

베릴륨 동

Guide to Beryllium Copper

판 재(strip)

봉 재(rod)

선 재(wire)

각 재(bar)

관 재(tube)

후판재(plate)

우리는 언제나 고객의 요구조건에 따라 업무를 수행함으로써, 무결함의, 보다 우수한 제품과 서비스를 모든 고객께 적기에 공급할 것을 약속합니다.

BRUSH WELLMAN
ENGINEERED MATERIALS

한국총대리점

(주)도일코리아

서울·강남구 논현동 127-1

TEL : (02) 514 - 3501/3

FAX : (02) 514 - 3504

차 례

	페이지
베릴륨동의 종류	3
합금 조성별 종류	4
재료의 공급 형태	5
물리적 성질	6
제품 안내	7
판재 (Strip)	8
템퍼 (Temper)	9
기계적, 전기적 성질	10-11
성형 (Forming)	12
응력 이완	13
선재 (Wire)	14
봉재 (Rod), 각재 (Bar), 관재 (Tube)	16
후판재 (Plate), 절단 각재	18
단조재 (Forgings), 압축재 (Extrusions)	20
유정굴착관부품 (Drill String Products)	21
기타 생산 재료 및 서비스	22
기술자료	23
열처리 기술	24
상태도	24
냉간가공 효과	25
시효경화	26
현미경 조직	29
세정 및 표면처리 기술	30
접합법-연납땜 (Soldering), 경납땜 (Brazing), 용접 (Welding)	31
기계 가공	32
경 도	33
피로 강도	35
내식성	36
기타 특성	37
베릴륨동의 생산 공급 업체	39
Brush Wellman사 소개	40
회사 연혁	40
회사 현황	40
채광 및 제조	41
제품의 판매 및 유통 조직	42
고객에 대한 지원 협력 체제	43
품질 관리 체제	43
베릴륨동의 안전한 취급을 위하여	44

베릴륨동의 종류

합금 조성별 종류	4
재료의 공급 형태	5
물리적 성질	6

이 장(章)에서는 베릴륨동의 합금 조성 및 재료 형태 별 분류에 대하여 설명하고자 합니다.(단, 주조용 베릴륨동에 관해서는 안내서가 따로 있으므로 이를 참조하여 주시기 바랍니다.)

이책에 수록된 제 합금은 Brush Wellman 사가 세계시장에 공급하면서 우수한 품질로서 신용을 구축한 제품들입니다. 그러나 베릴륨동 합금은 이외에도 다른 조성, 성질의 것이 있을 수 있는데, Brush Wellman사는 수요가 여러분의 특별한 용도에 맞는 합금재를 같이 선택하거나 개발하는 일에 적극 지원하고 있습니다.

합금 조성별 종류

Brush Wellman사에서 생산하는 베릴륨 동은 크게 두가지로 분류된다. 첫째는 강도를 높게한 종류들이고 (Alloy 25, 190, 290, M25, 165), 둘째는 전기 전도율을 높게한 종류들이다 (Alloy 3, 10, 174). 이들의 화학 조성은 아래 보인 표와 같다.

Brush Alloy 25 이것은 베릴륨동 합금 중에서 가장 흔히 쓰이며, 5페이지 표에 보인 여러 형태로 공급된다. 이 합금은 시효경화 열처리를 하면, 동계 합금중 가장 높은 강도와 경도를 얻을 수 있는 합금이다. 즉, 최대 인장강도 140 Kg/mm². 로크웰 경도 RC 45 (빅커스 경도 446)를 얻을 수 있다. 또, 열처리를 최대한 하였을 때의 전기 전도율은 22% IACS 이다. Alloy 25는 고온에서의 응력이완 저항 특성이 다른 어떤 재료보다도 높다.

Brush Alloy 190 이것은 이미 공장에서 열처리를 하여 출하하는 Strip 제품이다. (Mill Hardened Strip) 다시 말하면, 이것은 Strip 형태로만 생산 출하되는데 이미 시효경화 되어 있는 상태이므로 수요가는 이것으로 만든 제품을 다시 열처리 할 필요가 없다. 이 합금은 Alloy 25와 화학 성분은 같으나, 강도와 경도는 약간 떨어진다. 인장강도 133 Kg/mm², 경도 RC 42(빅커스 413). 스탬핑 후의 열처리 공정과 세정 공정을 생

략시킬 수 있으므로 비용 절감 효과를 기대할 수 있다.

Brushform 290 이것은 Alloy 190과 성분이나 강도는 유사하나 성형성을 개선한 제품이다. 때때로 부품의 신뢰성 또는 제조 공정 측면에서 재료의 강도도 높아야 하지만 가공성도 좋아야 할 필요성이 대두된다. Brush 290은 가공성과 강도가 같이 우수하므로 최종 용도에 따라서는 통상의 Mill Hardened Strip을 쓸때 보다 비용면에서 유리할 수 있다.

Brush M 25 이것은 Alloy 25와 같은 강도를 갖으면서 동시에 기계 가공 절삭성이 높은 베릴륨동이다 (쾌삭베릴륨동). Alloy M 25의 봉재나 선재는 자동 기계가공이 잘 될 수 있도록 소량의 납(Lead)이 첨가된 것이다. 납은 칩(chip)이 잘 떨어져 나가도록 하며, 절삭공구의 수명을 연장시킨다.

Brush Alloy 165 이것은 Alloy 25 보다 베릴륨 함량이 적으며 따라서 강도가 약간 떨어진다. 값이 Alloy 25 보다 다소 저렴하므로, 강도나 성형성 면에서 Alloy 25를 사용하지 않아도 될 수 있을 경우에는 대체재로서 사용된다. Alloy 165는 판재, 봉재 등 모든 형태로, 또 열처리 전 또는 공장경화 처리 후 어느 상태로도 공급된다.

화학성분표
(중량 %)

Brush Alloy	Copper Alloy UNS Number	Beryllium	Cobalt	Nickel	Cobalt +Nickel	Cobalt +Nickel +Iron	Lead	Copper
25 190 290	C17200	1.80-2.00	—	—	0.20 min	0.6 max	0.02 max	잔량
M25	C17300	1.80-2.00	—	—	0.20 min	0.6 max	0.20-0.6	잔량
165	C17000	1.60-1.79	—	—	0.20 min	0.6 max	—	잔량
3	C17510	0.2-0.6	—	1.4-2.2	—	—	—	잔량
10	C17500	0.4-0.7	2.4-2.7	—	—	—	—	잔량
174	C17410	0.15-0.50	0.35-0.60	—	—	—	—	잔량

주기: 동 및 첨가성분의 합계: 99.5% 이상

Brush Alloy 3 및 10 이들은 98 Kg/mm 정도의 항복강도와 순동의 45%~60%에 상당하는 전기 및 열 전도율을 갖는 베릴륨동이다. 이들은 Strip이나 봉재 등 여러가지 형태로 나오며 열처리된 상태로도 공급된다. 열처리된 상태로 나오는 것은 AT 또는 HT 와 같은 Temper 표시를 하며 이들은 가공성이 좋다.

Brush Alloy 174 이 재료는 청동이나 황동을 가지고 제

을 만들었을때보다 전기 전도율과 응력이완 저항 특성면에서 제품의 성능을 일층 향상 시키고자 할때 특히 알맞는 재료이다. Alloy 174의 항복강도는 88 Kg/mm로서 인청동(Phosphor Bronze), 규소청동(Silicon Bronze), 알루미늄황동(Aluminum Brass), 니켈 청동(Copper-Nickel-Tin Alloy) 보다 높은 강도를 갖고 있다. 동시에 Alloy 174는 이들 보다 5배나 많은 전기 전도율을 갖고 있으며 응력이완 저항력이 아주 높은 장점을 갖고 있다. Alloy 174는 기 열처리된Strip 상태로 공급된다.

재료의 공급 형태

Brush Wellman사의 베릴륨동은 하기와 같은 다양한 형태로 공급된다.

판재(Strip) 압연재로서 두께 4.77mm(0.188") 이하, 폭 152-228mm (6"-9")의 코일(Coil) 형태로 공급됨.

선재(Wire) 코일(Coil)로 스펴(Spool)이나 릴(Reel)에 감기어 공급되는 것으로서 판재가 아니며 단면에 공동이 없는(Soild Section) 재료를 말함. 선재는 직선으로 펴서 일정한 길이로 공급될 수도 있는데, 이 경우에는 봉재(Rod)로 분류됨.

평선재(Flat Wire) 두께 4.77mm(0.188 in) 이하, 폭 31.75mm(1.25 in) 이하의 것을 말함. 이것은 두께 4.77mm(0.188 in) 이하의 각선을 포함함. 어느 경우나 재료의 모든 표면은 압연 또는 인발 가공상태의 표면 이어야 하며 절단면이 있는 것이 아님. 평선재는 곧게 펴서 잘라서 공급되기도 하며 스펴(Spool)이나 릴(Reel)에 감아서 나오기도 함.

봉재(Rod) 원형, 육각형, 또는 팔각형의 공동이 없는 단면을 갖고 직선 길이로 나옴. 길이는 정해진 길이로 나오기도 하고 생산되는 대로의 아무 길이로나 공급되기도 함.

각재(Bar) 한변의 길이가 4.76mm(3/16 in) 내지 304.8mm(12 in)인 직사각형 또는 정사각형의 단면을 갖고 속이 공동이 없음. 이것은 압출제품임. 후판을 절단하여 각재를 만들었을때는 이를 절단각재라고 함. 모서리 부분은 날카롭게 살릴수도 있고 죽일수도 있으며 또는 다른 어떤 간편한 형태로 제작할 수도 있음.

후판(Plate) 두께 4.77mm(0.188 in)초과, 폭 304.8mm(12 in)초과의 것을 말함.

관재(Tube) 속이 비고 단면이 원형 또는 기타 형태로된 무게 목관을 말함.

압출형재(Extruded Shape) 단면이 원형, 육각형, 팔각형 또는 직사각형 등이 아닌 형태의 것이며 속이 공동이 없는 압출 재료를 말함. 이것은 수요가 사양에 맞추어 생산하는 것이며 항상 직선 길이로 공급됨.

재료의 공급 형태

형 태	Brush Alloy Number		
	25, 165 3, 10	M25	190, 290 174
냉연제품			
Strip	✓	—	✓
Flat Wire	✓	—	—
Rectangular Bar	✓	—	—
Square Bar	✓	—	—
Plate	✓	—	—
냉간인발제품			
Rod	✓	✓	—
Bar	✓	✓	—
Tube	✓	—	—
Wire	✓	✓	—
Shapes	✓	—	—
열간가공제품			
Rod	✓	—	—
Bar	✓	—	—
Plate	✓	—	—
Tube	✓	—	—
특별이형제품			
Turned Rod	✓	—	—
Billets	✓	—	—
Forgings	✓	—	—
Extrusions	✓	—	—

베릴륨동의 종류

단조물(Forgings) 주조빌렛트를 단조한 것으로서 단순한 모양에서 부터 수요가 사양에 따라 최종 형상에 가까운 복잡한 모양에 이르기 까지 다양함.

주문 생산품(Custom Fabricated Parts) 수요가의 도면이나 사양에 따라 최종가공 또는 중간가공까지 하여 공급함. 이들 제품은 폐사 생산 소재(봉, 압출물, 후판 등)를 링롤링(Ring Rolling) 단조, 용접, 기계가공하여 생산하는 것임.

물리적 성질

베릴륨동의 물리적, 기계적 성질은 합금 원소, 주로 베릴륨의 성질과 작용때문에 다른 동합금과는 현저히 다르다. 베릴륨의 성분은 0.15%에서 2.0% (중량 백분율)까지 변화시킴에 따라 물리적 성질이 서로 다른 여러가지의 합금이 나온다. 합금별 대표적 성질을 수치로 보면 아래 표와 같다.

어떤 물리적 성질은 고강도재이건 고전도재이건 상관없이 비슷한데, 예를 들면 고강도재의 탄성계수는 13,300kg/mm², 고전도재의 탄성계수는 14,000kg/mm²이고, 포아슨비는 어느 합금, 어느 형태나 상관없이 0.3이다.

합금의 종류에 따라서 물리적 성질이 많이 변하는 것은 열전도율이다. 고강도재의 열전도율은 0.25cal/(cm·s·°C)인데 고전도재들은 0.57cal/(cm·s·°C)까지 된다. 베릴륨동은 열 및 전기전도율이 높은 성질이 이용되어 열 방출기 및 고전류의 흐름이 필요한 곳에 이용된다. 베릴륨동의 도전율은 이 책의 제품 안내편에 기계적 성질과 같이 표시되어 있다.

베릴륨동의 열팽창계수는 이를 사용하는 온도 범위내에 있어서는 합금의 성분에 관계없이 일정하다. 베릴륨동의 열팽

창계수는 스테인레스 강을 포함한 일반강과 거의 일치한다. 따라서 베릴륨동과 강은 한 조립품내에서 똑같이 사용될 수 있다.

베릴륨동의 비열은 온도가 올라가면 이것도 올라간다. 상온에서 Alloy 25, M25, 165의 비열은 0.086Kcal/(kg·°C), 93°C에서는 0.097Kcal/(kg·°C)이다. Alloy 3, 10, 174의 비열은 같은 온도 범위에 대하여 0.080에서 0.091Kcal/(kg·°C) 까지로 높아진다.

베릴륨동의 투자율은 거의 1에 가깝다. 다시 말하면 베릴륨동은 자장에 대하여 완전히 투명하다고 말할 수 있으며 자장의 크기에 따라서 약간 다를 뿐이다.

베릴륨동의 고전도재들은 다른 특수 동보다 밀도가 적으므로 단위 무게당 제품 소출이 더 높다. 베릴륨동은 다른 동계 합금보다 탄성계수가 10%-20% 높다. 강도가 있으면서 잘 휘며 탄성이 좋기 때문에 적합한 재료로서 더욱 많은 선택의 기회를 갖고 있다.

대표적 물리적 성질

Brush Alloy	밀도 (g/cm ³)	탄성계수 kg/mm ² (10 ³)	열팽창계수 20°C-200°C m/m/°C	열전도율 cal/(cm·s·°C)	용융온도 (°C)
25	8.36	13.4	17 × 10 ⁻⁶	0.25	870-980
M25	8.36	13.4	17 × 10 ⁻⁶	0.25	870-980
165	8.41	13.4	17 × 10 ⁻⁶	0.25	890-1000
3	8.83	14.1	18 × 10 ⁻⁶	0.57	1000-1070
10	8.83	14.1	18 × 10 ⁻⁶	0.48	1000-1070
174	8.80	14.1	18 × 10 ⁻⁶	0.55	1020-1070

주 기 : 표의 수치는 열처리후의 것임.

열처리전의 밀도는 ALLOY 25, M25, 165 : 8.25g/cm³, ALLOY 3, 10 : 8.75g/cm³

제품안내

판재 (Strip)	8
선재 (Wire)	14
봉재 (Rod), 각재 (Extruded Bar), 관재 (Tube)	16
후판재 (Plate), 절단각재 (Rolled Bar)	18
단조물, 압출물	20
유정 굴착관 부품 (Drill String Products)	21
기타 생산 제품 및 서비스	22

Brush Wellman사의 베릴륨동 제품은 모든 고성능 동계 합금 중에서 품질이 가장 우수하고 신뢰성이 높은 것으로 세계적 평판을 얻고 있습니다. Brush Wellman사는 상시 각종 크기와 형태의 제품을 다양하게 재고로 보유하고 있습니다. 베릴륨동은 가공성, 접합성이 좋으므로 주문이 있을 때에는 특별한 모양의 제품도 경제적으로 만들 수 있습니다.

본 장에서는 제품의 기계적, 전기적 성질을 보이고자 합니다. 여기에 보인 자료는 설계할 때 재료의 적정 크기와 템퍼를 선택하는 데에 도움을 드리고자 작성한 것입니다.

따라서 본 자료는 재료의 실제 공급 범위가 이에 국한된다는 것을 가리키는 것이 아니며 실제의 재료는 여기에 보인 것보다 더 세밀한 등급으로 만들어질 수 있고 실제로 자주 그러한 주문을 받고 있습니다. 폐사는 특수 사양의 제품이 필요할 때 그러한 도전을 환영합니다.

판재 (Strip)

Brush Wellman사의 베릴륨동 스트립은 그 사용 범위가 대단히 넓다. 예를 들면, 이 판재를 성형 가공하여 만든 스프링 부재는 흔히 신호변환 또는 전류변환 장치에 있어 중요한 작동 부품이다.

컨넥터에 있어서는 베릴륨동은 삽입 접촉력을 적당히 조절할 수 있으므로 접촉저항을 최소한으로 하는 동시에 단락시에도 전기의 도전성을 끝까지 일관되게 유지할 수 있게 하여 준다. 이렇게 하자면 이 작은 접촉자를 Stamping 제작하고자 설계함에 있어 유연성과 강성을 동시에 갖도록 고려하지 않으면 안된다. 베릴륨동 판재에 많은 등급의 템퍼가 있는 것은 이러한 면에서 대단히 유용하다.

규격대비표

Brush Alloy	UNS Number	Strip
25	C17200	ASTM B 194 QQ-C-533 AMS 4530, AMS 4532 SAE J 461, SAE J 463
165	C17000	ASTM B 194 QQ-C-533 SAE J 461, SAE J 463
190	C17200	ASTM B 194
290	C17200	ASTM B 194
3	C17510	ASTM B 534 MIL-C-81021 RWMA Class 3
10	C17500	ASTM B 534 MIL-C-81021 SAE J 461, SAE J 463 RWMA Class 3
174	C17410	ASTM B 768

ASTM American Society for Testing and Materials
QQ Federal Specification
MIL Military Specification
SAE Society of Automotive Engineers
AMS Aeronautical Materials Specifications (Published by SAE)
RWMA Resistance Welder Manufacturers' Association

주 기: 따로 규격이 없으면 ASTM 규격을 따름

베릴륨동 판재의 유용한 장점을 보면 다음과 같다.

- 여러가지 템퍼에 있어, 판재의 강도와 가공특성이 방향에 따라 변하지 않는다. 압축공기 제어기기에 쓰이는 베로우스(Bellows)나 다이어프램(Diaphragm)과 같이 프레스가 공 깊이가 깊은 제품을 만들고자 할때는 제작시나 사용시 다같이 재료가 무방향성일 필요가 있다.
- 전자파의 간섭을 차단시키고자 사용되는 shielding strips의 경우는 성형성에 대한 요구조건이 대단히 심한 반면 강도와 내구성도 요구되는데 베릴륨동 판재는 이러한 제 조건을 충족시켜 주는 재료이다.
- 릴레이와 스위치의 접촉단자 부재는 때로는 상당히 높은 온도조건하에서 일정한 부하응력을 유지하며 반복적으로 움직이지 않으면 안되므로, 이들은 높은 피로강도도 갖지 않으면 안된다. 베릴륨동 소재는 이러한 곳의 소재로서 적합한 재료이다.
- Insulation Displacement Connectors에 있어서는 경도가 높으면 절연재를 관통하여 도체와 확실히 접촉을 갖게 하는 게 유용한데 베릴륨동 재료는 이런 목적에도 적합하다.

스프링 설계에 있어서 두께는, 힘 대 휨 관계 특성에 아주 큰 영향을 미치는 중요한 요소이다. 따라서 Brush Wellman사는 다음 페이지에서 보인 바와 같이 허용 공차범위를 정하고 두께가 균일한 판재를 공급하고 있다. 폭은 88.90mm (3.5 in)까지는 $\pm 0.0762\text{mm}$ (0.003 in)의 공차 범위내에서 슬리팅 되도록 관리하고 있다.

스트립(Strip)의 휨상태는 옆으로 휘 것과 면상으로 휘 것(Coilset 또는 Crossbow)을 다 같이 주의깊게 관리한다. 프레스 작업시에 있어서 특히, Progressive Dies 작업에 있어서 이 스트립이 곧지 않으면 기계에 스트립을 먹이는 것이 곤란하다.

허용공차

스트립의 두께	Bursh Wellman 표준허용공차 (+/-)
0.05초과 0.10 까지	0.0038
0.10초과 0.20 까지	0.006
0.20초과 0.30 까지	0.008
0.30초과 0.70 까지	0.010
0.70초과 1.0 까지	0.016
1.0 초과 1.3 까지	0.020
1.3 초과 2.0 까지	0.025

템퍼 등급의 표기

베릴륨동의 성질은 화학 성분외에 냉간가공 및 시효경화 처리에 의하여 결정된다. 베릴륨동 소재의 제 성질중 화학성분 여하로 결정되는 성질 이외의 모든 성질을 종합적으로 표시한 것이 "템퍼(Temper)"이다.

도면이나 주문서에 Alloy 번호와 템퍼 표시가, 예를들어 "Brush Alloy 3 AT"와 같이 표기되어 있으면 사용자는 이 재료의 모든 성질을 구체적으로 알 수 있다.

템퍼에 대한 등급표시 정의는 ASTM B 601, "동 및 동계 합금에 대한 템퍼 등급지정 표준"에 규정된 것을 따르고 있다. 다소 부정확하긴 하나 "Quarter Hard"나 "Half Hard"라는 말도 통용되고 있다. 이런 말들과 ASTM에서 정한 용어의 대비를 위하여 아래 표를 보아주기 바란다.

용체화소둔(Solution Annealing) 상태의 베릴륨동은 예를 들어, Alloy 25 A에서와 같이 "A"자를 붙여서 표시한다. "A"자가 붙은 것은 따라서 그 합금으로서 가장 연한 상태의 것을 나타낸다. "H"자를 붙이면 예를 들어, Alloy 25 H에서와 같으나 인발과 같은 냉간가공을 통하여 재료를 가공경화(Work Hardening)시켰음을 나타낸다. "A"자나 "H"자 뒤에 "T"자를 붙인 것은 그 재료를 표준 열처리하였음을 나타내는데, 예

를 들어 Alloy 25 HT 라고 쓰고 그 재료에 대한 제 성질이 표기되어 있으면 이것은 "HT"상태에서의 최대치를 표시한 것이다.

"A"나 "H" 템퍼 상태의 재료는 "AT" "HT" 상태의 재료보다 아직 강도가 낮고 연신율이 좋으므로 베릴륨동 스트립을 사용할 때에는 "A" 또는 "H"상태에서 성형 또는 Stamping 등 가공을 하고, 그다음에 수요가가 열처리를 하여 "AT", "HT" 상태의 성질을 얻도록 하는 것이 일반적인 사용법이다.

"M"자가 붙은 것은 스트립(Strip)이 공장 제조시에 어떤 특별한 처리를 받았다는 것을 나타내는데, 예를 들면 Alloy 190HM과 같은 것이 그것이며 일정한 범위내의 규격으로 제조되고 있다. Alloy 3과 Alloy 10 스트립은 완전 시효경화 처리 상태로도 공급된다. 이 재료들중 "AT"자를 붙인 것은 소둔 후 석출경화 처리된 것을 나타내며, "HT"자를 붙인 것은 소둔 후에 냉간압연을 하고 석출 경화처리하였음을 뜻한다.

Alloy 3과 Alloy 10 에는 "M"자를 붙인 것이 없는데 이것은 사용자가 열처리에 의한 경화처리를 하면 똑같은 재질이 얻어지기 때문이다. 그러나, Alloy 3과 Alloy 10은 그 대신 "HTR" 또는 "HTC"를 붙인 것이 있는데 이것은 표준 열처리 방법으로 얻을 수 없는 성질을 스트립 제조시 공장에서 특별히 제조하여 만든 것을 뜻한다. HTR은 표준제품보다 강도가 더 높고 HTC는 표준제품보다 전기전도율이 높다.

템퍼 (Temper) 등급의 표기

Brush 표 기	ASTM 표 기	내 용	냉간 압연 두께 (압하율, %)
A	TB00	Solution Annealed	0
1/4 H	TD01	Quarter Hard	11
1/2 H	TD02	Half Hard	21
3/4 H	TD03	Three-Quarter Hard	29
H	TD04	Hard	37
AT	TF00	"T"자는 재료를 표준경화처리 하였다는 뜻임.	
1/4 HT	TH01		
1/2 HT	TH02		
3/4 HT	TH03		
HT	TH04		
AM	TM00	공장에서 스트립 제조시 특별 경화 처리한 것임. (더이상의 열처리 불요)	
1/4 HM	TM01		
1/2 HM	TM02		
HM	TM04		
SHM	TM05		
XHM	TM06		
XHMS	TM08		
HTR	—	Alloy 3 과 Alloy 10 에만 있음.	
HTC	—	공장에서 스트립 제조시 특별 경화 처리한 것임.	

스트립 (Strip) 베릴륨동의 기계적, 전기적 성질

Alloy No.	템퍼	열처리	인장강도 (kg/mm ²)	항복강도 (kg/mm ²)	연신율 (%) ***	피로강도 10 ⁶ Cycles (kg/mm ²)	****경			전기전도율 (%, IACS)
							비커스	로 또는 C	크 웰 피상경도	
25	A Dead Soft* Planished 1/4H 1/2H H	—	42-54	19-26	35-65	21-25	90-144	B45-78	30T46-67	15-19
			42-55	21-39	35-60	21-25	90-144	B45-78	30T46-67	15-19
			52-62	42-57	20-45	22-25	121-185	B68-90	30T62-75	15-19
			59-71	52-67	12-30	22-27	176-216	B88-96	30T74-79	15-19
			70-85	63-81	2-18	25-27	216-287	B96-102	30T79-83	15-19
C17200	AT 1/4HT 1/2HT HT	3 hr 315°C 2 hr 315°C 2 hr 315°C 2 hr 315°C	116-138	98-124	3-15	28-32	353-413	C36-42	30N56-62	22-28
			123-145	105-131	3-10	28-32	353-424	C36-43	30N56-63	22-28
			130-152	112-138	1-8	30-33	373-435	C38-44	30N58-63	22-28
			133-155	116-145	1-6	32-35	373-446	C38-45	30N58-65	22-28
190	AM 1/4HM 1/2HM HM SHM XHM XHMS	M	70-78	49-67	16-30	28-32	210-251	B95-C23	30N37-44	17-28
			77-85	56-78	15-25	29-33	230-271	C20-26	30N42-47	17-28
			84-95	66-88	12-22	30-34	250-301	C23-30	30N44-51	17-28
			94-106	77-95	9-20	32-37	285-343	C28-35	30N48-55	17-28
			105-113	87-99	9-18	33-39	309-363	C31-37	30N52-56	17-28
C17200	XHM XHMS	M	108-124	94-120	4-15	35-40	317-378	C32-38	30N52-58	17-28
			123-134	105-127	3-12	35-42	325-413	C33-42	30N53-62	17-28
			70 min	52-67	19-35	28-32	225-309	B98-C31	30T81-30N52	17-26
			84 min	66-81	14-30	30-34	255-339	C25-34	30N46-54	17-26
290	C17200	M	98 min	80-95	9-25	31-35	285-369	C28-38	30N48-58	17-26
			108 min	94-109	6-13	33-40	317-393	C32-40	30N52-60	17-26
			123 min	108-124	3-15	35-42	345-429	C35-43	30N55-62	17-26

165 C17000	A	Dead Soft*	—	42-54	19-26	35-65	20-23	90-144	B45-78	30T46-67	15-19
		Planished	—	42-54	21-39	35-60	20-23	90-144	B45-78	30T46-67	15-19
		1/4H	—	52-62	42-57	20-45	20-24	121-185	B68-90	30T62-75	15-19
		1/2H	—	59-71	52-67	12-30	22-27	176-216	B88-96	30T74-79	15-19
		H	—	70-85	63-81	2-10	25-27	216-287	B96-102	30T79-83	15-19
		AT	3 hr 315°C	105-127	91-117	3-20	26-30	325-373	C33-38	30N53-58	22-28
		1/4HT	2 hr 315°C	112-134	94-124	3-15	27-31	343-393	C35-40	30-N55-59	22-28
		1/2HT	2 hr 315°C	119-141	105-127	1-10	28-32	363-413	C37-42	30N57-60	22-28
		HT	2 hr 315°C	126-148	108-127	1-6	30-33	372-435	C38-44	30N58-63	22-28
		AM	M	70-78	49-67	18-30	28-32	225-251	B98-C23	30N37-44	18-33
	1/4HM	M	77-85	56-78	15-25	28-32	230-271	C20-26	30N42-46	18-33	
	1/2HM	M	84-95	66-88	12-22	30-34	257-301	C24-30	30N45-51	18-33	
	HM	M	94-106	77-95	9-20	32-37	285-343	C28-35	30N48-55	18-33	
	SHM	M	105-113	87-99	9-18	33-39	309-363	C31-37	30N52-56	18-33	
	XHM	M	108-124	94-117	3-10	35-40	317-378	C32-38	30N52-58	18-33	
3 C17510 and 10 C17500	A	Dead Soft*	—	24-39	14-22	20-40	14-21	65-125	B20-45	30T28-45	20-30
		Planished	—	24-39	17-32	20-40	14-21	65-125	B20-45	30T28-45	20-30
		H	—	49-60	38-57	2-10	18-25	144-176	B78-88	30T69-75	20-30
		AT	M or 2-3 hr	70-92	56-71	10-25	27-31	195-275	B92-100	30T77-82	45-60
		HT	at 480°C	77-95	66-85	8-20	30-33	216-287	B95-102	30T79-83	48-60
		HTR	M	84-106	77-99	1-5	30-34	216-287	B98-103	30T80-84	48-60
		HTC	M	52-60	35-53	8-20	21-25	147-176	B79-88	30T69-75	60
		1/2HT	M	66-81	56-70	10-20	28-32	180-230	B89-98	30T75-82	50-60
		HT	M	77-92	66-88	7-17	28-32	210-278	B95-C27	30T79-30N48	45-55

주 기 :

* 소문 스트림재는 Dead Soft 또는 Planished 상태로 공급됨. Dead Soft 재는 최대의 Deep Drawing 성질을 갖으나, 정밀 스탬핑에는 Planish 재가 선호되고 있음.

** ASTM 규격상의 템퍼표기임.

*** 표에 수록된 연신율은 0.1016 mm (0.004 in) 이상의 두께를 갖은 스트림재에 적용됨.

**** 박커스 경도는 로크웰 경도를 환산 표시한 것임.

M - Brush Wellman 공장에서 이미 열처리를 시행한 재료라는 뜻임.

성형 (Forming)

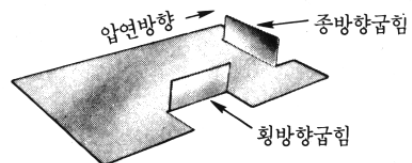
다음표를 보면 성형조건에 맞는 템퍼를 선택하는데 편리하다. R/t 비율은 90도 굽힐때 허용될 수 있는 곡율을 판의 두께(t)를 기준하여 표시한 값이다. R/t 값이 적으면 성형성이 좋다는 뜻이다.

소둔처리된 판재는 종, 횡 어느 방향으로나 우수한 성형성을 갖으며 성형하는데 아무 문제가 없다. 공장 경화처리재 (Mill Hardened Strip)도 어떤 템퍼의 것은 방향성이 낮은 것이 있다. 재료의 무방향성은 부재를 스탬핑 제조하고자 할 때, 압연방향에 관계없이 어느 쪽으로도 작업을 할 수 있게 하여 준다. 재료의 무방향성은 재료의 스크랩 손실을 최소한으로 할 수 있게 하여준다.

성형성 (Formability)

성형성 등급	내용설명	Alloy and Temper	R/t 비 (90° 굽힘)		Alloy and Temper	R/t 비 (90° 굽힘)	
			굽힘방향			굽힘방향	
			종	횡		종	횡
Excellent	Deep Drawing 재 및 심한 Cupping 재, forming 재에 사용됨	3A 10A 165A 25A	0 0 0 0	0 0 0 0			
	A 템퍼 정도의 성형성 보유, Blanking 작업 용이	165 1/4 H 25 1/4 H	0 0	0 0	290 TM00 290 TM02	0 0	0 0
Very Good	중간 정도의 deep drawing 재 및 cupping 재에 사용됨	3H	0.5	0.6	174 1/2HT	0.5	0.5
		10H	0.5	0.6	190 AM	0.8	0.8
		165 1/2 H	0.5	1.0	190 1/4HM	1.0	1.0
		25 1/2 H	0.5	1.0	3, 10 AT	1.0	1.0
					3, 10 HTC	1.0	1.0
					165 AM	1.0	1.0
					290 TM04	1.0	1.0
Good	R/t=3의 곡율로 90° 굽힘 가능	25H	1.0	2.9	190 1/2 HM	1.3	1.3
		165H	1.0	2.9	165 1/4 HM	1.5	1.7
					165 1/2 HM	1.9	2.2
					3, 10 HT	2.0	2.0
					190 HM	2.5	2.5
					290 TM06	2.5	2.0
Moderate	가벼운 drawing 가능, 스프링제조에 사용됨				174 HT	1.0	6.0
					190 SHM	2.8	3.2
					3, 10 HTR	2.8	3.5
					190 XHM	3.0	3.8
					290 TM08	3.5	3.0
Limited	기본적으로 평평한 부품 제조에 적합함. 펀치의 반경이 완만하여야겠음.				165 HM	3.8	5.1
					190 XHMS	4.1	6.0
					165 SHM	5.0	7.7
					165 XHM	6.1	10.4

주: 표시된 성형도는 두께 1.27 mm의 스트립에 대한 것임.
0.254 mm 이하의 얇은 스트립은 보다 좋은 성형성을 가짐
표에서 R은 펀치의 반경, t는 재료의 두께임. 표시된 성형성 수치(R/t)는 "V"형 다이에서 재료가 파괴되지 않으면서 90° 까지 굴곡될 수 있었던 펀치의 최소반경에 의한 것임.



베릴륨동을 스탬핑 또는 인발(Drawing) 작업하고자 할 때 치구(Tooling)에 대한 고려사항은 같은 수준의 경도를 갖는 다른 동계합금을 다룰 때의 것과 동일하다. 치구는 날이 예리하여야 하고, 펀치는 다이와의 간격이 판두께의 5%(한쪽만으로는 2.5%) 정도 되도록 하여야 한다. 이렇게 하면 형을 뜨거나(Blanking), 절단작업시에 버어(Burr)가 생기는 것을 막을 수 있다. 버어는 작용응력이 높을 때에는 피로강도를 떨어뜨리는 원인이 될 수 있으므로, 열처리 하기 전에 모두 제거하여 주는 것이 좋다. 드래프트 각도(Draft Angle)는 인칭동이나 황동보다 조금 큰 정도가 되어야 하는데, 이렇게 하여야 펀치에 베릴륨동이 묻어서 간격이 좁아지게 하는 문제가 수월하게 되기 때문이다. 작업시 윤활제를 쓰면 치구의 수명을 연장시킬 수 있다. 단 유황분이 있는 윤활제를 쓰면 표면이 변색될 수가 있다.

성형후 스프링백(Spring Back) 현상이 생기는 것은 템퍼와 강도가 높을수록 심해지는데 이것은 미리 성형각도를 좀 더 많이 하여줌으로써 조절할 수 있다. 펀치의 곡률이 일정할 때, 판재의 두께가 두꺼우면 스프링 백 현상은 감소한다.

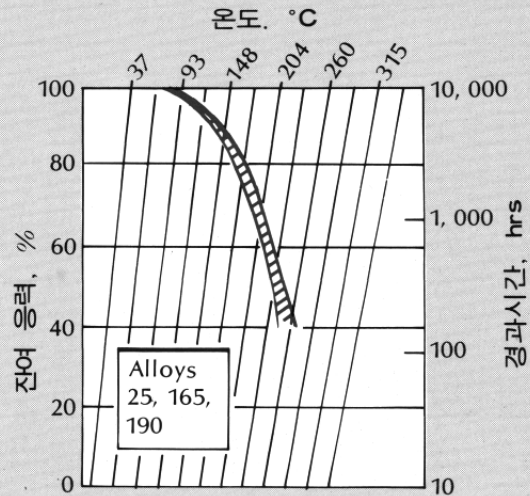
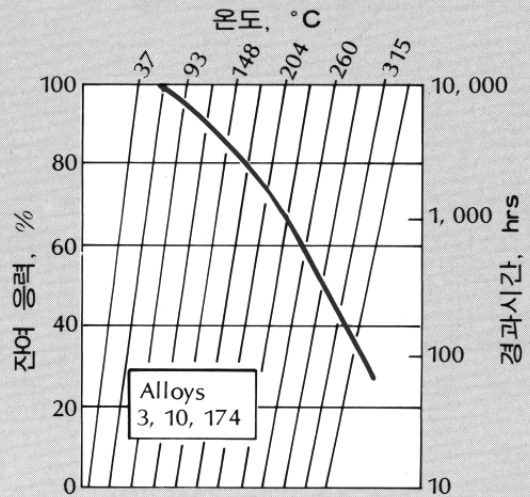
응력이완 저항력 (Stress Relaxation Resistance)

베릴륨동이 잘 쓰이는 이유중의 하나로 응력이완 저항력이 높은 고유의 특성을 들 수 있다. 전산기, 자동차, 항공기 등에 있어 부품이 계속 소형화 되는 추세에 있는 바, 이는 고열에서도 원래의 특성을 그대로 유지하는 재료의 필요성을 강조시키고 있다. 오늘날 많은 전자 부품의 접촉자, 스프링 부품이 전의 어느때 보다도 보다 높은 작동 온도 조건하에서 더 높은 안정성을 갖고면서, 더 오래 사용되고 있는 것은 누구나 알고 있는 사실이다. 응력이완현상은 판재를 잘라서 탄성범위내의 일정한 응력을 갖게 한 후 온도를 높게한 분위기에 넣어둠으로써 측정할 수 있다.

흔히 쓰이는 한 방법으로는, 샘플 한쪽을 고정치구에 고정시킨 후, 다른 한쪽을 항복강도(0.2% off-set)의 75%에 상당할 만큼 Cantilever Beam 상태의 휨응력을 갖도록 휘게하여 고정한다. 그다음 이 샘플을 온도가 높은 곳에, 대개 1000시간 놓아두었다가 꺼낸다.

응력이완이 된 것은 Cantilever쪽의 응력을 제거하였을때 원래 위치로 스프링 백 하지않고 영구 소성변화를 나타내는데 처음의 휨 정도에 대한 소성변화량이 응력이완완성에 따른 응력 손실율이 된다. 베릴륨동 합금의 응력 이완성을 비교하여 보면 옆의 그림과 같다. 이 그림에서는 온도와 시간과 잔류응력(손실응력이 아님)간의 상관관계를 Larson-Miller식 기법으로 표시하였다. 이 그림을 보면 어떤 온도에서 얼마나 오래 있으면 잔류응력이 얼마나 되는 지를 알 수 있다.

응력이완저항성



응력이완 저항성 도표 읽는법

1. 오른편 축에서 경과 시간을 읽는다.
2. 경과 시간의 해당지점에서 왼쪽으로 수평하게 선을 그어 해당 온도의 사선과 만나는 점을 찾는다. (온도는 윗쪽에 표시됨)
3. 그점에서 수직선을 그어 응력이완 곡선과 만나는 점을 찾는다.
4. 응력이완 곡선과 만나는 점에서 다시 왼쪽으로 수평 선을 그어 왼편축과 만나는 점으로부터 잔류응력치를 구한다.

선재 (Wire)

선재는 베릴륨동 재료 중에서 응용범위가 아주 다양한 것 중의 하나이다. 베릴륨동 선재의 응용예를 보면 다음과 같은 것이 있다.

- 길이가 긴 코일스프링
- 소형의 기계가공 제조된 전자소켓트 (Collet 라고도 함)
- Cold Headed Fasteners
- 스프링 장착 PCB 회로 검사핀 (Probes)
- 경량 내피로 스트랜디드 케이블 (Stranded Cable)
- Bandoliered Connector Contacts
- 보호막 (베릴륨 동선을 꼬아서 만듦)
- 부식 및 생체오염에 강한 해양용 강선 또는 철망으로 사용됨.
- 원주 방향으로 축을 잡아주는 형식의 전자 접촉자. (Axial Gripping Electronic Contacts)
- 안경테

선재를 펴서 자르면 봉재(Rod)가 된다. 선재는 단면이 원형이 아닌 것도 있다. “형” 선재류는 용도에 따라 중요한 역할을 한다. 예를들면, 평선재(Flat Wire)는 뽑았다가 넣었다가 할 수 있는 안테나 재료로 쓰이며, 통신용 전선으로도 쓰인다. 평선재는 스프링(Strap)을 좁게 슬리팅 하는 대신 쓰이기도 한다. 평선재는 두께에 따라 폭의 비율이 제한되어 있으나 스트립을 슬리팅하여 쓸때보다 경제적인 때가 많다. 평선재는 슬리팅시 생기는 버어(Burr)문제가 없다.

각선재(Square Wire)는 전기적 접촉이 확실하게 되도록 모서리가 직각이어야 하는 권선형 접촉자 재료로 쓰인다. 때때로 정사각형 또는 직사각형의 각선중 한쪽 모서리만 쳐내어 (Bevelling), 사용위치를 알 수 있게 하는 때도 있다. 이와같이 베릴륨동 선재는 흔히 쓰이는 형태이건, 드물게 쓰이는 형태이건 다양하게 생산 공급되고 있다.

Brush Wellman사가 공급하는 원형 선재의 크기는 직경 12.7mm(0.5 in)에서부터 1.27mm(0.050 in)까지이다. 허용 오차 범위는 아래표와 같다. 더 가는 세선도 특별주문에 의하여 공급될 수 있으나 세선 신선업체가 많이 있으므로 이들에게 주문하면 더 간단히 구할 수 있다. 선재의 공급 템퍼는 소둔 템퍼인 A에서부터 1/4H(Quarter Hard), 1/2H(Half Hard), H(Full Hard)까지 있다. 또한 특별한 경우에는 이미 경화처리한 상태로 (Prehardened 또는 Pretempered) 공급될 수 있다. 이것은 성형 가공정도가 그렇게 심하지 않으면서 강도와 내구성이 요구될때 융통성 있게 이용될 수 있다.

규격대비

Brush Alloy	UNS Number	Wire
25	C17200	ASTM B 197 QQ-C-530 AMS 4725 SAE J 461, SAE J 463
M25	C17300	ASTM B 197 QQ-C-530
3	C17510	*
10	C17500	*

ASTM American Society for Testing and Materials
QQ Federal Specification
SAE Society of Automotive Engineers
AMS Aeronautical Materials Specification
 (Published by SAE)

주 기 : 다른 규격이 없으면 ASTM 규격에 따름
 * 준비중에 있음

허용공차

(mm)

Brush Wellman
 표준허용공차
 (+/-)

Wire 의 지름	냉간인발재	소둔재
1.2 초과 1.5 까지	0.01	0.03
1.5 초과 2.0 까지	0.01	0.03
2.0 초과 3.8 까지	0.02	0.05
3.8 초과 12.7 까지	0.03	0.05

주 기 : 진원도 공차는 지름공차의 반임.

선재 (wire) 베릴륨동의 기계적, 전기적 성질

Alloy No.	템퍼 (*)	열처리	선재의 지름 (mm)	인장강도 (kg/mm ²)	항복강도 (kg/mm ²)	연신율 (%)	전기전도율 (% IACS)
25 C17200 and M25 C17300	A (TB00)	—	1.3-12.7	42-55	14-22	30-60	15-19
	1/4 H (TD01)	—	1.3-12.7	63-81	52-74	3-25	15-19
	1/2 H (TD02)	—	1.3-12.7	77-95	63-88	2-15	15-19
	3/4 H (TD03)	—	1.3-2.0	91-109	80-106	2-8	15-19
	H (TD04)	—	1.3-2.0	98-117	91-113	1-6	15-19
	AT (TF00)	3 hr 315-330°C	1.3-12.7	112-141	101-127	3 min	22-28
	1/4 HT (TH01)	2 hr 315-330°C	1.3-12.7	123-148	116-141	2 min	22-28
	1/2 HT (TH02)	1.5 hr 315-330°C	1.3-12.7	130-152	119-148	2 min	22-28
	3/4 HT (TH03)	1 hr 315-330°C	1.3-2.0	133-162	123-155	2 min	22-28
	HT (TH04)	1 hr 315-330°C	1.3-2.0	137-162	126-155	1 min	22-28
3 C17510 and 10 C17500	A (TB00)	—	1.3-12.7	24-39	7-22	20-60	20-30
	H (TD04)	—	1.3-12.7	45-57	38-53	2-20	20-30
	AT (TF00)	3 hr 480-495°C	1.3-12.7	70-92	56-78	10 min	45-60
	HT (TH04)	2 hr 480-495°C	1.3-12.7	77-99	66-88	10 min	48-60

* 괄호안의 기호는 ASTM의 템퍼 표기임

봉재 (Rod), 각재 (Bar), 관재 (Tube)

길이는 25.4mm (1 in)부터 9,144 mm (30 ft)까지, 단면의 크기는 9.52 mm (3/8 in)에서 228.6mm(9 in)보다 큰 것도 있다. 냉간인발 또는 압출로 각종형태의 정밀제조가 가능하며 시효경화 처리가 간단하다. 강도가 높으며 내식성이 좋고 기계가공성이 좋은점등 많은 유용한 성질을 갖고 있다.

봉재(Rod) 봉재는 곧게 편 긴 형태로 나오며 사용자가 기계가공 또는 성형하여 완성품을 만드는 소재이다. 성형은 시효경화 전에 하며 기계가공은 시효경화 후에 한다. 이들의 대표적인 용도의 예를 보면 다음과 같다.

- 정비를 자주할 수 없는 베어링 및 부싱(Bushing)
- 강력한 건(Gun)식 저항용접기의 구조용 부재
- 플라스틱 사출성형 및 금속 다이캐스팅용 코아핀, 기타 인서트재

각재(Bar) 각재도 곧게 편 길이 형태로 생산된다. 단면은 원형이 아니고 정사각형, 직사각형, 육각형 등이 가장 많다. 이들의 대표적 용도의 예를 보면 다음과 같다.

- Flash Butt Welder의 용접다이와 같이, 어떤 압력하에 접촉이 되어도 서로 문들어져서 붙으면 안되는 접촉관류 (베릴륨동은 항상 표면에 BeO의 산화 피막이 생기는데 이것이 금속윤활제 역할을 하여줌).
- Guide Rail 및 Bus Bar
- 기계가공 나사 체결구류(Fasteners)

관재(Tube) 관재는 직경과 관벽의 두께 범위가 넓다. 관벽이 두꺼운 열간 제품도 있고 관벽이 얇은 냉간 인발관재도 있는데 아주 얇은것은 특별한 인발 전문업자가 생산공급한다. 이들의 대표적 용도를 보면 다음과 같다.

- Bourdon이나 Pitot Type과 같은 굴절력에 강한 계측기용 튜브. (재 인발가공 Tube임)
- 비행기 착륙 장치용 베어링 및 지지 관절용 부재
- Tri-Cone 형 Drilling Bit Bushings(Long Life 형)
- 정밀 magnetometers 및 기타 계기류의 압밀용기

베릴륨동의 봉, 관, 각재는 저항용접기 제조에 있어 중요한 소재이다. 이것은 베릴륨동이 구조재료로서의 형상과 치수를 정확하게 맞출 수 있으면서 동시에 경도와 전기 전도율이 높은점과 전극용 재료로서 내구성이 있기 때문이다. 성형 및 기계가공이 용이한 점도 저항용접기 제조를 보다 경제적으로 할 수 있게 하는데 도움을 준다. 이 소재는 경화 처리하여 공급되기도 한다. "AT"재는 소둔후 석출 경화 처리재이고 "HT"재는 소둔후, 냉간인발 및 석출경화 처리한 재료이다. 17페이지를 보면 공급되는 템퍼의 종류가 나와 있다.

규격대비

Brush Alloy	UNS Number	Rod, Bar and Tube
25	C17200	ASTM B 196, 251, 643 QQ-C-530 MIL-C-21657 SAE J 461, SAE J 463 AMS 4650, AMS 4651 RWMA Class 4
M25	C17300	ASTM B 196 QQ-C-530 MIL-C-21657
165	C17000	ASTM B 196 SAE J 461, SAE J 463 RWMA Class 4
3	C17510	ASTM B 441 SAE J 461, SAE J 463 RWMA Class 3
10	C17500	ASTM B 441 SAE J 461, SAE J 463 RWMA Class 3

ASTM American Society for Testing and Materials
QQ Federal Specification
MIL Military Specification
SAE Society of Automotive Engineers
AMS Aeronautical Materials Specification (Published by SAE)
RWMA Resistance Welder Manufacturers' Association

주기: 다른 규격이 없으면 ASTM 규격에 따름

허용공차 (mm)

생산품	치수 (Size)	Brush Wellman 표준공차 (+/-)
Cold Drawn Round Rod (직경)	3.8초과 12 까지	0.05
	12 " 25 "	0.08
	25 " 50 "	0.10
	50 " 75 "	0.2% of size
Cold Drawn Hex Rod (면간거리)	3.8 " 12 "	0.08
	12 " 25 "	0.10
	25 " 50 "	0.13
	50 " 75 "	0.2% of size
As Extruded Round Rod (직경)	20 " 30 "	0.50
	30 " 38 "	0.75
	38 " 150 "	1.50

봉재 (Rod), 각재 (Bar), 관재 (Tube) 베릴륨동의 기계적, 전기적 성질

Alloy NO	템퍼 (*)	열처리	외경 또는 평행면간 거리 (mm)	인장강도 (kg/mm ²)	항복강도 (kg/mm ²)	연신율 (%)	로크웰경도 B 또는 C Scale	전기전도율 (% IACS)
25 C17200 및 M25 C17300	A (TB00)		all sizes	42-60	14-25	20-60	B45-85	15-19
	H (TD04)		up to 9.5	63-92	52-74	8-30	B92-103	15-19
			over 9.5 to 24.4	63-88	52-74	8-30	B88-102	15-19
			over 25.4 to 51	59-85	52-74	8-20	B88-101	15-19
			over 51 to 76	59-85	52-74	8-20	B88-101	15-19
	AT (TF00)	3 hr 315-330°C	all sizes	116-141	91-124	3-10	C36-41	22-28
	HT (TH04)	2-3 hr 315-330°C	up to 9.5	130-159	112-141	2-9	C39-45	22-28
			over 9.5 to 25.4	126-155	108-138	2-9	C38-44	22-28
			over 25.4 to 51	123-152	105-134	4-9	C37-44	22-28
			over 51 to 76	123-152	101-131	4-9	C37-44	22-28
165 C17000	A (TB00)		all sizes	42-60	14-25	20-60	B45-85	15-19
	H (TD04)		up to 9.5	63-92	52-74	8-30	B92-103	15-19
			over 9.5 to 25.4	63-88	52-74	8-30	B91-102	15-19
			over 25.4 to 51	59-85	52-74	8-20	B88-101	15-19
			over 51 to 76	59-85	52-74	8-20	B88-101	15-19
	AT (TF00)	3 hr 315-330°C	all sizes	105-134	87-109	3-10	C32-39	22-28
	HT (TH04)	2-3 hr 315-330°C	up to 9.5	119-148	101-131	2-5	C35-41	22-28
			over 9.5 to 25.4	119-148	101-131	2-5	C35-41	22-28
			over 25.4 to 51	116-141	98-127	2-5	C34-39	22-28
			over 51 to 76	116-141	94-124	2-6	C34-39	22-28
3 C17510 and 10 C17500	A (TB00)		all sizes	24-39	7-22	20-35	B20-50	20-30
	H (TD04)		up to 76	45-57	35-53	10-15	B60-80	20-30
	AT (TF00)	3 hr 480°C	all sizes	70-92	56-71	10-25	B92-100	45-60
	HT (TH04)	2 hr 480°C	up to 76	77-99	66-88	5-25	B95-102	48-60

* 괄호안의 기호는 ASTM의 템퍼 표기임

후판재와 절단 각재(Plate and Rolled Bar)

판재와 관재를 절단하여 만든 각재는 제조시에 치수의 정확성을 기하기 위한 세심한 주의가 필요하다. 판재는 두께가 4.77mm(0.188 in)보다 두껍고 304.8mm(12 in)보다 폭이 넓은 압연 제품이다. 절단 각재는 단면이 정사각형이거나 직사각형으로서 후판을 톱 또는 마찰공구로 절단 제조한 것이다.

템퍼는 용체화 소둔(A), 냉간압연(H) 및 경화처리(AT 및 HT)의 각 템퍼가 있다. 템퍼를 선택하는 것은 용도 및 제조 방법에 따라 다르다. 예를들면, Alloy 25에 있어서 작은 구멍을 여러개 뚫어야 할 때는 소둔재가 좋고 열처리는 그후에 하는 것이 좋다.

열처리재를 선택할 때에는 보다 더 단단한 공구로 가공을 하여야 한다. "A"나 "H"템퍼의 재료를 선택할 때에는 후에 경화처리 과정에서 약간의 치수변화가 생기므로 부품의 크기를 약간 크게 한다. 이들 판재는 기계가공이나 사용시 다같이 치수의 안정성이 높다. 그래서 여러가지 열관리 기계에 쓰인다. 베릴륨동 후판은 열전도율이 좋고 피로 강도가 높으며 기계가공성이 우수하므로 열관리기기에 있어 비용효과가 우수한 많은 용도를 갖고 있다.

응용사례 :

- 컴퓨터 기억장치의 수냉판
- 플라스틱 사출금형 및 인서트 재(Inserts)
- 다이캐스팅용 금형, 플라스틱 브로우 몰딩 금형
- 전기저항 용접기의 구조재
- 내마모성 접촉판류
- 안전공구(Nonsparking)

규격대비

Brush Alloy	UNS Number	Plate and Rolled Bar
25	C17200	ASTM B 194 QQ-C-530 SAE J 461, SAE J 463 AMS 4530 AMS 4650 AMS 4651 RWMA Class 4
165	C17000	ASTM B 194 SAE 461, SAE J 463 RWMA Class 4
3	C17510	ASTM B 534 SAE J 461, SAE J 463 RWMA Class 3
10	C17500	ASTM B 534 SAE J 461, SAE J 463 RWMA Class 3

ASTM American Society for Testing and Materials
QQ Federal Specification
MIL Military Specification
SAE Society of Automotive Engineers
AMS Aeronautical Materials Specification (Published by SAE)
RWMA Resistance Welder Manufacturers' Association

주기 : 다른 규격이 없으면 ASTM 규격에 따름

허용공차 (mm)

두	께	Brush Wellman 표준허용공차	
		+	-
5.0초과	8.0까지	0.30	0
8.0초과	13.0까지	0.40	0
13.0초과	20.0까지	0.50	0
20.0초과	30.0까지	0.60	0
30.0초과	40.0까지	0.70	0
40.0초과	60.0까지	0.85	0

주기 : 위 표는 폭 609mm(24 in) 까지의 것에 대한 것임. 폭의 허용공차는 +/-1.5mm (1/16 in) 임.

판재 및 절단각재 베릴륨동의 기계적, 전기적 성질

Alloy No	템퍼 (*)	열처리	두께 (mm)	인장강도 (kg/mm ²)	항복강도 (kg/mm ²)	연신율 (%)	로크웰경도 B 또는 C Scale	전기전도율 (% IACS)
25 C17200	A (TB00)		all sizes	42-60	14-22	20-60	B45-85	15-19
	H (TD04)		up to 9.5	63-92	52-75	8-20	B92-103	15-19
			over 9.5 to 25	63-88	52-75	8-20	B91-102	15-19
			over 25 to 51	59-85	52-75	8-20	B88-101	15-19
			over 51 to 76	59-85	52-75	8-20	B88-101	15-19
	AT (TF00)	3 hr 330°C	all sizes	116-142	91-124	3-10	C36-41	22-28
	HT (TH04)	2 hr 330°C	up to 9.5	130-159	112-142	1-5	C39-45	22-28
			over 9.5 to 25	126-156	108-142	1-5	C38-44	22-28
			over 25 to 51	123-152	105-142	2-5	C37-43	22-28
			over 51 to 76	123-148	91-127	2-5	C37-42	22-28
165 C17000	A (TB00)		all sizes	42-60	14-22	20-60	B45-85	15-19
	H (TD04)		up to 9.5	63-92	52-75	8-20	B92-103	15-19
			over 9.5 to 25	63-88	52-75	8-20	B91-102	15-19
			over 25 to 51	59-85	52-75	8-20	B88-101	15-19
			over 51 to 76	59-85	52-75	8-20	B88-101	15-19
	AT (TF00)	3 hr 330°C	all sizes	105-135	91-109	3-10	C33-39	22-28
	HT (TH04)	2 hr 330°C	up to 9.5	119-148	94-116	2-5	C35-41	22-28
			over 9.5 to 25	119-148	94-116	2-5	C35-41	22-28
			over 25 to 51	116-142	94-116	2-5	C34-39	22-28
			over 51 to 76	112-135	87-109	2-5	C34-38	22-28
3 C17510 and 10 C17500	A (TB00)		all sizes	24-39	17-33	20-35	B20-50	20-30
	H (TD04)		up to 76	49-60	38-56	2-8	B78-88	20-30
	AT (TF00)	3 hr 480°C	all sizes	70-92	56-71	8-20	B92-100	45-60
	HT (TH04)	2 hr 480°C	up to 76	77-99	70-85	5-15	B95-102	48-60

* 괄호안의 규격은 ASTM의 템퍼 표기임

단조재 및 압출재(Forgings and Extrusions)

베릴륨동은 단조 및 압출작업에 의하여 완제품 모양에 가까운 대형물을 쉽게 제작할 수 있다.

단조재(Forging) 거의 어느 크기나 가능하다. 베릴륨동 단조법으로는 Rotary Forging, Ring Rolling Forging, Swaging, Cold Heading 등이 있으며 다이는 자유단조 및 형단조가 다 쓰인다.

단조물의 예로는:

- 접시모양의 계목저항 용접극 재(Open Die Forging)
- 발전기 링(Ring Forging)
- 우주선 및 해양선 부품
- 치차류 및 동력전달 연결재(Coupling)

압출재(Extrusions) 완성품 모양에 가깝게 압출함으로써 경제성이 있을 때에는 긴 길이로 쓰이며 짧은 길이로 쓰이는 경우는 완성품에 가까운 모양과 고속생산 처리가 서로 합하여 이점이 있을 때 쓰인다. Back Extruded Parts는 내경이 큰 공동을 이 방법으로 만드는 것이 경제적일 때 유용하다.

사용예:

- 컴퓨터 주변기기의 내마모용 Guide Rails
- 연속주조 설비용 Mold(내열, 내피로)
- Flash Butt Welding 용접기의 Die 및 Die 인서트재(내마모성, Antigalling) 성질
- 해저통신 케이블의 Repeater Housings(내식성, Antigalling 성질)

규격대비

Brush Alloy	UNS Number	Forgings and Extrusions
25	C17200	ASTM B 570 QQ-C-530 SAE J 461, SAE J 463 AMS 4650 RWMA Class 4
165	C17000	ASTM B 570 SAE J 461, SAE J 463 RWMA Class 4
3	C17510	RWMA Class 3
10	C17500	SAE J 461, SAE J 463 RWMA Class 3

ASTM American Society for Testing and Materials
QQ Federal Specification
SAE Society of Automotive Engineers
AMS Aeronautical Materials Specification
RWMA Resistance Welder Manufacturers' Association

* 주기: 다른 규격이 없으면 ASTM 규격에 따름

단조 및 압출 베릴륨동 소재의 기계적, 전기적 성질

Alloy	템 퍼 (*)	열처리	인장강도 (kg/mm ²)	항복강도 (kg/mm ²)	연신율 (%)	로크웰경도 B 또는 C Scale	전기전도율 (% IACS)
25 C17200	A (TB00)		42-60	14-29	35-60	B45-85	15-19
	AT (TF00)	3 hr 330°C	116-134	91-124	3-10	C36-42	22-28
165 C17000	A (TB00)		42-60	14-29	35-60	B45-85	15-19
	AT (TF00)	3 hr 330°C	105-127	87-109	4-10	C32-39	22-28
3 C17510 and 10 C17500	A (TB00)		24-39	14-29	20-35	B20-50	20-35
	AT (TF00)	3 hr 480°C	70-85	56-71	10-25	B92-100	45-60

* 괄호안의 기호는 ASTM의 템퍼 표기임

유정 굴착관 부품

기름 및 가스 채굴에 있어서의 특별한 필요성에 부응하기 위하여 별도 등급의 베릴륨동이 개발되었다. 가혹한 조건하에서 사용되는 이 부품은 유정관 하측 조립부품중 하나로 쓰이며, 예민한 자장계측장치를 보호해준다. 이 관모양의 부품은 자기에 투명하여야 하며 내식성이 있어야 하고 나사로써 단단히 조이기 위한 힘을 견딜 수 있을만큼 강해야 하며 채굴시의 회전력 및 굴절력등을 이겨낼 만큼 강인하지 않으면 안 된다.

이에 맞게 개발한 베릴륨동의 등급을 "Brush Alloy 25 Drill String 텀퍼"라고 한다.

이 베릴륨동은 나사고정부가 잘 들러붙지 않으므로 다른 연결부재의 수명도 연장시켜 준다. Drill String재는 아래 표에 있는 바와 같이 염소 응력부식에도 균열을 발생시키지 않는다. 이것은 이산화탄소에도 견디며 수소취성에도 효과적으로 면역이 되어 있다. 산성 환경에 간헐적으로 노출될 때에는 채굴 및 Well Logging 재료로서도 쓰인다.

Brush Alloy 25 는 어떠한 환경하에서도 변하지 않는 자기투과성(0.997-1.003)을 가지며, 기계가공이 용이하며 특별한 피막재나 처리를 요하지 않고도 나사가 잘 보존된다.

Brush Alloy 25는 "American Petroleum Institute Spec 7"에서 규정한 Drill Collars 및 Rotary 대체품에 대한 제 사양에 맞는 재료이다. 기계적 성질과 성능시험 결과는 아래 표에 나타나 있다.

Brush Wellman사는 끝에 나사가 있거나 나사가 없는 비자성 Collars 를 사용자 요구에 맞게 기계 가공하여 공급한다.

사용예:

- 비자성 Drill Collars
- 굴착기의 계측기탐재통
- 비자성 안정기(Nonmagnetic Stabilizers)
- 채광 또는 채유 및 시추시에 Coring Tool로 사용되는 Drill Rod

염화물 응력 부식 균열에 대한 저항성

온도 °C	148	155	148
작용응력 (0.2% 항복강도에 대한 백분율, %)	100	100	100
산소함유량 (포화가스중 ppm)	1*	1	5000*
pH	8	3	7
염화물 농도 (중량%)			
Sodium	3	0	0
Potassium	10	0	6
Magnesium	0	42	25
시험기간, hrs	720	1000	1000
시험결과	무균열	무균열	무균열

* 전체압력 70.3 kg/cm²

베릴륨동 Drill Collar 의 기계적 성질

외경 (mm)	최소 인장강도 kg/mm ²	최소 항복강도 kg/mm ²	최소연신율 %
88.9-174.6	98	77	12
177.8-279.4	94	70	13
279.4 이상	84	63	13

주기: 인장시험은 ASTM E8에 따름
항복강도는 0.2% off set 법에 의한 것임

나사연결에 있어서 압착(Galling)이 생기지 않는 성질 비교

연결재 (pin/box)	압착현상 발생시의 비틀림힘 (API 최소 Torque에 대한 백분율, %)	
	윤활시	비윤활시
Stainless/Stainless ¹	130	< 100
Alloy 25/Stainless ²	NF at 180	—
Alloy 25/Stainless ¹	NF at 200	200
Alloy 25/AISI 4140 ²	NF at 205	—
Alloy 25/Alloy 25 ¹	NF at 200	NF at 200

¹API 3-1/2 IF

NF - No Failure

²API 6-5/8 REG

기타 제품 및 서비스

여기 수록된 여러가지 베릴륨동 외에 Brush Wellman사는 모든 종류의 주조용 베릴륨동 합금을 공급하며 광범위한 고객 서비스 체제를 갖추고 있다. 여기서 이에 대하여 간략히 설명하고자 한다.

Brush Wellman사는 항상 베릴륨동 소재나 서비스를 통하여 사용자가 새로운 용도를 성공적으로 개발하는 일에 공동으로 참여하고 있다.

마스타 합금 (Master Alloys)

흔히 있는 마스타 합금으로서 4% 베릴륨동, 5% 베릴륨 알루미늄 및 6% 베릴륨 니켈이 있다. 이는 잉고트나 조각형태로 공급되며 다음과 같은 목적의 용융첨가제로 쓰인다. 즉, 동과 니켈의 산화제 또는 탈황제로서; 동, 니켈, 알루미늄의 경화제로서; 알루미늄에 있어서 청정도, 유동도 및 내식성을 좋게하기 위하여; 알루미늄에 있어서 산화 및 용융연소를 방지하기 위하여; 마그네슘에 있어서 산화 및 용융연소를 방지하기 위하여; 각종 합금류에 있어서 베릴륨양(量)을 조절하기 위하여.

주조용 잉고트 (Casting Ingot)

베릴륨동 주조용 잉고트는 고전도재, 고강도재 어느 성분이나 녹이기만 하면 그대로 얻어질 수 있도록 사전에 성분이 정해져 있다. 사형주조, 원심주조, 압력주조, 인베스트먼트 금형주조, 쉘 금형주조, 영구 금형주조등 베릴륨동 주조용 잉고트는 어느 주조법으로나 주조될 수 있다.

용융중 베릴륨 성분은 주조중의 유동성과 청정도를 높여 주고, 주조후에는 열처리를 할 수 있게 하여준다. 베릴륨동 주물은 금형의 모양을 그대로 찍어내는 성질이 대단히 우수하다. 석출경화 처리를 하면 경도가 높아지므로 내구성이 좋아지고, 열전도율이 좋으므로 열관리 재료로 널리 쓰이며, 기계가공성이 용이하며 끝내기 가공이 경제적으로 될 수 있다. 이와같은 이유로 베릴륨동 주조물은 저항용접총(Gun), 속이 빈 젯트엔진용 베인(Vane), 골프채 헤드, 플라스틱 사출물로서 표면에 장식용 무늬가 있는 물건을 만드는 데 많이 이용되고 있다.

Moldmax, Protherm

몰드 맥스와 프로섬은 후판재 및 봉재 형태로 공급된다. 이 열처리 된 소재는 플라스틱 사출용 금형재(Insert재)로 주로 사용된다.

베릴륨 니켈 판재 (Beryllium Nickel Strip)

371°C의 높은 온도에서도 높은 강도가 요구될 때에는 Brush Wellman사의 베릴륨 니켈 스트립이 사용된다. 이것은 충분

히 시효경화 처리를 하면 인장강도가 210 Kg/mm까지 얻어진다. 단순압연재(As-rolled) 또는 공장경화처리(Mill hardened) 재로 공급되며 성형성은 고강도 니켈 합금중 어느 것보다도 우수하다. 베릴륨-니켈 스트립의 대표적 사용예로서는 Burn-in Connectors/Socket, Belleville Washers 및 강력형 전자기계 장치들이 있다.

제조 서비스

이곳에 수록된 것 외에 폐사는 수요가의 특별한 요구에 부응하기 위하여 서비스센터를 통하여 다음 예와 같이 수요가의 편리를 돕고 있다.

- 특별 권선(Traverse Winding)
- 냉연 스트립의 텐션레벨링(Tension Leveling)
- 빌렛트, 후판, 봉재를 완성품의 모양에 가깝게 절단하여 줌
- 길이를 맞게 절단하여 줌
- 주석 또는 땀납 피막

주문 제작

수요가는 모든 베릴륨동 제품을 다 자체 제작할 필요가 없다. Brush Wellman사는 수요가의 최종 기계가공 공정에 맞게끔 미리 소재를 경제적으로 사전처리하여 공급할 수 있으며 수요가의 도면을 분석하여 가장 생산성이 좋고 경제적인 제작방법을 제시할 수도 있다.

관련업체 안내

Brush Wellman사는 베릴륨동 관련 소재를 전량 자체에서 생산할 수 없으므로 수요가에게 적합한 기계장치와 기술 경험을 가지고 있는 관련업체를 사용자로부터 문의가 있을 때에 안내한다. 분야의 예를 들면 다음과 같다.

- 세션, 신선업체
- 박물 압연 업체(Thin Foil)
- 벽두께가 얇은 관 제조업체(Thin Wall Tube Redrawing)
- 멀티게이지 스트립 제조업체(Multigage strip)
- 프레스 성형 업체
- Photochemical Machining 업체
- 고정시켜서 열처리하는 전문업체
- 접합업체
- Inlay Cladding 업체
- Solder Striping 업체
- 전자 비임용접 업체
- 부분 소둔재 제조업체(Zone Annealing)
- 도금업체

이상과 같은 분야의 업체를 Brush Wellman사의 Agent에 문의하면 안내를 받을 수 있다.

기술자료

열처리 기술	24
세정 및 표면 처리 기술	30
접합법-연납땜, 경납땜 및 용접	31
기계 가공	32
경도	33
피로 강도	35
내식성	36
기타 특성	37

본 장(章)에서는 베릴륨동의 설계와 가공에 대한 것을 주제로 하고 있습니다. 가공조건과 사양조건에 따라 어떤 재료를 쓰면 재료와 제품의 성능을 최대화시킬 수 있겠는가 하는 것에 중점을 두고 있습니다. 더 자세한 자료가 필요하면 Brush Wellman사의 다른 간행물을 참고해 주시기 바랍니다.

열처리 기술

화학 성분의 조성, 냉간가공 정도 및 열처리 여하에 따라 재료의 성질과 현미경 조직이 어떻게 달라지는 지를 알면 베릴륨동 재료를 가지고 설계를 하거나 작업을 하는데 있어 편리하다. 동에 소량의 베릴륨을 첨가하면 기계적, 열적가공을 통하여 동계합금중에서 최대의 강도를 갖는 합금이 되며, 이것은 많은 열처리강 보다도 강하다. 베릴륨동은 기계적 가공과 열적 가공을 조절하므로써 여러가지 요구조건에 맞는 각종 규격으로 소재를 생산할 수 있다. 다음 몇 페이지에 걸쳐 이러한 기본적 효과에 대하여 기술한다.

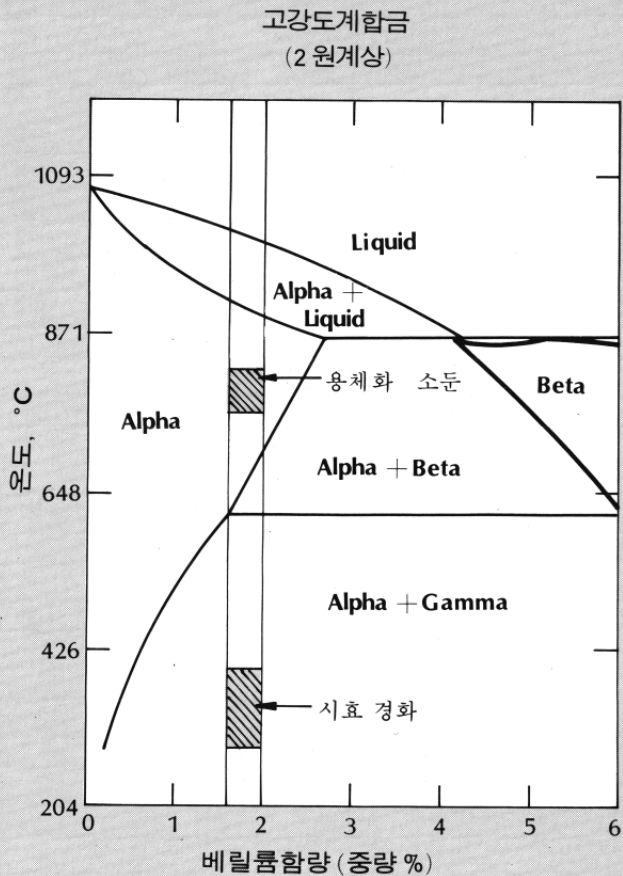
상태도

다음 표는 베릴륨동중 고강도 계통 합금의 2원계 평형 상태도이다. 이들 합금은 베릴륨 성분외에 0.6%(중량)의 코발트와 니켈을 함유하고 있으므로 이 2원계 상태도는 아주 정확한 것은 못되지만 합금의 거동을 설명하는데는 도움이 된다.

593℃ 이하에서 베릴륨 성분이 중량비로 1.65% 내지 2.0%가 되면 베릴륨 성분이 많은 감마상(Gamma phase)이 생긴다. 이 감마상은 베릴륨이 제한된 고용성을 갖기 때문에 생기는 것이다. 고강도 계통의 베릴륨동에 있어 석출경화 처리가 되는 것은 주로 이 때문이다.

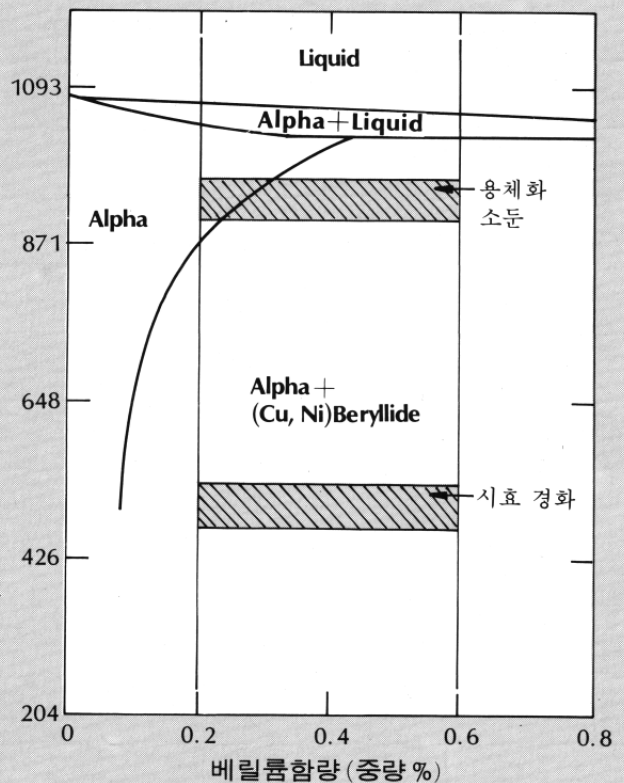
이 2원계 상태도는 704℃ 이상이 되면 베릴륨이 알파(Alpha) 고용체 상에 용해가 되는 것을 보여주고 있다. 여기에서 상온으로 급냉시키면 베릴륨이 고용체로 남게된다. 이 과정을 용체화 소둔이라고 하며 합금을 연하고 질기게 만들어 주며, 입자 크기를 조절할 수 있게 하여주고, 그리고 시효경화 처리를 할 수 있는 채비를 갖게하여 준다. 그런데 이 용체화 소둔은 제조 공정중에 이미 되기 때문에 대부분의 사용자는 베릴륨동을 소둔할 필요가 없다.

고강도계합금 (2원계상)



베릴륨동 상태도

고전도계 합금 (Alloy 3의 개략적 2원계상)



과포화 고용체를 315°C에서 2시간 내지 3시간 가열하면 강도를 높여주는 상(Phase)이 석출되게 하여 합금의 경도를 높여준다. 또 2원계 상태도를 보면 865°C에서 최대 용해도가 2.7%임을 알 수 있다(코발트를 첨가하면 2.3%까지 감소함). 상온에서는 베릴륨의 용해도는 0.25%를 넘지 못한다. 이와 같은 용해도차가 베릴륨동의 경화를 일으키는 주된 힘인데 다른 동계 합금에서는 거의 볼 수 없는 현상이다.

고강도 합금에서 코발트를 첨가하는 이유는 3가지가 있다. 첫째, 가장 중요한 것은 이것을 첨가함으로써 용체화 소둔중 입자 성장을 저해함으로써 입자의 크기를 작게하여 주는 것이며, 둘째는, 코발트를 첨가함으로써 석출경화가 시간에 덜 민감하게 하여주는 점이다. 셋째 이유는, 베릴륨동의 최대강도를 약간 증가시켜 주는 것이다.

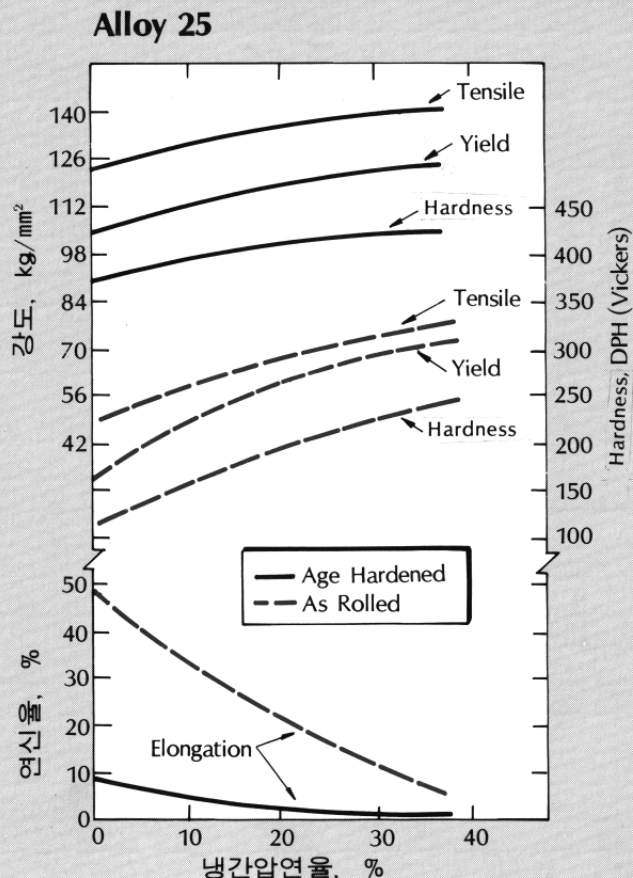
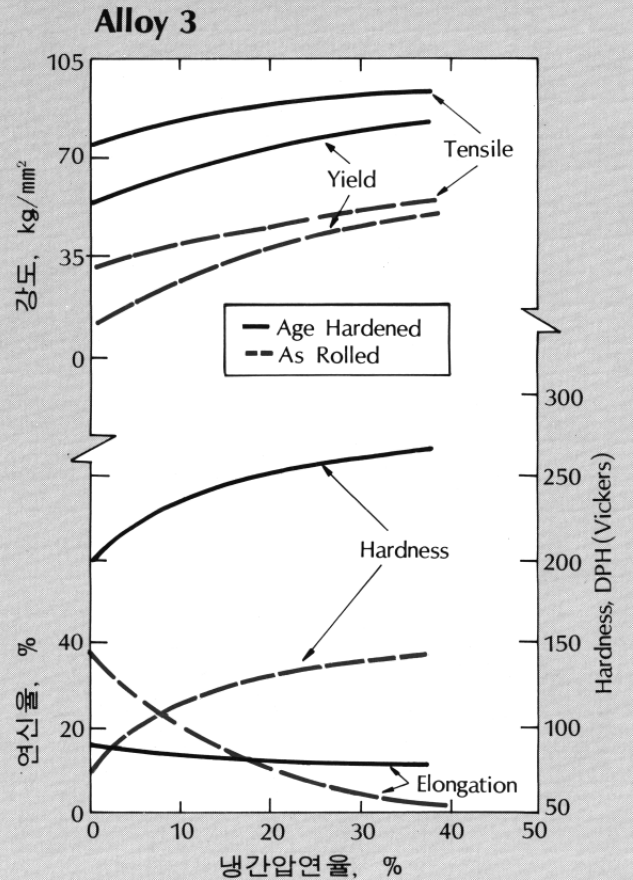
고전도계 합금중 대표적인 Alloy 3 합금의 개략적 2원계 상태도(동중 Nickel Beryllide가 있음)를 24페이지 오른쪽에 수록하고 있다. 전체적으로, 고전도계 베릴륨동의 베릴륨 성분은 0.15%에서 0.7%(중량)까지의 범위를 갖고 있다. 그러나, 이들 합금에 있어서 대부분의 베릴륨은 Beryllide Intermetallics 로 유리되어 있다. 고체화 과정중 생성되는 Beryllide는 소둔중 입자성장을 제한시켜주며, 석출경화중 생성되는 미세한 Beryllide는 강도를 높여주는 역할을 한다.

이들 고전도계 합금의 용체화 소둔과 시효경화 온도 범위는 각각 고강도계 베릴륨동 보다 높다. 고전도계 합금에 있어서 높은 온도에서도 강도를 높여주는 상(Phase)이 안정되어 있는 것은 Creep에 대한 저항력 및 응력이완에 대한 저항력을 높게하여 주는 원인이 된다.

냉간 가공 효과

시효 경화용 재료를 냉간가공한다는 것은 석출점이하의 온도에서 소성변화를 일으킴을 뜻한다. 한 작업물을 금속 가공하면 치수의 변화가 생긴다. 이 치수의 변화는 냉간가공 작업의 대표적 예인 압연, 인발, 굽힘, Upsetting에서 보는 바와 같이 대개 두 방향으로 변화가 생긴다. 열간가공과는 대조적으로 냉간가공을 하면 입자가 길게 늘어나며 작업의 반복에 따라 그 효과는 축적된다.

냉간가공은 본 페이지의 그림에 보는 바와 같이 베릴륨동의 강도와 경도를 높여준다. 강도가 증가함에 따라 재료의 강인성 또는 연신율은 감소한다. 냉간가공의 강도를 높여주는 효과는 시효경화재에 있어 특히 중요한 의미를 갖는다(우측 그림 참조). 냉간가공을 하면 석출생성점의 수효를 증가시킴으로써 시효경화 처리효과를 가속시킨다. 그러나 냉간가공도가 증가하면 연신율이 감소한다. 냉간가공에 비하여 연신



기술자료

율이 감소되는 비율은, 그러나 시효경화를 하지 않은 재료에서 보다 시효경화를 한 재료에서 더 적게 나타난다.

공장에서 소재를 생산할 때, 치수와 형상을 정확하게 맞춰주는 공정은 냉간가공 공정이다. 이 냉간가공 제품을 다시 엄격하게 관리되는 상태에서 소둔을 함으로써 입자의 미세화를 일으키고 재료의 방향성을 감소시켜 준다. 냉간가공과 소둔 과정을 기술적으로 잘 조합시킴으로써 정확한 치수와 좋은 조직의 재료가 생산되는 것이다.

시효경화

시효경화 효과는, 강도가 석출입자의 크기와 배열에 의하여 결정되는 것이므로, 시간, 온도 및 냉간가공 정도에 따른다. 각 합금의 종류마다 최대강도를 내기 위한 온도와 시간이 표준작업 지침으로 지정되어 있다.

온도를 표준온도 보다 높게 또는 낮게 함으로써 필요하면 최대강도나 경도이하의 요구조건을 충족시킬 수 있다. 표준 온도 보다 높게 하면 석출이 빨리되어 강도가 빨리 높아지고 온도를 낮추면 강도가 높아지는 속도가 느려진다.

최대강도에 도달하기 위한 소요시간보다 시효경화 처리시간을 짧게하면, 이를 "Underaging"이라 하는데, Underaging을 하면 재료의 강인성 및 피로강도가 좋아지며 때로는 내식성도 좋아진다.

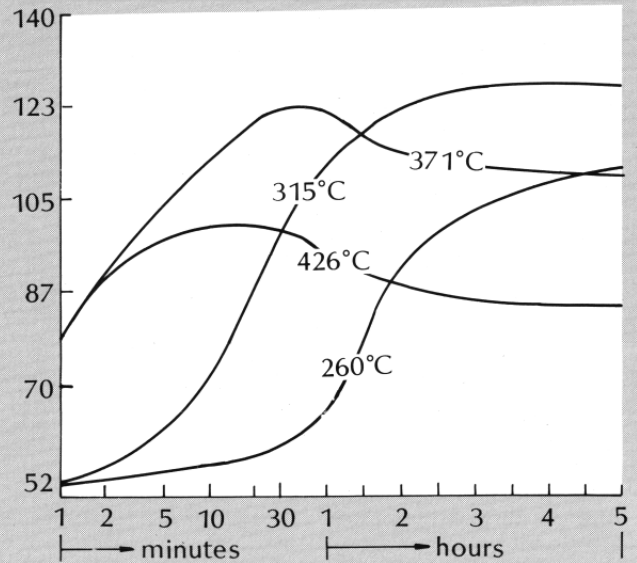
"Overaging"이란 최대강도를 내게 하는데 소요되는 시간보다 더 장시간 가열 할 때를 말한다. 이것은 조대한 석출을 일으켜서 경도와 강도를 최대치 이하로 떨어뜨린다. 그대신 Overaging된 금속은 전기전도 및 열전도율이 높아지며 치수의 안정성이 좋아진다. 그러나, 극심한 Overaging이 생기지 않도록 주의를 요한다.

시효경화처리는 대개 제어생각을 요하지 않으며 또 특별한 노의 분위기도 요하지 않는다. 그러나 특히, 열손실을 막기위하여 노내 가스를 순환시키는 경우에는 어떤 보호분위기를 갖추도록 하는 것이 유용하다. 한 예로, 열전도도 도와주며 열처리 후에 표면 세정문제도 최소한으로 하여 줄 수 있는 것으로서 이슬점이 낮은 수소 5%의 질소 가스를 들 수 있다. 진공열처리는 복사열이 고르지 않기때문에 곤란하다.

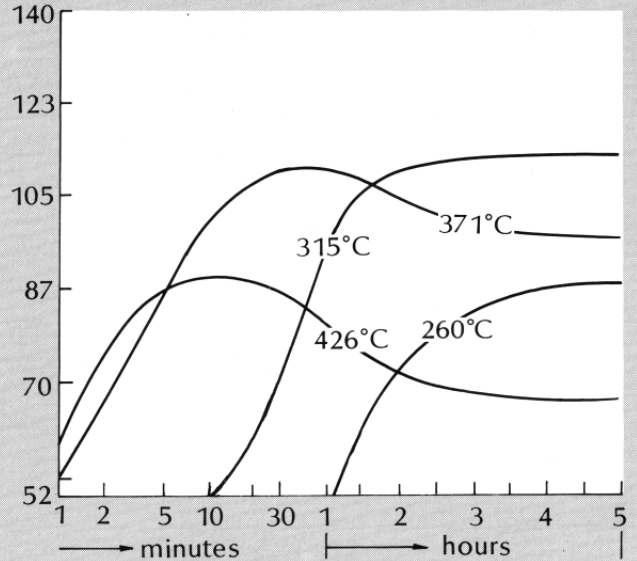
시효경화 처리를 하면 석출반응의 결과로서 고강도계 합금은 밀도가 다소 높아진다. 밀도가 증가함에 따라 치수가 길이 방향으로 약 0.2% 줄어든다. 고강도계 합금의 치수변화는 대부분의 용도에 있어 무시하여도 좋다.

Alloy 25A

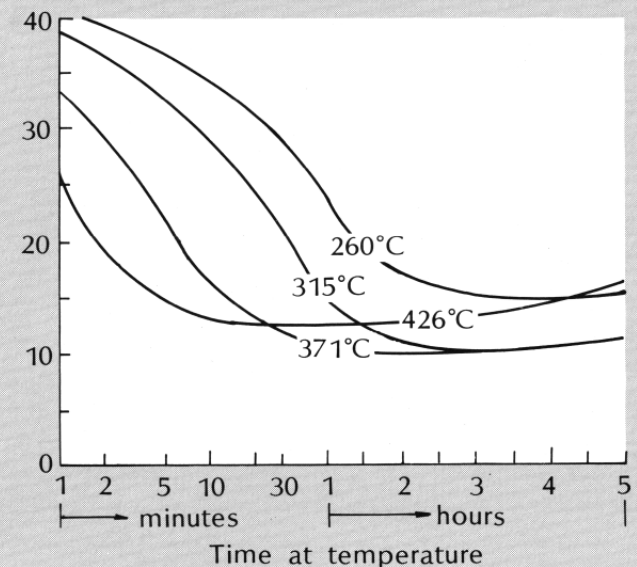
Tensile Strength, kg/mm²



Yield Strength, kg/mm²

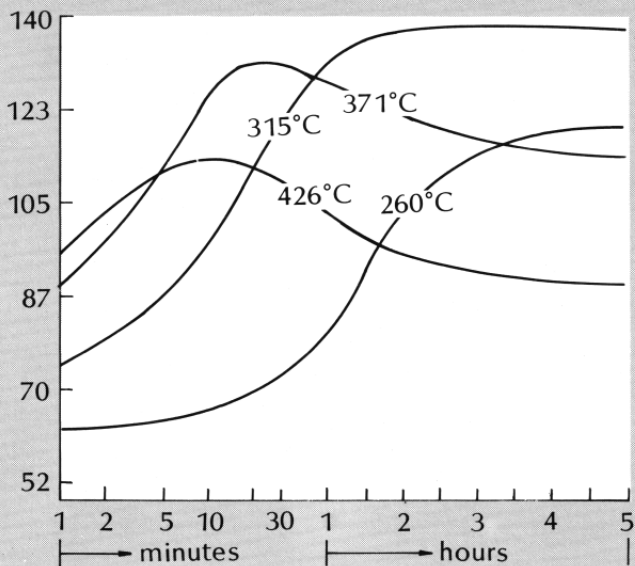


Elongation, percent



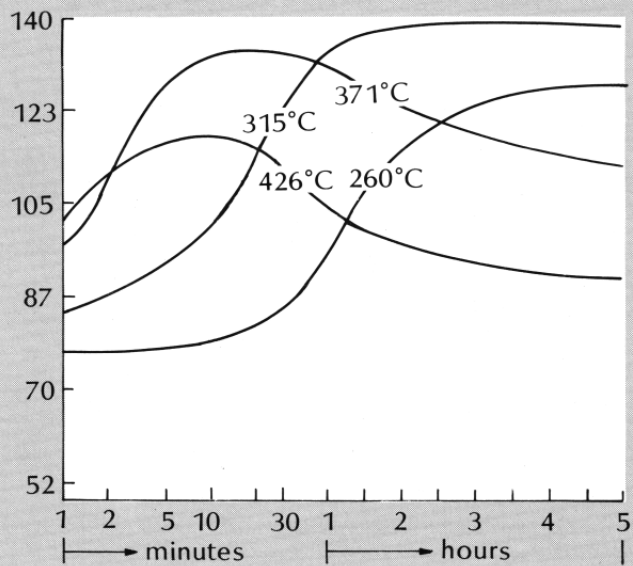
Alloy 25 1/2H

Tensile Strength, kg/mm²

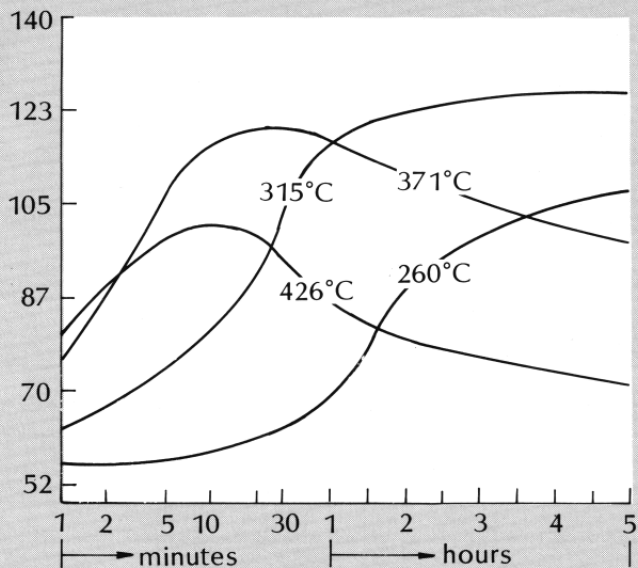


Alloy 25H

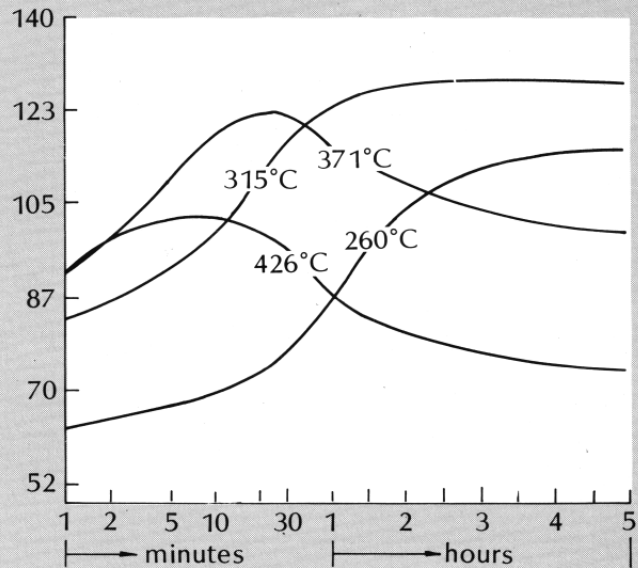
Tensile Strength, kg/mm²



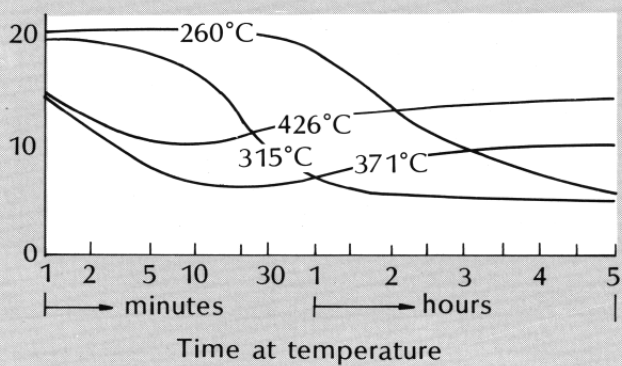
Yield Strength, kg/mm²



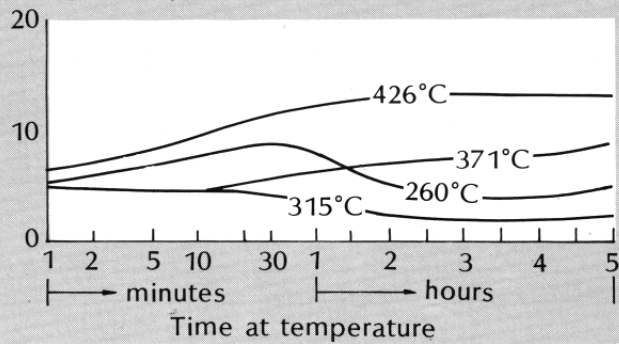
Yield Strength, kg/mm²



Elongation, percent

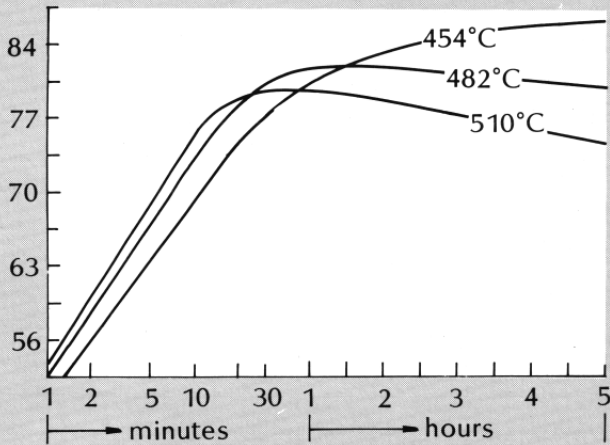


Elongation, percent

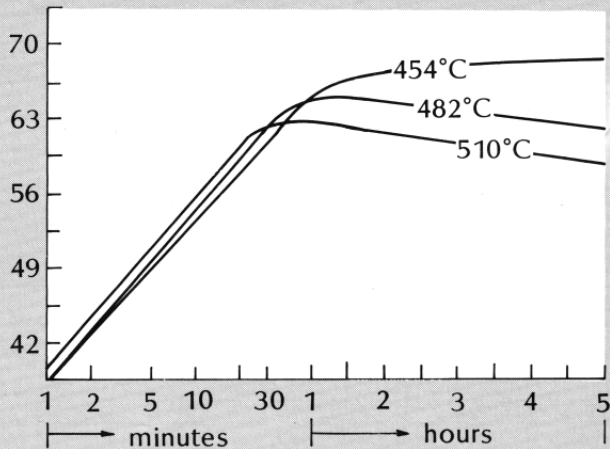


Alloy 3 and 10A

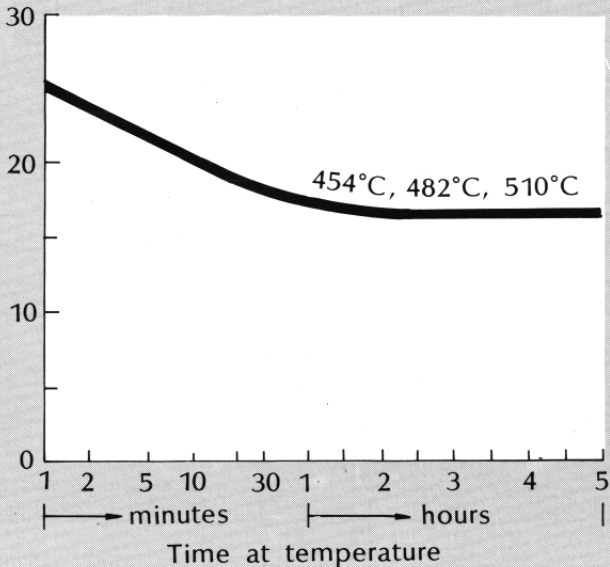
Tensile Strength, kg/mm²



Yield Strength, kg/mm²



Elongation, percent



시효경화 처리를 할 때 때로는 작업물이 변형되는 것을 막기 위하여 고정치구를 사용할 때가 있다. 단시간 고온 열처리법을 쓰면 변형도 최소화 시키고 생산성도 높여주는데 이때 냉각시 염욕을 시키면 형상을 잘 보존시키는데 유리하다.

시효경화 후 성형작업 시 경우에 따라 생길 수 있는 잔류응력은 경도를 떨어뜨리지 않고 열적으로 제거시킬 수 있다. 148°C 내지 204°C에서 2시간동안 가열하면 대개 필요한 응력제거가 된다.

고강도계 베릴륨동

Alloy 25 합금의 표준 시효경화 조건은 315°C에서 2시간 내지 3시간이다. 냉간가공물은 2시간, 소둔제품은 3시간을 요한다. 26, 27 페이지에 대표적으로 Alloy 25 합금의 시효경화 곡선을 A 템퍼, 1/2 H 템퍼 및 H 템퍼 각각에 대하여 260°C, 315°C, 371°C, 426°C 별로 보이고 있다. 이 곡선의 몇가지 공통된 특징을 다음과 같이 알 수 있다.

첫째, 어느 템퍼나 315°C 내지 329°C에서 강도가 최대치가 된다. 온도를 높이면 보다 빨리 최대강도를 얻지만 그 최대강도치는 감소한다. 낮은 온도로 가열하면 강도는 천천히 증가한다. 궁극적으로 최대강도치가 얻어지지만 시간이 너무 많이 걸린다.

둘째, 냉간가공을 하면 어느용도에 있어서나 강도를 높여준다. 냉간가공 정도가 증가할수록, 같은 온도에서 최대강도를 얻는시간이 단축된다.

셋째, 강도가 높아지면 Ductility가 떨어진다. Overaging을 하면 Ductility는 개선되지만 Toughness가 떨어지는 것에 유의할 필요가 있다.

어떤 경우에는 최대강도나 경도가 필요하지 않을 때도 있다. 이런 경우에는 온도를 높임으로써 경화처리 시간을 단축시킬 수 있다. 예를 들면, 371°C에서 경화처리하면 30분 만에 최대강도가 나온다. 온도와 시간의 조건, 가열속도 및 냉각속도는 재료의 경화속도와 밀도에 대단히 중요하다. 따라서, 특별한 시효경화 방법을 채택하고자 할 때에는 실제 생산에 앞서서 샘플을 가지고 정확한 시간에 대한 실험을 실시할 필요가 있다.

고전도 베릴륨동

28페이지에 Alloy 3A 합금과 Alloy 10A 합금의 시효경화 곡선을 보이고 있다. 시효경화 온도는 Alloy 25 합금과 다르지만 경향은 같은 것을 알 수 있다.

454°C에서 시효경화하는 것이 최대강도를 내어주지만 실제로는 482°C에서 2시간내지 3시간 가열하도록 권장하고 있

다. 이것은 이들 합금이 전기전도율이 높은 필요성 때문에 많이 쓰이기 때문이다.

시효경화 온도를 높이면 최대강도에 도달하는 시간은 단축

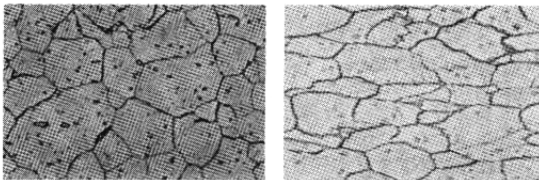
되나 얻을 수 있는 강도는 감소한다. 시간이 증가함에 따라 연신율은 떨어지나 강도는 눈에 띄게 증가한다. 2시간이 지나면 인성(Ductility)의 변화는 무시할 정도다.

현미경조직

베릴륨동의 현미경 조직은 성분조성, 냉간가공 및 열처리 결과의 초상화라고 할 수 있다.

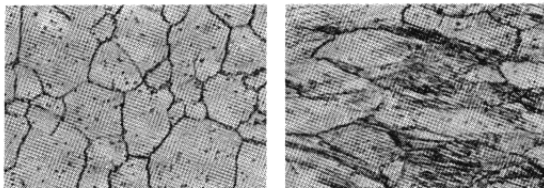
베릴륨동의 금속조직을 보기 위해서는 시편을 아황산암모늄 / 수산화암모늄이나 또는 중크롬산염으로 Etching한다. 전자(前者)는 어느 템퍼에서나 입자경계선을 잘 나타내 주므로 경화처리재의 냉간가공효과를 잘 보여준다. 후자(後者)의 에칭시편은 표면을 연마시킨 상태에서의 Beryllides의 모양을 잘 나타나게 해준다. 이와같이 현미경 조직검사는 재료의 처리조건에 따라 적합한 방법이 선택된다.

Alloy 25A 및 25H (400X)



용체화 소둔을 한 Alloy 25 (A 템퍼) 현미경 조직을 보면 등축입자 구조하에 코발트 Beryllides가 균일하게 확산되어 있음을 알 수 있다. Alloy 25 H 템퍼의 현미경 조직은 판의 두께를 37% 압연했을 때의 입자구조에 대한 냉간압연의 효과를 보인다. 냉간가공은 가공방향으로 입자구조를 길게 늘려준다.

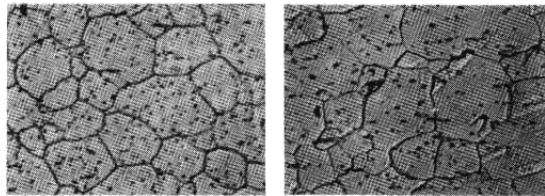
Alloy 25AT 및 HT(400X)



AT 템퍼의 Alloy 25 합금은 최대시효경화 상태에서 소량의 입자경계 석출현상을 보여준다. 냉간

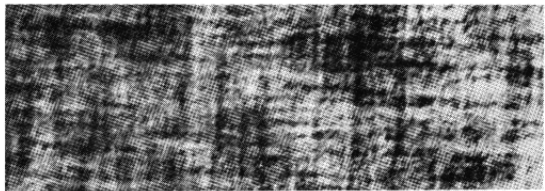
가공 후에 시효경화 처리를 더함으로서 최고의 경도와 강도를 낮게한다. HT 상태의 현미경 조직은 냉간가공한 Alloy 25 합금이 다시 시효경화 되었을 때의 효과를 보여준다. 표준시효경화 조건으로는 입자의 크기가 소둔재의 것과 다름이 없다. 강도를 갖게하는 감마 (Gamma) 상의 석출은 이 배율에서는 나타나지 않는다.

Alloy 3A 및 Alloy AT (400X)



고전도 합금은 A 또는 AT 어느 템퍼에서든지 코발트 및 니켈성분이 풍부한 베릴라이드가 미세하게 확산되어 있는 등축입자를 보이는 것이 특징이다. Alloy 3 합금은 에칭으로 현미경 조직상의 특징을 잘 나타나게 하기가 좀 어렵다.

Alloy 25AT TEM (110,000X)



Alloy 25 합금의 Transmission Electron Micrograph를 보면 석출물의 Strain Field를 볼 수 있다. 이 석출물이 강도를 내게하여 주는 역할을 하는 것이다. 이것은 처음에는 Guinier - Preston Zone을 형성하고 있다가 사방정계로 증가하는 몇개의 단계를 거친 후 궁극적으로 Gamma 상의 평형상태에 이르게 된다.

세정 및 표면처리

베릴륨동은 일반 동합금과 같이 도금 및 접합작업이 잘된다. 그러나 베릴륨동의 용도는 대개 정밀용이므로, 도금이나 연납땜, 경납땜 또는 용접법으로 접합을 하여야 할때는 표면의 청정도를 결정적인 중요한 요소로 고려하지 않으면 안된다. 작업에 들어가기 전에 기름, 페인트, 먼지, 흙, 표면이 변색된 것(Tarnish), 산화피막 등 모든 이물질들을 깨끗이 제거하여야 한다. 도금 및 접합작업에 있어서, 모든 품질 문제의 원인이, 불완전 하거나 부적절한 세정작업으로 거슬러 올라가므로 이것은 아무리 강조하여도 지나치지 않는다.

세정 (Cleaning)

베릴륨동의 도금 및 접합 작업에 앞서 취해야할 사전작업의 첫 단계는 모든 이물질, 특히 기름이나 기름기를 전부 제거하는 일이다. 기름기는 대개 성형작업시 사용되는 윤활제의 잔류물로 있게 된 것이거나 물과 기름의 혼합 안개가 섞인 공장내의 공기에 노출됨으로써 오염된 것들이다. 유황성분을 함유하는 윤활제는 곧 제거하지 않으면 베릴륨동의 변색을 일으킨다. 불결한 표면은 취급부주의로도 생기는데, 손자국, 기름문은 장갑자국은 대표적인 예이다.

유기질 용제나 알카리성 용액과 같은 보통세정제는 기름기를 제거하는데 적합하다.

주의할 일은 용액의 농도, 온도, 유량을 적정범위내에 있도록 유지시키는 일과 순환계통의 여과장치를 잘 정비하는 것이다. 증기세정법(Vapor Degreasing)은 기름과 기름기를 제거하는데 특히 효과적이다. 시중에 나와있는 인산나트륨(Trisodium Phosphate) 용액이나 유사한 알카리성 용액도 마찬가지로 쓸 수 있으며, 초음파식 또는 전해적 선류(Ultrasonic or Electrolytic Agitation)를 병용하면 효과적이다. 세정 후에는 표면에 붙어있는 용액을 깨끗이 헹궈주어야 한다. 세정용액이 적합한 지에 대하여 의문이 생기면, 대표 샘플을 가지고 시험을 하여보는 것이 좋을 것이다.

다른 모든 동계합금이 그러한 것과 같이, 베릴륨동도 공기 중에 노출이 되면 표면에 얇은 산화물 피막이 생기어, 빛이 변한다. 이 변색(Tarnish)은 습기가 있고 온도가 높으면 더 빨리 생긴다. 열처리를 하면 대개 산화가 된다. 보호분위기를 쓰더라도 도금, 접합작업을 하는데 방해가 되기에 충분한 산화막이 생길 수 있음에 유의할 필요가 있다. 공장경화처리재(Mill Hardened Strip)는 그러나, 공장출하 전에 완전히 세정처리하고 보호제(Inhibitor)를 묻혀서 내보낸다.

표면 산화막은 두가지 형태를 취한다. 그중 하나는 산화베릴륨(Beryllium Oxide)으로서 용체화 소둔중의 높은 온도에

서 생성되는 것이고, 다른 하나는 산화베릴륨과 동 산화물의 혼합물인데 이것은 석출 경화처리 후에 생기는 것이다. 베릴륨동을 사용자가 용체화 처리하는 일은 거의 없으므로 여기서는 순수한 산화베릴륨 피막의 제거방법에 대하여서는 논하지 않는 것으로 한다. 특별한 용도에서 베릴륨동을 소둔하거나 용접할때 산화베릴륨이 생겨서 이를 제거하여야 할때는 본사에 문의하여 적합한 방법을 사용할 수 있다.

베릴륨동은 다음의 절차를 통하여 도금 및 접합작업에 적합한 표면상태를 갖게 할 수 있다. 또는 원래의 반짝이는 빛깔을 되찾을 수 있다.

1단계 - 부품을 용적비율로 황산 20-25%, 과산화수소 2-3%, 나머지 물의 수용액에 침적시킨다. 이때 온도는 48°C - 54°C로 한다. 침적시간은 검은색이 벗겨져서 원하는 표면상태가 될 때까지 한다.

2단계 - 완전히 헹구고 말린다.

필요하면, 공장 경화처리재(Mill Hardened)로 만든 부품도 위와같은 방법으로 간단히 세정할 수 있다. 어느 경우애나, 용액의 농도를 너무 짙게 하거나, 침적시간이 과도하게 되지 않도록 하여야 한다. 과도하면 금속이 측정하여 켈 수 있을 정도로 달아나기 때문이다.

전기도금, 착색 및 광내기 (Polishing)

베릴륨동 표면에 전기도금하는 재료는 흔히 동, 크롬, 금, 은, 니켈, 주석 등이 있다. Brush Wellman사는 전기도금한 스트립을 공급하고 있다. 사용자가 원하면 Brush Wellman사는 경험이 많은 비전기도금, 또는 선택도금 등 특수재료의 공급업체를 소개할 수 있다. 흔히 쓰이는 도금 전처리 방법의 하나를 소개하면 다음과 같다.:

베릴륨동의 도금전 처리법(Alloy M25제외)

1단계 - 더운 알카리 용액에서 음극에 걸어 세정한다.

2단계 - 찬물로 헹군다.

3단계 - 48°C - 54°C의 황산 20-25 용적%, 과산화수소 2-3 용적%, 나머지 물의 수용액에 10-15초간 침적한다.

4단계 - 찬물에 헹군다.

Alloy M25의 도금전 처리법

- 1단계 - 더운 알카리 용액에서 음극에 걸어 세정한다.
- 2단계 - 찬물로 행군다.
- 3단계 - 10-12 용적%의 불소산 (Fluoboric Acid) 수용액에 10-15초간 침적한다. 이때 용액온도는 상온으로 한다.
- 4단계 - 필요하면 대부분의 동계합금에서처럼 접착력을 좋게 하기 위하여 시안동(Cyanide Copper Strike)을 바른다.

베릴륨동 제품의 착색은 일반 동계합금에 적용되는 보통방법으로 착색시킬 수 있다. 새까만 산화막이나 인공 녹청은 그 예이다.

베릴륨동의 표면을 아주 반들거리게 하려면, 습식 부러싱 (Brushing), 버핑 (Buffing), 전기 포리싱 (Electro Polishing) 등의 끝내기 작업을 하면 된다. 전해용액으로 56°C의 질산/메탄올 용액을 쓰면, 최상의 전기포리싱 효과를 얻을 수 있다. 상온의 인산/크롬 전해용액을 쓸 수도 있으나 이렇게하면 금속간 입자 유리 (Intermetallic Particles in Relief)가 생길 수가 있다. 76°C의 인산, 질산, 초산을 혼합하여 화학적 포리싱용액으로 사용할 수도 있다.

접합 (Joining)

연납땜 (Soldering)과 경납땜 (Brazing)은 중요한 베릴륨동 접합방법이다. 다른 모든 석출경화 재료에서와 마찬가지로 베릴륨동에서도 접합을 위한 가열시간과 온도는 일정한 작업 표준하에 잘 통제되지 않으면 안된다.

베릴륨동은 냉간가공에 의해서만 강도를 내게 할 수 있는 다른 재료에 비하여 용접이 자유로운 이점이 있다. 베릴륨동에서는 용접 후에도 원래의 기계적 성질의 90% 이상을 유지하기 때문이다. 다른 합금재료에서 용접시 일어나는 표면변질 등의 문제가 베릴륨동에서는 문제가 안된다.

프리코팅 하여두면 오래 연장시킬 수 있다.

베릴륨동의 납땜은 보통 쓰는 어느 것이나 다 쓸 수 있다. 60/40 비율의 석-연의 납납이 대개의 전자부품 접합에 좋다. 특히 고속 접합작업이 시행되는 때에는 이것이 적합하다. 손으로 납땜질을 할 때에는 납납의 종류를 아무것이나 쓸 수 있도록 선택의 범위가 넓어지는데 그중에서 50-50의 다목적 용 석-연 납납을 쓰도록 권장한다.

연납땜 (Soldering)

연납땜은 사용온도가 148°C 미만이고 전기전도 및 열전도 면에서 재료의 계속성이 필요하여 기계적 접합이 부적합할 때 요구된다. 연납땜은 자동으로 할 수 있으며, 가열은 전기저항, 유도, 적외선 및 불꽃으로 한다. 연납을 바르는 방법으로는 침적법, 파상법 (Wave), 증기상의 분무법 등이 있다. 베릴륨동은 시효경화 처리후의 기계적 성질에 손실을 주지않고 저온 연납땜이 가능하다.

베릴륨동의 납땜에 사용되는 후력스는 대개의 표준제품이면 되지만, 절대로 중요한 것은 후력스를 쓴다고 하여 표면의 청정도를 게을리하면 안된다는 점이다. 활성화시킨 Rosin 후력스 (RMA 또는 RA급)를 추천하는데, 납땜후에는 더운물에 깨끗이 행거서 다른 부품이 부식되지 않도록 하여야 한다.

접합작업은 될 수 있으면 표면의 준비작업이 끝나자마자 곧 시행하는 것이 좋다. 부득이 지연될 수 밖에 없을 때에는 부품을 황산 및 암모니아기나 기타 산기가 없는 깨끗하고 건조한 곳에 보존하여 두어야 한다. 보존기간은 벤조트리아졸 (BTA) 처리를 하거나 또는 석이나 석-연의 납납으로 미리

경납땜 (Brazing)

연납땜에 비하여 경납땜은 접합부위의 강도가 견고하고 온도가 높아도 견딘다.

경납땜은 온도가 비교적 높은 온도에서 시행되므로, 부품이 시효경화 되기 전에 접합시킬 필요가 있다. 경납땜의 속도를 빨리하면, 경화처리된 베릴륨동도 효과적으로 접합시킬 수 있다. 주어진 온도에 있어서의 시간은 경납땜 재료가 녹아서 적당히 침투되기에 알맞는 시간이면 되며 그이상 되지 않도록 하여야 한다.

표면을 깨끗이 하여야 하는것은 경납땜 접합을 완전하게 하는데 중요한 요인이다. 접합부위의 표면에 먼지나 기름기가 없어야 하며 따라서 미리 잘 닦을 필요가 있다. 15-20%의 질산 수용액으로 씻고 물로 잘 닦아내면 필요한 청정도를 얻을 수 있다. 경납땜을 하면 노출표면이 약간 산화할 수 있다. 이 산화물은 129°C의 50% 수산화나트륨 수용액으로 닦아낸 후 물로 잘 씻어줌으로써 제거할 수 있다.

로, 유도로 및 토치가 흔히 쓰이는 열원이다. 접합이 완전히 잘되기 위하여는 접합부의 모양, 크기와 같은 기하학적 사항과 가열량 및 손실열량 등 열적사항을 잘 고려하여야 한다. 열이 접합부위에 국한되도록 열 방출기 등을 쓸 수도

있다. 크기가 적은 물건은 경납땜 속도를 고온 단시간 시효경화 싸이클에 맞게 할 수도 있다. 그러나, Overaging이 생기지 않도록 경납땜 속도를 짧게 하여야 한다. 크기가 큰 로열 경납땜 물건은 땜질 후 Quenching하여 이후 시효경화 처리가 될 수 있게 하여야 한다. 경납땜 온도는 용체화 소둔온도보다 높게 되지 않도록 하여야 한다. 즉, 고강도재는 787℃ 이하, 고전도재는 871℃ 이하가 되게 하여야 한다.

용접 (Welding)

용접은 베릴륨동 접합방법으로 유용한 것이나 주의 깊은

야금학적 배려가 필요하다. 즉, 접합부의 설계, 예열 (시효경화 온도보다 낮아야 함), 용접기술, 용접후 처리 등에 대하여 세심한 검토를 하여야 한다.

베릴륨동은 베릴륨동끼리 그리고 타 금속과 점용접(Spot Welding), 계속용접(Seam Welding) 어느 것이나 쉽게 잘된다. 레이저 용접이나 초음파 용접도 할 수 있다.

용융용접도 불활성 가스 텅스텐 아크(TIG), 불활성 가스 금속 아크(MIG), 플라즈마 아크, 전자 빔(Electron Beam) 등을 써서 할 수 있다. 접합부위가 최대응력을 받는 곳이 아닐 때에는 흔히 용접후 경화열처리 한다.

기계가공(Machining)

베릴륨동은 일반 쾌삭성 동계합금이나 스테인레스강과 같은 속도 또는 그보다 빠르게 기계가공할 수 있다. 절삭공구와 절삭유를 정상적으로 사용하면 공구의 수명도 오래 간다.

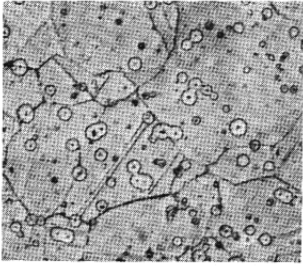
다음 표를 보면 기계가공에 대한 안내자료가 나와 있다.

절삭 속도를 높이면 때때로, 소둔재 및 냉간 가공재의 경우에 있어서는 칩(Chip)이 잘 떨어져 나가지 않는 문제를 일으킨다. 이 길게 꼬여서 나오는 칩은 잘 끊어지지 않아서 취급하기가 어렵다. 이 때문에 베릴륨동은 보통 시효경화 처리

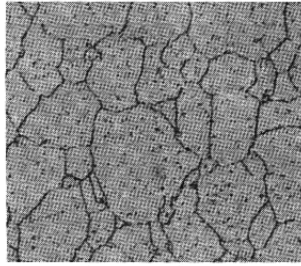
Brush Wellman 베릴륨동의 기계가공을 위한 권장 절삭 속도 및 절삭량

구 분	절삭속도 m/min	공구이동속도 mm/회전	절삭깊이 mm	사용공구의 재질
Alloys 25, M25 and 165				
선반작업				
Annealed 재	457	0.127-0.254	0.635-1.27	C-2
Drawn, hard 재	365	0.127-0.254	0.635-1.27	C-2
Heat treated 재	274	0.127-0.254	0.635-1.27	C-2
드릴링작업				
Annealed 재	60-106	0.050-0.228	—	H.S.S.
Drawn, hard 재	45-76	0.050-0.228	—	H.S.S.
Heat treated 재	30-91	0.050-0.228	—	H.S.S.
태핑작업				
Annealed 재	15-30	—	—	H.S.S.
Drawn, hard 재	9-15	—	—	H.S.S.
Heat treated 재	3-7	—	—	H.S.S.
Alloys 3 and 10				
선반작업	243-304	0.254-0.635	0.127-3.175	C-2
드릴링작업	38-182	0.050-0.127	—	H.S.S.
태핑작업*	4-45	—	—	H.S.S.

* BRUSH ALLOY 3, 10 을 태핑할 때에는 절삭속도가 대단히 중요함.
뿔사이즈가 적어지면, 절삭속도도 줄여야 함.



Alloy M25 AT(400X)



Alloy 25 AT(400X)

상태 (AT 또는 HT)에서 기계가공한다. 시효경화재를 기계가공하면 칩 관리가 쉬워질 뿐만 아니라 기계가공 후에 열처리 및 세정공정을 생략시킬 수 있다.

Alloy M 25 합금은 납을 세밀하게 통제된 기술적 방법으로 첨가함으로써 어느 온도나 칩이 잘 떨어져 나간다. 이 합금은 납성분이 공구수명도 길게하여 주고 칩이 막히는 일도 없애주므로 자동화된 기계가공작업에 적합하다.

위에 있는 Alloy M25와 Alloy 25 합금의 현미경 사진은 서로 비교하여 보기위한 것이다. Alloy M25 합금에서는 특별한 야금학적 처리 결과로서 납이 현재하여 있는 것을 볼 수 있다. 납이 특별한 에칭작업의 결과로 나타나는 원상(円狀)의 둘레 안에 미세한 점으로 보이며 균일하게 확산되어 있다. 납이 있으면 열간가공에 제한을 받게 되나 시효경화 효과에는 영향을 미치지 않는다. Alloy M25 합금의 시효경화 처리조건은 Alloy 25 합금과 같다.

고성능 합금재료에 있어서 기계가공을 하면 기계가공 표면이 굳어지는 경향이 있는데 베릴륨동의 표면도 이와 같이 굳어질 수 있다. 절삭 깊이를 낮게하거나, 표면을 때려주거나

(Dull), 또는 표면끝내기 작업으로 마찰을 시켜주면 (Rubbing), 굳어지는 현상이 더 두드러진다.

공구의 날을 날카롭게하고, 절삭 깊이를 전(前) 절삭에 의하여 굳어진 층을 건너낼 수 있을 정도의 깊이로 하며, 이에 맞는 속도로 작업을 하면 이런 현상을 가장 효과적인 방법으로 막을 수 있다.

절삭공구는 날이 서있어야 하며 Rake 각도가 정방향으로 5도 내지 20도 일때 가장 좋다. 선반작업시 칩 절단기를 쓸 것을 권장한다.

냉각제로서 그리고 칩 제거가 잘 되도록 하기위하여 절삭유를 쓰면 공구수명도 길어지고 가공표면도 개선된다. 냉각제로는 흔히 수용성 기름이나 합성에멀전이 사용된다. 표면의 가공상태는 유황성분의 기름을 쓸때 가장 좋지만 이것은 베릴륨동의 표면을 변색시킨다(다른 동계합금에 대해서도 마찬가지임). 이 변색은 유해한 것은 아니지만 기계가공 작업 후에는 제거하는 것이 좋다. 특히, 기계가공 후에 시효경화 처리하고자 할때에는 반드시 제거하여야 한다.

베릴륨동은 그라인딩 마찰공구에 의한 가공작업도 흔히 한다. 기계도 보통 기계로 좋다. 그라인딩 휠의 선택, 회전속도, 작업속도 및 사용냉각제 등에 대하여는 연마석 제조업자의 안내자료나 기타 잘 알려진 자료에 따르면 된다. 연마작업은 반드시 습식작업으로 하여야 한다.

베릴륨동은 또한 비전통적 방법으로도 가공할 수 있다. 베릴륨동 스트립의 광 화학적 가공법은 이미 정착된 기술로서 동계합금용으로 특별히 개발된 화학적 저항력이 있는 마스크가 사용된다. 전극형식 또는 Traveling Wire 어느 형식이나 방전가공(EDM)이 되며 전기화학적 가공도 어떤 형태든지 된다.

경 도

재료의 기계적 성질을 알자면 인장강도 시험을 하는 것이 공식적인 확인 방법이지만, 경도도 재료의 기계적 성질을 어렵하는데 유용하게 쓰인다. 경도시험은 성질상 비파괴 시험이기 때문에 최종 제품을 갖고 시험하는 것이 가능하며 시험장치가 간편하다. 예를들면, 작은 접촉자, 전기저항용접 극재, 비행기의 베어링 등에 대하여 비교적 간단히 경도를 측정할 수 있다.

경도 측정방법에는 재료의 두께에 따라 사용할 수 있는 방법과 사용할 수 없는 방법이 있다. 따라서 경도를 측정할 때

에는 재료의 두께를 염두에 두고 측정방법을 선택하여야 한다. 34페이지의 표는 베릴륨동에 대하여 가장 흔히 쓰이는 시험방법의 시험치를 상호 비교하여 볼 수 있게 한 것이다.

그러나 주의할 것은 한 방법으로 잦 시험치가 항상 다른 방법으로 잦 시험치로 똑같이 환산될 수 없다는 점에 유의하여야 한다. 스템핑 후 시효경화 처리한 부품과 같이 경도가 중요한 때에는, 시험치를 환산하여 알고자하는 것은 피해야 한다. 예를들면, 사양이 최소경도 로크웰 C37로 되어있을 때, 로크웰 15N 또는 30N의 시험치를 얻어 가지고 로크웰 C로

기술자료 - 경도 (Hardness)

환산하고자 하면 안되며, 로크웰 C 스케일로 직접 재어야 한다는 것이다. 경도치를 환산 사용하는 것이 유용할때는 원자재가 들어올 때 검사할 때와 같이 경도의 중요성이 그리 크지 않을 때이다.

빅커스경도 (다이아몬드 피라미드 경도라고도 함)는 재료의 경도를 연속적으로 표시할 수 있는 장점이 있다. 미세경도 측정기술은 호일(Foil)이나, 가는 선, 기타 크기가 아주 작은 제품의 경도를 재는 데 필요하다.

경도 측정방법별 필요한 최소 두께

Rockwell Scales	Diamond Pyramid or Vickers	Brinell
B and C - 1.010mm 30T and 30N - 0.508mm 15T and 15N - 0.381mm	0.050mm	3.175mm

경도환산표

Rockwell			Diamond Pyramid or Vickers	Brinell
C	15N	30N		3000 kg
48	84.5	66.5	485	460
47	84.0	66.0	471	448
46	83.5	65.0	458	437
45	83.0	64.0	445	426
44	82.5	63.0	435	415
43	82.0	62.0	424	404
42	81.5	61.5	413	393
41	81.0	60.5	403	382
40	80.5	59.5	393	372
39	80.0	58.5	383	362
38	79.5	57.5	373	352
37	79.0	56.5	363	342
36	78.5	56.0	353	332
35	78.0	55.0	343	322
34	77.0	54.0	334	313
33	76.5	53.0	325	305
32	76.0	52.0	317	297
31	75.5	51.5	309	290
30	75.0	50.5	301	283
29	74.5	49.5	293	276
28	74.0	48.5	285	270
27	73.5	47.5	278	265
26	72.5	47.0	271	260
25	72.0	46.0	264	255
24	71.5	45.0	257	250
23	71.0	44.0	251	245
22	70.5	43.0	246	240
21	70.0	42.5	241	235
20	69.5	41.5	236	230

Rockwell			Diamond Pyramid or Vickers	Brinell
B	15T	30T		500 kg
100	93.0	82.0	240	201
99	92.5	81.5	234	195
98	—	81.0	228	189
97	92.0	80.5	222	184
96	—	80.0	216	179
95	91.5	79.0	210	175
94	—	78.5	205	171
93	91.0	78.0	200	167
92	90.5	77.5	195	163
91	—	77.0	190	160
90	90.0	76.0	185	157
89	89.5	75.5	180	154
88	—	75.0	176	151
87	89.0	74.5	172	148
86	88.5	74.0	169	145
85	—	73.5	165	142
84	88.0	73.0	162	140
83	87.5	72.0	159	137
82	—	71.5	156	135
81	87.0	71.0	153	133
80	86.5	70.0	150	130
79	—	69.5	147	128
78	86.0	69.0	144	126
77	85.5	68.0	141	124
76	—	67.5	139	122

피로강도(Fatigue Strength)

베릴륨동 판재(Strip)와 선재는 전기, 전자접촉 스프링재와 같은 반복되는 응력을 받는 용도에서 성공적으로 사용된 오랜 역사를 갖고 있다. 베릴륨동은 이와 같이 크기가 적은 부품에서 뿐만 아니라 단면이 큰 부재로서 반복응력을 받는 데에도 역시 사용된다. 예를들면, 비행기 착륙 장치의 부싱(Bushing), 롤러 베어링의 레이스와 롤러, 유정굴착관의 나사 보호용 부품(Anti-Galling Thread Saver Subs) 등이 있다.

이들의 용도에서, 베릴륨동의 독특한 점은 주기적 응력에 잘 견딘다는 것이다. 주기적 응력의 형태는 캔틸레버(Cantilever), 휨, 축력, 회전굴곡으로 생기는 것들이다.

피로강도는 사양에 주어진 횡수 만큼의 주기적 운동을 파괴되지 않고 견딜수 있는 최대의 응력을 말한다. 주기가 적은 피로 강도는 정적 강도에 가깝다.

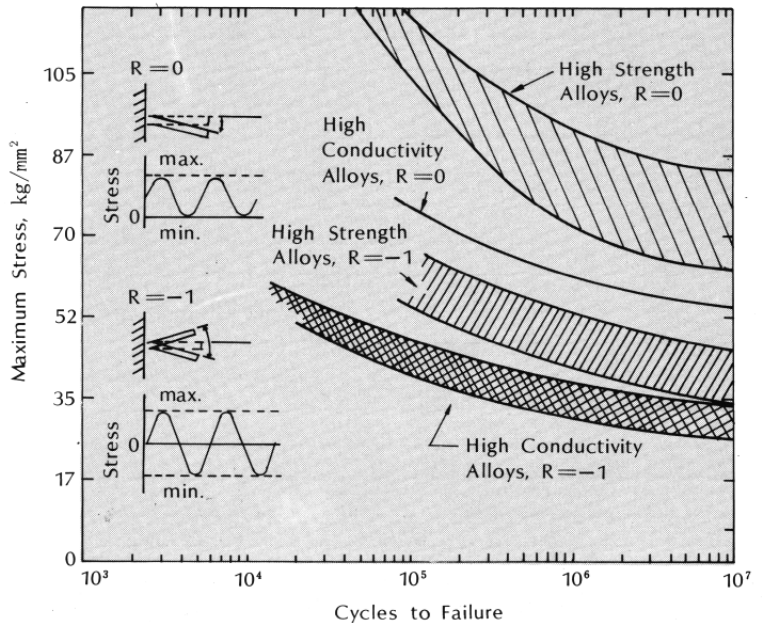
사이클 수가 백만이 넘어 천만회에 가까워지면, 피로강도는 정적강도에 훨씬 못미친다. 베릴륨동은 높은 정적강도, 강인성(Toughness), 그리고 가공경화에 의한 변형확산 능력에 기인하여 피로파괴에 대한 저항력을 갖는다.

오른편의 그림은 베릴륨동의 피로곡선이다. 최소응력대 최대 응력의 비율을 응력비 "R"이라고 한다. 이 "R"은 그림에도 나와있는 것처럼, 시험 조건을 나타내준다. 한쪽 방향으로만 휘는 스프링 접촉자(R=0)의 피로강도는 양쪽 방향으로 반복하여 휘는 것(R=-1) 보다 피로강도가 높다.

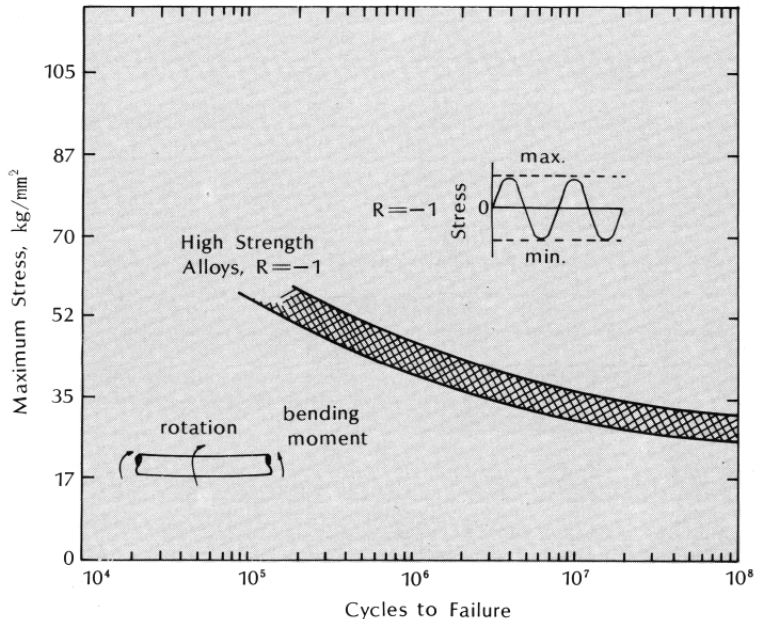
평판스프링과 단면이 원(圓)인 봉재의 피로강도는 표준방법으로 측정한다. 스프링 제조업자에 따라서는 그 스프링의 설계조건에 맞게 자기의 독특한 측정법을 고안하여 시험하기도 한다. 시험방법은 다르더라도 그 결과치는 대체로 근사하다.

그러나, 이들 방법에 의하여 얻어진 자료는 하나의 참고자료로만 보아야 한다. 왜냐하면 피로강도는 표면조건과 작용 응력상태에 민감하기 때문이다. 귀중한 재료로부터 최대의 이익을 얻기 위하여는 표면상태, 특히 가장자리(Edge)와 파인곳(Fillet)의 곡률에 세심한 주의를 기울일 필요가 있다.

외팔부의피로강도(Flexure Fatigue Strength)



회전부의피로강도(Rotating Bend Fatigue Strength)



내식성

대기중의 내식성과 보존기간

베릴륨동은 생산, 보관, 전기전자 부품으로서의 사용기간 중, 대개의 특수동합금보다 우수한 내식성을 보인다.

전장품에는 오래 놓아두었다가 납땜을 하게 되는 것이 많으므로 표면이 변색되지 않는 성질(Resistance to Tarnish)이 중요하다. 이것은 벤조트리아졸(BTA)를 발라 표면을 보호함으로써 산화물의 생성을 막고 보존기간을 오래가게 하고 있다. 베릴륨동의 납땜성질을 아주 좋게 오래 보존하려면, 보존하기전에 석도금을 하여 두는 방법도 있다.

수중내식성

베릴륨동은 부식율이 낮고 생물학적 오염에 대한 원천적인 저항성이 있으므로 해수나 담수 어느것에도 적합하다. 유속이 적은 바닷물에 있어 베릴륨동의 부식율은 동-니켈 합금과 같을 정도로 낮다. 유속이 빠르면 다른 동합금에서와 같이 베릴륨동도 부식율이 증가한다.

해저 통신전선의 리피터 박스 하우징에 베릴륨동이 쓰이는 이유는 우수한 강도와 기계가공성외에 이와같은 내식성, 오염 저항성이 있기 때문이다.

사용중 조건에 대한 내식성

베릴륨동은 사용과정 중, 그리콜, 알콜, 에스터, 케톤, 하이드로 카본, 기타 많은 유기질 용액과 접촉될 때가 많다. 그런데 베릴륨동은 이들 유기질 용액 자체보다 그 용액에 포함되어 있는 불순물에 더 민감한 반응을 보인다. 예를들면, 유황화합물(Sulfides), 물, 산, 알칼리 또는 염(Salts)은 부식을 가속시킨다.

PVC 비닐과 RTV 실리콘 프라스틱의 기체(Fume)는 다른 동합금과 같이 베릴륨동도 부식시킨다는 것이 최근에 발견되었다. 그러나 아세탈(Acetal), 나이론, PTFE (Polytetrafluoroethylene) 과 같은 다른 프라스틱류는 같은 조건에서 기체를 발생시키지만 동합금을 부식시키지는 않는다.

베릴륨동은 대부분의 알칼리성 수산화물 수용액에는 온도가 차거나 높거나 상관없이 쓸수있다. 그러나, 많은 동합금이 다 그런것처럼 베릴륨동도 수산화 암모니움을 다루는데는 적합하지 않다. 수산화암모니움은 응력부식에 의한 균열을 일으키기 때문이다. 베릴륨동은 암모니아가 건조하거나 산소가 없는 것이 아니면 암모니아와 접촉되지 않게하여야 한다.

베릴륨동은 온도가 찬 농축황산과 농도를 희석시킨 황산(온도가 차거나 높은), 온도가 차가운 염산에는 저항성이 있다. 그러나 다른 동합금과 마찬가지로 베릴륨동도 질산과 같은 농축된 산화성 산에 노출되는 곳에서는 구조부재로 사용하지 않도록 권한다. 염산, 황산과 같은 비산화성 산도 산화성

불순물이 내포되면 부식성을 띤다.

베릴륨동은, 염소함량이 높을 때 불과 2~3 시간만에 균열을 일으킬 수 있는 스텐레스 강과 달리 염소이온때문에 생기는 부식균열을 일으키지 않는다.

베릴륨동은 티타늄 합금, 강, 니켈계 합금과 달리 수소취성(Hydrogen Embrittlement)에 대하여 저항성이 있다. 위의 다른 재료들은 같은 수준의 응력에서 수소취성에 따른 위험성이 아주 높다.

베릴륨동은 수에 의한 액상금속취성(Liquid Metal Embrittlement)으로 생기는 지각 파괴현상(Delayed Failure)을 보일 수가 있다. 재료의 강도를 냉간 가공과 시효경화의 어느 방법으로 높게 하더라도 재료의 강도가 높아지면 이 취성도 증대한다.

베릴륨동 내식성에 대한 추가 안내

- **공장**-납땜용으로 18개월간 충분히 보존 가능
- **도시**-순동보다 유황성분에 대하여 5배의 부식 저항력 보유.
- **정해수**-년간 유속 3.2km 이내의 해수를 말함.
- **생물학적 오염도**-30년 이상의 노출결과로 알게 된 것임.
- **포화염화물**-소듐, 포타슘, 마그네슘 및 이들의 혼합물에는 균열을 일으키지 않음.
- **수소**-32℃에서 100시간 이상 음극 Charging을 한 후에도 인성(Ductility)이나 강도에 영향을 안 줌.
- **유기물**-대부분의 용제에 잘 녹음. 단 불순물은 부식원인이 될 수 있음.
- **유기물 기체**-부식성 여부를 그때 그때 확인 요함.
- **희석산 및 알칼리**-주의하여 사용할 수 있음.
- **농도가 높은 산화성산 (Oxidizing Acids)**-사용하지 말것.
- **암모니아**-무수암모니아에 대하여는 저항력이 있음. 그러나 수분과 산소가 있으면 응력부식 균열을 촉진시킴
- **수은 및 기타 액상 금속**-접촉하지 않게 할 것.
- **기타**-다음 물질에는 침식당함: 염화 제2철, 황화 제2철, 크롬산류, 수산화 암모니움, 수은화합물

기타특성

베릴륨동은 때때로 여러가지 성질이 복합적으로 사용자의 필요에 맞기 때문에 사용되기도 한다. 예를들면 전자접촉자는 탄성율과 가공성의 복합성질이 이용된 것이고, 스위치의 경우는 피로강도와 전기전도율의 성질이 합쳐서 이용된 것이고, 저항용접극재는 경도와 열전도율의 성질이 같이 고려된 경우이다.

베릴륨동은 설계기술자가 알아야 되는 더 많은 유용한 성질을 갖고 있다. 몇가지 여기에 추가 기술한다.

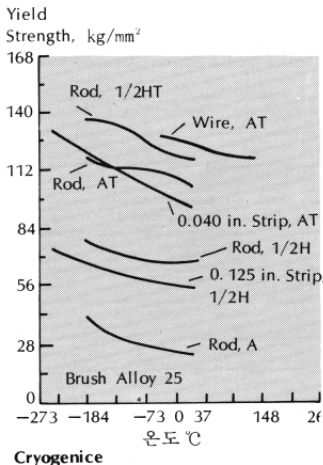
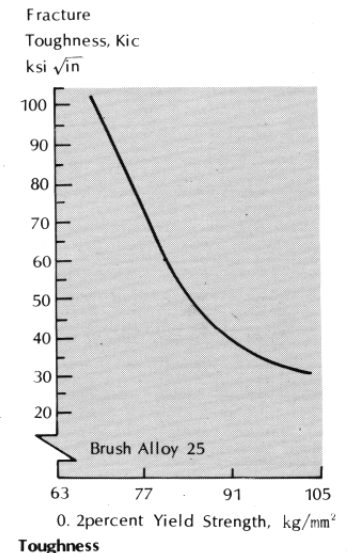
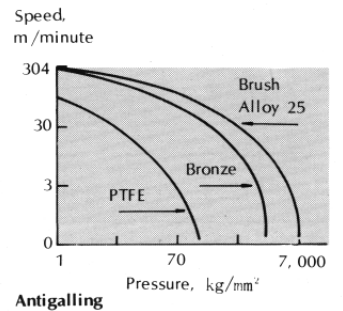
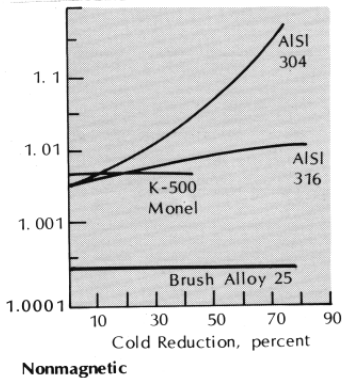
스파크링 불뿔이 안생김(Nonsparking) 베릴륨동이 이용된 아주 오래되고 잘 알려진 용도로서 스파크가 생기면 안되는 작업장의 수공구를 들 수 있다. 마찰 또는 충격시 작열되어 튀어나오는 베릴륨동 부스러기는 동이 많이 있으므로 급속히 냉각되어 연소가 안된다. 스파크를 안생기게 할 뿐만 아니라, 베릴륨동은 경도가 높아서 공구를 오래 쓸 수 있다.

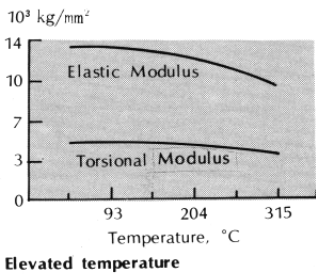
비자성(Nonmagnetic) Brush Alloy 25의 투자율은 1000 Gauss의 자장에서 0.997내지 1.003이다(자장 투과율이 1.0이면 완전 투명이라는 의미임). 다른 비자성 금속과 달리 베릴륨동은 냉간가공을 하여도 투자율이 영향을 받지 않는다. 다른 비자성 금속은 기계가공 및 성형 작업중 또는 거칠은 작업 조건에서 사용되면서 자기학적으로 "뜨거워(Hot)" 질 수가 있는 것과 대조적이다. 베릴륨동은 이와같이 투자율이 좋은 성질과 더불어 강도가 높고, 견고하며 만들어진대로 모양과 크기를 정확히 견지하는 성질이 이용되어 자기 측정장치의 하우징, 자기장치의 지지용 구조물등에 우수한 재료로 사용되고 있다.

압착 저항성(Galling Resistance) 베릴륨동은 본연의 성질로서 잘 닳지 않는 성질을 갖고 있다. 이 때문에 베릴륨동은 마찰력과 표면의 손상을 최소로 줄일 수 있다. 베릴륨동 상호간에 나사접합을 하거나 베릴륨동과 스텐레스강을 나사접합 하였을 때, 심지어 과부하로 조였을 때에도 서로 압착되어 풀어지지 않는 것같은 일은 생기지 않는다. 이러한 성질은 베릴륨동의 높은 경도, 본연의 윤활성, 표면막(Film)의 강인성, 높은 열전도율이 합하여 생기는 것이다.

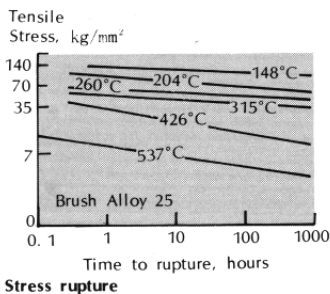
저온성질 베릴륨동은 저온 조건에서도 강도와 강인성(Toughness)이 좋으므로 액체수소 및 액체산소분야에 사용된다. 고강도 강에서는 재료가 강인성을 잃고 잘 부러지는 성질(Brittleness)을 보이기 시작하는 과도온도가 있는데, 베릴륨동에는 이러한 것이 없다.

Magnetic Permeability C. G. S. units





Elevated temperature



Stress rupture

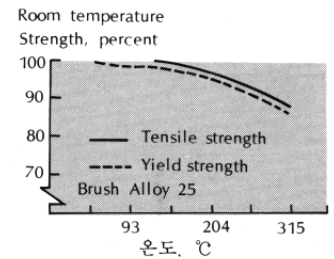
고온에서의 강도—베릴륨동 Alloy 25 합금은 저온에서 부터 260°C까지 노출시간이 길더라도 안정된 인장 강도를 보여준다. 보통의 연신을 상태에서 고온시험결과를 보면 260°C까지 거의 상온에서의 인장강도를 견지한다. 고전도 합금은 약 315°C 까지 강도를 견지한다. 경도도 같은 성질이므로 용접극재, 플라스틱 사출용 금형재료로 용도를 갖는다.

빛의 반사성—베릴륨동은 쉽게 거울면과 같이 연마할 수 있다. 베릴륨동은 금색(金色)이므로 빛을 잘 반사시킨다. 특히 적외선 스펙트럼을 잘 반사한다. 빛의 반사성, 기계가공성, 형상 및 치수의 안정성 등으로 베릴륨동은 거울, 특히 원심력 등의 응력이 작용하는 거울재료로 사용되고 있다.

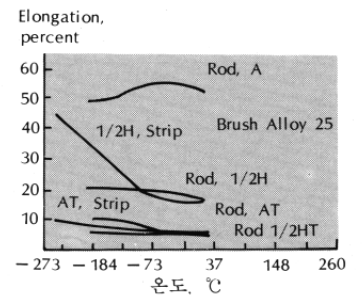
형상 및 치수의 안정성—시효경화 처리 작업은 경도와 강도를 증가시키는 외에 응력을 제거하는 일도 한다. 이 결과 베릴륨동은 기계가공 또는 스탬핑작업시 높은 안정성을 갖는다. 이외에 강도를 변경시키지 않는 일반적 응력제거법이나 기타 안정회복용 열처리법이 필요에 따라 이용되고 있다.

특수표면 처리—베릴륨동은 표면을 적의 처리함으로써 몇가지 독특한 가능성을 갖는다. 고온에서 생기는 산화물은 2차 전자 방출량을 크게 증가시킨다. 여러가지 방법의 국부 경화 기술이 사용되고 있다. 레이저나 전자 빔(Electron Beam) 기술로 국부 소둔 또는 국부 그레이징(Local Glazing)처리를 하기도 한다. 표면 코팅은 방출성, 경도, 외관을 좋게 하고자 하는 것이 목적으로서 여러 방법이 있다.

외관 (外觀)—고강도 합금은 금색을, 고전도 합금은 산화 빛 같이 섞인 금색을 띄며 보기에 좋은 색상이다. 연마후 도유 또는 라카칠을 함으로써 좋은 장식용 부품이 된다.



Elevated temperature



Cryogenics

베릴륨동의 생산공급업체

Brush Wellman사 소개	40
채광 및 제조 (Mining and Manufacturing)	41
서비스센터	42
베릴륨동의 안전한 취급을 위하여	43

Brush Wellman사 제품은 완전한 수직생산체제에서 생산되고 있습니다. 동사는 베릴륨 광석으로부터 순수 베릴륨금속, 베리아 세라믹, 기타 여러가지 합금의 최종 제품을 정확하고 효율좋은 공장 설비로 생산하고 있습니다.

이 장(章)에서는 Brush Wellman사에 대한 몇가지 소개, 즉 회사 연혁, 현황, 채광, 제조, 판매 및 유통조직, 고객에 대한 지원 협력체제, 품질관리 체제에 대하여 말씀드리고자 합니다. 베릴륨 함유제품의 취급안전에 대하여는 따로 기술하였습니다. 더 필요한 자료는 문의하여 주시기 바랍니다.

Brush Wellman사 소개

회사 연혁

Brush Wellman사는 1931년 Brush Beryllium Company로 출발하였다. 이 회사는 1921년 Charles Brush, Jr.와 Dr. C. Baldwin Sawyer가 설립한 Brush Laboratories의 베릴륨 관계 기술을 상업적으로 개발시키기 위하여 만든 것이다. 이 선구자적 연구개발 사업은 주로 광석 추출, 베릴륨금속, 베릴륨 산화물 및 마스터 합금의 생산에 집중되었다.

1940년대 후반에, 원자력 위원회(AEC)에서 베릴륨 분말 야금기술에 흥미를 보이고 이어서 베릴륨 금속 및 베릴륨 산화물에 대한 유력한 수요가 되었다.

1950년대에는 베릴륨이 들어있는 재료의 상업적 용도가 증가되기 시작하였으며 따라서 Brush의 생산능력도 커졌다. 1953년, Brush는 Ohio주 Elmore에 작은 상업용 베릴륨동 마스터 합금 생산공장을 세웠다. 이 공장은 지금도 베릴륨 및 베릴륨 합금생산 공장으로서 세계에서 제일 크고 제일 앞선 공장이다.

1958년에는 Pennsylvania주 Reading에 있는 Penn Precision Products사를 취득하여 베릴륨동 압연제품 일체를 공급할 수 있는 태세를 갖췄다. Reading 공장은 계속 증가하는 세계 수요에 충분히 대응할 수 있는 우수한 품질의 제품 생산 능력을 갖고 있다.

1960년대 Brush는 Utah주 Topaz 산 지역에 대한 광권을 획득하고 이곳의 광물로부터 베릴륨을 추출하는 기술을 개발하였다. 이곳의 광석 매장량은 앞으로도 오랫동안 베릴륨 합금재료의 세계시장 수요를 충족시키기에 충분하다. Brush Wellman 사는 자유세계에 있어 베릴륨을 광석으로부터 생산하는 유일한 회사이다.

1971년에 Brush는 금속 및 흑연계 마찰 재료 제조업체인 Abex Corporation의 S.K., Wellman Division을 취득하였다. 이 회사를 취득하면서 Brush Beryllium Company는 이름을 Brush Wellman Inc.로 바꿨다. Wellman Division은 후에 매각하였다.

1980년대는 극적인 성장기였다. 국제적으로도 성장하여, Brush Wellman GmbH(Germany), Brush Wellman Ltd.(U.K.), Brush Wellman(Japan)이 만들어졌다. 1982년에 TMI사를 취득 함으로써 Clad Metal 생산 능력도 확보가 되었다.

1990년대 Brush Wellman 사는 베릴륨 금속의 가공 능력 확보를 위해 Electrofusion 사를 인수하고, 금속을 입힌 세라믹 전자 패키지 용도로써 열적인 문제 해결을 위해 Tegman 사를 취득하였다.

회사 현황

Ohio주 Cleveland시에 본사를 둔 Brush Wellman 사는 베릴륨 금속, 베릴륨 합금 및 베릴리아 세라믹의 세계 유일의 일관 생산 공급 회사이다.

- **베릴륨 금속**-군사용, 우주 산업용, 상용 베릴륨 금속은 Utah 주 Delta와 Ohio 주 Elmore에서 생산된다. California 주 Fremont에 위치한 Electrofusion사(ADC)는 정제된 베릴륨 및 기타 베릴륨 부품을 생산한다.
- **베릴륨 합금**-베릴륨 동, 베릴륨 니켈 및 베릴륨 알루미늄은 Ohio 주 Elmore 공장과 Pennsylvania주 Reading 공장에서 생산된다. 서비스 센터는 New Jersey 주 Fairfield, Michigan 주 Warren, Illinois 주 Elmhurst와 California 주 Torrance에 있으며 연구 개발실은 Ohio 주 Cleveland 본사에 두고 있다.
- **베릴리아 세라믹**-여타 금속들 보다 열 전도율이 높고 고강도 전기 부도체인 베릴리아 세라믹은 Arizona 주 Tucson과 Massachusetts 주 Newburyport에서 생산된다. 전자 회로와 패키지들은 부도체인 세라믹 기판과 도체인 동과의 조합을 직접 붙이는 공정을 사용하여 New York 주 Syracuse에서 설계 및 제조 된다.
- **기타 특수 공학 재료**-본 소재는 다음 회사들에 의해 전세계에 공급된다.
 - Rhode Island 주 Lincoln에 위치한 TMI(Technical Materials Inc.)사는 Inlay 크래드, 전기 도금 및 기타 특수 금속판을 생산 공급한다.
 - New York 주 Buffalo에 위치한 WAM(Williams Advanced Materials)사는 전자 산업용 고순도 귀금속 및 고성능 세라믹 반도체 패키지의 뚜껑(Lids)을 생산 공급한다.

채광 및 제조

Brush Wellman사의 베릴륨 합금생산은 Utah주의 Topaz-Spor 광산 작업에서 부터 시작한다. 이것은 자유세계에서 유일한 버트란다이트(Bertrandite) 광산이다. 버트란다이트 광은 노천광으로서 가까이 있는 Utah주 Delta 소재의 추출 공장으로 운반된다. Delta에서는 버트란다이트로부터 미세한 분말상의 수산화 베릴륨(Beryllium Hydroxide)를 추출한다.

이 수산화 베릴륨은 다시 Ohio주 Elmore의 합금 생산공장으로 운반된다.

Elmore 공장 :

Ohio주 Elmore 공장은 Alloy Division의 로설비와 압연기 등이 있는 곳이다. 구체적인 야금 및 금속가공 공정으로 다음과 같은 것들이 있다.

- 수산화 베릴륨의 환원
- 용융 및 주조
- 열간 압연 및 냉간 압연
- 열간 압출
- 냉간 인발
- 소둔 및 석출열처리
- 세정
- 평탄하게 함 (Flattening)
- 직선으로 펴 (Straightening)
- 절단 (Sawing)
- 스트립 도금
- 기계가공

Elmore 공장의 제품은 다음과 같다: 스트립, 선재, 봉재, 각재, 관재, 압출형재, 특별주문 압출형재, 후판, 주조용 잉코트, 마스터합금. 이들은 세계 각처의 서비스 센터를 통하여 소비자에게 가거나 Pennsylvania주 Reading 공장으로 보내져서 2차 가공을 받게 된다.

Reading 공장 :

Pennsylvania주 Reading에 있는 이 공장은 Alloy Division에 속해 있으면서, 최종 두께의 스트립과 선재를 생산한다. 이곳에 있는 금속가공 공정은 다음과 같다.

- 압연
- 인발
- 산세 (Pickling)
- 소둔
- 석출경화 처리
- 탈유지 (Degreasing)
- 슬리팅 및 용접 (Slitting and Welding)
- 특별 권선 (Traverse Winding)

이곳 제품은 최신에 기술을 통하여 항상 일정한 최상급의 품질이 유지되고 있다.

이곳의 스트립은 0.05mm (0.002 in) 까지 압연되고, 선재는 1.27mm (0.050 in) 까지 인발된다.

Pennsylvania주 Reading 공장과 Ohio주 Elmore 공장은 가까운 동업관계를 갖고 있다. Elmore 공장은 Reading 공장에서 생산하는 제품의 소재를 공급하기 때문이다. Alloy Division은 엄격한 품질관리 기준 아래 이 공장들을 운영하고 있다. Alloy Division의 품질에 대한 타협하지 않는 결의야말로 이 Division이 성공하게 된 성공비결이며 장래에 대한 열쇠이다.

판매 및 유통 조직

Brush Wellman사는 세계 각 지역에 서비스 센터망과 대리점을 두고 있다. 이 유통망에 종사하고 있는 사람들은 수요가의 인쿼리에 응하며, 주문을 접수하고, 특별한 요청사항에 대하여 지원하는 일들을 맡고 있다. 이들은 수요가로 부터의 기술적인 질문 사항에도 응할 수 있으며, 수요가를 Brush Wellman 사의 각 부서가 갖고 있는 자료에 연결시킬 수도 있다.

서비스 센터(Service Center)

미국 국내에 4개소, 국외에 3개소가 있다. 이들의 기능은 다음과 같다.

- 베릴륨동 및 기타 베릴륨합금을 종류, 크기, 템퍼별로 다양하게 확보 저장함.
- 수요가의 요구에 따라 미국전역, 캐나다, 기타 외국으로 수송.
- 수요가의 요구에 응하여 스리팅, 절단(Sawing), 레벨링(Levelling), 트래버스 와인딩(Traverse Winding), 기타 특별 작업 시행.
- 수요가 필요성에 맞게 포장, 표시
- 포장, 표시, 재질, 기타 사항에 대한 수요가의 필요성을 충족시키기 위한 협의, 공동작업.

도매점

Brush Wellman사는 미국과 캐나다에 70개 이상의 도매점이 있으며 이들이 Brush Wellman사의 일을 돕고 있다. 이들은 Brush Wellman사의 서비스 센터가 하는 대부분의 일을 그 지역의 고객들을 위하여 하고 있다. 이들의 일을 요약하면 다음과 같다.

- 수요가에게 출하를 즉각적으로 할 수 있도록 필요한 제품을 지역 특성에 맞게 저장함.
- 최신의 변화 추세에 뒤떨어지지 않도록 베릴륨 합금과 용도에 대한 주기적 세미나에 참석함.
- 수요가를 Brush Wellman사의 필요한 부서와 자료에 연결시킴.

국외 대리인(International Agents)

Brush Wellman사의 International Division이 인허한 국외 대리인은 해당지역의 수요가에게 베릴륨 합금 제품과 서비스를 제공하는 것이 임무이다. 이들에 문의하면 필요한 정보를 얻을 수 있다.

고객 서비스

Brush Wellman사는 광범위한 고객 서비스 체제를 운영하고 있다. 고객 서비스는 다음 요원들을 통하여 제공된다.

- 판매 기술원
- 해당지역의 서비스 센터 고객 서비스 요원
- Ohio주 Cleveland에 있는 Alloy Division의 Sales And Marketing 요원

이상의 Brush Wellman 관계자에게 서면 또는 전화로 문의를 하면, 필요한 조치가 시작된다.

고객 서비스중의 하나로서 가끔 필요한 것은 기술 서비스이다. 새로운 부품을 설계할 때, 있는 합금이나 템퍼 중에서 가장 합당한 것을 선택하고자 할 때, 부품생산 방법을 비교 검토할 때, 합금 판촉부(Alloy Marketing)에 연락을 하면 기술서비스 요원의 지원을 받을 수 있다.

Brush Wellman사의 고객 서비스요원은 다음과 같은 Brush Wellman사의 광범위한 인적, 지적, 물적자원과 연결되어 있다.

- Alloy Division의 기술자
- 제품별 최신 기술 간행물
- 전산기 데이터베이스 시스템의 자료
- 환경공학 기술자
- 생산 및 설비 기술자
- 주문제작 기술부

Brush Wellman사는 베릴륨동 제품에 대한 수요가의 코멘트를 환영한다. 수요가가 현재 사용중인 것에 대한 것들, 그리고 앞으로 개발되기를 원하는 것이 있으면, Brush Wellman은 이러한 자료를 수집할 필요가 있다. 또한, 베릴륨동은 회수재생 되는 물건이므로 베릴륨동의 폐기물에 대한 문의도 환영한다.

품질 관리

품질은 Brush Wellman사 사원 누구에게나 우선순위 제1번이다. Brush Wellman사는 교육훈련 시간을 상시 갖고 있으며, 자본투자를 통하여 능력을 향상시키고, 소재에 대한 새로운 요구조건에 대하여 항상 파악하고, 납품업체, 도매점, 판매대리점, 고객들과 마치 동업자와 같은 긴밀한 협조관계를 유지하고 있다.

Brush Wellman사는 통계적 공정관리(Statistical Process Control)라고 하는 관리체제를 활발히 가동시키고 있다. 이 체제로부터 생산공정의 안정성 및 개선점을 위한 귀중한 정보가 제도적으로 캐취되어, 필요한 생산 및 공정관리를 할 수 있게 하여 주므로, 항상 일정한 품질의 제품을 생산하게 하여준다. 이에 더하여 Brush Wellman사는:

- 특별한 품질 사양이 있을 때에는 판매, 기술, 품질관리 요원이 고객과 긴밀한 연락을 갖고 작업함으로써 사양을 같이 이해하고 이를 맞추도록 한다.

- 재료시험 증명서 (Material Certification)를 발급함으로써 제품이 고객의 사양과 일치함을 알게 한다.

- Brush Wellman사는 각 제품에 대하여 전 공정을 추적해 갈 수 있는 추적 시스템을 갖고 있다.

- Brush Wellman사의 품질관리체제는 MIL-I-45208 규격에 따르고 있는 것이다.

이와 같이 Brush Wellman사는 품질에 지대한 노력을 경주하고 있으며, 다음과 같은 품질관리에 대한 정책을 회사 전체의 운영지침으로 삼고 있다.

우리는 언제나 고객의 요구조건에 따라 업무를 수행함으로써, 무결함의, 보다 우수한 제품과 서비스를 모든 고객께 적기에 공급할 것을 약속합니다.

베릴륨 동의 안전한 취급을 위하여

베릴륨 동은 다른 공업용 물질에서 보는 예와 같이 일정한 주의 사항을 지키지 않으면 인체 보건상의 문제를 야기시킬 수가 있다. 베릴륨 동은 일정이상 농도의 베릴륨을 함유한 먼지, 습기 및 증기를 다량 호흡하였을 때, 이에 민감한 반응을 보이는 사람들에게만 유해하다. 베릴륨 분말을 과도히 호흡하면, 만성적인 폐질환을 일으킬 수 있다. 베릴륨에 민감한 체질의 사람은 100명중 1명 꼴의 적은 비율이지만, 누가 그러한 민감 체질인지를 미리 알아내는 방법은 없다. 따라서 모든 사람을 다 보호하는 조치를 취할 필요가 있다.

베릴륨 함량이 낮은 합금류가 주는 재해는 무시할 수는 없으나, 이것도 수년간의 경험으로 볼 때 적합한 환기 장치 및 기타 안전장치를 통하여 작업환경이 잘 관리 될 수 있음이 알려졌다. 중요한 것은 이 합금류의 제조과정 중 작업자가 공기중에 섞인 베릴륨의 먼지, 습기, 증기를 허용치 이상들여 마시지 않도록 주의하는 것이다. 미국의 OSHA(U.S Occupational Safety and Health Administration)는 보건 문제를 야기시키는 것으로 알려진 공기중의 함량 훨씬 이하로 공장내의 공기를 관리하도록 다음과 같은 허용기준치를 채택하고 있다.

1. 매일 8 시간 동안 시간가중평균치로서 공기 1m³당 베릴륨 함량이 2 microgram을 초과하지 않을 것.
2. 8 시간 노동시간중 단시간내의 과도농도 공기에 노출되는 것은 30분간 이내에서 공기 1m³당 5 microgram 내지 25 microgram 이내로 할 것.

40년간의 기록을 통한 경험에 의하면, 아무리 베릴륨에 민감한 체질의 사람이라 하더라도 앞에 보인 수치를 지키면 안전한 것으로 되어 있다.

실험결과에 의하면, 베릴륨 함유량이 적은 일반 베릴륨합금은 스탬핑(Stamping), 기계가공, 열처리 작업시에 기준치인 공기 1m³당 2 microgram 이상으로 공기를 농축시킬 수 없음을 잘 보여 주고 있다. 특히 먼지를 발생시키는 작업을 할 때에는 국부 흡입장치를 통하여 간단히 그리고 경제적으로 문제를 해결할 수 있다. 종업원의 대기 노출 상태는 규정된 방법에 의거 공기를 샘플링하고 계산함으로써 허용치 기준에 맞는가를 확인할 수 있다. 작업에 따라서는 안전하므로 오염도 측정이 필요없는 경우도 있고, 또 OSHA의 규정에 요구된 공기 샘플링도 필요없는 때도 있으나 작업환경이 안전한지 여부를 확인하기 위하여 주기적으로 종업원의 노출 상태를 알아 보도록하는 것이 좋을 것이다.

베릴륨을 함유하는 재료로 만들어진 장치나 조립품은 사용하는 데 있어 아무런 문제가 없다.

미국 EPA(U.S Environmental Protection Agency)는 공장에서 배출하는 베릴륨량을 1일 10gram까지로 규제함으로써, 대기중의 베릴륨량이 월평균 1m³당 0.01 microgram이 내가 되도록하여 일반인을 보호하고 있다.

베릴륨 함유 재료를 가장 효과적으로 취급하고자 함에 있어, 더 이상의 자료가 필요하면, Brush Wellman사에 문의하여 알 수 있다.