

고인성·고강도 저합금 고속도공구강의 개발과 단조(냉간,온간,열간)금형에의 적용

기아특수강(주)

송치복, 최회진



# 고인성 · 고강도 저합금 고속도공구강의 개발과 단조(열간,온간,냉간) 금형에의 적용

송치복, 최희진  
금속기술연구소 기아특수강(주)

## Development of Low Alloy High Speed Tool Steel with High Toughness, High Strength and Application of Forging dies (hot, warm, cold)

C. B. Song and H. J. Choi  
R&D Center for Metallurgy, KIA STEEL CO., LTD

### 1. 서론

최근 금형강을 이용한 피가공재(기계부품, 자동차부품 등 각종 산업부품)의 냉간, 온간 및 열간에서의 소성가공(절단, 단조, 압출, 압조, 주조 등)기술은 과거에 비하여 자원 절약, 에너지 절약 및 제조원가 절감 등의 요청으로 고속화, 자동화하고 피가공재는 점점 고강도화 및 난 가공성화 되어가고 있다.

또한, 피가공재의 절약, 내질개선 및 기계가공 사상의 간략화와 생략화를 위한 복잡한 형상 부품의 일체형이나 고정밀도 성형이 진행되고 있어 과거의 열간가공(1100℃~1200℃)이 점차 온간(600℃~900℃) 및 냉간가공으로 옮겨져 감은 물론이고 열간, 온간, 냉간 모두 생산성 향상을 목적으로 더욱 가혹한 조건으로 되어가고 있다.

따라서 이와 같은 가공기술의 발전은 금형에의 열적부하 및 응력부하를 증대시켜 금형수명이 단축되고 이것은 작업성 저하 및 제조원가 상승으로 연결됨에 따라 수요자들은 보다 원활한 작업성과 가격 경쟁력 확보를 위하여 높은 면압과 마찰작용에 견딜 수 있는 더욱 고성능화된 금형재료를 요구하게 되었으며, 기아특수강에서는 이러한 수요자의 기대를 충족시키기 위하여 새로운 합금설계와 제조기술의 개발로서 고기능화된 특수용도용 금형소재를 냉간, 온간, 열간용으로 구분하여 개발하게 되었다.

본 고에서는 특수용도 금형용 고인성, 고강도 저합금 고속도공구강의 개발배경, 개발강의 특징, 개발강의 물리적성질 및 기계적특성을 자세히 설명하고자 한다.

또한, 개발강이 적용된 여러 사용 공정중 열간, 온간 및 냉간용 단조 금형에 적용된 KCW1과 KHW1의 수명을 기존 사용 소재와 비교하고 개발강들의 응용분야에 대해서도 간단히 소개하고자 한다.

### 2. 개발배경

선진국을 비롯한 외국에서는 80년대 중반부터 매우 가혹한 조건하 소성가공에 적당한 새로운 금형소재의 개발이 진행되었다. 일본의 특수강 제조 Maker들은 90년대 초반에 이르러 ASTM의

Type300(SKH51개량)과 Type301(SKH59개량)을 보다 개량한 일명 Matrix 하이스계라 불리우는 기지(matrix)는, 기존 고합금 고속도공구강의 조성을 가지고 인성을 보다 향상시킨 개량형 고속도공구강을 개발하고 양산화 하였으며, 현재 가혹한 조건하 온간단조 금형에 폭넓게 사용되고 있다.

국내에서는 온간(600℃~900℃)에서의 정밀단조, 밀폐단조 및 폐쇄단조 등 가혹한 조건에서 수요자의 기대 수준을 충족시킬만한 새로운 강종이 아직 개발되지 못하고 있었으며, 범용 금형 소재인 수입 열간용 합금공구강 및 수입 냉간용 합금공구강과 수입 고합금 고속도공구강을 사용하거나 현 수준에서 금형수명 연장의 방편으로 표면처리(질화, 코팅)에 의한 방법에 주로 의존하였다.

그러나 표면처리재 역시 온간단조 공정에는 적합하지 않고 특히, 자동차 부품 제조업체에서 상기 Matrix 하이스계를 고가에 수입하여 사용하고 있었으나 수입소재 자체 고유 특성을 나타낼 수 있는 조절열처리 및 질화처리가 제대로 실시되지 않아 제대로된 특성을 발휘할 수 없었다.

기아특수강 역시 자체 온간단조 공정(자동차 등속조인트(C-V Joint) 제조, 850℃)내 금형소재를 Matrix계 하이스강인 MDCK3, QHS, YXR3, MH85 등을 사용하였으나, 기대하는 금형수명을 얻지 못하고 있었으며, 금형비 상승 및 조업중단에 의한 제조원가 상승의 주범으로 인식되었다.

따라서 이러한 국내 금형 사용 여건을 개선하고자 산업자원부의 지원을 받아 산업기반기술 연구과제인 기초 소재 제조기술 개발의 일환으로 1998년 초 고인성·고강도 저합금 고속도공구강 제조기술의 개발에 착수하였으며, 2년여의 연구기간을 거쳐 각종 가혹한 조건하에서도 뛰어난 금형수명이 보장되는 고인성과 고강도가 겸비된 특수용도 금형용 저합금 고속도공구강 4종을 개발하고 실용화 함으로서 국내 금형산업의 발전에 기여하게 되었다.

표 1에 개발강의 종류와 주용도를 나타내고 개발강으로 대체될 수 있는 외국 금형용 개량형 합금공구강 및 개량형 고속도공구강종을 나타낸다.

Table.1: Introduction and comparison of development steels.

	강 종	사용범위
기아특수강 개발강	KCW1, KCW2 ( KIA Cold Warm Die Steel )	온간(900℃↓), 냉간
	KHW1, KHW2 ( KIA Hot Warm Die Steel )	열간(1100℃↑), 온간
외국 특수강 제조 Maker	1) 기존 열간 합금공구강의 개량형 - QR090, DH32, AUD61, KDA1 등	냉간, 열간
	2) 기존 냉간 합금공구강의 개량 - AUD15, DC53, QCM8, KD21 등	
	3) ASTM의 기존 고합금 고속도공구강의 개량형 - Type 300, Type301	
	4) 일본의 특수용도 금형용 Matrix 하이스계 고속도공구강 - QHS, MH85, MCR1, YXR3, KDW2, SKH9D 외 10여종	
개발강의 용도	1) 특수강(탄소강, 합금강, 스테인레스강, 내열강 등), 연강, 알루미늄, 동(동합금) 및 아연 등의 냉간, 온간 및 열간용 - 단조(프레스, 포머)용, 압조용, 압출용 공구금형 및 다이금형 - 절단 칼(Knife) 금형 (Shear Blade) 2) 비금속(제지, 목공 등)의 절단용 칼(Knife) 금형(Shear Blade) 3) 알루미늄, 동(동합금), 아연 등의 다이캐스팅용 금형	

### 3. 개발강의 특징

Mo계 고속도공구강의 기지를 가진 개발강 KCW1(2)와 KHW1(2)는 표 2와 같이 기존 범용 공구강의 단점인 높은 경도와 낮은 인성에 의한 조기 절손 및 낮은 경도와 높은 인성에 의한 조기 마모의 단점을 보완하기 위하여 연구 개발되었으며, C, Si, Mn, Cr, Mo, V, W, Co, Al 등의 주요첨가 원소 및 미량첨가 원소의 적절한 조합에 의한 새로운 합금설계와 균열, 확산, 파괴, 재결정, 열처리 등의 개발 제조 공정설계에 의하여 인성과 강도라는 상반되는 특성을 함께 겸비시켜 우수한 상온특성, 고온특성 및 질화특성이 확보된 특수용도 금형용 저합금 고속도공구강이다.

또한, 개발강은 범용 공구강 특히, 고합금 고속도공구강 및 냉간공구강에서 필연적으로 생성되어 내마모성은 향상시키고 인성에 악영향을 미치는 MC형, M<sub>2</sub>C형 1차 공정탄화물을 효과적인 생성시키고 파괴 분산시키는 기술 개발에 의하여 그 성능이 한층 배가되었다.

KCW1(2)은 냉간 및 온간 사용 금형용으로 개발된 저합금 고속도공구강으로 조기 파손이 문제시 되는 기존 냉간용 공구강 및 고합금 고속도공구강의 대체에 그 효과가 탁월하며, KHW1(2)는 열간 및 온간 금형용으로 개발된 저합금 고속도공구강으로 열간강도, 열간마모, 고온 연화저항, 고온 열피로크랙이 문제시 되는 기존 열간용 공구강의 금형수명 연장에 매우 효과적이고, 냉간 및 열간 Knife 금형에서 탁월한 성능을 발휘한다.

그림 1에 개발강과 국내 범용 금형강의 기본특성을 비교하여 나타내었다. 개발강은 고합금 고속도공구강인 SKH51(55,59)와 냉간 공구강인 SKD11에 비하여 유사 경도에서도 5배 이상의 높은 충격인성을 가지고 열간 공구강인 SKD61에 비해서 HRC10 Point 이상 높은 경도에서도 동일 이상의 충격인성을 가진다.

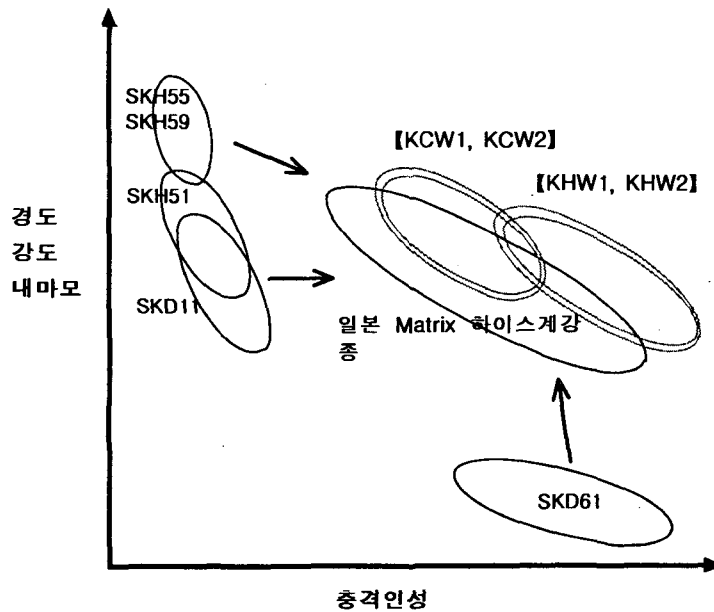


Fig.1. Schematic diagram of mechanical properties in development steels.

Table.2. A primary factor and a problem of dies lifetime in ordinary tool steels.

		열간금형용 공구강		냉간금형용 공구강		고합금 고속도공구강(냉간)		
		STD61(62)	개량형	STD11(12)	개량형	SKH51	SKH55	SKH59
냉간 (상온)	경도	HRC 51~52		HRC 54~58		HRC 57~60		HRC54~56
	문제점	조기마모, 탈락, 피로크랙		조기파손, 질손		조기파손, 질손		
	요인	강도, 내마모성 부족		인성부족		인성부족		
온간 600℃ ~ 900℃	경도	HRC 42~50		HRC 58~60		HRC 59~61		HRC62~64
	문제점	조기마모, 탈락, 함몰, 열피로크랙, 연화		조기파손, 조기연화, 열피로크랙		조기파손, 조기연화, 열피로크랙		
	요인	강도, 내마모성, 고온특성부족		인성, 고온특성부족		인성, 고온특성부족		
열간 1100℃ 이상	경도	HRC 42~50		HRC 58~60		HRC 60~65		
	문제점	조기마모, 함몰, 열피로크랙, 연화		조기파손, 조기연화, 열피로 크랙		조기파손, 조기연화, 열피로 크랙		
	요인	강도, 내마모성, 고온특성부족		고온특성부족		고온특성부족		

#### 4. 개발강의 제특성

##### 4.1 물리적특성

표 3에 개발강의 열팽창계수 및 열전도율을 나타내었다. 개발강의 열팽창계수는 합금공구강에 비하여 거의 유사하고, 초내열합금인 Inconel718 및 Stellite6에 비하여 매우 작도록 설계되어 동합금 압출 금형강의 사용에 있어 동합금 제품의 치수 품질 향상에 크게 기여 하였다. 또한, 열전도율은 합금공구강에 비하여 동등한 수준을 나타내고 Inconel718 에 비해서는 매우 높다.

Table.3. Coefficient of expansion and thermal conductivity of development steels.

	열팽창계수 ( $\times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ )				열전도율 ( $\text{Cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}$ )				비 중
	100℃	400℃	600℃	700℃	20℃	400℃	600℃	700℃	
KCW1(2)	11.60	12.20	13.14	13.16	0.0680	0.0714	0.0710	0.0714	7.875
KHW1(2)	11.56	12.09	12.89	13.10	0.0643	0.0690	0.0704	0.0708	7.877
SKD61	11.70	13.20	13.80	14.00	0.0730	0.0700	0.0700	0.0680	-
SKD7	-	12.40	13.20	13.50	0.0710	0.0750	0.0710	0.0700	-
SKD8	-	12.80	13.50	13.90	0.0630	0.0730	0.0720	0.0700	-
Inconel718	12.80	-	16.00 (760℃)		0.0270	-	0.0510 (650℃)		-
Stellite6	13.40	-	16.70 (870℃)		0.0350	-	-	-	-

##### 4.2 표준 조질열처리(Quenching/Tempering) 방법과 경도

표 4에 개발강의 열처리별 경도와 그림 2에 개발강의 퀴칭열처리 방법에 대하여 나타내었다. 퀴칭은 염욕, 진공, Pit 어느것이나 가능하도록 합금설계 되었으며, 고합금 고속도공구강에 비하여 최고점 온도가 50~100℃ 낮아 경제적이고 합금 공구강에 비해서는 비교적 높지만, 그 범위가

넓어 사용 용도별로 강도와 인성의 특성부여가 자유로운 장점이 있다. 퀴칭경도는 HRC60 이상이며, 템퍼링은 일반적인 100~650℃ 범위이다. 개발강의 어닐링 경도는 KCW1(2) HB220 이하이며, KHW1(2) HB210 이하로서 금형 제작을 위한 기계가공성은 고탍금 고속도공구강에 비하여 우수하고 범용 공구강과는 동등한 수준으로 설계되었다.

Table.4. Hardness change of various heat treatment in development steels.

	원소재 (annealing)		Quenching Treatment		Tempering Treatment	
	온도범위	경도	온도범위	경도	온도범위	경도
KCW1, KCW2	800℃~850℃	≤ HB220	1080℃~1150℃	≥ HRC62	100℃~650℃	≥ HRC58
KHW1, KHW2	840℃~890℃	≤ HB210	1080℃~1140℃	≥ HRC60	100℃~650℃	≥ HRC56

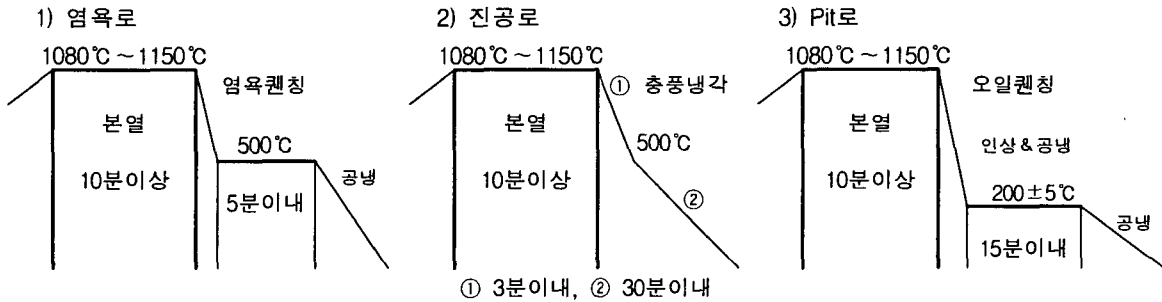


Fig.2. Quenching/Tempering condition of development steels.

### 4.3 기계적특성

#### 4.3.1 조질열처리 조건별 경도변화

그림 3은 KCW1의 1150℃ 퀴칭과 2회 템퍼링 온도별 경도분포를 나타낸 것이다. 잔류오스테나이트 파괴와  $M_6C, M_{23}C_6$  2차 탄화물의 석출에 의한 2차 경화는 525℃ 근방이다.

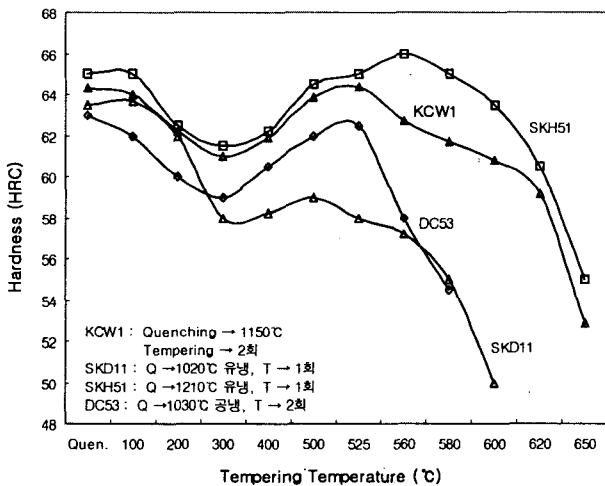


Fig.3. Comparison of Q/T hardness in cold working die steels and KCW1.

KCW1은 1210℃ 퀴칭과 1회 템퍼링된 SKH51에 비하여 저온에서 거의 유사한 경도분포를 가지고 525~600℃의 온도범위에서는 템퍼링 2회에 의한 요인에 의하여 낮은 경도를 가지지만, 600℃이상에서 다시 유사하게 됨을 알 수 있다. 또한, KCW1은 SKD11과 그 개량형인 DC53에 비해서도 템퍼링 온도가 증가할수록 경도 폭이 점차 커짐을 알 수 있으며, 이것은 KCW1의 템퍼링 연화저항성이 SKH51, SKD11 및 DC53 보다 크다는 것을 의미한다.

그림 4는 개발강 KHW1의 1140℃ 퀴칭과 2회 템퍼링 온도별 경도분포를 나타낸 것이다. KHW1 역시 525℃ 근방에서 2차 경화 구역을 가진다.

KHW1은 퀴칭경도가 HRC63으로 SKD61과 그 개량형인 DH32에 비하여 HRC5~10 Point 높다. KHW1은 2회 템퍼링된 DH32와 1회 템퍼링된

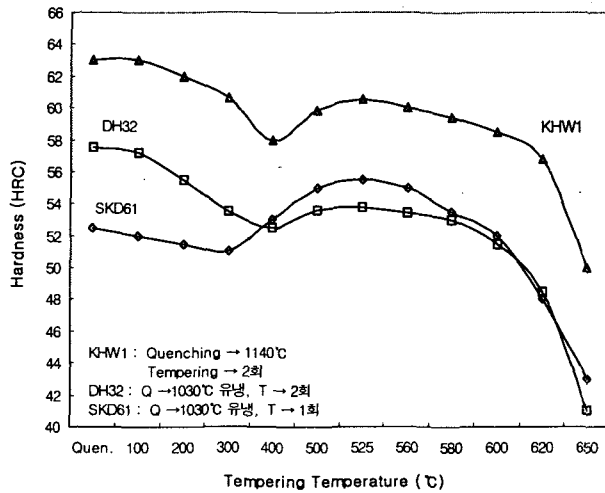


Fig.4. Comparison of Q/T hardness in hot working die steels and KHW1.

조질열처리시 쿼칭 냉각속도는 열변형이 없는 범위에서 마르텐사이트 시작점(Ms) 직상까지 되도록 이면 빠르게 진행하여야 하고, 빠른 냉각속도는 전 오스테나이트 입계에 탄화물 석출을 방지하고 기지를 폭이 넓고 긴 Lath상으로 형성된 상부 베이나이트가 아닌 미세 Lath상으로 마르텐사이트화 또는 하부 베이나이트화 함으로서 템퍼링시 얻고자 하는 2차경화와 인성이 부여된 솔바이트(Sorbite) 조직을 얻을 수 있음에 따라 인성저하를 방지할 수 있다.

개발강은 성분 조성적면에서 기지는 고합금 고속도공구강과 동일하지만 인성을 향상시키기 위한 주요 첨가원소들의 적절한 조합과 미소첨가원소들의 활용 및 오스테나이트 결정립을 미세화하는 특수원소의 활용이 이루어졌다.

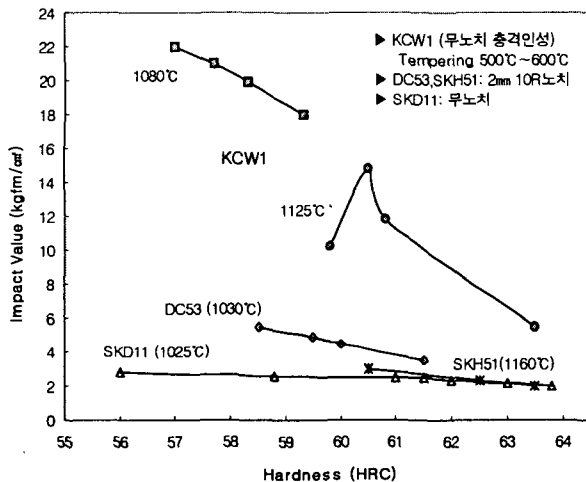


Fig.5. Relationship between toughness and hardness of cold working die steels and KCW1.

SKD61에 비하여 온도가 증가될수록 그 폭이 점차 증대됨에 따라 열간용 금형강으로 개발된 KHW1의 템퍼링 연화저항성이 매우 큼을 알 수 있다.

#### 4.3.2 충격인성과 조질경도와의 관계

범용 금형용 공구강은 2차경화에 의하여 고온강도가 부여되지만 동시에 인성이 저하한다. 따라서 금형소재에 인성을 부여하기 위한 마무리 템퍼링은 2차경화 온도구역 이상에서 실시되고 있다.

성분적측면에서 인성을 향상시키기 위해서는 경화능 증대 및 2차경화 원소인 Mo의 첨가가 효과적이고 템퍼링 취화를 일으키는 Si, 베이나이트 변태를 지연시키는 Mn과 Cr 및 결정립 미세화 원소인 V은 다른 첨가원소와의 적절한 조합이 무엇보다 중요하다.

그림 5는 KCW1의 충격인성을 조질경도와 관계하여 나타낸 것이다.

전체적으로 KCW1의 충격인성이 SKH51, SKD11 및 DC53 보다 동일 경도에서 매우 높다는 것을 알 수 있으며, 이러한 높은 충격인성은 주로 냉간용 금형(Knife, Punch, Die, Ironing 등)으로 사용되는 SKH51, SKD11, DC53 등이 조기에 파손되는 공정에서 탁월한 성능을 발휘하였다.

KCW1의 충격인성은 쿼칭온도가 상승됨에 따라 저하되지만, 1125°C 쿼칭의 경우 템퍼링 조건에 따른 경도 상승이 있어도 충격인성이 증가되는 구역을 가지고 이러한 구역은 1100~1140°C에서도 나타난다.

그림 6은 KHW1의 충격인성과 조질경도와의 관계를 나타낸 것이다. KHW1은 동일경도 뿐만 아니라 HRC57까지 SKD61보다 높은 충격인성을 가지고 수입 Matrix 하이강보다 동일 경도에서 매우 높은 충격인성을 가진다.



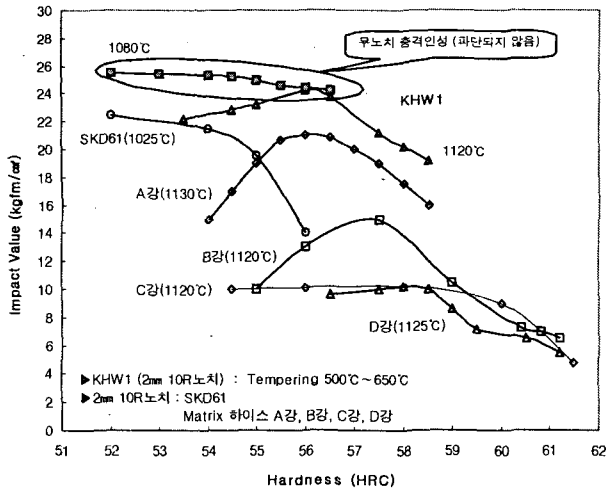


Fig.6. Relationship between toughness and hardness of hot working die steels and KHW1.

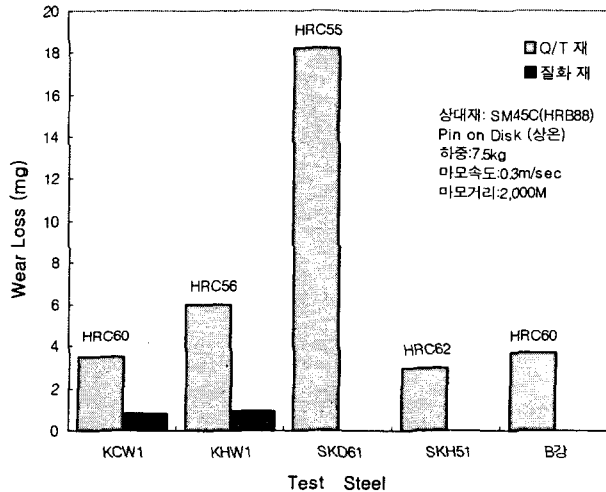


Fig.7. Atmospheric temperature wear resistance of ordinary die steels and development steels.

수요자의 가공성 부여를 위하여 어닐링된 소재내  $M_{23}C_6$ 형,  $M_6C$ 형 석출탄화물은 1000°C 이상 오스테나이트 온도에서 대부분 기지에 고용되고 500°C 이상 템퍼링에 의하여 W, Mo, V을 함유한 미세한 합금탄화물 석출에 의하여 2차 경화되어 고온강도가 부여된다.

W과 Mo는 C과 결합하여 미세한 침상의  $M_2C$ 형 탄화물을 형성하고 V은 MC형 탄화물을 형성한다. 고온강도는 이 탄화물의 종류, 크기, 분포 및 응집거동 등에 영향을 받는다. 따라서 열간 금형 소재의 고온강도는 탄화물의 생성 및 석출 제어와 성분조성이 무엇보다 중요하다.

개발강은 i)적정 C량과 탄화물 형성원소의 적절한 조합, ii)응고조직내 MC형 및  $M_2C$ 형 탄화물을 미세하고 균일하게 생성, iii)기지내 완전 고용원소이자 기지 강화원소의 적정 첨가로 고온 내열강도 부여, iv)조질처리후 미세한 MC형 및  $M_2C$ 형 탄화물 잔존 등 성분조성의 적절한 조합과 개발된 열처리조건에 의하여 높은 고온강도가 부여되었다.

또한, KCW1과 같이 1120°C 퀴칭조건에서 경도가 상승하더라도 충격인성이 상승하는 구역을 가지고 이러한 구역은 1100~1140°C에서도 나타난다. 그림에서 비교되지 않았지만, KCW1은 냉간용으로 개발된 Matrix 하이스 B강에 비하여 약 1.5배의 충격인성치를 가진다.

그림 7은 개발강과 SKD61, SKH51, Matrix 하이스 B강의 상온 내마모성을 비교한 것이다.

냉간, 온간용으로 개발된 KCW1(HRC60)의 마모량은 SKH51(HRC62)보다 약간 증가되었지만 Matrix 하이스 B강에 비해서는 적다.

KHW1(HRC56)의 내 마모성은 SKD61(HRC55)에 비하여 매우 우수하며, SKH51, Matrix 하이스 B강보다는 낮은 정도로 인하여 마모량이 많다. 그러나 상기 개발강의 경도는 충격인성 대비 최적조건에 의한 것으로 SKH51과는 동일경도에서 거의 유사한 마모성을 보였으며, Matrix 하이스강(A,B,C,D)보다 마모량이 적었다.

KCW1 및 KHW1의 이온질화 상태의 내마모성은 조질열처리 상태보다 우수하며, 마모속도와 마모거리를 변화시켰을 때 약간의 차이를 가지지만 어느조건이나 질화상태의 마모량이 적었다.

#### 4.3.3 인장강도와 굽힘강도

상온에서 600°C 온도구역의 강도는 소재의 성분조성에 의한 것보다는 초기경도에 좌우되고, 600°C를 넘는 온도에서의 고온강도는 초기경도 뿐만아니라 소재의 성분조성에 더 큰 영향을 받는다.

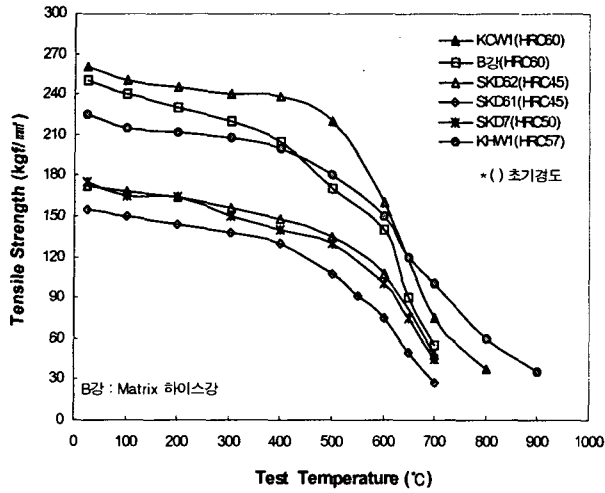


Fig. 8. Tensile strength of development steels.

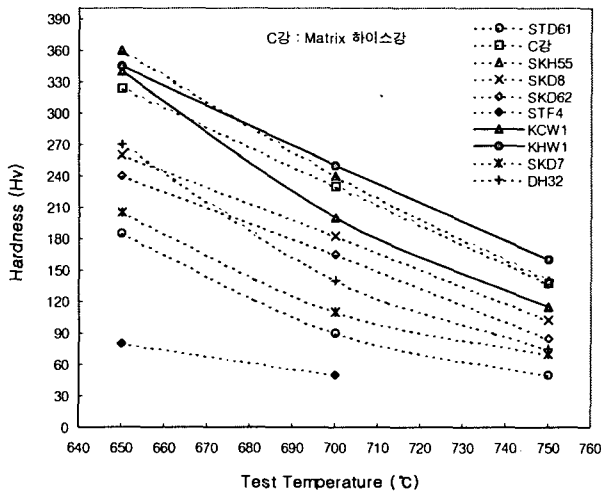


Fig. 9. Hot hardness of development steels.

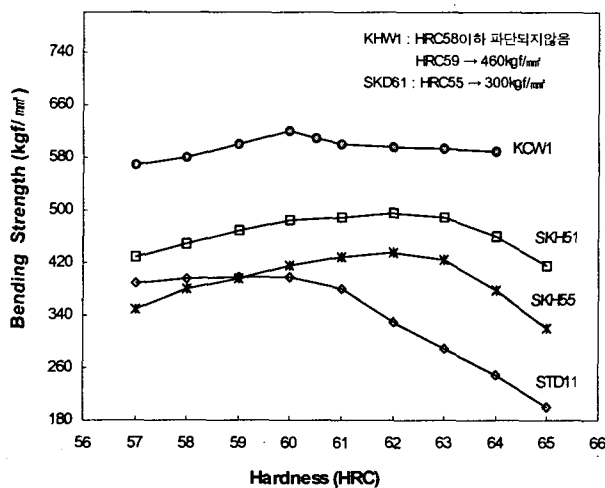


Fig. 10. Cold bend test of development steels.

그림 8은 개발강, SKD61, SKD62, SKD7, Matrix 하이스 B강의 상온 및 고온 인장강도를 비교한 것이다.

KCW1의 상온 인장강도는 Matrix 하이스 B강 대비 동일경도(HRC60)에서 약간 높으며, 시험온도가 증가될수록 그 폭이 커지고 700°C 까지 높은 경향을 나타낸다.

KHW1은 Matrix 하이스 B강 대비 경도차에 의하여 상온 인장강도는 낮지만 시험온도 400°C 이상에서 역전되고 650°C 이상부터는 KCW1 보다도 높은 인장강도치를 나타낸다. SKD61, SKD62, SKD7 보다는 상온 및 고온 모두 높은 인장강도를 가진다.

개발강의 우수한 고온 및 상온 인장강도와 KCW1 및 KHW1의 고온 인장강도 역전 현상은 그림 9의 고온경도 시험 결과치에서 잘 이해된다.

냉간, 온간용인 KCW1의 고온경도는 열간특성을 대폭 향상시킨 SKH55와 Matrix 하이스 C강 보다는 떨어지지만, 기타 범용 냉간 및 열간 공구강보다는 높으며, 열간용으로 개발된 KHW1은 어느 강종보다도 그 고온경도가 높다. 동일경도에서 시작된 경도는 온도가 상승될수록 KCW1이 점차 저하된다는 것에서 인장강도의 역전현상이 이해되고 이것은 합금원소의 차이, 기지의 고온연화 차이 및 2차 탄화물 석출량 등이 복합적으로 작용한 결과이다.

그림 10은 개발강, SKH51, SKH55, SKD11의 상온 굽힘강도를 비교한 것이다.

KCW1은 상술한 기존 범용 공구강 대비 우수한 경도, 충격인성 및 인장강도가 복합적으로 작용하여 SKH51, SKH55, SKD11 보다 매우 높은 굽힘강도를 가진다.

KHW1은 KCW1보다 동일경도에서 우수한 인성과 연성으로 인하여 HRC58 이하에서는 파단되지 않으며, HRC59에서 SKH51, SKH55, STD11 보다 높은 460kgf/mm<sup>2</sup>를 나타내었다.

#### 4.3.4 내연화저항성 및 내열피로저항성

고온 연화저항성은 성분적 요인과 조질 열처리에 의한 요인으로 구분되고, 무엇보다도 조질열처리후 기지의 경도와 잔존 탄화물 및 2차 석출탄화물의 크기, 갯수, 분포에 크게 좌우된다.

C 함유량의 증가는 고온 연화저항성을 향상시킨다. 성분적 관점에서의 고온 연화저항성은 기지에 잔존된 탄화물 및 석출탄화물의 성장에 좌우된다는 점에서 C, Si, Mn, Cr, V, Mo, W 등 공구강 구성 원소중 Cr이 가장 강력한 2차 석출탄화물 형성원소로서 Cr에 가장 큰 영향을 받고 Cr, V, Mo 등 2차 석출탄화물의 증가는 고온 연화를 조장한다. 고속도공구강에서 2상으로 존재하는 석출탄화물은 주로 MC, M<sub>6</sub>C, M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> 이 V 주체인 MC와 Mo 주체인 M<sub>6</sub>C는 Cr에 의하여 성장하여 기지의 연화를 일으키고, Cr 주체인 M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> 는 MC, M<sub>6</sub>C 보다 그 성장속도가 상당히 빠르게 진행됨에 따라 고온 연화저항성은 M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> 성장의 대소에 좌우된다. 개발강의 경우, 성분조성 측면에서 Cr을 타 성분과의 관계 및 기계적특성을 고려하여 적정하게 제어함으로써 이 고온연화저항성을 향상시키는 노력을 기울였다.

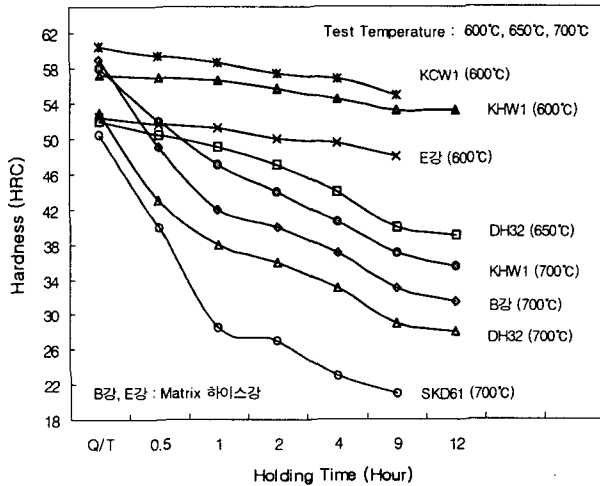


Fig.11. Softening resistance of development steels.

그림 11은 개발강, SKH51, SKD7, SKD61, Matrix 하이스 E강에 대하여 600°C, 650°C, 700°C의 연화저항성을 평가한 결과이다. KHW1은 600°C에서 12시간 경과후에도 HRC53.2를 가지고 KCW1은 600°C에서 9시간 경과후 HRC55를 나타냄에 따라 Matrix 하이스 E강 보다 연화되지 않는다. KHW1은 700°C에서 12시간 경과후에도 HRC35.5를 유지함에 따라 Matrix 하이스 B강, DH32 및 SKD61보다 우수한 고온 내연화저항성을 나타낸다. 따라서, 개발강의 우수한 연화저항성은 실금형의 고온 열마모를 억제하여 금형의 장수명화에 효과적이다.

열간 가공공정에서 금형표면에는 승온과 냉각이라는 열 사이클이 반복되어 열응력이 되풀이 됨으로서 열피로에 의해 형면에는 거북등 모양의 열피로크랙(Heat-Check)이 발생한다. 내열피로크랙성 향상을 위해서는 고온강도와 인성을 증대시키고 열전도율은 크고 열팽창율은 적은 소재가 효과적이다. 열피로크랙 발생기구는 가열과정에서 금형표면의 고온노출 → 국부적인 팽창이 심부에 까지 구속 → 압축응력이 발생 → 표면온도상승에 따른 압축응력 증가 → 항복점을 넘어서면 압축소성변형이 발생하고 이후 냉각과정에서 이 소성변형이 상당한 인장응력을 발생함으로서 발생된다. 개발강은 이러한 열피로크랙 발생 억제를 위하여 열전도율, 열팽창율, 탄성을, 고온 내력 및 조질경도 등이 고려된 새로운 성분조성으로 이루어졌다. 표 5는 고온 열피로저항성을 평가한 결과이다. KCW1은 SKD61, SKD62 에 비하여 시험후 열피로 발생 경향이 최대길이, 평균길이 및 총수에서 매우 우수하다는 것을 알 수 있다. KHW1은 동일조건하 SKD61이 1,000회 반복후 표면 Spalling에 의하여  $\phi 20 \rightarrow \phi 19.32$  로 감소하여 더 이상 실험이 불가능하였고 열간용으로 개발된 Matrix 하이스 A강은 그림 12와 같이 1,000회 반복후 큰 크랙이 발생됨에 따라 탁월한 고온 내열피로저항성을 나타내었다.

Table.5. Thermal fatigue resistance of development steels.

	고온 열피로 크랙성			시험방법
	최대길이 (mm)	평균길이 (mm)	총수 (EA)	
KCW1	0.08	0.012	122	φ 12×15mm 700℃~ 20℃ 1,500회 반복
SKD61	0.13	0.055	184	
SKD62	0.14	0.050	180	
KHW1	Q/T	0.40	0.22	φ 20×60mm 700℃~ 20℃ 1,500회 반복
	질화	0.15	0.10	
SKD61	1,000회 반복후 표면 Spalling에 의하여 φ 20→φ 19.32 로 감소			φ 20×60mm 700℃~ 20℃ 1,500회 반복
Matrix 하이스 A강	1,000회 반복후 Large Crack 발생			

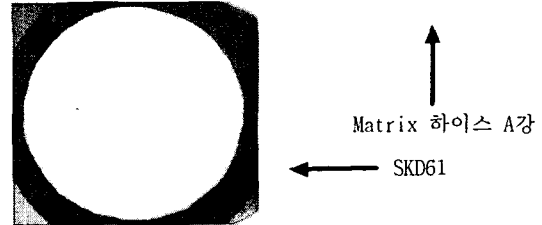
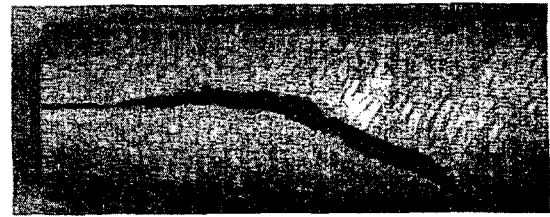


Fig.12. A shape after Softening resistance test of Matrix A steel and SKD61.

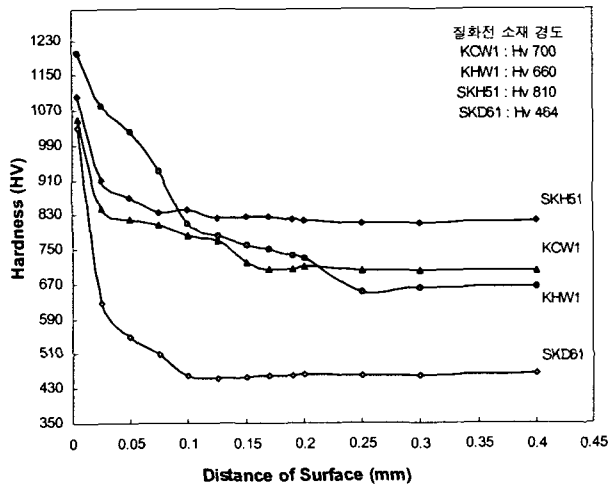


Fig.13. Ionitriding property of development steels.

층이 거의 존재하지 않을 뿐만아니라 입계 백색 탄질화물 역시 존재하지 않음에 따라  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N 단상의 연성 질화층을 얻기가 매우 쉽다.

## 5. 개발강의 단조 금형(Punch 및 die) 수명

개발강 KCW1과 KHW1의 실제 1100℃ 이상의 열간 및 700~900℃ 범위의 온간 그리고 냉간에서의 금형수명을 평가하기 위하여 국내 열간금형 사용업체, 온간금형 사용업체 및 냉간금형 사용업체를 선정하여 기존 사용 금형소재인 수입 Matrix 하이스계, STD61(62), STD11(12) 및 개량형 열간 공구강과 동일한 조건에서 실 금형수명을 평가하였다.

그림 14는 개발강 KCW1으로 대체된 기아특수강, 완성차 업체 H사 및 T사의 자동차 등속조인트 (C-V Joint) 부품 (Tripod Housing, Outer Race, Pinion Drive Gear) 제조 공정내에 사용되는 온간 및 냉간 정밀단조 Punch 및 Die 금형류(사용온도: 850℃ 및 상온)이다.



Fig.14. Shape of warm and cold working dies(C-V Joint) applied development steels.

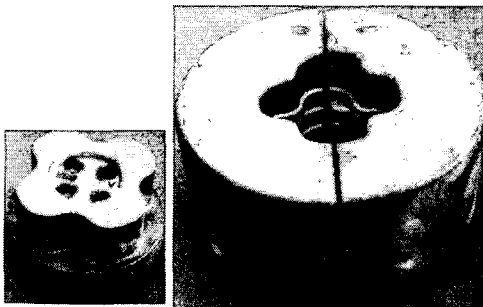


Fig.15. Shape of hot working dies (Rear Axle Shaft) applied development steels.

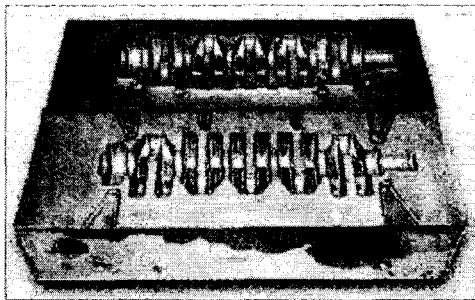


Fig.16. Shape of hot working dies (Rear Axle Shaft) applied development steels.

또한, 금형수명 향상을 바라는 국내 열간 단조업체인 K사, J사, H사, P사 등에서 당사 개발강의 적용이 추진중에 있다.

현재 기아특수강 연구소에서는 KCW1 및 KHW1 개발의 주목적인 국내 단조금형의 단수명을 해결하고자 노력하고 있으며, 사용자의 신소재에 대한 열처리의 애로점을 해결하고 최적 특성을 얻고자 개발강에 대한 조질열처리(Q/T) 조건 및 표면처리 조건은 당사 연구소가 사용 공정별로 직접 설정하여 제공하고 있어 금형수명에 가장 큰 영향을 미치는 열처리 요인을 최소화하고 있다.

KCW1의 금형수명은, 기존 금형소재인 수입 Matrix 하이스 B강에 비하여 기아특수강에서는 1.8배~3.2배의 수명이 확보되었고 완성차 업체 H사에서는 2배 이상, T사의 경우는 동등한 수준이 확보되어 전량 수입 대체되었으며, 현재 당사 연구소와 긴밀한 협조 아래 수명 향상 연구가 이루어지고 있다.

또한, M사의 ALTERNATOR R/T POLE 제조 금형(사용온도: 900℃)의 경우 기존 SKD61(질화) 대비 1.5~2배의 수명을 보였다.

냉간 소성(단조) 금형으로는 기아특수강의 자동차 부품 Spider 제조용 Punch 및 Die 금형에 적용되어 기존 SKH51 대비 동등 이상의 수명을 보였으며, 냉간 Ironing 금형에 사용되어 기존 SKH51의 조기파손 문제를 해결하였고 완성차 업체 H사의 유사공정에 적용중에 있다. 또한, S사의 냉간 다이아몬드 성형(압축) 몰드 금형에 사용되어 기존 STD11에 비하여 1.3배의 수명을 보이기도 하였다.

그림 15는 기아특수강 열간 Up-set 단조 공정내 자동차 부품 리어엑슬샤프트 제조용 Punch 및 Die 금형형상이며, KHW1(질화)은 기존 SKD61(질화)에 비하여 3~4배의 금형수명이 확보되어 전량 대체되어 사용되고 있다. 또한, 그림 16과 같은, 기아특수강내 자동차 부품 크랭크샤프트 제조용 프레스단조 금형(대형)에 사용되어 기존 SKD61(질화) 대비 수명평가 중에 있으며, 2000톤 자유단조기의 Anvil 금형에 사용되어 기존 STF4에 비하여 조기 합몰과 빠른 열마모를 완전히 해결하여 우수한 금형수명 뿐만아니라 피가공재의 형상제어를 용이하게 하였다.

T사의 열간 소형 프레스단조 공정에서는 기존 SKD61에 비하여 6배의 수명이 확보되었으며, 현재 국내 베어링 제조업체 및 볼트·너트 제조업체의 포머형 단조 금형에 적용되어 기존 수입 Matrix 하이스강, SKD61 및 그 개량형과 대비하여 수명평가 중에 있다.

## 6. 응용분야 및 적용사례

기존 수입 Matrix 하이스계 고속도공구강의 대체와 국내 가혹한 조건하 금형수명이 문제시 되고 있는 공정내 수명향상을 목적으로 개발된 기아특수강의 KCW1, KCW2, KHW1, KHW2는 크게 구분하여, 절단금형, 단조금형, 압출금형, 전조금형 및 다이캐스팅 금형에 사용되거나 적용중에 있다.

냉간 절단금형중, 대부분 수입 완제품 금형으로 사용되어온 Scrap Shear Knife 에는 당사 고철 절단기(후지카 설비)내에 적용되어 기존 완제품 금형으로 수입되어 사용되던 DCH345(HRC53) 대비 2.5~3배의 수명을 나타내었으며, 현재 KHW1으로 대체되었다.

스테인레스강 및 비철금속 냉간 절단용 Slitting Knife와 Chopper Knife는 국내 스테인레스 생산 업체인 K사 및 S사에서 KHW1으로 적용 Test중에 있으며, DH32의 조기파손이 문제시 되고 있는 K사의 특수강 절단 브레이드에도 적용중에 있다.

φ 12mm Round Bar 냉간 Shear Knife는 당사 Coil to Bar Line내 특수강 절단 브레이드로서 KCW1이 사용되고 있으며, 기존 SKD11 대비 3배의 수명을 보이고 조기 파손되는 문제점을 해결하였고, 당사 및 자동차 완성업체 H사의 기존 Matrix 하이스 B강(φ 35~45mm 특수강 절단용)의 대체가 진행중에 있다.

열간 절단 브레이드에의 적용은 당사 열간(1150~1200℃) 소형압연 Line내 특수강 환봉(φ 60mm Round Bar) Shear Knife에 KCW1(질화)이 사용되어 기존 SKD61(질화) 대비 2.3~3.5배의 수명을 보이고 조기 열마모의 문제점을 해결하였다. Billet Shear Knife는 당사 열간(1150~1200℃) 대형압연 Line내 특수강 Billet 절단 브레이드로서 KHW1이 적용중에 있으며, 당사 Bloom Shear Knife에도 적용중에 있다.

압출금형의 경우, 기존 동 및 동합금 압출업체인 D사, L사, DS사 P사 등에서 압출금형 및 압출공구(Stellite6, Inconel718, SKD62 등)가 대체되었거나 적용중에 있으며, 비금속 단조금형의 적용이 진행중에 있다. 다이캐스팅 금형의 경우, 수입소재 SKD62를 사용하고 있는 K사 및 N사에서 KHW2로 적용되고 있으며, 그 외 냉간 전조금형, 인장시험기의 지그, 압축시험기의 압축용 공구, 동 피니싱용 금형, 주화제조용 금형, 냉간 압연롤, 내마모용 기계부품, 냉간 및 열간 가이드롤러 등에 사용되거나 적용중에 있다.

## 7. 결 론

산업자원부의 산업기반기술 기초소재 개발 연구로서 개발되어 신기술인정 KT마크와 우수품질인증 EM마크를 획득한 KCW1, KCW2, KHW1, KHW2는 오랜기간동안 축적된 기아특수강의 특수강 제조기술의 결정체중의 하나로서, 새로운 합금설계 및 제조공정 설계를 이용하여 기존 고가로 수입되어 오던 수입 Matrix 하이스계 고속도공구강 보다 우수한 물리적성질 및 기계적특성을 가지고, 국내 Matrix 하이스계 고속도공구강의 대체를 가능하게 하였다.

또한, Matrix 하이스계 고속도공구강외에 수입되고 있는 SKH51, SKH55, SKH59, SKD11, SKD61 및 그 개량형 공구강의 대체가 가능하게 되어 금형의 장수명화가 이루어지게 되었다. 따라서, 기아특수강의 고인성, 고강도 저합금 고속도공구강은 국내 금형소재의 수입대체에 큰 기여를 하고 있으며, 당사는 금형 장수명화에 따른 금형비 절감 및 작업의 효율화로서 국내 금형 사용업체의 국제 경쟁력 향상에 노력하고 있다.