 CAM-1합금은 온도가 낮아질수록 연신율이 증가하는 현상을 나타낸다. 이러한 특성은 극저온 구조재료로서 제일 원하는 특성이다. 온도의 감소와 함께 연신율이 증가되는 특성을 逆延性이라 부르며 이 현상은 金屬強度學의인 측면에서 많은 흥미를 불러 일으키고 있다.

이 “CAM-1”합금은 LNG 용기와 수송선재료로 개발되었으며 최근 1987년 KAIST 合金開發室에서 “CAM-2”를 또다시 개발하였다. CAM-2는 CAM-1에 비하여 액체질소온도(-196℃)에서 強度가 약 10% 정도 더 크며 제어압연한 상태에서 延伸率이 10% 더 큰 것으로 나타났다. 최근에는 역연성의 이론적 설명과 정확한 기구를 확립하여 1987년 6월에 있는 미국 Fermi 원자력연구소 주최의 국제 저온재료학회에 발표, 널리 인정을 받게 되었다.

6. 高強度-高靱性 마레이징鋼 (W-250)

마레이징강은 단단하면서도 깨어지지 않는 높은 강도와 破壞靱性を 갖고 있는 특수합금으로

원 고 모 집

회원들의 원고를 기다리고 있습니다.
 회원 여러분은 누구나
 협회지의 집필자가 될 수 있습니다.
 회원들과 함께 호흡하는 협회지가
 되기 위해 회원들의 원고를 기다리는
 창구를 활짝 열어놓고 있습니다.
 직장에서, 가정에서 보고 느낀 것을
 글로 옮겨 훌륭한 협회지의 필자가
 되어 보시지 않겠습니까?

원고송부처: 서울 중구 수표동 11-4 전기회관 대한전기협회 출판부

※채택된 원고에 대해서는 소정의 원고료를 지불하여 드립니다.

투고 내용

- 현장 체험담
 - 근무중 느낀점
 - 사고경험
 - 업무추진 성공사례
 - 수필·풍토·여행기·취미생활
 - 자격시험 합격담 ○기술해설 기타
- 회원 여러분의 글을 마감일 없이 받고있으니 원고가 마련되시는 대로 아래 주소로 우송하시거나 직접 전해 주십시오.

1960년 미국 International Nickel社에서 발명되어 미국, 일본, 프랑스 등의 선진국 철강회사에서 생산되고 있다.

최근에 수金開發室에서 개발한 일명 “W-250”은 마레이징강이 코발트를 8%나 함유하고 있어 가격이 고가일뿐 아니라 코발트는 전략원소로 분류되어 대량구매가 어려운 점에 착안하여 코발트를 전혀 함유하지 않고 우리나라에 풍부한 지하자원인 텅스텐을 첨가하여 특수 열처리 함으로써 고강도, 고인성인 신합금 조성 및 제조공정 개발에 성공한 것이다.

현재 사용되고 있는 마레이징鋼은 합금원소로 코발트를 다량(8%이상) 함유하고 있기 때문에 재료가격이 비싼 단점이 있으며, 특히 코발트는 1970년 이후 전략원소로 되어 가격이 4배이상 올랐으며, 높은 가격을 주고도 구매하기 어려운 실정이다(코발트는 아프리카에 90% 이상 매장되어 있음).

이 “W-250” 특수합금은 코발트가 함유되지 않아 일반 마레이징강보다 원료비에 있어서 1/2 수준에 지나지 않으며 국산자원인 텅스텐을 활용할 수 있다는 측면에서 잇점이 있고, 일반탄소강보다 4배이상의 고강도를 나타내며 열처리 시에도 일반철강과는 달리 뒤틀림 현상이 없어 정밀기계 및 금형재료에 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다.

일반강은 탄소가 중요합금원소로 강화되지만 W-250강은 탄소가 전혀 없이 강도를 높일 수 있기 때문에 열처리시에 뒤틀림 현상이 일어나지 않아 1만분의 1 밀리미터의 오차도 없는 정밀 제품을 생산할 수 있다.

마레이징鋼은 고강도와 더불어 충격에 잘 깨어지지 않는 고파괴인성을 갖고 있으며, 다른 어떤 수金보다 강도와 파괴인성면에서 가장 높은 특성을 갖고 있기 때문에 갑작스런 충격에도 깨어지지 않고 견뎌야 하는 헬리콥터의 착륙

기어, 항공기 제트엔진의 축, 우주선 등에 활용되고 있으며, 아폴로 15호 달표면 탐색차량의 Torston Bar 등으로 사용되기도 했다. 따라서 이번에 개발된 W-250鋼은 고강도, 고인성의 특성을 갖고 있기 때문에 항공기, 우주선을 비롯하여 특수공구 재료로 사용할 수 있다.

이번에 개발된 이 합금으로 美國物質特許를 획득하였으며, 더 우수한 물성과 대량생산을 위하여 지속적인 연구가 필요하다.

7. 半導體 리드프레임 材料

리드프레임(Leadframe)이란 실리콘 칩이 부착되는 金屬機板으로 칩을 지탱하는 뼈대의 역할과 회로의 역할을 하는 半導體의 4대 원료(칩, Leadframe, 金細線, 폴리머) 중의 하나이다. 리드프레임이 가져야 할 중요특성은 高强度, 높은 電氣傳導度 및 熱傳導度, 成形性, 양호한 鍍金性, 熱軟化抵抗 및 저렴한 價格 등이다.

한국과학기술원과 풍산금속은 정부의 특정과제로 새로운 리드프레임 “PMC-102”를 개발하여 미국 특허(US, Patent No. 4, 446, 939)를 획득하였다. PMC-102는 미국 銅開發協會에서 CDA-190이라 불리며 미국 유명 반도체 회사인 Motorola, Texas Instrument Hewlett & Packard 등이 사용을 시작하였다. PMC-102는 強度 및 電氣傳導도가 기존의 리드프레임들보다 우수하다. 또한 도금성이 양호하고 열연화 저항이 우수하며 가격도 저렴하다는 특성이 있다.

PMC-102의 우수한 특성으로 독일의 特殊合會社 Stolberger社가 한국으로부터 技術을 수입하여 特許生産을 1986년 2월부터 시작함으로써 우리나라 기술수출 1호를 기록하는 개가를 올렸다. 이 PMC-102는 기존의 리드프레임 대신에 全世界적으로 사용될 전망이다.