

# 프라스틱 사출용 베릴륨 동 금형에 대하여

## 1. 서언

프라스틱 사출용 금형재료로서는 통상 고탄소강계의 공구강이 흔히 쓰이고 있다. 그러나 양산할때의 경제적 측면 또는 품질 확보 및 기술적 이유에서 베릴륨 동 금형 사용이 점차 보편화되고 있는데, 여기에서는 그 이유와 현황을 살펴보고자 한다.

## 2. 베릴륨 동이란 ?

베릴륨 동(Beryllium Copper)은 금속 베릴륨(Beryllium Metal)과 동과의 합금이다. 동은 열전도율, 전기전도율이 높으며 내식성이 좋은재료이나 강도, 내마모성 등이 결여된 것이 단점이겠는데 여기에 소량의 베릴륨(0.15% - 2.75%)을 합금함으로써 강철이상의 강도, 탄성, 경도, 내마모성을 갖게 된다는 것을 알게되어 1930년대 후반부터 널리 쓰이게 된 재료이다. 베릴륨 동은 전기전도율이 높은 spring 재료로서 전기전자 분야에 널리 쓰이고 있는 한편, 열전도율이 높은 성질, 주물재현성이 좋은 성질, 강도가 높고 마모율이 적은 성질이 종합적으로 이용되어 약25년 전부터 고급 프라스틱 제품의 사출용 금형재료로서도 각광을 받게 되었다.

베릴륨동의 열전도율은 강철의 4배나 빠르므로 사출기의 생산성을 높여주며, 낮은 주입온도(약 1100℃, 강철은 1650℃)에서도 오랫동안 유동도를 유지함으로써 면이 넓은 주물의 문양을 미세한 부분까지 재현시키는 특성이 있다.

현재 자유 세계에서 광석으로부터 금속베릴륨 동을 포함한 베릴륨 관련제품을 일관 생산하는 회사는 미국의 Brush Wellman Inc사가 유일한 회사로 되어있다.

### 3. 베릴륨 동의 주요 성질 비교

베릴륨 함량에 따라 차이가 있으므로 여기서는 대표적으로 Be 함량 2.00% - 2.25%의 베릴륨 동을 기준하여 타재료와 비교하여 본다. 다음 표에서 보는바와 같이 베릴륨 동은 ;

- (1) 열전도율이 공구강에 비해 4배나 빠름.
- (2) 인장강도, 경도가 높음.
- (3) 내마모성 및 내식성이 우수함.

주요 금형 재료의 기계적·물리적 성질 비교

재료 구분	Becu (20C)	Tool Steel (4340)	Cast Iron	Kirksite "A"	Aluminum (7075)	Stainless Steel (410)
최대강도, kg/m <sup>2</sup>	105 - 123	128	21.1 - 24.	26.6	53.3	
용융온도, °C	871 - 971	1,537 - 1,593	1,482 - 1,537	396	477 - 637	
신율, 50mm, %	1 - 3	15	1	3	11	
경도, 로크웰	C38 - 43	C39	C15	B63 est	B81	
열전도율, cal/cm <sup>2</sup> /cm/ sec/°C	0.250 (4.3)*	0.072 (1.2)	0.057 (1)	- -	0.262 (4.6)	0.030 est (0.53)
밀도, g/cm <sup>3</sup>	8.08	7.81	7.36	6.92	2.8	
자성체여부	비자성	자 성	자 성	자 성	비자성	
내 식 성	우 수	불 량	가	불 량	우 수	
주 물 성	우 수	양 호	양 호	양 호	양 호	
내 마 모 성	우 수	양 호	가	불 량	불 량	

주 기 : \* Cast Iron의 열전도율을 1로 볼때 BeCu는 4.3배로 높음.

#### 4. 베릴륨 동 금형은 사출 Cycle time을 단축시켜, 생산성을 높여줌

베릴륨 동 금형은 열전도율이 대단히 높다. 금형에 있어 일차적인 냉각방식은 열전도에 의한 것이며 다음의 수식으로 표현될수 있다.

$$t = \frac{L}{K} \times \frac{H}{dT \cdot A}$$

t=시간

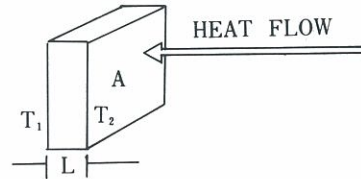
H=열량

K=금형 재료의 열전도율

A=면적

dT=온도차

L=열이 전도되는 거리



\* 금형에 있어 냉각시켜야 되는 열량 H, 면적 A (프라스틱 제품 size에 따라 고정)와 dT는 고정되어 있으며, 금형재료에 따라 K와 L이 변수가 된다. 베릴륨 동의 열전도율 K는 타재료보다 4배가 높으므로 사출 cycle time은 같은 조건에서 4배가 빨라질수 있고, 냉각수 통로를 back plate 에 두어도 좋으므로 cold spot 발생등의 문제가 없게 된다.

\* 사출 Cycle time이 4배나 빠르므로 금형비용을 쉽게 상각할수 있다. (사출기 생산성의 대폭적 향상)

#### 5. 베릴륨 동 금형은 금형의 열충격 (thermal shock), 열응력 (thermal stress), 열피로 (thermal fatigue)문제를 최소화 시킨다.

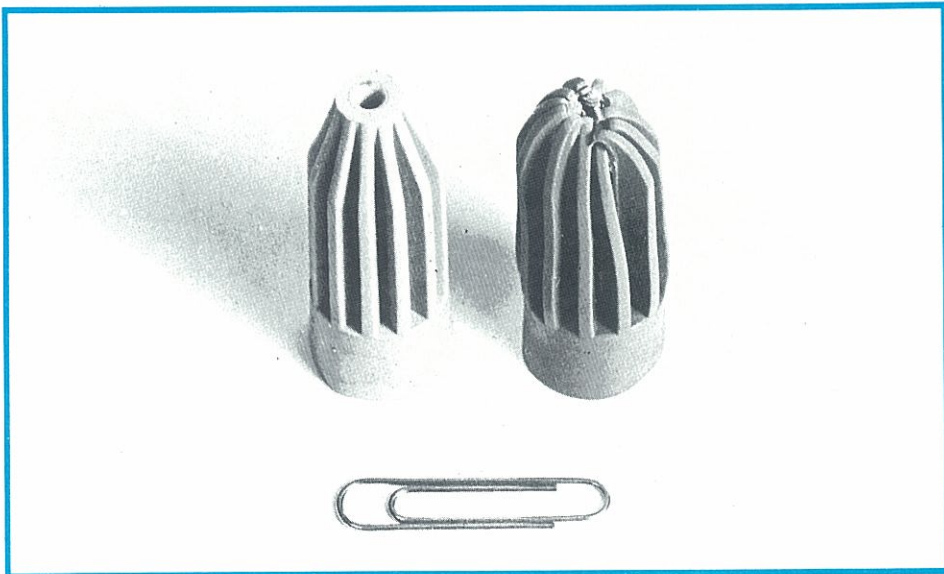
이것도 베릴륨 동의 열전도율이 높은 성질에서 비롯된 효과이나, 베릴륨 동 금형은 금형의 균열 (heat cracking)과 변형 (warping or distortion)을 막아주며 프라스틱 부품에 있어 표면의 미려함이 중요한 경우 특히 문제를 일으키는 열차단 (heat checking)의 문제를 일으키지 않는다. 금형의 균열은 흔히 금형의 모서리, 튀어나온곳, 주입구 (feeding gate)에서 생기는데 이는 열이 직접 닿는 부분이 반복되는 열팽창과 수축과정에서 응력이 불균형하게 발생하는 것이 원인이다. 베릴륨 동은 재료 내부에서의 열확산 속도가 높으므로 원천적으로 이러한 문제 발생의 여지를 봉쇄시키며, 자체의 높은 강도로 인하여 균열 발생을 억제 시킨다.



## 6. 베릴륨 동 금형은 다음과 같은 부가적 이점이 있다.

- (1) 내마모성 : 플라스틱 사출금형은 짝끼리의 접촉, 플라스틱 재료에 혼합시킨 섬유질 또는 기타 재료와의 마찰, 유입되는 플라스틱으로부터 생기는 침식 등의 이유로 마모하게 되는데 베릴륨 동 금형은 강도와 경도가 높으므로 내마모성이 우수하다.
- (2) 윤활성 : 베릴륨 동은 표면에 산화 피막을 형성하는데 이것은 plastic과 금형이 서로 들러 붙거나 금형이 마모하는 것을 방지하여 주는 윤활적 보호막 역할을 한다.
- (3) 도금성 : 베릴륨 동은 부식을 완전히 방지하기 위하여 크롬 또는 니켈도금을 함으로써 경도를 Rc 60까지 높일수 있다.
- (4) 금형잔존가치 : 탄소강과 베릴륨 동 금형의 가격 비교시에는 수명이 다 된 금형의 잔존가치를 고려해야 한다. 베릴륨 동 금형은 초기 재료비의 25-35% 상당 잔존가를 갖고 있기 때문이다.
- (5) 기계가공성 : 베릴륨 동은 금형용 탄소강보다 훨씬 가공이 용이하다. 베릴륨 동은 AISI 4340강보다 4배나 더 빨리 가공 할수있다.

### Core의 재질에 따른 PVC 제품 품질 비교

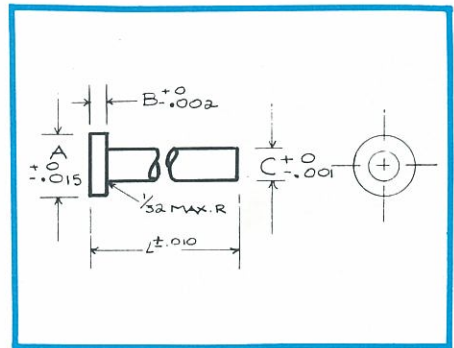


위의 사진은 PVC 제품을 만드는데 코어를 베릴륨동으로 사용한것(왼편)과 보통 쓰는 강철로 사용한것(오른편)을 비교한 것이다. 베릴륨동 코어를 씌으로써 제품의 품질만 개선될 뿐만 아니라 Cycle Time의 단축으로 생산성도 크게 좋아진 사례이다. (50초에서 30초로 40% 이상 단축됨.)

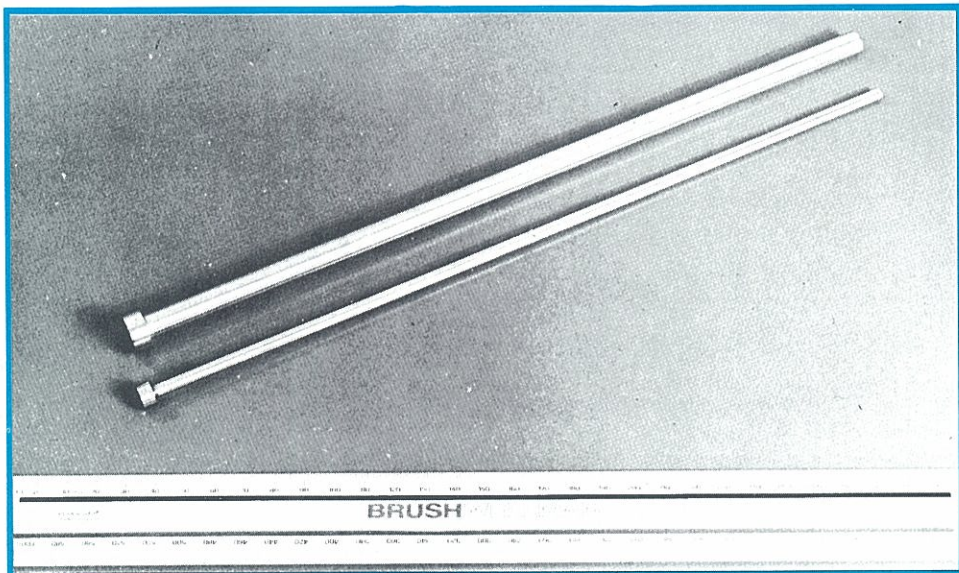
## 7. 베릴륨 동은 금형의 인서트 (insert), 코아 핀 (Core pin) 재료로 적합하다.

베릴륨 동은 강도가 높으며 열전도율이 높은 재료이므로 금형의 insert, core pin으로써 적합한 재료이다. Core pin은 적당한 size의 봉 (rod)을 기계가공하여 만들어서 쓸수도 있겠으나 Brush Wellman은 core pin을 다음과 같이 규격화하여 공급하고 있다.

Part No.	A	B	C	L
720801-1	9/32"	5/32"	5/32"	12"
720801-2	3/8"	3/16"	3/16"	12"
720801-3	7/16"	3/16"	1/4"	12"
720801-4	1/2"	1/4"	5/16"	12"
720801-5	5/8"	1/4"	3/8"	12"
720801-6	11/16"	1/4"	7/16"	12"
720801-7	3/4"	1/4"	1/2"	12"
720801-13	9/32"	5/32"	5/32"	18"
720801-23	3/8"	3/16"	3/16"	18"
720801-33	7/16"	3/16"	1/4"	18"
720801-43	1/2"	1/4"	5/16"	18"



Beryllium Copper로 만든 Cores, Insert 및 Core Pins



플라스틱 장난감 제조시에는 바퀴의 축이나 결합을 위한 못 구멍을 많이 내어야 하는데, 구멍의 크기가 적으므로 Pin의 내부 수냉은 불가능하다. 따라서 Pin의 길이 방향에 의한 열전도 외에는 Pin을 달리 냉각시킬 수가 없다. Core Pin을 베릴륨동으로 대체함으로써 Cycle 당 2-3초의 제조 시간절약이 가능하여 진다.

## 8. 베릴륨 동 금형재료의 공급형태

이것은 주조용 ingot로 공급되는 경우와 금형을 기계가공하여 만들수 있도록, 비릿트(billet), 환봉(rod), 각재(bar), 판재(plate), 단조재로 공급되는 두가지 경우가 있다. 주조용 ingot는 대개 단중 5 lb 짜리로 metal can에 넣어서 공급되는데 이것은 다시, 베릴륨 동으로 약 3.8% 되는 master alloy를 다른 순동과 같이 용융시켜 소정의 베릴륨 동으로 희석시켜 주입 사용하도록 한 경우와, 처음부터 소정의 성분을 갖고 있게하여 사용자로서는 녹여서 주입만 하면 되도록, casting alloy 로서 공급하는 경우가 있다 이를 표로 요약하면 ;

용 도	공 급 형 태	베 릴 른 함 량
주 조 용	Master Alloy	Be 3.5% - 4.5%
	Casting Alloy	275C (Be 2.60% - 2.85%)
		245C (Be 2.30% - 2.55%)
		20C (Be 2.00% - 2.25%) 165C (Be 1.60% - 1.85%)
기계가공용	Billet	Be 1.8% - 2.0%
	Rod	Be 1.8% - 2.0%
	Bar	Be 1.8% - 2.0%
	Plate	Be 1.8% - 2.0%
	Forgings	Be 1.8% - 2.0%

주 (1) Casting Alloy No. (예;275C등)는 Brush Wellman사 규격번호임. Casting Alloy는 기계부품, 용접기의 전극 재료로도 쓰이며, 상기외에 10C (Be 0.55% - 0.75%), 3C (Be 0.25% - 0.5%)가 더 있음.

(2) 기계가공 제작용 금형재료(Billet 등)는 열처리된 상태로 공급됨. 주조및 열처리시 수축으로인한 치수변경이 우려될 때에는 주조보다 기계가공하여 제작하는 것이 좋음.



## 9. 주조용 금형 재료에 대하여

Master Alloy(Be 3.5% - 4.5%)와 Casting Ingot가 있다. Master Alloy는 동 및 기타 원소와 합금하여 소정의 성분 조성을 갖는 합금을 만드는데 쓰인다. 주조용 잉고트(Casting Ingot)는 다른 원소를 섞지 않고 그대로 용융하여 쓰도록 이미 성분을 조정하여 놓은 것이다. 여기에서는 Casting Ingot에 대하여 상술하는 것으로 한다.

### 가. 사용현황

Alloy No.	화 학 성 분	사 용 현 황
(1) 275C	Be : 2.60-2.85 Co : 0.35-0.65 Cu : 잔량	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 고강도 주조용 합금재임.</li> <li>2. 열처리 후의 강도, 경도는 강철 수준임.</li> <li>3. 내마모성이 대단히 우수함.</li> <li>4. 내마모성이 많이 요구되는 금형에 쓰임.</li> <li>5. 마찰시 불꽃이 안생기므로 안전 공구재료로도 쓰임.</li> <li>6. 이 재료는 원래 프라스틱 사출용 금형재로서 개발된 것임. 유동성이 대단히 우수하여 아주 세밀한 모양도 재현시킴.</li> <li>7. 따라서 압력주조, 진공주조에 의한 정밀주조와 Ceramic molding에 사용됨.</li> <li>8. 내마모성과 경도를 높임으로써 내충격 강도가 다소 낮으므로 충격에 주의 요함.</li> </ol>
(2) 245C	Be : 2.30-2.55 Co : 0.35-0.65 Cu : 잔량	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 275C보다 Be 함량을 조금 낮춤으로써 경도는 떨어지나 내충격력을 높인 것임.</li> <li>2. 275C와 마찬가지로 유동도가 우수하여 압력, 진공, Ceramic-molding 주조에 사용되며 세밀한 모양의 재생에 적합함.</li> </ol>
(3) 20C	Be : 2.00-2.25 Co : 0.35-0.65 Cu : 잔량	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 이것은 사용범위가 극히 넓어서 베릴륨 주조물의 대표적인 재질로 되어 있음.</li> <li>2. 강도, 경도, 유동도를 고루갖고 있으므로 거의 모든 주조법에 사용될 수 있음. (Sand 주조, Shell 주조, Permanent mold, 원심력, 진공주조 및 Shaw 법 등)</li> <li>3. 프라스틱 사출과 부로우 금형(Blow Molding)에 사용됨.</li> <li>4. 금형외에 구조용 재료로도 쓰임.</li> <li>5. RWMA의 Class IV 재질로서 저항 용접기에도 쓰임.</li> </ol>
(4) 165C	Be : 1.60-1.85 Co : 0.20-0.65 Cu : 잔량	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 베릴륨 주조제품(금형포함)으로서 인성(Toughness)이 중요한 경우에 쓰임.</li> <li>2. Sand, Shell, Permanent mold, 정밀, 압력, 진공, 원심력 등 주조법에 사용됨.</li> </ol>



나. 주조형 금형재료의 기술자료

기계적 성질

재료	재료의 상태	최대인장 강도 (kg/mm <sup>2</sup> )	비례한계강도 (kg/mm <sup>2</sup> )	항복강도 (kg/mm <sup>2</sup> )	신율 %	경도 로크웰	전기전도율 %, IACS
275C	As Cast	59.7 - 63.2	24.6 - 28.1	35.1 - 42.1	15 - 25	B80 - 90	17 - 23
	As Cast and Aged	66.7 - 73.8	28.1 - 31.6	42.1 - 49.2	10 - 15	C20 - 25	
	Solution Annealed	56.2 - 63.2	10.5 - 14.0	21.0 - 28.1	5 - 15	B80 - 95	
	Solution Annealed and Aged	126 - 137	94.9 - 112	115 - 126	0.5 - 3	C43 - 47	
245C	As Cast	56.2 - 59.7	21.0 - 24.6	31.6 - 35.1	20 - 25	B81 - 86	18 - 23
	As Cast and Aged	66.7 - 73.8	28.1 - 31.6	42.1 - 45.6	10 - 21	C20 - 25	
	Solution Annealed	52.7 - 56.2	10.5 - 10.4	21.0 - 24.6	15 - 25	B70 - 76	
	Solution Annealed and Aged	119 - 126	66.7 - 77.3	112 - 119	1 - 2	C40 - 45	
20C	As Cast	52.7 - 59.7	17.5 - 24.6	28.1 - 35.1	15 - 30	B80 - 85	18 - 25
	As Cast and Aged	70.3 - 73.8	31.6 - 38.6	49.2 - 52.7	10 - 20	C20 - 24	
	Solution Annealed	42.1 - 52.7	8.43 - 11.9	17.5 - 21.0	24 - 45	B65 - 75	
	Solution Annealed and Aged	105 - 123	70.3 - 87.8	84.3 - 105	1 - 3	C98 - 43	
165C	As Cast	49.2 - 52.7	14.0 - 17.5	24.6 - 28.1	20 - 25	B74 - 82	20 - 25
	As Cast and Aged	66.7 - 73.8	24.6 - 31.6	45.6 - 52.7	10 - 20	C20 - 24	
	Solution Annealed	38.6 - 42.1	7.03 - 10.5	14.0 - 17.5	40 - 50	B46 - 54	
	Solution Annealed and Aged	101 - 108	56.2 - 66.7	94.9 - 101	2 - 4	C34 - 39	

(주) Solution annealing : 788°C에서 1 시간 후 수냉시킴. Aging : 343°C에서 3 시간

물리적상수

재료	비중 g/cm <sup>3</sup>	탄성계수 kg/mm <sup>2</sup>	자성여부	비열 cal/gm/°C	선팽창계수 1°C당	열전도율 cal/cm <sup>2</sup> /cm /sec/°C	주조시 길이의 수축율 (%)	용융범위 (°C)	열처리시 비중 증가율 (%)	열처리시 열처리시 길이의 수축율 (%)
275C Ingot	8.09	13,006	비자성	0.10	0.000017	0.23	1.5625	854 - 932	0.6	0.2
245C Ingot	8.09	13,005	비자성	0.10	0.000017	0.24	1.5625	863 - 954	0.6	0.2
20C Ingot	8.09	12,654	비자성	0.10	0.000017	0.25	1.5625	871 - 971	0.6	0.2
165C Ingot	8.09	12,654	비자성	0.10	0.000017	0.26	1.5625	885 - 987	0.6	0.2



## 다. 주조작업 실제

### 1. 용융 및 주입

베릴륨동은 전기 또는 연료로 가열되는 로에서 용융시킨다. 전기로는 유도로, 간접 아크로(indirect arc furnace) 어느쪽이나 빨리 가열이 되며 온도제어도 정밀하게 할 수 있다. 코크스, 가스, 기름등 연료를 때는 로는 끄름의 혼입 방지를 위하여 약간의 산화 분위기를 고려하는 것이 좋다.

용융 온도 및 주입 온도를 잘 관리하는 것은 용탕의 베릴륨 함량이 산화로 줄어드는 것을 방지하고 dross의 생성을 방지하는데 대단히 중요하다.

주입온도는 주물의 형상과 크기에 따라 다르기 때문에 경험을 통하여 결정하는 것이 가장 좋다. 그러나 일반적인 지표로써, 주입온도는 가능한 한 낮게하는 것이 좋은데 대개 다음에 보인 범위이다.

275C Alloy, 960 °C - 1037 °C

245C Alloy, 968 °C - 1065 °C

20 C Alloy, 982 °C - 1093 °C

165C Alloy, 1010 °C - 1121 °C

10 C Alloy, 1093 °C - 1176 °C

3 C Alloy, 1093 °C - 1176 °C

dross 생성과 베릴륨의 “연소 손실” 및 가스 혼입을 최소한으로 하기 위하여는 용탕이 고르게 액체 상태가 되고 주입온도에 도달하였을때 금방 주입하여야 한다. dross는 주입용탕에 섞여 들어가지 않게 굽어 내거나 잡아 주어야 한다. 또 용탕의 주입은 흐름의 거리를 되도록 짧게, 그리고 흐름이 부드럽게 흐르도록 하여야 한다. 이렇게 하자면, ladle, 도가니 또는 로의 입을 주물의 주입구에 가깝게 있게 하여야 하며, 주입이 꾸준하게 끊기지 않게 하여 용탕이 튀거나 난류가 생기지 않게 하여야 한다.

베릴륨 성분의 손실은 먼저 굽은 scrap과 copper ingot를 장입하고, 다음에 장입한 가는 scrap가 용탕에 완전히 녹아서 침적된 후에 마지막으로 베릴륨동 ingot를 장입하면 최소한으로 줄일 수 있다. 이후 용융과 주입은 빨리 할수록 좋다. 먼

연소 가스가 혼입되는 것은 장입물을 모두 건조한 것으로 하고, 연소 분위기를 약간 산화 분위기로 하여주고, 연소가스가 용탕 표면에 닿지 않게 하고, 녹은 후 가능한한 곧 주입함으로써 피할 수 있다.

만일 주입전에 채취한 용탕 sample에 기공이 보이면, 脱gas 작업이 필요하다. purging은 Dupont Skamex와 같은 solid degasser로 건조한 질소가스 또는 알곤가스로 수행되거나 또는 아예 pigging 및 remelting하여 수행한다.

용탕을 저으면 가스혼입 및 산화를 증가 시킬 수 있으므로 용탕을 저으면 안된다. 또 용탕을 흔들면 용탕면의 산화베릴륨 보호 막을 깨뜨리며 이 막이 용탕에 혼입되어 용탕을 오염시키므로 피해야 한다.

Flux나 slag cover는 불필요하다. 그러나, 어떤 용융조건 하에서는 건조한 charcoal cover를 쓰는것이 유익할 때도 있다. 베릴륨은 그 자체로서 좋은 환원제 이므로 베릴륨동의 용융 도중에는 환원제

를 쓸 필요가 없다. 연료를 떼거나 유도열을 이용한 도가니로는 silicon carbide도가니가 수명이 제일 길다. 로의 수명이 크게 긴요하지 않을때는 clay graphite로를 쓰는 것이 좋다.

어느 경우에도, 베릴륨동 작업을 할때에는 매 용탕의 성분 조성도와 품질을 미리 알아야 한다. 장입 재료로는 gate, riser, sprue 등 깨끗한 주물 scrap과 주물을 기계 가공할때 나오는 오염되지 않은 chip과 새 ingot를 같이 섞어 쓴다. 젓거나 오염된 scrap는 녹여서 성분시험을 하여 성분을 미리 아는 pig로 만들어 써야 한다. 그러나 이들은 조건이 허락되는한 소량씩 써야 한다. 불순물이 함유되면 주조 후에 열처리 할때에 열처리가 잘 듣지 않게 되어 결과적으로 강도 및 기타 성질이 저하된다. 잡scrap를 혼합 사용한 용탕은 이점을 특히 유의하여야 한다.

합금원소와 불순물이 베릴륨동 주물에 주는 영향은 여러가지이다. 예를 들면, 코발트는 입자의 조대화를 막고 베릴륨동의 열처리가 잘 듣게 하여 준다. 그러나 코발트의 함량은 열처리후의 강도및 전도도를 최대화 시키기 위하여 어느 한도 내에 있어야 한다. 다른예로, 실리콘은 유동도를 좋게하여 준다. 그러나 고강도 베릴륨동에 대하여 0.35%이상이 되면, (고전도 베릴륨동에 대하여 0.15% 이상 이 되면) 열전도도, 전기전도도를 감소시키고 brittleness를 증가시킨다. 알미늄, 석, 아연이 너무 많으면 이것도 전도도를 감소시키고 brittleness를 증대시킨다. 또 다른 예로서, 철이 과다하면 열처리의 효과를 저해시키며 전도도와 내식성을 감소시킨다.

## 2. 주 조

베릴륨동의 주조방식은 다른 일반 동계합금의 주조방식과 특히 다를것이 없다. 고강도계 베릴륨동(275C, 245C, 20C, 165C)은 용융점이 낮고 열전도율이 높고 유동도가 좋으므로 hob류의 압력주조, investment mold의 진공주조, shaw process 및 건조 주형의 재래식 주조등 모든 방법에 적합한 재료이다. 특히 Brush Wellman의 주조용 ingot는 불순물이 극소한 청결한 소재로서, dross생성에 대한 저항력이 있어서 이러한 주조에 알맞다. 이들 주조방법에 의한 제품은 대개 plastic사출 mold이거나 plastic 제품의 blow-molding cavity 및 core이며 stainless steel 판재를 만드는데 쓰는 die도 이렇게 만들어진다.

고전도계 베릴륨동(10C, 3C)은 자체내에 이미 환원제가 함유되어 있다는 점을 감안하면 순동(pure copper)을 취급하는 것과 많이 흡사하다.

어느 주조방법에 있어서나 온도를 지나치게 높임으로써 베릴륨 성분이 타서 없어지지("burn off") 않도록 주의를 요한다. 또 장입물의 성분을 잘 조정하여 주조후 열처리 할때 열처리가 잘 될수 있도록 소정의 베릴륨 함량이 유지되도록 주의하여야 한다.

고강도계 베릴륨동은 동의 freezing point이하인 93°C에서 얼기 시작하여 계속 응고하게 되므로 이러한 상태 이전에 주입을 끝내야 한다. 그러므로 "물"이라는 느낌을 끝까지 견지하여 표면에 dendritic roughness가 생기지 않도록, 그리고 내부에는 porosity(기공)가 생기지 않도록 하여야 한다.

베릴륨동은 알미늄 청동과 같이 공기중에 노출될때 산화피막을 형성하는 경향이 있으므로 용탕의 난류를 최대한 방지하고, choke gate, skimmer, skimming riser 및 bottom feeding(下注)을 채용하는 것이 바람직하다.

베릴륨동의 sand-molding 주조법은 알미늄 청동과 흡사하다. 베릴륨동의 주입온도는 상대적으로 낮



으므로 자연사(自然沙)의 사형은 유익한 점이 있다. 인공사(人工沙)는 필요하지 않다. 다음의 모래 사양은 대부분의 사형제작에 적합하다.

- A. F. A. Grain크기 ..... 100% - 150%
- A. F. A. Clay함량 ..... 10% - 20%
- 기공율 ..... 17% - 40%
- 수분 ..... 4% - 6%

베릴륨동의 수축율은 청동 주조시 보이는 것과 유사하며 알루미늄, 실리콘 청동, 망간 청동에서 보이는 것 보다는 적다. 정상의 사형 주조시 베릴륨동의 수축율은 1ft당 3/16 in(1m당 15.62mm)이다. 주입구의 설계는 난류를 최대한 방지하는 쪽으로 되어야 한다. 깔때기 주입구(inverted horn gate)를 쓰면 주형을 밑에서 채워 올라가게 할 수 있다. chock gate와 strainer core를 쓰면 난류를 효과적으로 감소시킬 수 있다. 이렇게하면 주입도중에 불순물이 휩싸여 들어가는 것도 최소한으로 줄일 수 있다. 주입구를 주물의 큰부분에 있게하면 주입구에서 멀리 떨어진 작은 부분이 먼저 얼기 시작하여 가장 좋은 결과를 얻을 수 있다.

용탕을 open riser에 주입하면 주형이 꼭 차는것을 확실히 할 수 있다. 단열 뚜껑을 덮거나 또는 단열재를 riser의 위에 뿌려두면 riser안에 있는 용탕의 수축 또는 기공(porosity) 발생을 감소시킬 수 있다.

급냉법을 써서 응고방향성을 조정하면 이것도 수축과 기공발생을 감소시키는 방법이 된다. 베릴륨동은 열전도율이 높기때문에 chill 법에 아주 좋은 재료이다. 주철 또는 알루미늄 주물도 사용될 수 있다.

core는 204°C~260°C에서 수시간 baking하는 것이 좋다. 표면을 매끄럽게 하려면 graphite washing을 하면 된다.

### 3. 열처리(시효경화)

시효경화 열처리되는 as-cast상태에서 하여도 되지만 최대강도 및 전기 전도율을 얻으려면 시효경화처리 전에 먼저 용체화 소둔을 하여야 한다. 용체화 소둔온도는 다음 표와 같다.

고강도계		고전도계	
주물	소둔온도	주물	소둔온도
275C	760-801°C	10C	899-927°C
245C	760-801	3 C	3 C-927
20C	760-801		899 -
165C	760-815		

소둔시간은 단면의 크기에 따른다. 두께 25mm당 1시간의 비례로 생각하면 좋을 것이다. 소둔로는 ±5°C내의 온도제어가 가능하면 된다. 로내 분위기는 분위기 가스를 쓰거나 recirculating furnace일수도 있다. 위의 온도와 시간만큼 소둔이 되면 곧 찬물에 quenching하여야 한다.

시효경과 열처리는 용체화 소둔후에 하는것이 가장 효과가 좋게 나타난다. 열처리 조건은 다음과 같다.

고강도계	고전도계
343℃, 3시간	482℃, 3시간
±5℃ 내의 온도제어가 가능한 recirculation furnace가 추천됨.	

#### 4. 베릴륨동 주물의 기계가공

베릴륨동 주물의 기계가공 기술은 연(lead)이 첨가되지 않은 tin bronze, silicon bronze, aluminum bronze 등의 기계가공법과 비슷하다. 공구의 종류, 공구의 속도, 절삭속도, 절삭 유체의 선택을 적절히 할 필요가 있다. 기계가공은 as-cast 상태나 경화 열처리후 상태나 다 할 수 있으나 최종 마무리 연마 및 polish 작업은 열처리 후에 하여야 할것이다.

#### 5. 베릴륨동 주물의 접합(용접) 및 보수

베릴륨동 주물은 조건과 필요에 따라 납땜(soldering), 경납땜(brazing), 및 carbon-arc, insert-arc, 금속전극, 저항용접등으로 접합될 수 있다. 납땜시를 제외하고 베릴륨동의 접합은 모두 경화 열처리 이전에 한다.

베릴륨동 주물의 보수는 carbon-arc, heli-arc, 금속전극 용접법으로 시행한다. 모재와의 성질을 갖게하기 위하여 충전 금속은 베릴륨동의 봉재(rod) 또는 선재(wire)가 쓰인다. 고강도계는 Brush Alloy 25, 고전도재는 Alloy10의 봉재 또는 선재가 충전금속으로 사용된다.

#### 6. 산 세

주조를 하고나면 대개 shot blasting 및 buffing 마감을 한다. 그러나 도금등 차후 공정의 필요성이 있을때에는 표면의 산화베릴륨(BeO)막을 제거하기 위하여 산세(pickling)를 하여야 한다. 산세하기전에 기름, 페인트, 그리스 등의 오염을 제거하여야 되는데 삼염화에치렌(trichlorethylene)이나 polychlorethylene 용액이 쓰인다.

산세 작업의 수순은 아래와 같다.

- (1) 71℃ - 82℃의 20% 황색 용액에 약5분~30분 동안 주물을 담군다. 이것은 scale의 부착을 느슨하게 하여준다.
- (2) 주물을 찬물에 행군다.
- (3) 38℃ - 54℃의 20% 질산 용액에 1분~5분간 담군다. 이것은 모재에 작용하여 표면을 깨끗이 하여준다.
- (4) 찬물에 행군다.
- (5) 황산으로 산성화시킨 sodium dichromate 용액에 담구어 표면의 윤을 낸다.
- (6) 더운물에 행귀서 모든 산기를 없애고 건조시킨다.



## 7. 수축율

(1) 수축율 : 한 Ceramic 주조용 금형 Maker의 공차관리 실례를 보면 다음과 같다.

치 수 (mm)	길이공차 (mm)	평탄도공차 (mm)
76.0까지	+/- 0.127	-
152.4	+/- 0.254	+/- 0.127
228.4	+/- 0.330	+/- 0.203
304.8	+/- 0.381	+/- 0.254
457.2	+/- 0.508	+/- 0.381
609.6	+/- 0.635	+/- 0.508
762.0	+/- 0.762	+/- 0.635
914.4	+/- 0.889	+/- 0.762

(635mm부터 1,270mm까지는 길이 공차를 25mm당 +/-0.025mm로 관리함.)

(2) 압력주조(Pressur Casting)에서도 관리공차를 25mm당 +/-0.025mm로 한 예가 있음.

기타 Scrap의 성분확인, 예열, 주입온도 및 주입요령, 질소 퍼징(purging), gate, sprue 및 riser 등에 대한 고려사항에 대하여 폐사의 별도 자료를 참고바람.

## 10. 기계가공 제작식 금형재료에 대하여

### 가. 개요

동일 금형에 있어 단면의 크기나 모양이 급격히 다르기 때문에, 냉각시 균일하게 냉각될 수 없을 때에는 불균일한 변형이 생기게 된다. 이때, 금형을 기 열처리된 베릴륨동으로부터 기계가공하여 제작하면 문제가 간단히 해결된다. 기계가공 제작을 하면 변형문제가 없어질 뿐만 아니라 주조 제작시의 열처리에 따른 시간 절약이 가능하기 때문에 점차 보편화 되고 있다. 이에 필요한 재료는 Brush Alloy 25 (C1720) AT의 billet, plate 등으로 공급되는데 주조와 달리 porosity가 없는 것도 기계가공 제작의 장점이다. 기계가공 제작식에서도 etching을 하면 무늬를 넣을 수 있으나 주조시만큼 선명하지는 못하다. 베릴륨동의 기계가공성은 동급 정도의 탄소강계 금형재료보다 훨씬 좋다.

### 나. 공급형태 및 물성

재료형태	재료상태 (Alloy 25)	최대강도 kg/mm <sup>2</sup>	항복강도 0.2% kg/mm <sup>2</sup>	신율 50.8mm %	경도 RC
Billet	AT	109 - 123	87.9 - 105	1 - 3	36 - 42
Forging	AT	116 - 133	102 - 123	3 - 10	35 - 41
Rod	AT	116 - 133	102 - 123	3 - 10	36 - 41
Bar	AT	116 - 133	102 - 123	3 - 10	36 - 41
Plate	AT	116 - 123	102 - 123	3 - 10	36 - 41

(주) "AT"는 소둔후 시효경화처리(Solution Annealed and Age Hardened)하였다는 뜻임. 즉 열처리가 된상태로서 공급됨.

### 다. 주요 물리적성질

밀도.....8.3g/cm<sup>3</sup>  
탄성계수.....13×10<sup>3</sup>kg/mm<sup>2</sup>  
평균 선팽창계수.....0.000017/°C  
비열.....0.10cal/gm/°C  
용융온도.....871°C ~ 982°C

### 라. 화학성분

Beryllium..... 1.8% - 2.0%  
Cobalt+Nickel.....0.2% Min  
Cobalt+Nickel+Iron..... 0.6% Max  
Copper..... Balance



마. 가공

RC 40 - 45급의 AISI 4340 Steel보다 절삭속도를 2-4배 빨리 할수 있다. (AISI 4340 steel의 탄성계수  $20 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ , 전단강도  $70 \text{ kg/mm}^2$ ; 베릴륨동의 탄성계수  $13 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ , 전단강도  $35 \text{ kg/mm}^2$ )

Brush Alloy 25AT 베릴륨동의  
기계가공을 위한 권장 절삭속도및 절삭량

구 분	절 삭 속 도 (mm/min)	공구 이동 속도 (mm/회전)	절 삭 깊 이 (mm)	공 구 재 료
선 반 (Turning)	274	0.127 - 0.254	0.635 - 1.270	C-2
드 릴 링 (Drilling)	30 - 91	0.050 - 0.228	-	H. S. S
태 핑 작 업 (Tapping)	3 - 7	-	-	H. S. S

바. Brassware 주물용 주형으로서의 사용

상기 내용은 주로 Plastic mold의 금형으로 베릴륨동이 사용되는 것에 관한 기술이었으나, 구미에서는 고급 brassware(예 : 수도꼭지 등)의 제작에 Alloy 3AT 또는 3HT의 Plate를 기계 가공하여 사용하고 있다. 이는 베릴륨동의 용융점이 brass보다 높은점, 베릴륨동의 열전도율이 높아서 주물 cycle 시간이 단축되는점, brass제품 표면이 깨끗한점등을 이용한 것이다. Alloy 3AT 및 3HT의 내용에 대하여는 Brush Wellman사의 다른 자료에 수록하였다.

## 11. 생산성 · 품질 개선 사례

### 가. A화학공장의 가정용품 생산부

제 품	12 quart 들이 물통
개선전	(1) 탄소강계의 Cavity와 Core 사용. (2) Cycle time 50초 (3) 통의 바닥부분 hot spot 발생.
개선후	(1) Cavity 하부에 베릴륨동판을 대어줌. (2) 냉각효과증대 (3) Cycle time이 35 초로됨. (4) Core도 베릴륨동으로 바꾸면 Cycle time을 더 단축할수 있었으나 Press의 Plasticizing 능력상 Cycle time을 더 단축할 수 없었다.

### 나. A자동차용 Wiring-harness 제조회사

제 품	Polypropylene Lug (배선을 engine room과 운전석 사이 벽에 고정시키는데 사용)
개선전	(1) 7대의 Press가 매일 3교대로 작업 (2) 금형의 cavity와 core 재질 : H-11 tool steel. (3) cavity 및 core 수냉 (4) 냉각부분 cycle time 11초
개선후	(1) 한 press에 cavity와 core를 베릴륨동으로 대체 (2) 너무 냉각되어 물의 유량을 줄이고, cycle time이 5초로 됨. (3) press 7 대중 4대를 베릴륨동으로 바꾸고 3대는 다른 용도로 전환시킴. (4) 금형 3 set을 2년간 사용. (5) IE 기술자의 평가 : 1) 금형재료비 4배 높음 2) EDM 및 grinding 비용으로 12-13% 증가 (일반 기계가공비는 동일) 3) 냉각시간 평균 50% 감소, 전체적 cycle time 20% 감소 4) 연간 \$180,000 절감

### 다. A가전제품 제조회사

제 품	Polyethylene wheel (진공 소제기용)
개선전	(1) Cavity와 core의 재질 : P-20 기열처리 금형강
개선후	(1) Core를 베릴륨동으로 바꿈 (2) 냉각시간이 40% 줄고 전체 Cycle Time이 20% 단축됨.



**라. A원구 제조회사**

완구에는 바퀴의 축이나 연결 및 고정용으로 작은 구멍이 많이 있어야 하는데, 직경이 작으므로 이의 Core Pin은 내부 수냉이 불가능하다.

따라서 이들 Core Pin의 냉각은 길이 방향으로의 열전도를 통한 냉각방식 외에는 생각할 수 없다.

Core Pin을 열간 제조된 금형강에서 베릴륨동으로 대체함으로써 2-3초간의 냉각시간이 단축되고 제품도 미려하게 된다.

**마. A자동차 부품회사**

제 품	Glass - reinforced Nylon Geer
개선전	(1) 410 Stainless Steel로 Cavity와 Core를 제작 (2) Core 내부에 수냉 통로를 만들었으나 냉각효과 부족.
개선후	(1) Core를 베릴륨 동으로 바꾸어 냉각속도가 약 10배 빨라짐. (2) 마모와 부식을 방지하기 위하여 크롬도금을 함 (3) 전체적으로 Cycle Time을 50% 줄임.

**B자동차 부품회사**

제 품	Oldsmobil Toronado의 조명감시용 집적회로 상자 (Cartridge Case)
개선전	(1) Hot Runner Type Mold (2) P-20으로 Cavity Core를 만듦 (3) Core의 수냉없이 Cycle time 60초 예상. 그러나 주입이 안됨. Core를 수냉식으로 하여 75% 회수율 도달.
개선후	(1) Core를 수냉식 베릴륨동으로 바꿈. (2) Cycle time이 55초로 단축되고 회수율이 99.5%로 높아짐.