

고인성 · 고강도 고속도
공구강 KHW1, KCW1의
개발 및 단조금형의 적용

기아특수강

서영식, 박성혁, 김동식, 최회진, 장병록, 정재언



고인성, 고강도 고속도공구강 KHW1·KCW1의 개발 및 금형 적용

(Application and Development of Low Alloy High Speed Steel with High Toughness, High Strength)

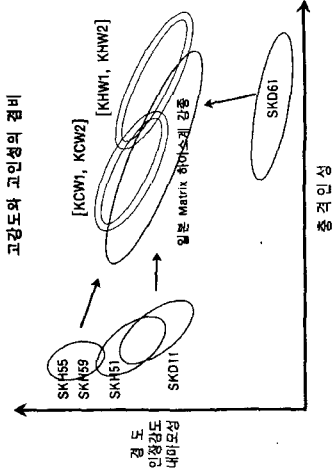
기아특수강 금속기술 연구소

*서영식, 박성혁, 김동식,
최희진, 장병록, 정재언

KIA STEEL R&D center



1. 개발 목적



- 열간, 온간 금형의 내마모성 및 열간 특성 부족으로 나타나는 수명 한계 극복
- 냉간, 온간 금형의 고풍금 성분으로 인한 인성부족에 기인되는 조기 파손 현상 극복
- 일본의 경우 열간 소재의 우수한 인성 및 냉간 소재가 갖는 우수한 내마모성의 장점을 겸비한 Matrix계 고인성 고강도 저합금 공구강 개발에 성공, 상용화되고 있으나 국내에는 미개발 상태로 진량 수입되고 있는 실정이었음 (고비용, 소재 제 특성 기술 구현 미흡)
- 두 장점을 겸비한 Matrix계 저합금 공구강 소재를 개발 소재 국산화를 이루고자 하였으며 조직 열처리 및 질화처리 등의 사용조건을 개선하여 열간 및 냉·온간 금형의 장수 명화를 구현하고자 하였음.

KIA STEEL R&D center





Copyright © 2014 KIA STEEL

표. 수입유사 강종의 동향 및 개발강의 소개

구분	강종	사용범위
KIA 개발강	KCW1 (Kia Cold Warm Die Steel)	냉간, 온간 (900℃↓)
	KHW1 (Kia Hot Warm Die Steel)	온간, 열간 (1200℃↓)
해외 개발 특수강	기존 열간 합금 공구강 개량형 - QRO90, DH32, AUD61, KDA1 등	냉간 열간
	기존 냉간 합금공구강의 개량 - AUD15, DC53, QCM8, KD21 등	
	ATM의 고회전 고속도공구강 개량형 - Type300, Type301	
개발강 용도	일본의 특수용도 금형용 Matrix 하이스계 고속도공 구강 - MH85, MCRT1, YXR3, KDW2, SKH9D외 10여종	· 특수강, 비철금속(황동, Al)등의 냉, 온간 및 열간 단조용 금형소재 · 동합금 및 Si의 압출 다이스 및 압연롤 소재 · 특수강, 비철금속 등의 냉, 온간 및 열간 나이프 소재

KIA STEEL R&D center



Copyright © 2014 KIA STEEL

표. 공구강 수명영향 요인 및 문제점

구분	열간금형용 공구강		냉간금형용 공구강		고회전 고속도강	
	SKD61	개량형	SKD11	개량형	SKH51	SKH55,59
냉간 (성형)	HRC51-52		HRC54-58		HRC58-65	
	조기마모, 탈락 피로크랙		조기파손, 절손		조기파손, 절손	
	강도, 내마모성 부족		인성 부족		인성부족	
온간 600℃ ~ 900℃	HRC42-50		HRC58-60		HRC58-64	
	조기마모, 탈락, 항 물, 열피로크랙, 연화		조기파손, 연화, 열피로크랙		조기파손, 조기연화, 열피로크랙	
	강도, 내마모성, 고온특성 부족		인성, 고온특성 부족		인성, 고온특성 부족	
열간 1100℃ 이상	HRC42-50		-		-	
	열피로크랙, 항물, 조기마모, 탈락, 연 화		-		-	
	고온경도, 내마모성, 고온 특성부족		-		-	

KIA STEEL R&D center





2. 개발 이력

- 1) KCW1 (냉,온간용 고인성 고강도 고속도공구강) 산자
부 산업기반기술 1차년도 과제로 개발(98. 1 ~ 99. 4)
- 2) KHW1 (열,온간용 고인성 고강도 고속도공구강) 산자
부 산업기반기술 2차년도 과제로 개발(99. 4 ~ 00. 4)
- 3) KCW1 특허출원(출원일:99.4.19)
- 4) 국산신기술 KT마크 획득(99.9.21)
- 과학 기술부 인증
- 5) KHW1 특허출원(출원일:00.6.2)
- 6) 우수품질인증 EM마크 획득(00.12.18)
- 산업자원부 인증
- 7) KCW1 특허등록(등록일:01.9.11)



Advanced Korean Technology

KIA STEEL R&D center



3. 핵심 기술

- 합금설계기술
고경도와 고충격인성이 함께 확보될 수 있는 적정 C 함유량과 Si, Mn, Cr, Mo, V, W, Co 등의 적절한 조함 AL, N, Nb, Ni 등의 첨가에 의한 Micro Alloy 기술에 의한 공정탄화물 미세 균일 분산.
- 응고기술
적합 잉곳트 case 설계, 주입조건, 과열도 등의 응고기술 개발에 의해 치밀하고 미세한 응고조직 형성, 용질 편석 미세화에 의한 1차공정탄화물의 미세 균일 분산화
1차 공정 탄화물 파괴기술
개발된 최적 균열조건 및 소성가공조건에 의해 MC, M₂C형 공정탄화물이 효과적으로 파괴 분산되었으며 탄화물 band층과 가공각각 방향의 망상탄화물 응집부를 분산시켜 재료의 이방성을 최소화 시킴
- 조직 열처리 기술
개발된 고유열처리 기술에 의해 충격인성, 경도, 인장강도, 굽힘강도, 내마모성, 내연화저항성 및 내열피로크랙성 등 기계적 성질의 향상시켜 실제 금형수명 향상에 지대한 역할을 하였음
- 이온 질화 (기술표준원, KPT와 공동개발)
취약한 E-Fe₂-3N 상 생성이 거의 없고 전연성이 있는 Γ' -Fe₄N 단상을 주로 갖는 표면 화합물층의 선택적 형성 또는 인계에 형성되는 탄질화물의 생성을 최대한 억제하는 기술개발

KIA STEEL R&D center





4. 공구강의 특성비교 및 열처리 조건

1) 비교 평가된 공구강의 성분 특성 비교

구분	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	Co	V
고합금 고속도 공구강	0.85	0.25	0.29	4.1	4.8	5.8	0.056	1.77
범용 공구강	1.40-1.60	0.40↓	0.60↓	11.0-13.0	0.80	-	-	0.20
					1.20			0.50
수입 개량형 고속도 공구강	0.32-0.42	0.80-1.20	0.50↓	4.50-5.50	1.00-1.50	-	-	0.80
								1.20
Steel B	0.50-0.70	2.0↓	0.6↓	5.0↓	3.5↓	0.5↓	-	2.0
								↓
Steel A	0.40-0.60	0.30↓	0.5↓	4.0↓	2.0↓	1.5↓	1.5↓	1.5
								↓

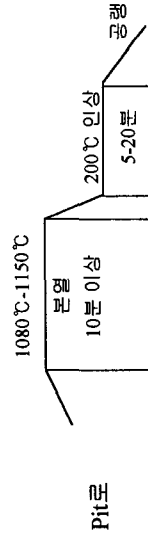
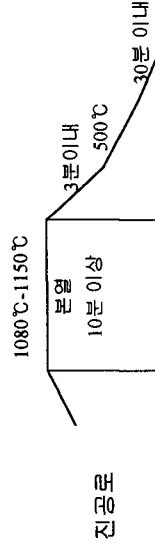
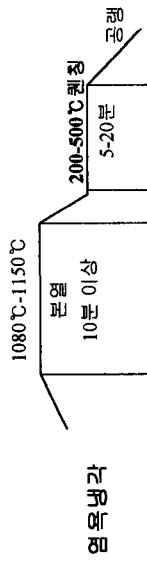
2) 개발강 및 공구강의 주요 물리적 특성비교

구분	열팽창계수 (x10 ⁻⁶ /°C)										열전도율 (Cal/cm·sec·°C)					
	100°C	200°C	400°C	600°C	700°C	20°C	200°C	400°C	600°C	700°C						
KCW1(2)	11.60	11.62	12.20	13.14	13.16	0.0680	0.0680	0.0662	0.0714	0.0710						
KHW1(2)	11.56	11.58	12.09	12.89	13.10	0.0643	0.0666	0.0690	0.0704	0.0708						
SKD61	11.70	12.50	13.20	13.90	14.00	0.0790	0.0720	0.0700	0.0700	0.0680						
SKT4	-	12.10	13.10	13.50	13.80	0.0660	0.0640	0.0600	0.0660	0.0640						
SKD7	-	11.90	12.40	13.20	13.50	0.0710	0.0810	0.0750	0.0710	0.0700						
SKD8	-	11.50	12.80	13.50	13.90	0.0630	0.0710	0.0730	0.0720	0.0700						
Inconel 718	12.80	-	-	-	16.00 (760°C)	0.0270	-	-	-	0.0510 (650°C)						
Stellite6	13.40	-	-	-	16.70 (870°C)	0.0350	-	-	-	-						



3) 개발강의 퀴칭, 템퍼링 열처리 시험조건

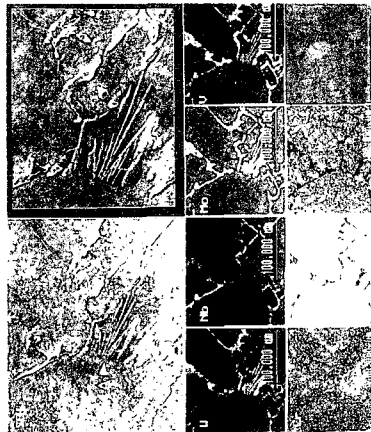
원소재	퀴칭조건			템퍼링조건		
	온도범위	경도	온도범위	경도	온도범위	경도
KCW1	800-850°C	≤ HB220	1080-1150°C	≥ HRC62	100-650°C	HRC56-60
KHW1	840-890°C	≤ HB210	1050-1140°C	≥ HRC60	100-650°C	HRC52-58





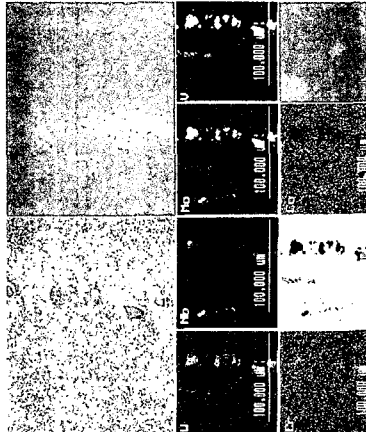
5. 개발강의 미세조직적 특성

1) 응고 조직



용질 원소 편석부에 생성된 1차 공정 탄화물
V-rich, Nb-rich - MC형
Mo-rich - M₂C형

2) 구상화어닐링 조직

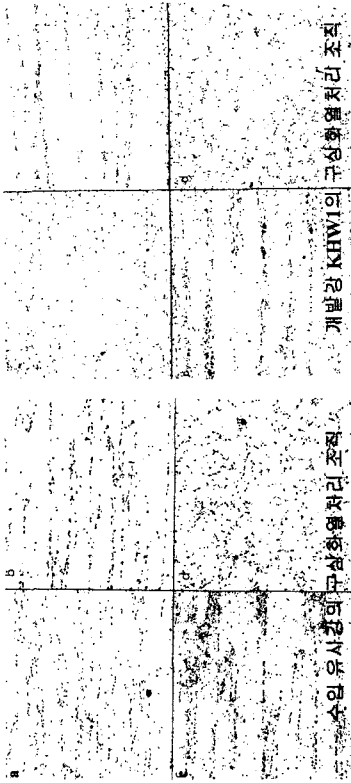


구상 분포된 탄화물은 용질 원소 편석부에 생성된 1차 공정 탄화물 V-rich, Nb-rich, Mo-rich형의 탄화물이 수지상 및 층상 공정탄화물이 열간 소성 가공과정에서 양호하게 파괴, 입상으로 존재

적절한 Soaking 조건으로 M₂C형 → MC+M₆C변태효과

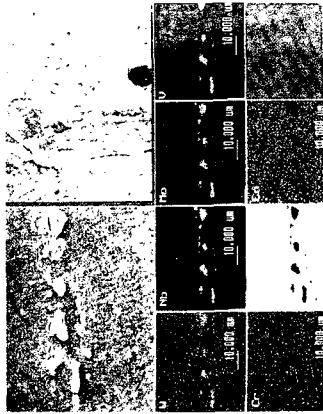


3) 구상화 조직의 탄화물 분포

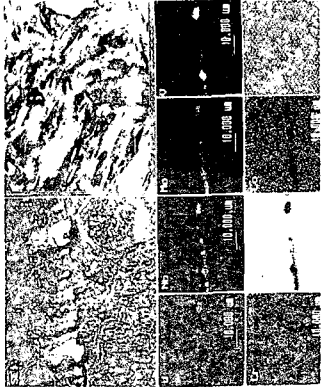


수입 유사강의 구상화열처리 조직
개발강 KHW1의 구상화열처리 조직
→ 개발강 구상화 열처리 된 조직은 탄화물 band structure의 감소로 소재의 이방성을 감소시켰음

4) 퀴칭 조직



5) 템퍼링 조직

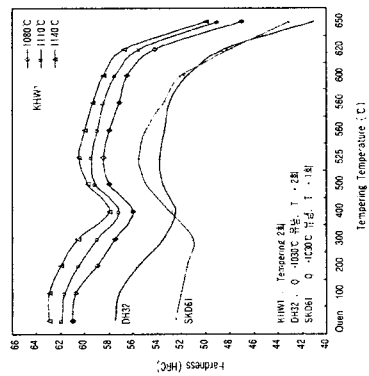
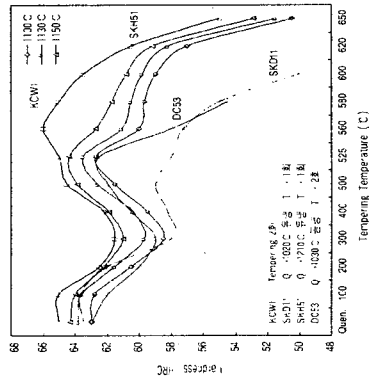


→ 미세 및 거대탄화물은 오스테나이트 입계에 고착되어 입계 Pinning에 의해 입성장 제어 및 고온 내마모성에 기여.

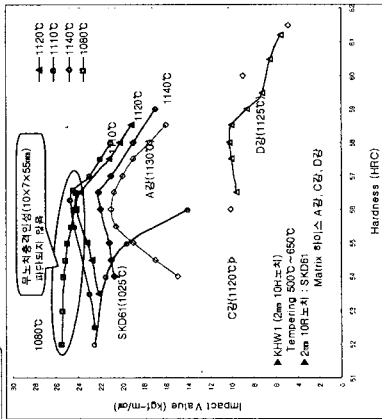
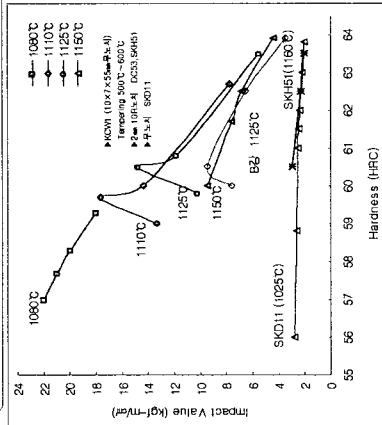


6. 개발강의 기계적 특성

1) 개발강의 열처리조건에 따른 경도변화 특성



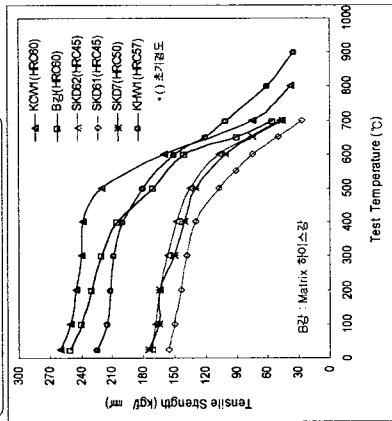
2) 충격인성과 경도와의 관계



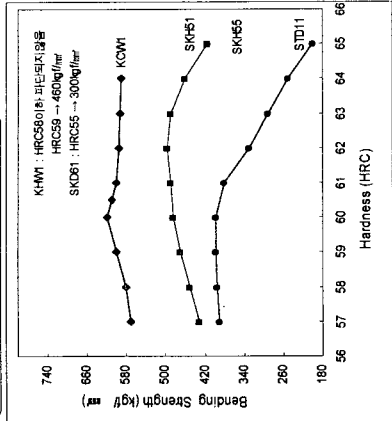
KIA STEEL R&D center BestSteel



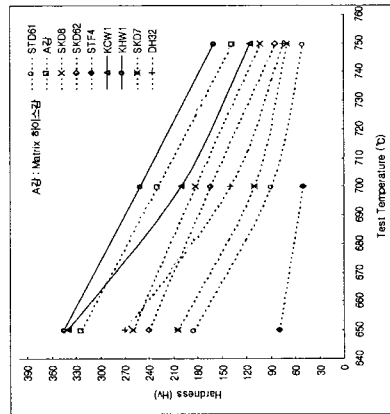
3) 인장 강도



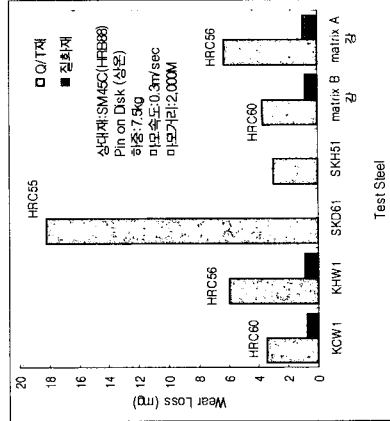
4) 굽힘 강도



5) 고온 경도



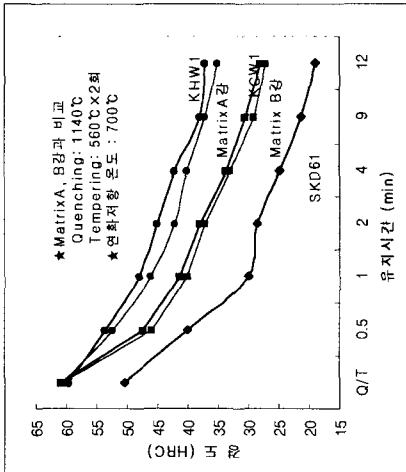
6) 내마모성



KIA STEEL R&D center BestSteel



7) 고온 내연화 저항성(KCW1/ KHW1)



8) 고온 내열 피로 저항성

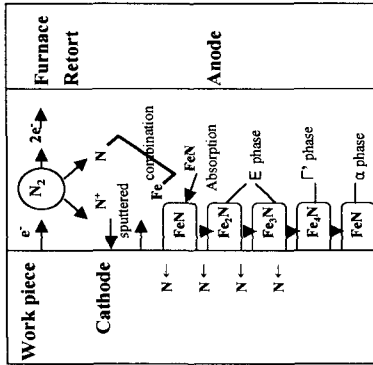
	고온 열피로 크랙성		시험방법
	최대길이 (mm)	평균길이 (mm)	
KCW1	0.08	0.012	122
SKD61	0.13	0.055	184
SKD62	0.14	0.050	180
KHW1	Q/T	0.40	80
	질화	0.15	65
SKD61	1000회 반복 후 표면 Spalling에 의해 $\phi 20 \rightarrow \phi 19.32$ 로 감소		700°C ↔ 200°C 1500회 반복
일본 개량형 고속도공구강	1000회 반복 후 표면에 Large crack 발생		$\phi 20 \times 60$ mm 700°C ↔ 200°C 1500회 반복

KIA STEEL R&D center



7. 질화특성 개선 및 적용결과

1) Plasma 이온질화의 원리



가속전자에 의한 질소원자 이온화
 $e \rightarrow N_2 = N^+ + 2e^-$
 이온화된 질소원자에 의한 Fe의 스퍼터링
 $N^+ \rightarrow \text{work surface (cathode)} = \text{sputtered Fe}$
 스퍼터링된 Fe원자와 증성 질소원자 결합에 의한 질화물 형성
 $\text{sputtered Fe} + N = \text{FeN}$
 표면부에 FeN의 흡착 및 분해
 $\text{FeN} \rightarrow \text{Fe}_2\text{N} + \text{N}, \text{Fe}_2\text{N} \rightarrow \text{Fe}_3\text{N} + \text{N},$
 $\text{Fe}_3\text{N} \rightarrow \text{Fe}_4\text{N} + \text{N}$

2) 질화조건에 따른 질화층의 형성특성

가스조성 (N2 : H2)	N2함량	화합물상	확산층 두께
10%이하	10-30%	Γ'	증가 ↓
	30%이상	$E + \Gamma'$ 혼합상	
	질화 온도가 높으면 화합물 층 및 확산 층 두께가 증가하고 표면경도는 질화물의 조대화로 감소		
질화온도	500°C 이하 → E 단상 530°C 이상 → E + Γ' 혼합상		
질화시간	시간이 길면 확산층 두께 증가, 표면경도는 질화물 조대화도 저하 1시간 이하 단시간처리 → Γ' 단상 5시간 이상 장시간 처리 → E + Γ' 혼합상		

KIA STEEL R&D center





3) 질화 특성에 따른 금형수명의 영향

① 기존 질화 조건이 적용된 경우



50µm



50µm

→ 적색 점선영역에 존재하는 흰색갈매기 모양의 백층(입계 탄질화물 층)부에서 금형의 열간단조 작업 중 열 피로응력에 의해 크랙이 발생 (Heat check)되어 표층 80µm 정도가 박리되었음



20µm

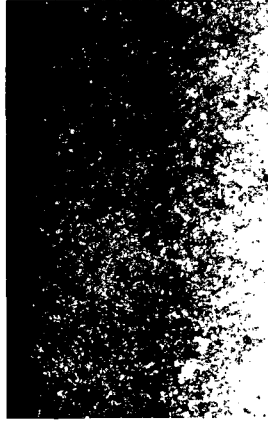


→ 조기 박리된 표층 작하부에 입계를 따라 크랙이 급속히 진전되었으며 6,000타 열간 단조시 금형표면에 심각한 거대 크랙이 존재.(범용열간공 구강 3,000타)

KIA STEEL R&D center



② 개선 질화 조건이 적용된 경우



50µm

→ 개선조건 적용시 질화 층의 최표층에 입계 탄질화물 층이 거의 존재 하지 않음.



→ 열간단조 실조업적용시 6,000타 수준에서 열피로 크랙(Heat check)이 거의 관찰되지 않음(최종수명 10,000타, SKD61종 대비 3배 이상 향상)

KHW1은 SKD61종에 비해 높은 경도와 열간 특성으로 인해 내마모성이 다소 희 생되어도 인성이 증시될 수 있도록 질화 층에 취약한 고경도상의 화합물층(입계 탄질화물 층)이 최소화 되는 질화 조건이 필요함

KIA STEEL R&D center



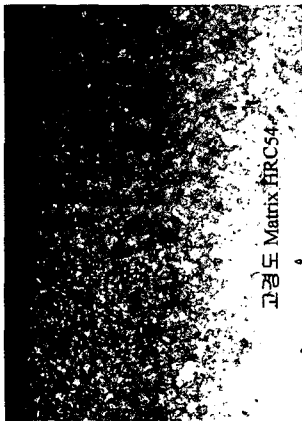
③ 개발강 KHW1에 적합한 질화 조건

▶ 금형의 열피로 균열 기구 가열에 의한

금형표면의 고온노출 → 국부적인 팽창이 심부까지 구속 → 압축응력이 발생 → 표면온도 상승에 따른 압축응력 증가 → 항복점 초과시 압축소성 변형 발생 → 냉각시 인장응력 급증 → 열피로크랙



저경도 Matrix HRC45



고경도 Matrix HRC54

SKD61 금형적용의 경우

KHW1 금형적용의 경우

▶ 강종 특성에 따른 적합한 질화조건

- SKD61 : Matrix의 경도↓, 내 항물성↓ (고경도 질화층 필요)
- KHW1 : Matrix의 경도↑, 연화저항성↑ (고인성 질화층 필요)

구분	무질화	고경도 질화	고인성 질화
SKD61	2,000타	3,000타	2,800타
KHW1	6,000타	5,800타	10,000타

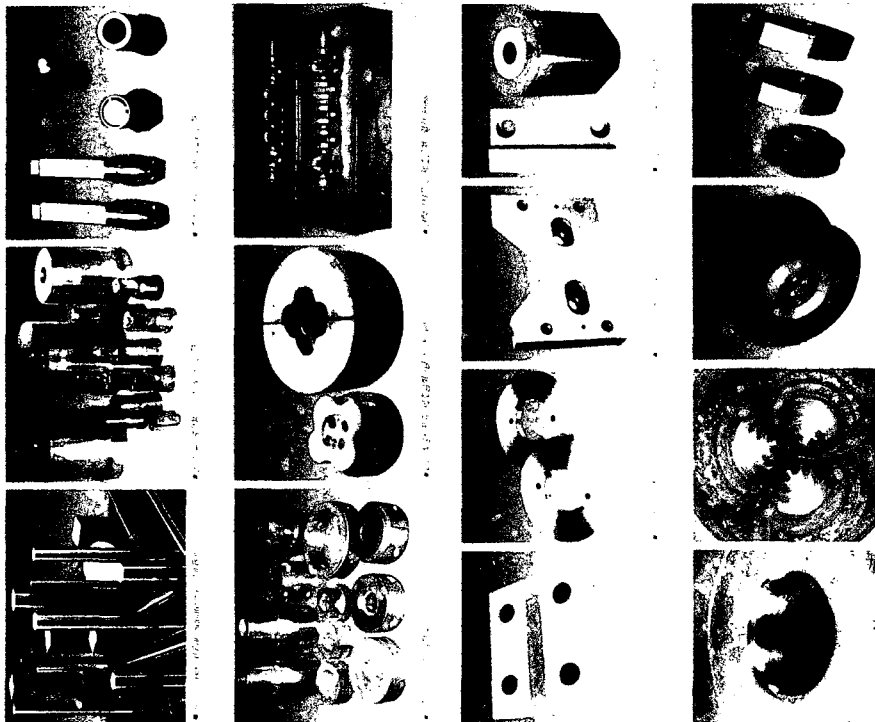
8. 실금형 ITEM별 적용결과

1) 개발강의 적용금형별 수명평가

Item	적용공정	기준/수입소재	신개발 소재	수명
절단 금형	냉간	고철 절단용	KHW1	2.5 배
		특수강 절단용	KCW1	3 배
	열간	목공, 제지용	KCW1	사용중
		특수강 절단용	KCW1	2-4 배
단조 금형	온간	SKD62	KHW1	2-3 배
		Matrix D강 Matrix B강	KCW1	1.2- 2 배
	열간	특수강 단조	KHW1	3 배 이상
		단조 엔빌	STF4	KHW1
압출 압연 공구	온간	황동 압출공구	KCW1	2-3 배
		순동 압출공구	KCW1	1.1배
	온간	순동 진선 압연롤	KHW1, KCW1	2 배
		동관 압연롤	KHW1, KCW1	2-3 배
다이캐스팅용	알미늄, 동주조	SKD61	KHW1	사용중



2) 개발강 원소재 및 적용된 주요 금형의 형상



KIA STEEL R&D center *Besteel*



9. 결 론

개발강 KHW1, KCW1의 물리적특성 및 금형적용에 따른 결과는 다음과 같다.

1. 냉간 및 온간 금형용으로 개발된 저합금 고속도 공구강 KCW1은 기존 수입 냉간용 공구강 및 고합금 고속도 공구강에 비해 우수한 인성특성을 나타냈으며 특히 조기파손 및 크랙문제에 대해 효과가 탁월하였다.
2. 열간 및 온간 금형용으로 개발된 저합금 고속도 공구강 KHW1은 열간강도, 열간마모, 고온연화저항성, 고온열피로 크랙이 문제시되는 기존의 열간공구강에 비해 월등한 특성으로 금형수명연장에 매우 효과적였다.
3. KHW1은 내열피로 크랙성을 향상시킬 수 있도록 입계탄질화물 층이 최소화되는 이온질화 조건을 부여 열간금형 적용시 수명향상을 배가시킬 수 있었다.
4. KHW1은 내마모성 및 인성특성을 동시에 개선 파손 및 마모로 장수명화에 제한을 받았던 냉간용 나이프 소재 적용시에도 매우 효과적인 수명 특성을 발휘하였다.

KIA STEEL R&D center *Besteel*