技術報告

고경면(高鏡面) 플라스틱 사출 금형강(KMS-1)의 특성

金 廷 泰
한국 중공업 (주) 기술연구소

1. 서 론

전체 산업생산액에 대한 금형공업에 의한 생산액의 점유율이 증가하고, 국가 경제나 국민생활 향상에 미치는 영향은 대단히 크다. 금형공업 중에서 플라스틱 관련 공업은 석유 화학 공업의 발전과 더불어 급격한 신장율을 보이고 있으며, 최근에는 자동차, 전기, 사무용품, 가전제품에서 건축 자재생산까지 이용되고 있다.[1] 더우기 산업 경제의 고도화와 더불어 표면이 미려하고, 고광택이 요구되는 비디오, 사무자동화, 엔지니어링 플라스틱 제품, 투명 플라스틱, 플라스틱 렌즈 등 정밀도가 높고, 고급장식용 플라스틱 제품 등의 수요 확대로 고품위의 금형재 수요가 급격히 증가하는 추세에 있으나 현재 국내에서 소요되는 전량을 수입에 의존해 왔다.

따라서 본보고서에서는 한국중공업(주)에서 연구 개발한 고경면용, 투명 플라스틱 사출용 금형강(KMS-1)의 제조과정과 특성에 대해서 간단히 기술하고자 한다.

2. 금형강 요구 특성

일반적으로 고경면 플라스틱 사출 금형강에 요구되는 특성은 다음과 같다.

사상 연마 가공 후 고광택의 표면을 얻는데 필요한 조건은[2,3,4]

1) 비금속 개재물 등의 이물질이 제품내에 적게 포함(고청정도)되어야 함.
2) 조직이 미세하고 균일해야 함.
3) 담금질성이 크고, 탄화물이나 쾌삭성분이 없어야 함.
4) 경도가 높아야 한다는 등이다.

금형가공상 필요한 특성은

1) 열간 가공성(단조성)이 좋아야 함.
2) 고경도 상태에서도 금형가공이 가능해야 함.
3) 경도가 균일해야 함.
4) 표면 연마 가공성이 양호해야 함.
5) 방전 가공 후 표면 경화가 작아야 함.
6) 용접성이 좋고,
7) 적절한 인성 등이 있어야 한다.

또한 플라스틱 수지 성형시에 요구되는 성질로

1) 높은 압축강도에 견딜 것.
2) 고온에서도 높은 강도를 유지해야 함.
3) 고온 충격에 견디는 성질이 있어야 함.
4) 내마모성이 좋아야 한다.

3. 제품 특성과 검토

제품 생산용 용강은 전기로와 진공 정련로(ASEA-SKF)에서 환원정련 및 탈 개스 처리 후 하주법에 의해 3톤 및 6톤 금형에 주입하여 강괴를 제조했으며, 화학조성은 일본에서 수입되고 있는 NAK 80과 비교하기 위해 표 1에 나타냈다.

수입 소재(NAK 80)와 KMS-1에서 화학조성의 큰 차이점은 Cu 첨가 유무에 있다. Cu는 Ni과 Al의 금속간 화합물인 NiAl의 석출에 의한 경화능을 촉진시키는 역할을 한다. 그러나, 당사 여건상 Cu는 주요 발전소 기자재 제작시 규재 원소로 처리되기 때문에 Cu에 의한 효과는 타원소를 첨가하므로써 그 기능을 보완 부여했다. 일반적으로 고경면용 사출금형강에서 요구되는 경도는 Rockwell 경도 HRC 37-40이며, 용접 후 후열처리하면 용접부, 열처리 영향부등이 원상 회복되는 시효 효과가 뚜렷이 나타난다.

따라서, 표 1과 같은 합금원소 결정의 요인은 다음과 같다.

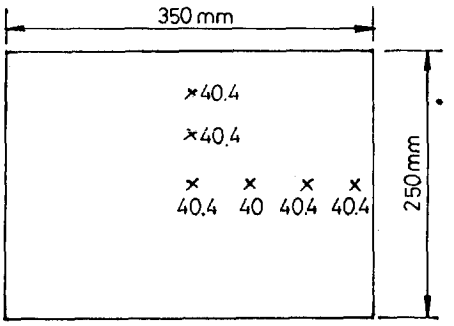

그림 1 KMS-1 제품의 단면 경도 분포(HRC)

화학조성의 결정 배경은 강도와 열처리 질량효과에 따른 초기 시효 경화가 낮아 불균일성이 개선되어야 하고, 방전가공시 표면 경도가 HRC 40 전후의 경도를 얻기위해서 담금질성을 향상시키는 Mn, Cr, Si 및 Mo를 첨가했다. Si, Cr이 높으면 가공성이 저해[6]되므로 Mn, Mo으로 보상 해주었다. Mn이 다량 첨가되면 탄화물의 구상화로 가공성이 저해되므로 최대 1.5%로 첨가했다. 이러한 영향으로 담금질성이 부족함은 Mo을 첨가하여 열처리 냉각 구역을 확대하고 균일한 조직을 얻어 시효 경화 효과를 내도록 했으며, Ni과 Al의 화합물이 기지상과 정합적으로 석출하여 시효 경화 효과를 얻도록 했다.

적정 용체화처리 온도는 Fe-Al, Fe-Al-C의 상태도로부터 예측할 수 있으며 탄소(C) 함량이 높을수록 오스테나이트 구역의 온도가 낮아지나,[5] 0.10-0.20%C일 때는 Al이 오스테나이트 기지에 완전 고용화되는 900℃이상이어야 한다. 용체화 열처리 후 유욕에 침적시켜 급냉하여 금속간 화합물의 석출을 촉진시키고, 경화를 위한 시효 열처리는 600-650℃에서 제품 두께 1 in당 1시간 정도 유지시킨 후 공냉처리 한다. 시효 열처리가 너무 낮은 온도에서 실시되면 최고 경도에 도달하는 시간이 과다하게 길어지므로 경제성이 떨어지고, 너무 과열되면 경도가 낮게 나오기 때문에 금형 사용에 문제점(조도 저하, 내마모성 저하, 경도 저하 등)이 발생되기 때문에 적정 열처리 온도 결정이 무엇보다 중요하다.

상기 방법으로 열처리했을때 얻어진 제품의 단면 경도 분포와 상온 기계적 성질을 그림 1과 표 2에 각각 나타냈다.

그림 2는 KMS-1의 연속 냉각 열처리(C.C.T) 곡선이며 냉각 속도 변화에 따른 경도 값을 원내에 실었다.

고경면 소재로 가공하는 사출 금형은 고광택이 요구되는 투명 플라스틱, 렌즈, 비디오, 텔레비전, 카세트, 콤팩트 디스크등의 고정밀 부품, 촉감이 우수한 화장품 용기 제작 등에 사용되기 때문에 연마 가공이 용이하고 연마 후 표면 조도가 우수해야 한다. 우수한 표면 조도가 얻어지려면 청정도가 높고, 조직이 미세하고 균일해야 하며, 경도가 높아야 한다. 또한, 탄화물의 석출이 적고 기계 가공성을 높이기 위한 원소인 유황등의 함량이 낮아야 한다. 연구 결과에 따르면 표면조도는 용체화 처리 온도가 높고, 시효 온도가 낮고 시간이 길수록, 또, 단조후 안정화 열처리(불림+뜨임)와 시효 처리(950℃ 고용화처리, 600℃에서 시효)해줌으로써 더욱 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

1 μm 다이아몬드 페이스트(paste)로 연마 후 TAYLOR HOBSON-10(영국)의 표면조도 측정기로 표면 상태를 10,000배로 확대하여 측정한 결과는 표 3에 나타낸 바와 같다.

대표적인 표면 조도 특성 곡선을 그림 2에 나타냈는데 피크(peak)가 나타나 Rmax 값을 증가시키는 요인이 된다. 피크가 간혹 나타나는것은 미세한 비금속 개재물이 연마중에 이탈되므로써 동공(cavity)가 생성되기 때문이라 생각된

표 1 KMS-1과 수입된 NAK 80의 화학조성 비교

Material	Chemical Composition (wt %)										
	C	Si	Mn	S	Ni	Cr	Mo	V	Al	Cu	Fe
NAK 80	0.10 — 0.15	0.30 — 0.40	0.90 — 1.50	0.020	3.00 — 3.50	-	0.25	0.010	1.00 — 1.50	1.0	bal.
주) KMS-1	0.15 — 0.20	0.30 — 0.40	1.00 — 1.50	0.010	3.00	다량함유(특허출원중)			1.00 — 1.50	-	bal.

주) KMS-1 : 한국중공업 (주) 판매상호

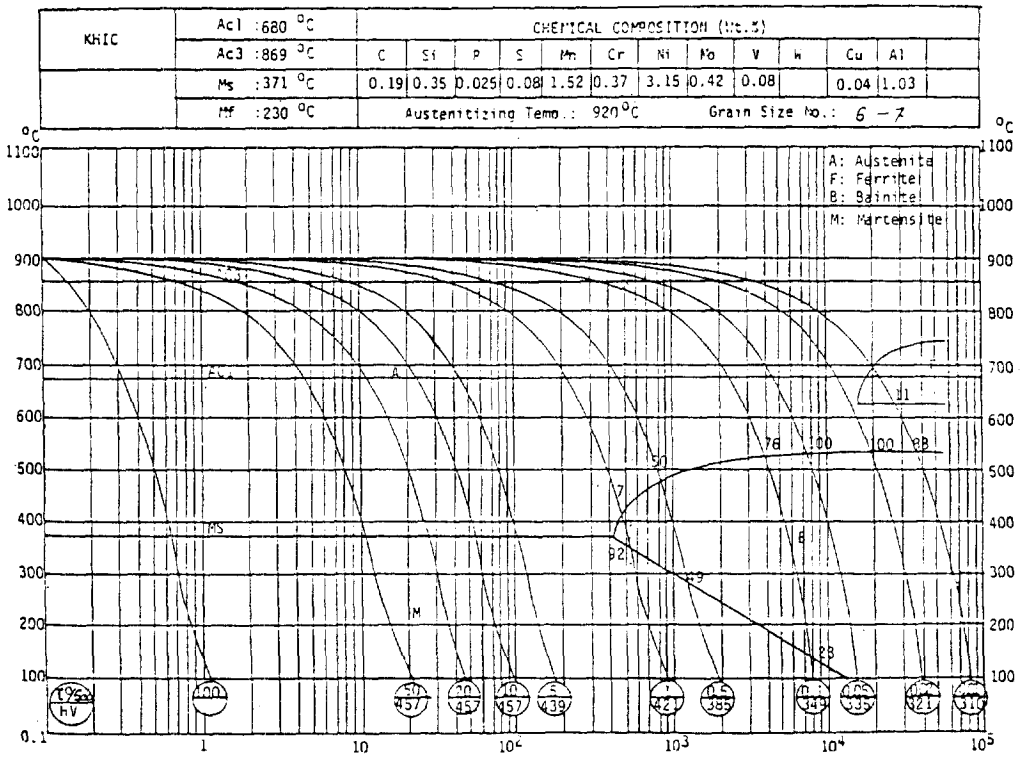

그림 2. KMS-1의 연속 냉각 특성 곡선

다. 따라서 비금속 개재물을 미세화, 구상화 및 균일하게 분포시키는 것이 중요하며, KMS-1의 청정도는 0.096%로 매우 청정한 상태이며, KMS-1의 대표적인 비금속 개재물의 형태, 분포는 사진 1에 나타낸 바와 같다.

현재 국내외적으로 고광택용 소재에 대한 평가 방법이 확립되지 않은 상태이다. 즉 최종 다이아몬드 페이스트(paste)로 연마 후 표면조도(surface roughness)를 측정하여 연마 가공성의 정도를 나타내고 있으나 실질적으로 투명 제품 생산용의 경우는 바람직하지 못하다. 따라서 표면조도 측정보다는 일정한 광도의 빛을 연마된 제품면에 조사하여 반사되어 얻어지는 광도를 측정하여 광택도를 표시하는 것이 바람직하리라 생각된다.

기계적 성질(단면 경도, 인장 성질 및 충격 흡수 에너지)이 유사한 시편의 기계가공성은 열처리, 제조 공정에 현저하게 의존했다. 단조후 조직을 안정화 처리한 다음 용체화 처리, 시효 과정을 수행한 소재가 단조 후 용체화 처리, 시효과정만을 실시한 것에 비해서 표면 절삭(face cutting)저항력이 낮은 값을 나타냈다. 이동속도가 클수록 더 큰 차이를 나타내는데 그 이유는 단조후 미세 조직을 안정화 처리하고 용체화 처리와 시효 처리시킨 상태가 그렇지 않은

표 2 고경면 KMS-1과 수입품 NAK 80의 기계적 성질의 비교.

Material	Tensile Properties			Impact Abso. Energy (J)		Hardness
	Y. S.(MPa)	T. S.(MPa)	El.(%)	Trans.	Longi.	(HRC)
KAK 80	1108	1090	8.9	2.20	3.0	37
KMS-1	1085	1180	18.0	2.20	2.0	40

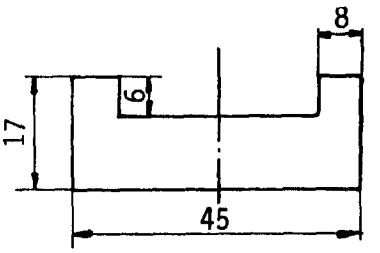

사진 1 KMS-1에서의 비금속 개재물 분포 상황

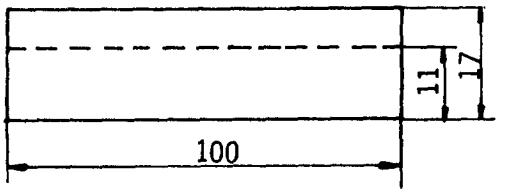

그림 4 기계가공성 시험용 시편

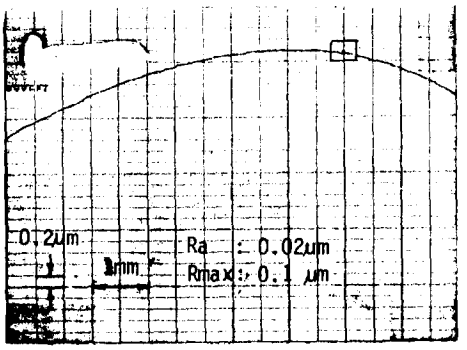

그림 3 1 μm 다이아몬드 페이스트 연마 후 측정한 KMS-의 표면 조도

표 3 KMS-1과 NAK 80의 표면 조도 측정값 비교

Material	Surface Roughness		비 고
	Ra (μm)	Rmax (μm)	
NAK 80	0.01 / 0.02	0.08	
KMS-1	0.01 / 0.02	0.10	

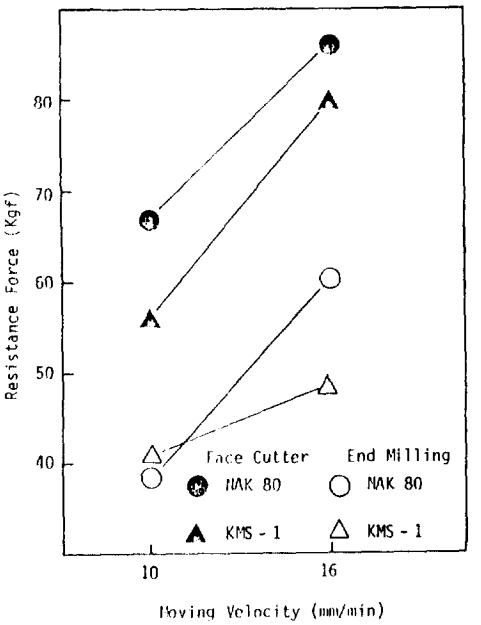

그림 5 KMS-1과 NAK 80의 기계가공 시험 방법에 따른 가공 저항력 변화

경우에 비해서 탄화물 석출에 따른 밴드 조직(band structure)이 나타나기 때문이라 여겨진다. KMS-1과 같이 2중 용체화 처리와 시효처리하므로써 1차 열처리시 조직의 균일화, 프라이어 오스테나이트(prior austenite)의 안정화가 일어나고, 2차 용체화 처리에서 석출물(탄화물, NiAl 등)이 용체화되고 급냉과 시효 처리시 탄화물이 미처 생성되지 못하고 금속간 화합물(NiAl 등)만이 Matrix(기지조직)에 석출되어 경화효과가 감소하면서 기계가공성을 향상 시켰으리라 생각된다. 그러나 가공저항성 시험의 불합리성으로 지적될 수 있는 것은 공구의 가공 상태, 교체 시기 등에 따라 현저히 변화되기 때문에 정량적인 해석에는 많은

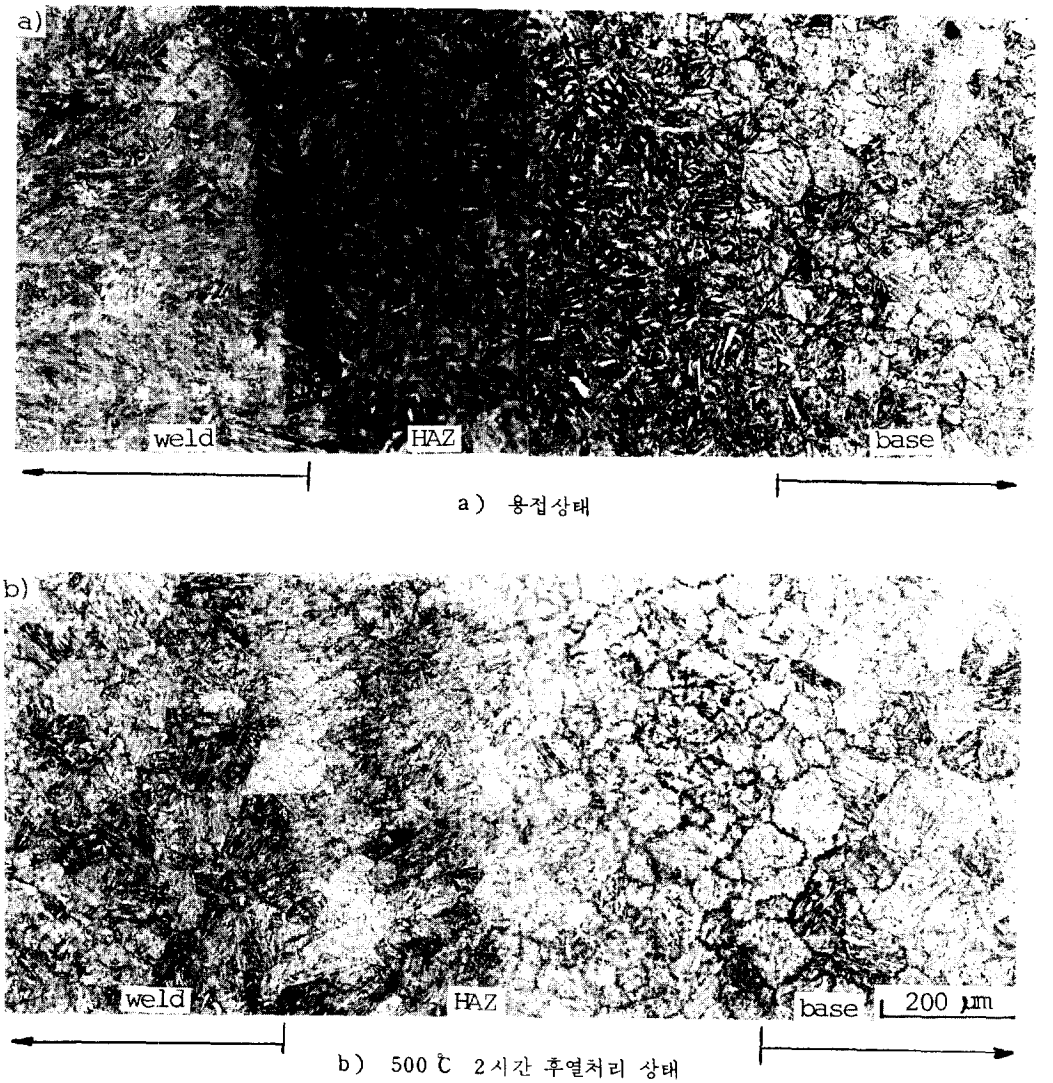

사진 2 KMS-1의 용접 상태와 후열처리한 후 모재, 용접부 및 열영향부의 미세 조직 비교.

문제점이 지적되고 있다.

기계가공성 시험용 표준 시편은 그림 4에 나타낸 바와 같다.

기계가공 절삭 저항력은 가공 설비에 절삭공구 동력계 AST-MM을 부착시켜 가공시 3축 방향에서의 응력과 변위(strain)을 측정하여 아래 수식으로 계산했다.

$$T=\sqrt{(W^2x+W^2y+W^2z)}$$

여기서 T : 기계 가공 절삭 저항력(Kgf)

Wx : 수평 종방향의 하중 0.507 Sx

Wy : 수평 횡방향의 하중 0.459 Sy

Wz : 수직 방향의 하중 0.419 Sz

Sx, Sy 및 Sz : x, y 및 z 방향에서의 strain.

표 4에 나타낸 조건으로 기계가공성 시험한 결과를 그림 5에 나타냈다.

금형 설계 변형, 금형의 보수 등을 위해서는 금형재의 용

표 4 기계가공성 시험 조건

Method / Description	End Milling	Face cutter	Remarks.
Machining Conditions	Cutting depth; 4mm Tool; 016 SKH 9 × 4 RPM; 160	Face cutter ; φ150 Tool; SPKN 1504 RPM; 160	Cutting oil : No use

* 가공 동력 측정 : 일본 삼보 전기제작소 절삭공구 동력계 (Model : AST-MM) 용 측정

표 5 KMS-1의 적정 용접 조건

Current (A)	Voltage (V)	Feeding Velosity (Cm/min)	Imput Heat (KJ/Cm)	Gas
170 - 180	15 - 17	15 - 16	10 - 12	99.9 % Ar

접성이 우수해야 하기 때문에 용접 절차를 확립해야 하는 것도 중요하다. 용접봉 φ2.40 mm ER 70 S-4 와 80 S-B 2를 사용하여 GATW 공정으로 용접하여 JIS Z 3101에 준하는 모재, 열영향부 및 용착부의 경도값을 후열처리(PWHT) 조건별로 측정하였다.

KMS-1의 시험 용접 조건을 표 5에 나타냈으며, 모재의 예열 온도는 250±25℃로 했다.

용접봉 ER 70 S-4를 사용하여 용접하면 용착부의 경도가 모재보다 HRC 5 정도 낮고, 550℃ 2시간 유지 후 공냉처리를 하면 열영향부의 경도는 상승하여 모재보다 HRC 4 정도 높은 경향을 보인다(뜨임 경화). 그러나 용접봉 ER 80 S-B 2를 사용한 경우는 550℃에서 2시간 유지했을 때 모재, 용접부 및 열영향부의 경도가 각각 HRC 38.0, 38.7, 40.0으로 매우 양호한 결과가 얻어졌고 후열처리 해주면 모재, 용접부, 열영향부의 미세조직이 모재 상태로 회복되는 시효 효과가 나타남을 사진 2로부터 알 수 있다. 따라서 KMS-1의 적정 용접 조건은 표 5와 같고, 용접봉은 ER 80 S-B 2이며, 후열처리는 500℃ 2시간 유지 후 공냉처리한다.

4. 결 론

KMS-1 개발 연구를 수행하면서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 고경면성 금형강에 요구되는 성질을 만족시킬 수 있는 화학조성에서 Ni/Al 비가 약 3/1 이어야 하고 Mn 함량이 1.50%이므로 정련 기간 동안에 S를 최소화시켜야 한다.
2) 적정 제조 공정에서 중요한 열처리는 단조후 불림과 뜨임에 의해서 미세 조직을 안정화 시킨 다음 용체화 처리(950℃)후 급냉하고 550-650℃에서 시효처리하여 최적조건을 얻을 수 있다.
3) 용체화 처리온도를 반드시 930℃ 이상(950℃ 적정)으로 유지하여 급냉처리하여 Al이 과포화되어 시효처리(550-650℃)시 금속간 화합물 NiAl이 석출되도록 한다.
4) 용접성은 φ2.4 mm ER 80 S-B 2 용접봉으로 GTAW 한 후 550℃에서 2시간 후열처리 한다. 이때 용접 조건은 전류 170-180 A, 전압 15-17 V, 용접속도 15-16 cm/min, 입열량 10-12 KJ/cm 차폐가스 Ar 99.9%이며 예열온도는 250±25℃이다.

5. 참고 문헌

1) 김정근 역 "금형편람" 금형편람 편집위원회편, 대광서림 (1982).
2) 전의진, 김창주, 김경현, 최재영, 이내성 : "경면용 플라스틱 금형공구강의 국산화 개발" 보고서, 기계연구소 (1987).
3) 濱小路 正博 : "最新のプラステツク金型用鋼" 특수강, 1984, 33권, 12호, p.34.
4) 内田幸男 : "最新のプラステツク金型用鋼" 특수강, 1984, 33권, 12호, p.43.
5) Samuel L.Case and Kent R.van Horn : Aluminum in Iron and Steel John Wiley & Sone, Inc. (1953).
6) 渡邊敏幸 : "時效硬化型プラステツク金型用鋼について", 電氣製鋼 1974, 제 45권, 1974, p.44.