

## 크라이오 처리(2)

大和久 重雄

김문일박사 역(본 학회고문)

한국열처리공학회 명예회원

## Cryogenic Treatment (2)

Shigeo Owaku

### 2. 과거 발표된 논문 및 보문

#### 2.5 오와꾸 시게오(大和久重雄) : 초SZ처리[5]

(1) 초서브제로(SSZ) 처리는 어떻게 하는가?

SSZ처리는  $-130^{\circ}\text{C}$  이하의 SZ처리를 말하며 일반적으로는 액체질소( $\text{LN}_2$ )로 처리한다. 이것에는 액체 법과 가스법이 있으며 어느 방법을 써도 좋다.

SSZ처리는 급냉경화부품에 적용되는 것이나 질량이 있는 SKD11등의 공구강에 대해서는 서브제로 균열을 방지하는 뜻에서 급냉 후  $100^{\circ}\text{C}$ 의 끓는 물에(1 h) 유지한 후 SZ냉각하는 것이 좋다.  $100^{\circ}\text{C}$  물에 처리하면 SZ냉각을 계단적으로 하지 않아도 된다. SZ처리온도에 유지하는 시간은 무관하며 SZ처리 온도에만 의미가 있다. SZ처리온도로부터 실온으로 복귀하는 데는 수중 또는 탕속에 투입(Up hill quenching) 하는 것이 좋다. SSZ처리 후는 소정의 템퍼링을 1회 한다. 되풀이 템퍼링은 필요없다.

(2) SSZ 처리의 잇점.

- $\gamma_R$ 의 M(Martensite)화에 의한 경도의 상승, 따라서 내마모성의 향상, 시효변형의 방지에 큰 잇점이 있다.

바론박사의 연구 결과에 따르면 SSZ처리에 의해

- $\gamma_R$ 는 실질적으로는 거의 전부가 M로 변화한다. 미처리 부품보다 또한 보통 CSZ 처리품 보다도 내마모성이 향상한다.
- 조직의 미세화와 미세 탄화물의 석출이 일어난다.
- 경도는 CSZ 처리품과 거의 변화하지 않는다.

표 3과 4는 각종 공구강에 대한 SZ처리(CSZ 및 SSZ)에 의한 경도와 내마모성의 변화를 나타낸 그림

표 3. 서브제로처리에 의한 경도변화

강 종		경 도 (HRC)		
AISI	JIS	보통 SZ( $-85^{\circ}\text{C}$ )	초 SZ( $-196^{\circ}\text{C}$ )	변 화
52100	SUJ 2	57.9	57.7	-0.2
D-2	SKD 11	62.4	62.3	-0.1
A-2	SKD 12	60.7	61.9	+1.2
M-2	SKH 51	63.1	63.9	+0.8
O-1	SKS 3	61.5	61.8	+0.3

표 4. SZ처리에 의한 내마모성 변화

강 종		내 마 모 성		
AISI	JIS	미 SZ	보통 sz ( $-85^{\circ}\text{C}$ )	초 sz ( $-196^{\circ}\text{C}$ )
52100	SUJ 2	25.2	49.3	135
D-2	SKD 11	224	308	878
A-2	SKD 12	85.6	174.9	565
M-2	SKH 51	1961	2308	3993
O-1	SKS 3	237	382	996

( 주 ) 숫자가 큰 것일수록 내마모성이 크다

이다. 그림 4에 의하면 SSZ처리에 의해 내마모성이 크게 향상되었음을 알 수 있다.(미 SZ처리품에 비해 2.0~6.6배, CSZ처리품에 비해서는 2~3배)

SSZ처리로 내마모성이 향상되는 이유로 J. Carbonare는 SSZ처리로 공구강은 조직의 균일화, 미세화, 치밀화 때문이라 설명한다.

이 때문에 마모품은 그림 5 (b)와 같이 요철이 작다. 따라서 재연마량이 적고 이것이 장수의 원인이 된다고 한다.

SSZ처리는 A(Austenite)계 스테인리스강(SUS 302)에 대해서도 유효하며 SUS302의 스프링에 SSZ처리를 하면 SSZ처리하지 않는 것 보다 30% 강하

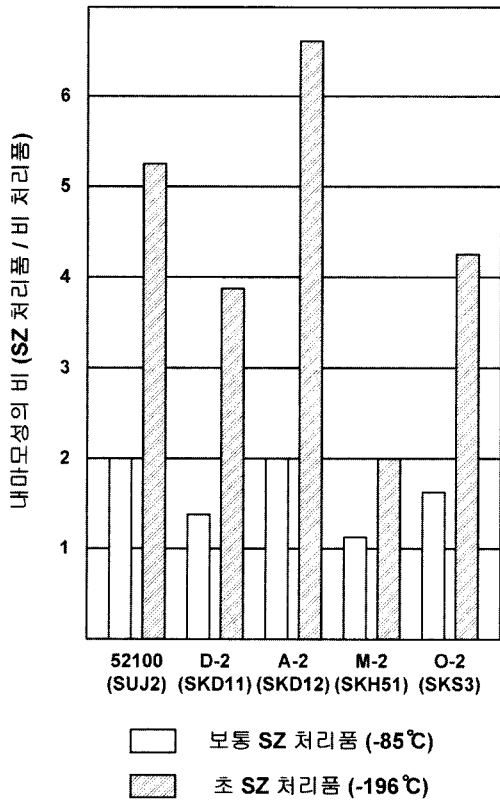


그림 4. SZ 처리에 의한 내마모성의 향상.

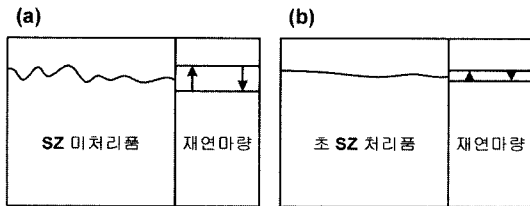


그림 5. 마모 표면의 단면도.

게 되며 중량은 60% 가볍게 된다고 한다. 즉 비틀림 강도가 높아짐으로 선의 굵기를 작게 하고 감는 수를 적게(6권→4권) 할 수가 있다고 한다. 이 스프링은 Cryotech 302 스프링이라 하여 17-7PH 스테인리스강의 선 스프링 대용으로 이용된다.

SSZ처리는 강 제품만이 아니라 구리 제품에도 유효하며 Spot 용접용 Cu전극(5%Cr-Cu)에 SSZ처리를 하면 전극봉 선단의 마멸 및 소성변형이 적게 되어 용접회수가 3~5배 증가한다고 한다.

그 이유는 Cu 조직의 결정립이 미세화 되고 화합물이 미세하게 석출하기 때문이라고 한다(표5~표7 참고).

표 5. 초 SZ처리(Cryotough)에 의한 내마모성의 향상율

공구명	내마모성 향상율 (%)
열간편치	600
편치	500
시터칼	400
사이드 트리머	300
로터리 웨어 칼	600
구리 칼	250
종이절단 칼	600
스탬프 다이	400
절삭공구	400
브로취	800
목재용 손톱	250
스리터 튼	33
고속도강 탭	300
용접용 동전극	200

표 6. SZ에 의한 내마모성 향상률

재질	내마모성 향상율 (%)	
	CSZ(-78°C)	SSZ(-190°C)
D2 (SKD11)	316	817
S7 (내충격공구강)	241	503
52100 (SUJ2)	195	420
O1 (SKS3)	221	418
A10 (G 공구강)	230	264
M1 (Mo 하이스)	145	225
H13 (SKD61)	164	209
M2 (SKH51)	117	203
T1 (SKH2)	141	176
P20 (P/M 하이스)	123	130
440 (SUS440)	128	121
430 (SUS430)	116	119
303 (SUS303)	105	110
8620 (SNCM 220)	112	104
C1020 (S20C)	97	98
AQC (미하나이트)	96	97
T2 (W 하이스)	72	92

(3) SSZ는 어떠한 것에 적용되는가

SSZ는 칩탄부품, 질화부품, 경질 Cr도금부품, 기타 표면처리한 공구에 시행하면 탄화물, Cu, Zn등의 조직을 개선하므로 내마모성이 향상된다.

표 7. 크라이오 처리에 의한 진가의 일람표

	회사명	강재제품	수명	구리제품	수명
미국	포드사	드릴, 카터, 브로치	×2	전극	×2
	크라이스라사	흡, 스리터 톱	×1 5~1.5	전극	×2~2.5
		브로치 (M2 HIS)	×2		
	사디파이드 공업사	엔드 밀 (7/8 직경)	×3.8		
	양에테크로닉 메탈사	편치, 다이스	×2		
		AI 합금용다이스	×10~30		
	IBM 사	분말성형용스텝프			
		다이스	×3		
	덴센스틸사	스릿터칼	×4.5		
	말세판크손사	카터	×4		
	인터오피스메모			전극	×6
	오토롯도오일스사			전극	×5
	스탄핑하우스사		×4.5	전극	×3
비그스리사		×4	전극	×6~8	
일본	K 사	SKD11 목재용 취퍼	×3		
		초경목재용 칼	×2		
	O 사	SKD11 편치	×4		
		SKD11 다이스	×3		
		SKH 카터	×2		
		SKD11 다이스	×3		
	F 사			Cu 전극	×3
			황동 화구	×2	

표 8. 초SZ처리의 장점(예)

재료	대상부품	경도	내마모성	절삭수명	치수 안정성	기타
SKH	드릴, 카터, 칼날	+	+	+	+	템퍼회수 1
SKD 11	인발편치, 가위날, 롤	+	+	+	+	연마균열방지
SKD 61	AI 압출 다이	+	+			
SUJ	스리브	+	+		+	
칩탄부품	샤프트, 이어, 스리브, 칼	+	+		+	연마균열방지
SUS	오스테나이트계 (300 계) (420J2, 440) 마르텐사이트 석출계 (630, 631)	+	+			내식성향상 내식성향상 내부식성향상
		+	+	+		
		+	+			
마르에이징강	18% Ni 형 25% Ni 형	+	+			시효촉진
소결합금	칼날, 롤, 형	0	+	+		잔류응력제거
Cu 합금	전극, 화구		+			
AI 합금			+			피절삭성향상

WC+Co의 초경합금 또는 Cu합금에도 적용되어 내마모성 향상에 도움이 되고 있다 (표8 참조).

## 2.6 오가와(大川雄史); 금형의 초 서브제로 처리[6]

### (1) SKD 11에 대한 SSZ의 효과

SKD11의 저온템퍼 금형에서는  $\gamma_R$ 를 약 30% 이상을 함유하고 있으나 SSZ처리에 의해 거의가 M화하여 경도가 상승하여 경년변화도 없으므로 크레임의 발생이 없다. 또한 SSZ에 의해 조직의 미세화와 미세 탄화물의 석출이 일어나며 이로 인해 인성이 향상되어 피칭(pitching)을 방지할 수 있다.

SSZ처리에 의한 경도의 상승은 1~2 포인트로 이 경도의 상승분 만큼 높은 템퍼 온도를 택할 수 있음으로 그 만큼 내열성과 인성을 기대 할 수 있다. 기타 조직의 미세화에 의해 연마면의 조도가 향상되고 고경도 연삭가공이 가능해 진다. 이와 같은 이점 때문에 종전의 트라블이 약 1/10 이하로 감소 하였다.

### (2) Up-hill 켄칭의 효과

SSZ온도부터 실온부귀를 50~60°C의 온탕을 이용한다. 이 조작으로 강재표면에 급속한 가열이 일어나며 SSZ 급냉에 의한 응력감소의 효과가 나타난다. 또한 일반적으로 행해지는 대기중의 방냉, 수중 템퍼보다도 작업효율이 좋다.

### (3) SSZ의 실험

SKD11제 펀치(10×10 및 80 mm×80 mm)를 1025°C 진공가열, 가압 가스 냉각 후 100°C 탕 속 템퍼링 후, SSZ(-130°C×1.5 h, 2 h, 3 h)하고 up-hill 켄칭을 60°C의 열탕에서 수행하였다. 그 후, 180°C×4 h의 저온 템퍼링을 3회 되풀이하였다. 그 결과, 치수 변화는 SSZ에 의해 팽창하나 저온 템퍼에 의해 수축하고 결국 원 치수에 대해 +-로 변화가 적게 되어 연삭 여유를 적게 할 수가 있었다(보통은 0.3→0.15 mm).

경도는 HRC로 0.5~1.7 포인트 상승으로 내마모성이 확인되었다.  $\gamma_R$ 는 약 1/3 감소하였다. -130°C에서의 유지 시간은 1.5~3 h 범위 내에서는 그다지 변화가 없었다. 따라서 실용적으로는 -130°C×1.5~2 h로 충분한 것으로 생각된다.

## 2.7 야마나카세이끼찌(山中正喜); 공구강의 내

## 마모성에 미치는 서브제로 처리의 영향[7]

(1) SK3, SKS, SKD11, SKH51의 공구강을 각각 소정의 급냉경화 처리를 한후 SZ처리로서 -80°C, -130°C, -180°C×1 h에서 처리하였다. 급냉경화 후 SZ처리까지의 시간은  $\gamma_R$ 의 안정화를 고려하여 1 h 이내로 하였다.

SZ온도부터 실온까지의 승온은 상온(20°C)의 물에 침지하였다.

그 후 템퍼링은 SKH51은 570°C×1 h×2회, 기타는 모두 200°C×1 h로 행하였다. 이들에 대해 HRC, 조직,  $\gamma_R$ 를 측정하고 마모시험은 오엣치식(大越式) 신속마모시험기를 사용하였다. 마모속도는 0.61~4.36 m/s, 마찰거리는 200 m로 일정하게 하였다. 상대재료는 켄칭-템퍼링한 SUJ2(640HV)이다.

SZ는 액체 탄산가스 및 액화질소가스로 건식 상태로 -80~-180°C에서 행하였다.

### (2) 실험 결과와 고찰

(가) 경도와 조직 변화: CSZ와 SSZ처리에 의해 경도는 상승하고 조직적으로는 M와 혼합 존재하는  $\gamma_R$ 이 M화하여 SSZ에 의해 거의 전부가 M이 된다.

(나)  $\gamma_R$ 의 변화: SZ 처리에 의해  $\gamma_R$ 은 일반적으로는 감소한다. SK3에서는  $T_A$  820°C때  $\gamma_R$ 은 2.6%이나 -80°C의 SZ처리로서는 1.5%가 되며 이는 -180°C에서도 큰 변화는 없다.  $T_A$  1000°C의 경우는  $\gamma_R$  = 54%가 -80°C에서  $\gamma_R$  = 25%, -180°C에서  $\gamma_R$  = 7.9%이며 아직 상당량의  $\gamma_R$ 이 남아 있음이 판명되었다.

Koisten등에 의하면  $\gamma_R$ (%),  $M_s$ (°C), SZ 온도  $T_s$ (°C)에 관해 관계식을 제안 하고 있다.

$$\gamma_R = \exp[-0.011(M_s - T_s)]$$

SK3은  $M_s$  = 148°C 임으로  $\gamma_R$ 은 20°C = 24.3%, -80°C = 8.1%, -130°C = 4.7% -180°C = 2.7%가 된다. 이는  $T_A$  = 950°C에서의 급냉경화 강품과 잘 일치하고 있다.

(다) 내마모성의 변화: SK3에 마모 시험한 결과, 저속(2 m/s)에서는 비SZ품이나 SZ품 모두 내마모성에 그다지 차이가 없었으나 3 m/s 이상의 고속에서는 현저한 차가 있으며, SZ품은 내마모성이 향상되고 -180°C의 SSZ품은  $\gamma_R$ 이 상당량 감소하고 M조직에 미세한 탄화물입자가 균일하게 분포하고 있으므로 박리

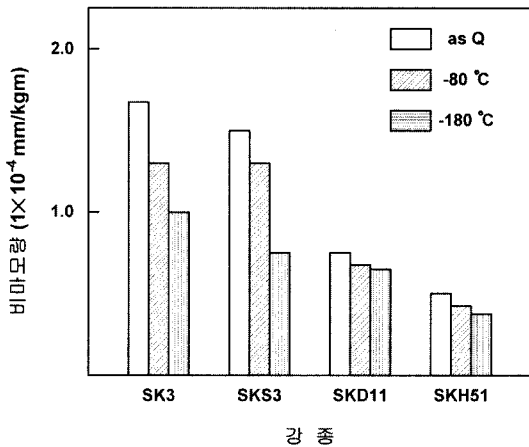


그림 6. 여러가지 SZ 처리온도에서의 각종의 비마모량(하중 2.1 kg, 마찰속도 0.94 m/s, 마찰거리 200 m) (山中).

마모 되는 속도가 늦어지기 때문이라 생각된다.

그림 6은 공시 공구강의 내마모성을 비교 한 것으로 CSZ(-80°C) 품 보다는 SSZ(-180°C) 품이 내마모성이 우수함을 알 수 있다.

또한 SKH51의 플러스 편치에 관해  $T_A$  1200°C 진공가열, 가압 가스 냉각, SSZ(-130 및 -180°C) 후 570°C×1 h×2회 템퍼 한 것에 내구 시험을 하였다. 그 결과는 그림 7과 같이 -180°C의 SSZ처리 품이 내구성이 우수함이 확인되었다.

2.8 후지모도사카에(藤本榮); 내마모성에 미치는 서브제로처리의 영향[8]

SK3을 750, 800, 850°C에서 급냉경화 하여 SZ처리까지의 방치시간과 보냉(保冷) 시간을 변화시켜  $\gamma_R$ , 금속조직, 내마모성 등을 검토하였다. SZ처리는 CSZ(dry ice, 약 -78°C)와 SSZ(액체질소, 약 -196°C)의 2종으로 하였다.

SZ처리까지의 방치 시간과 경도의 관계는  $T_A$ 에 의해 약간의 차가 인정되나 10일간 방치해도  $\gamma_R$ 은 안정되지 않고 SZ의 효과는 충분히 인정된다. 또한 냉각유지시간에 대해서는 제품이 그 온도에 도달하면 1 min의 유지에서도 충분한 효과가 확인되며 20 h까지의 범위 내에서는 냉각유지 시간의 영향은 거의 없다.

내마모성에 대해서는 저속범위에서 방치시간의 영향이 다소 확인된다.

방치시간이 긴 것이 마모량이 많으나 고속에서는

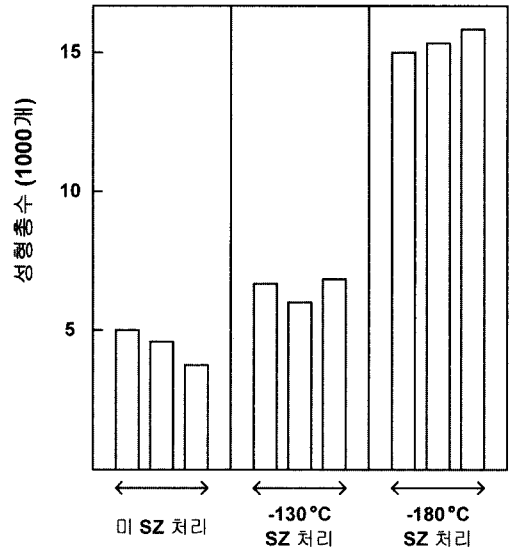


그림 7. SZ 처리한 플러스 편치의 내구성 실험결과.

거의 차가 인정되지 않는다. 그럼에도 CSZ도 SSZ도 미 SZ품에 비하면 내마모성이 우수하며 특히 고속에서 현저함을 알았다. 내마모성에 미치는 보냉 시간의 영향은 거의 없다. CSZ와 SSZ에 의한 금속조직의 변화도 없다.

이상은 SK3(1% C)의 결과이나 SK11과 같은 고합금강에서는 거동이 변화함을 고려해야 한다.

2.9 키시가미신지로(岸上慎次郎); 스테인리스강의 서브제로 처리[9]

공시 스테인리스강은 0.8% C, 13.5% Cr 의 M계로 1050°C부터 급냉경화 하면  $M+\gamma_R$ 의 조직이 되며 이를 SZ처리(-30~-196)하면  $\gamma_R \rightarrow M$ 화하여 경도는 상승한다. 이때 급냉 후의 방치 시간이 길어지면  $\gamma_R$ 이 안정화하여 M화가 적게 되어 경도 상승이 둔화한다. 방치 시간이 1 h 이내면 안정화의 영향이 적다.

충격값은 SZ온도가 낮을수록 상승하고 내마모성도 향상한다. 이때도 급냉 후의 방치 시간이 짧은 것이 좋으며 길어지면 나쁜 경향을 나타낸다.

참고문헌

5. 大和 久重雄 : 熱處理; 日本熱處理技術協會, Vol.21, No.1, 1981, P. 44.

6. 大川雄史 : 熱處理; 日本熱處理技術協會, Vol.27, No.2, 1987, P. 86.
7. 山中正喜 外 : 熱處理; 日本熱處理技術協會, Vol.31, No.6, 1991, P. 331.
8. 藤本榮 : 第39回 日本熱處理技術協會講演大會 講演概要集; 平成 12年12月, P. 1.
9. 岸上慎次郎 : 第4回 日本熱處理技術協會 學術講演大會; 1976年11月, P. 25.