

# 금형용 강의 최근 동향

横井 大円<sup>1</sup>

## Recent Tendency of Mold Steel in Japan

D. Yokoi

### 1. 서론

최근의 자원, 에너지, 환경문제나 소비자의 욕구의 다양화 및 제품 라이프 스타일의 단명화 등을 배경으로 자동차, 가전, 정보기기 산업에 있어서 제조기술은 다양화하고 고도화되어 왔다. 이와 더불어 이들 산업의 기반을 지탱하는 금형 산업은 크게 변화하고 있다[1~4]. 금형 산업을 둘러싼 환경은 가전, 자동차 산업을 비롯하여 생산의 세계화 동남 아세아 제국의 대두 등에 의하여 다시금 치열해 지고 있다. 가격적으로 불리한 국내부품 메이커에서는 종래보다도 고도한 제조법의 개발이 진행되고 금형의 사용현황은 종래와 비교해 보잘 것 없는 점도 가혹한 환경을 만들어 가고 있다. 자동차 관련에서는 환경문제나 충돌 안정성 확보등을 배경으로 차체 경량화나 강성향상에 대응하여 고장력 강판 등 피가공제로서 고강도강의 사용비율이 향상되었다. 동시에 net shape 화도 진행되고 있으며 금형 수명의 저하가 뚜렷한 분야도 있다. 또 제품의 다양화 및 수명과 단명화 등에 의해 다품종 소량 생산의 대응도 중요한 과제로 되어 있다. 금형을 둘러싼 환경의 변화에 따라서 금형제작에 있어서는 고품질화 저비용 단납기의 대응이 전에도 증가하여 중요하게 되었다. 그 때문에 금형용 강에 관하여서도 이것들의 욕구에 대응할 수 있는 신뢰성이 높은 재료가 바람직하게 되었다. 재료 개발의 면에서는 금형제조 사용자 상황을 고려

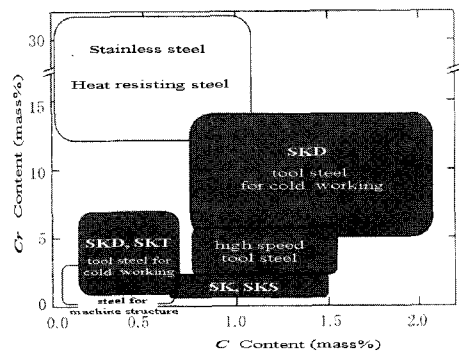


Fig. 1 Contents of C-Cr % in tool steel

한 재료개발 즉 가공성, 열처리, 표면처리 등도 포괄적인 개발이 불가결하게 되었으며 금형 수명까지 포함한 전체에서 코스트, 에너지 로스의 최소화가 목표가 된다. 한편 최근에 스크랩, Ni, Mo, V 등을 주요 원료로 한 가격변동은 특수강 메이커에서 해결할 수 없는 상황으로 되어 있으며 이것들의 원료 시황에 좌우되기 어려운 금형용 강의 공급에 대한 요망도 높아가고 있다. 본 원고에서는 열간 및 냉간 금형강을 중심으로 그 기초특성, 최근 동향, 나아가서 주변 기술을 포함해서 소개하고자 한다.

### 2. 금형용 강의 개요

#### 2.1 금형용 강의 종류

공구강의 생산량은 조강 생산량의 약 0.1% 정

1. 山陽特殊製鋼(株)研究·開發 center 高合金鋼 group (우)672-8677 姫路市飾磨区中島3007, Japan  
 - 技術解説: 塑性の加工(日本 塑性加工 學會誌) 第48卷 第 553 号 pp. 85-90(2007.2)  
 - 번역자: 박정서(자유번역가), 김인수(금오공과대학교 신소재 시스템공학부, 교수)

Table 1 Chemical composition of mold steel for hot working and cold working (mass%)

Sort	Types of steel	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Co
Hot working mold steel	SKD4	0.39	≤0.4	≤0.6	—	2.50	—	5.50	0.40	—
	SKD61	0.37	1.00	≤0.5	—	5.00	1.25	—	1.00	—
	SKD62	0.37	1.00	≤0.5	—	5.00	1.25	1.25	0.40	—
	SKD7	0.33	≤0.5	≤0.6	—	3.00	2.75	—	0.55	—
	SKT4	0.55	≤0.35	0.80	1.65	0.85	0.35	—	—	—
Cold working mold steel	SKS3	0.95	≤0.35	1.05	—	0.75	—	0.75	—	—
	SKS31	1.00	≤0.35	1.05	—	1.00	—	1.25	—	—
	SKS93	1.05	≤0.5	0.95	—	0.40	—	—	—	—
	SKD1	2.10	≤0.5	≤0.6	—	13.5	—	—	—	—
	SKD11	1.50	≤0.4	≤0.6	—	12.0	0.90	—	0.25	—
	SKH51	0.85	≤0.4	≤0.4	—	4.15	5.00	6.1	1.90	—
	SKH55	0.90	≤0.4	≤0.4	—	4.15	4.95	6.2	1.95	5.0
	SKH57	1.27	≤0.4	≤0.4	—	4.15	3.50	10.0	3.35	10.0

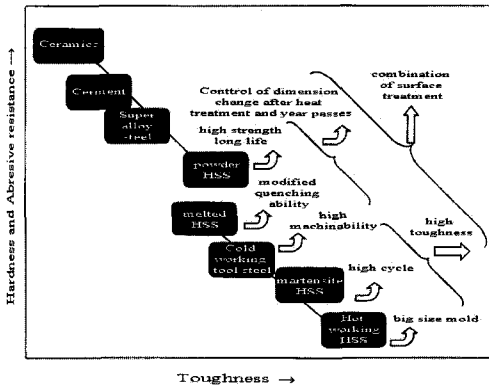


Fig. 2 Development tendency and Hardness-toughness of tool steel

도라고 한다. 세계의 조강 생산량이 약 11 억톤 (2005 년)에 달하므로 세계의 공구강 시장은 약 100 만톤/년이며 일본은 약 18 만톤/년 에서 최근 에 증가 경향이 있다[5]. 공구강은 냉간 금형용, 열간 금형용 및 플라스틱 금형용으로 대별된다. 냉간 및 열간 금형강의 대부분은 JIS 로 규격화 되어 있다. 플라스틱 금형용 강으로서는 AISI 의 P6, 20, 21 이 규격화되어 있는 정도이다. 경면도 등 요구특성에 대응하여 적용되는 강종은 SC, SCM, 석출경화계, 스테인리스계 등 여러 가지이며 각 메이커가 독자적으로 개발한 금형용 강이 많이 쓰이고 있다. 그림 1 에 플라스틱 용도물 제외한 금형용 강의 C 량-Cr 량(mass%)에 있어서 의 구분을 나타냈다. 표 1 에는 각각의 대표적인 금형용 강의 화학성분을 나타냈다. 금형용 강은 다른 철강재료와 비교해서 고 C, 고 Cr 이며 나아

가서 Ni, Mo, V, Nb, W, Co 등의 합금원소가 다양 으로 첨가되어 있는 것이 커다란 특징이라 말할 수 있다. 금형용 강은 용도에 따라서 다양하게 쓰이는 방법이 있으며 그 요구특성은 다양하게 펼쳐진다. 그림 2 에는 금형용 강의 경도-인성에 있어서의 위치를 나타내어 최근의 개발 동향을 정리하였다. 금형에는 분말 하이스, 용제 하이스, 냉간 공구강, 매트릭스 하이스, 열간 공구강이 쓰이고 있으며 실용적으로는 JIS 규격강 이외에 각 특수강 메이커에 의해 개발된 브랜드 강이 쓰이고 있다. 각각의 개발 동향에 대하여서는 후술하겠지만 재료의 특성향상과 병행하여 열처리 최적화, 표면처리와의 조합, 손상해석, 수명예측 등 주변기술의 다양화, 고도화에 의하여 대응이 중요하게 되었다.

## 2.2 열간 공구강의 기본 특성

열간 공구강은 금형 치수가 비교적 크고 특히 인성이 중요시 되기 때문에 저 C 계(0.25~0.6%)가 채용되고 있다. 그림 3 에 SKD61 의 매크로 조직 (퀀칭 및 템퍼링 상태)의 일례로서 a)광학현미경 사진 b)전자현미경사진을 보여주고 있다. 열간 공구강에서는 인성을 중시하고 또한 내마모성을 확보하기 위하여 서브 마이크론 이하의 탄화물을 분산시키고 있다. 열간 가공용 금형에는 SKT4 계와 SKD61 계가 많이 사용되고 있다. 전자는 단조시에 큰 충격력이 작용하는 햄머용 금형으로서 후자는 강도와 더불어 내마모성, 내히트체크성, 내균열성이 요구되는 온간 및 열간 단조 금형이나 알루미늄 압출의 다이캐스팅 등의

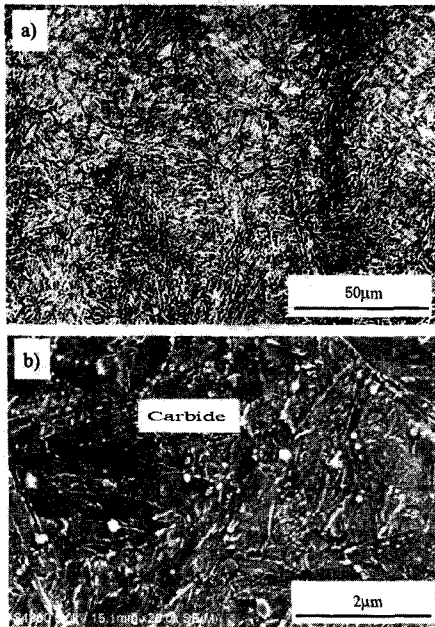


Fig. 3 Microstructure of SKD61

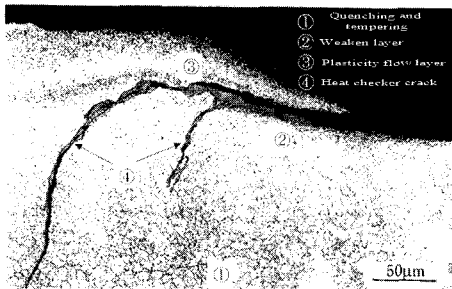
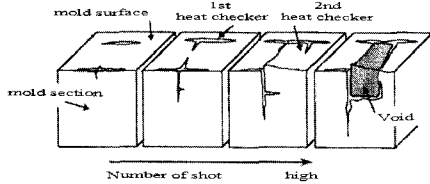


Fig. 4 Macrostructure of damaged mold

금형에 적용되고 있다. 그림 4 에는 대표적인 손상 상태의 하나인 히트체커에 의한 균열 성장의 모식도와 손상된 금형 단면의 매크로 조직의 일례를 나타내었다. 피가공재에서의 열영향에 의한 형재 표면은 연화하고 가열 냉각이 되풀이 됨에 따라 국소적인 팽창 및 수축에 의해 히트체커(거북등상의 균열)가 생긴다. 히트체커는 합류, 합체하면서 성장하며 박리와 깨어짐의 원인이 된다. 다이캐스팅 등의 의장성이 중요시되는 용

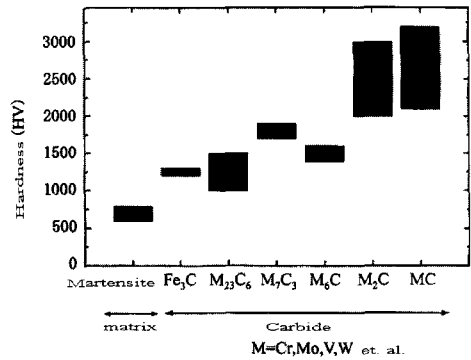


Fig. 5 Hardness of carbide and martensite

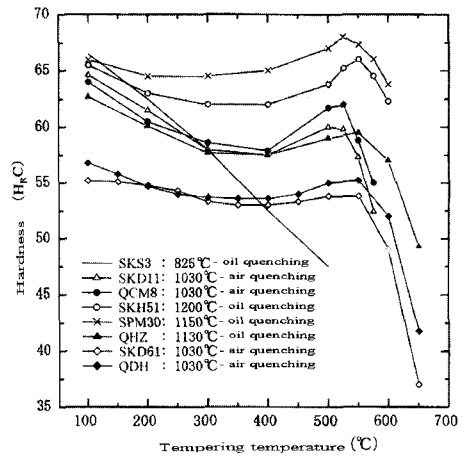


Fig. 6 Hardness curve after quenching and tempering of tool steel

도에는 히트체커에 의한 표면의 거칠기 자체가 문제시 된다. 열간 금형이 손상상태는 히트체커 이외에 균열, 마모, 켄칭 손상 등이 있으며 금형용 강에는 인성, 고온강도, 연화저항, 내마모, 내 켄칭, 내용선성 등이 필요하게 된다. 또 금형의 대형화에 대응하여 켄칭성, 인성의 확보 등도 과제 되어 있다.

### 2.3 냉간 공구강의 기본 특성

냉간 공구강에는 경도, 강도 및 내마모성이 요구되기 때문에 고 C(0.7%~2.4%)로 Cr, Mo, V, W 등 경질 탄화물을 형성하는 합금원소가 많이 첨가되어 있다. 그림 5 에 탄화물 매트릭스의 경도를 나타냈다. 탄화물은 매트릭스와 비하여 고경도이며 내마모성을 확보하는 종류에 중요한 역할을 말한다. 열간계에 비하여 분산시킨 탄화물은 크고 함유량도 많은 것이 특징이다. 일반적으로 경

질 탄화물은 많을 록 내마모성은 향상되지만 인성은 역으로 저하하는 것으로 알려지고 있으며 성분 설계에 의하여 금형용 강도의 특성은 크게 달라진다. 그림 6 에 각종 강의 퀴칭, 템퍼링 정도 곡선을 나타냈다. 공구강의 대부분은 500~600℃에서 생기는 2 차 경화를 이용하는 것으로 고경도와 인성의 양립을 꾀하고 있으며 열간계가 약 35~55HRC 로 사용되는 데에 대하여 냉간계의 대부분은 약 55~65HRC 로 사용된다. JIS-SK3, SKS3, SKD11 은 냉간 3 종강이라 불려지며 예로부터 사용되어온 대표적인 냉간 공구강이다. 냉간 프레스, 냉간 단조, 화인 블랭킹, 날카로운 날 등의 용도에 쓰이고 있다. 고속도공구강(용제 하이스)은 절삭 드릴 등의 소재로서 사용되고 있는 SKH51 이 대표적 강종이며 냉간 금형용으로서도 쓰이고 있다. 냉간 금형의 마모 손상 형태는 마모, 결함, 변형, 균열, 가열균열, 치핑 등이 있으며 마모 상태에 대응한 형태의 선택이 중요하다. 종래의 냉간 금형에서는 내마모성이 증시되어 왔지만 피가공재의 고강도화, near net shape 에 의한 응력집중의 증가에 따라서 과부하에 의한 균열, 반복 응력 하중하에 의한 피로 파괴로 수명을 다하는 케이스가 증가하고 있으며 균열과 결함의 억제는 커다란 과제이다.

### 3. 열간 금형용 강에 있어서의 최근 동향

열간 가공에는 온·열간 단조 알루미늄 및 마그네슘 다이캐스팅, 알루미늄 및 동의 압출 등이 있다. 최근 열간 가공품의 대형화, 복잡 형상화, 리브의 박막화, 수랭공이나 핀공의 증가 등에 따라 크게 위험성을 경감하고 신뢰성이 높은 금형용강으로 인성이 따로 고려된 작은 금형용 강에 대한 요구가 높아지고 있다[6-8]. 열간계에는 SKD61 을 기본으로 하는 합금설계, 제조 프로세스의 관점에서 개량이 진행되고 있다. 열간 금형의 주요한 마모 손상형태는 마멸, 변형, 균열이다. 금형용 강에는 고온 강도, 연화저항, 인성(내충격성, 파괴인성, 균열진전)의 향상이 필요 된다. 또 용도의 대응한 재료 특성을 구비하는 것도 필요하며 이를 테면 다이캐스팅 등으로 수랭 공의 내식성 향상[9] 등의 조합이 행해지고 있다. 금형설계의 측면에서는 주로 고 Mo, 저 Si 화에 의한 신종강 개발이 진행되었다. 전자는 고온강도, 내히트체크성, 퀴칭성 후자는 연성, 인성의

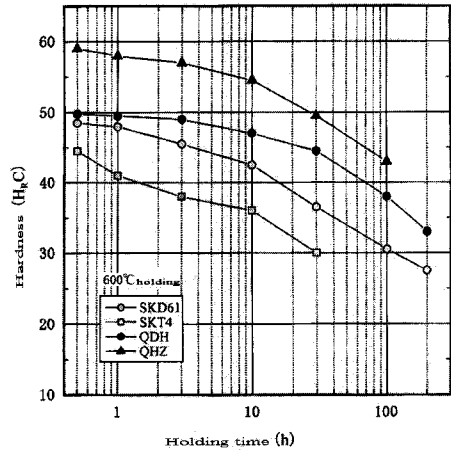


Fig. 7 Resistance of weakening at 600°C temperature holding

향상에 크게 영향을 주는[10~11] 일례로서 그림 7 에 열간 공구강의 고온 연화 저항성을 보였다. 초기 경도가 같다고 해도 합금성분에 의해서 고온 연화저항성이 크게 다르며 이를 테면 SKD61 보다도 고 Mo 화 하여 그 뒤에 저 C, 저 Cr 화하는 QD1 은 SKD61 보다도 뛰어난 고온 연화 저항성을 나타내는 것을 알 수 있다 또 그림 8 의 경도와 샤르피 충격값과의 관계, 그림 9 에는 경도와 파괴인성값의 관계를 나타냈다. 저 Si 는 강재 내부 성상의 개선에 커다란 효과가 있으며 이를테면 SKD61 보다도 저 Si 화한 QDN 은 SKD61 보다도 뛰어난 인성을 보이는 것을 알 수 있다. 저 Si 에 의한 고온 강도의 증대 내히트체크성의 개선 등 많은 이점을 얻을 수 있으나 한편에서는 절삭성을 악화시킨다고 하는 문제점이 지적되어 왔다. 그것 때문에 Si 의 조정, 쾌삭 원소의 첨가, 기계 가공법의 개량 등 여러가지의 접근이 이루어지고 있다[12,13]. 열간 단조 등 높은 응력부하가 가해지는 용도에서는 하이스의 기지(매트릭스)성분을 기본으로 고온강도와 인성을 증가시킨 매트릭스 하이스의 채용이 증가했다. 그림 8 에 보이는 바와 같이 매트릭스 하이스는 55~60HRC 의 경도로 높은 인성이 얻어지는 것으로 냉간계에서도 그 용도는 확대되고 있다 [14,15]. 제조 프로세스면에서는 제강 공정에서의 불순물 농도 비금속 개재물 및 편석의 저하 단조방법의 개선에 의한 강인성의 향상, 이방성의 저감 등 품질의 안정화를 도모하고 있다[16]. 여러가지 개선에 의해 범용 규격재의 품질은 종래

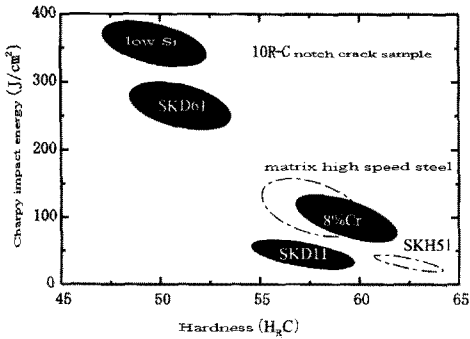


Fig. 8 Hardness and energy of Charpy impact test

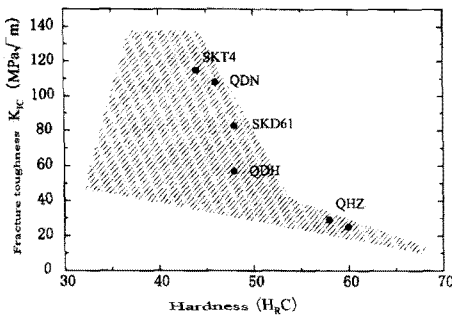


Fig. 9 Hardness and fracture toughness

보다도 큰 폭으로 증가하고 있으며 수명의 안정화에 공헌하고 있다. 한편 다이캐스팅 등의 금형 대형화나 생산의 고 사이클화가 진행되는 분야에서는 SKD61 고품위재의 적용이 넓혀지고 있다 [18,19]. SKD61의 고품위재는 합금첨가량은 기본적으로 같지만 불순물 원소를 극력 저감하여 ESR(electro-slag, 재용해로)나 VAR(진공 아크 재용해로)등이 특수 용해 균질화 열처리 등을 적용하고 있다. 대형품의 인성 개선을 노린 것으로서 금형수명의 안정화에 기여하고 있다. 해외에서는 다이캐스팅 용도의 SKD61을 받아 들이는 기준으로서 NADCA(북미 다이캐스팅협회의 품질기준 [19])가 잘 알려지고 있으며 일본에서도 규격강의 프리미엄 그레이드에 대응하는 인식이 높아지고 있다. 또 금형의 대형화에 따라서 특히 켈칭처리의 역할이 더욱 중요하게 되었다. 켈칭냉각속도의 저하에 따라서 인성은 저하하는 것으로 알려지고 있으며 특정 온도 영역(입계탄화물 석출영역이나 상부 베이나이트 변태온도영역)에서의 급속 켈칭 냉각이 중요하다. 한편 금형은 복잡 형상화, 국소적으로 박막화 하고 있으며 켈칭처리를 행할 때 저 뒤틀림과 균열변형이 생기

지 않는 것이 요구된다. 최근에서는 10 bar를 넘는 고가 타입의 가스 가압식 진공로나 유랭이 가능한 설비면에서의 개량이 가능한 컴퓨터 해석을 이용한 균일 냉각이 행해지고 있다. 이에 덧붙여 열처리의 안정화와 금형의 특성을 저하시키는 조직의 출현을 장시간으로 이동시킨 금형강의 개발 등 열처리의 안정화를 향한 개발이 행해지고 있다. 또 금형수명을 대폭 저감시키는 국소적인 조기 히트체크나 조기 마모도 많아지고 있으며 손상형태의 표면처리 적용도 증가하고 있다.

#### 4. 냉간 가공용 강의 최근 동향

냉간가공에는 냉간 단조, 전조, 구부림, 굴곡 가공, 화인 블랭킹, 롤 성형 등이 있다. 냉간 금형은 열간 금형에 비하여 고경도로 사용되며 또 고응력이 부하되기 때문에 균열 마모에 의한 조기 수명에 이르는 일이 많다. 일반적으로 경도가 60~63HRC를 넘으면 인장강도, 피로강도가 급격하게 저하하는 것으로 알려지고 있으며 인성과 양립을 어떻게 꾀하는가 포인트가 된다. 경도가 높아질 수록 금형 수명에 미치는 금형표면의 마무리 정도, 사용중의 표면손상의 영향도 커지기 때문에 주의가 필요하게 된다[20,21]. 최근의 금형 동향으로서는 금형의 장 수명화 고경도화에 따르는 사용중의 금형 정도의 유지, 금형 lead time의 단축 및 비용절감을 위한 가공성 향상 열처리, 치수변형의 저감이 다시금 중시되게 되었다. 또 고부하의 냉간단조 프레스형에서는 PVD, CVD, TD 등 금형표면에 경질막을 부여하는 표면처리의 역할도 크다. 냉간계에서는 SKD11, SKH51을 베이스로 하여 개발이 진행되어왔다. 냉간금형의 주요한 마모 손상형태는 마모, 박리, 결함, 큰 균열, 변형 및 가열균열이며 형제에는 경도, 내마모성, 강도 및 인성의 향상이 요구된다. 이것들의 기본특성과 합쳐서 열처리 변형 및 경년 변화에 대하는 치수 안정성, 피삭성, 열처리 특성 등의 재 특성도 적용하는 용도에 대응하여 구해지게 된다. 합금 설계의 면에서는 SKD11을 베이스로 한 합금성분의 최적화로 인한 탄화물 제어가 진행되고 있다. 그림 10에 SKD11과 8% Cr계의 일례로서 QCM8의 매크로 조직을 나타냈다. SKD11에 대하여 저 C, 저 Cr화하는 것에 의하여 SKD11의 균열, 결함의 요인

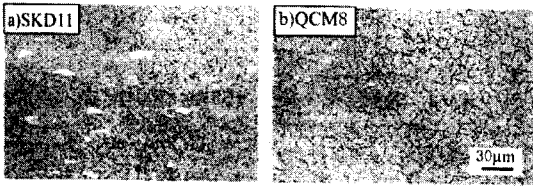


Fig.10 Microstructure of SKD11 and QCM8

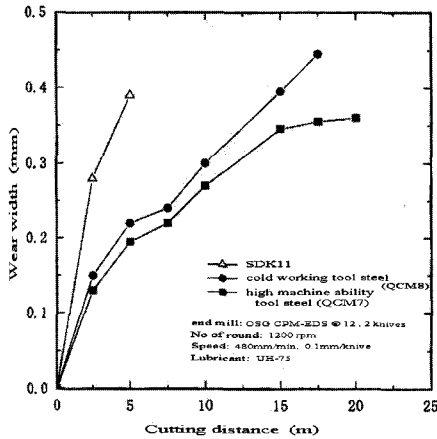


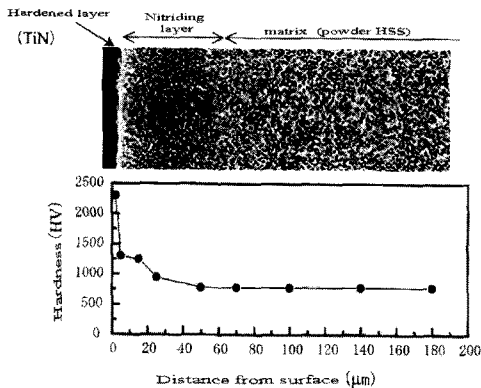
Fig.11 Machine ability in end mill of tool steel for cold working

으로 되어있던 조대 탄화물의 생성이 억제되어 있는 것을 알 수 있다. 나아가서 고 Mo 화한 것으로 그림 6 에 퀴칭 및 템퍼링 경도를 보인 바와 같이 고온 템퍼링은 약 62HRC 의 경도가 얻어진다. SKD11 에 비하여 탄화물이 균일 미세하게 분산하고 있으며 그림 8 에 보인 바와 같이 충격값이 SKD11 의 3~4 배와 경도와 인성의 밸런스에 뛰어나다는 것에서 부터 균열과 결함이 생기기 쉬운 용도를 중심으로 폭 넓게 이용되고 있다. 경질 탄화물은 절삭 칩에 데미지를 주는 것에서 탄화물의 제어는 절삭성의 개선에서도 중요하다. 최근에는 더욱 쾌삭 원소를 첨가하여 절삭성을 개선하는 강종도 많이 개발되고 있다 [22~25]. 일례로 그림 11 에 냉간 공구강의 엔드밀 절삭성을 나타냈다. 조대 탄화물을 저감한 QCM8 의 피절삭성은 SKD11 보다도 양호하며 절삭원소를 첨가한 QCM7 에서는 다시 피삭성이 향상되고 있는 것을 알 수 있다. 일반적으로 쾌삭 원소를 첨가하면 인성이 크게 저하한다고 알려져 있으나 QCM7 과 같이 쾌삭 원소의 첨가와 탄화물의 제어를 동시에 꾀하는 것으로 인성과 피삭성을 양립한 강종이 실용화 되고 있다. 제조

프로세서면에서는 열간공구강과 같은 조합이 행해져 왔던 것 외에 용제법에서는 합금첨가량이 많은 것에 기인하는 제조사의 문제점이 해소가 진행되어 보다 안정화 재료 품질을 제공할 수 있게 되었다. 이밖에 분말 공법을 이용한 분말 고속도강(분말하이스)의 적용도 진행되었다. 분말하이스는 종래의 용제하이스에 비하여 보다 고합금화가 가능하며 또 탄화물을 균일 미세하게 분산시키는 것이 가능하다. 또 용제법에 비해 합금원소첨가의 자유도가 높고 내식성의 부여 등이 목적에 대응한 합금 설계도 가능하다. 분말하이스에서는 칩핑의 기점으로 되는 탄화물이 미세하기 때문에 내마모성, 내 칩핑성이 비약적으로 향상된다. 다시 말하면 가혹한 용도로는 개재물이 칩핑의 기점이 되는 가능성도 높고 덧붙여서 고성능화를 목표로 하는 고정정화가 꾀해지고 있다[26]. 최근에는 내마모성, 내 칩핑성을 양립시키는 새로운 공법으로서 스프레이 포밍법이 실용화되어 가고 있다[27]. 스프레이 포밍법은 용융한 금속에 불활성 가스를 분무하여 액적상으로 한 후 기판상에 누적시켜 응고시키는 방법이다. 분말법과 같이 HIP 처리(열간 등방압 프레스)을 필요로 하지 않고 제조공정을 단축시키는 것(분말제품에 가까운 제품이 얻어지는 것 등이 특징이다. 그밖에 조직제어에 의해 강인성을 개선하는 방향으로서 잔류 오스테나이트( $\gamma_R$ )의 유효 이용이 주목되고 있다[28~30]. 종래의 공구강에서는  $\gamma_R$  은 경도나 항복응력의 저하, 열처리 후의 치수정도, 정년 변화에 불리한 관점에서 그 양을 되도록 적게 하는 노력이 이루어져 적극적으로 이용되지 않았다. 경도가 높은 마르텐사이트 소지 중에 연한  $\gamma_R$  을 분산시키는 것에 의해 항복강도를 낮추는 일이나 C 의 흡수효과를 포함한 템퍼링 취성억제 작용 이외에 1)충격을 흡수한다, 2)균열을 둔화시킨다, 3)균열 경로를 변화시키는 등의 효과가 있으며 인성, 피로특성향상에 의해 유효 이용이 기대된다.

### 5. 주변 기술동향

금형에 적용시키는 표면처리는 표면 퀴칭법(고주파 퀴칭, 레이저 퀴칭 등) 확산 침투법(침탄, 질화, TRD 등), 표면 피복법(CVD, PVD, 육성용접, 용사, 산화 등), 고속 충돌처리법(스피드 피닝, WPC 등)으로 대별된다. 열간계에서는 질화처리가 주체



**Fig.12 Hardness and sectional microstructure of complex surface treated(nitriding + hardened) mold surface**

이며 가스질화, 플라즈마 질화, 저온염 등의 염욕 질화 등이 적용되고 있다. 이들 방법은 어느 것이나 일장 일단이 있으며 경질 피막의 종류에 의해서도 특성이 다르다. TRD 나 PVD 법은 막의 밀착성과 접착성이 뛰어나며 고면압이 부하되는 용도나 내가열균열성이 요구되는 용도에 적용되고 있다. 처리온도가 1000℃로 높고 모재의 변형이나 치수변형이 생기기 쉽기 때문에 처리 전후의 변형저감이 문제로 되어 있다. 한편 PVD 법은 CVD 법 보다 처리 온도가 낮고 변형 치수변형이 억제된다. 막의 밀착성은 CVD 나 TRD 법보다도 뒤떨어지기 때문에 저면압으로 치수 정도가 요구되는 금형에 적용된다. 접착성이 좋지 않기 때문에 복잡형상의 적용이 어려운 것과 막의 내박리성이 과제이다. 하지 처리나 모재의 특성 개선 등에 의한 밀착성 향상이 기대된다. 이밖에 플라즈마 CVD(PECVD)법에서는 원료에 가스를 써서 저온의 플라즈마 화학반응에 의해 밀착성과 치밀성이 뛰어난 막의 형성이 가능하다[34]. 또 최근에는 질화, 침탄 등의 확산 경화처리 플러스 경질 피막으로 이루어진 복합처리가 주목되고 있다[35,36]. 복합 표면 처리에서는 그림 12 에 제시한 것과 같이 모재와 경질 피막의 경도차를 질화 등의 확산처리로 채운 경사구조로 되어 있으며 경질피막의 박리강도가 크게 향상하는 것이 알려지고 있다. 실용면에서도 복합표면처리의 적용에 의한 금형수명의 개선 사례가 많이 보고되고 있으며[37,38] 손상상태에 대응하여 여러 가지의 조합을 선정하는 것이 가능하다. 고응력이 부하되는 때의 기계와 경질피막과의 계면에 있어서의 분할 등 접합

계면의 제어가 앞으로의 과제가 된다고 생각된다. 또 경질 피막의 종류도 다양화되고 있으며 DLC(diamond like carbon)와 같이 표면 평활성과 자기 윤활성을 겸한 막으로는 냉간 프레스에 있어서의 무윤활가공의 가능성이 기대되고 있다. 그 밖에 레이저용접[39], 레이저피닝[40], EDC(방전표면처리)[41]등도 금형에의 적용이 시도되고 있으며 앞으로의 기술개발이 요망된다. 최근에는 금형의 손상평가 수명예측기술[42,43]을 이용한 것으로 여러 종류의 조건을 최적화하는 것이 가능하게 되어 있으며 금형 수명향상, 부품제조에 있어서 에너지 손실의 최소화가 기대된다.

## 6. 결론

본 원고에서는 열간 및 냉간 금형용 강의 동향을 중심으로 서술하였다. 저비용, 고품질, 단납기는 앞으로 더욱 중요하게 되는 과제이며 이것을 추구함에 있어서 금형용 강과의 역할이 크다. 글로벌화가 진행 중에 있어 일본 내에 재료의 안정된 품질과 용도에 대응한 강종의 공급체제가 새로이 평가되고 있으나 앞으로 다시 제조 및 품질면에서 레벨업을 꾀해 나가는 것이 요구된다. 한편 표면처리 기술 등 주변 기술과의 융합, 상승효과에 의한 성능향상도 중요한 과제이다. 해석 기술의 진보도 금형 수명향상, 금형 제조 코스트의 저감에 공헌하고 있으며 여러 가지 기술분야, 다양한 각도에서의 조합이 앞으로 필요하다고 생각된다.

본 논문은 한국소성가공학회와 일본소성가공학회의 번역 게재 협정에 의하여 저자의 허락을 생략하고 번역하여 게재합니다.

## 참고 문헌

- [1] 奥野利夫·田村庸: 塑性と加工, 40-465 (1999), 925~931.
- [2] 松田幸紀: 塑性と加工, 42-480 (2001), 3~7.
- [3] 加田善裕: プレス技術, 43-4 (2005), 18~22.
- [4] 並木邦夫: 電気製鋼, 73-3 (2002), 183~188.
- [5] 鉄連統計 (2005 年)
- [6] 栢原芳郎: 特殊鋼, 53-6 (2004), 12~15.
- [7] 小森誠·廣田智之: 特殊鋼, 53-6 (2004), 20~23.
- [8] 榎本洗治: 特殊鋼, 53-6 (2004), 20~23.

- [9] 吉田潤二:素形材, 46-3 (2005), 45~49.
- [10] 塩田哲郎・井上幸一郎・太田明男・安居英則・小森誠:型技術者会議 2005, (2005), 154~155.
- [11] 横井大円:特殊鋼, 53-6 (2004), 40.
- [12] 田部博輔:特殊鋼, 53-6 (2004), 5-11.
- [13] 海野正秀・楸羅知暁・岡田康孝・村上大介・村上禮三・春野晴繁:鉄と鋼, 89-5 (2003), 89~94.
- [14] 福元志保・安藤光浩: 型技術者会議 2005, (2005), 240~241.
- [15] 中濱俊介:特殊鋼, 53-6 (2004), 41.
- [16] 清水欣吾:工具鋼, (2000), 176, 日本鉄鋼協会.
- [17] 長澤政幸・山口基・安藤光浩・田村庸・片岡公太:型技術者会議 2005, (2005), 230~231.
- [18] 井上幸一郎・大藤孝・市岡雄二・荒木利彦: 型技術者会議 2005, (2005), 228~229.
- [19] NADCA: ACCEPTANCE REFERENCES, Level of micro banding or micro chemical segregation in annealed H-13 steel, Product#207, (1990).
- [20] 西田友久・武藤睦治・辻井信博:日本機械学会論文集 A 編, 59-566 (1993), 2213~2219.
- [21] 松村勤・夏目喜孝:塑性と加工, 20-225 (1979), 957~961.
- [22] 吉田潤二:塑性と加工, 45-527 (2004), 1017~1021.
- [23] 阿部行雄・久保田邦親・田村庸・加田善裕・福元志保・山岡美樹:日立金属技報, 17 (2001), 87~92.
- [24] 久保田邦親・小松原周吾・羽原孝志・鳴海雅稔・山岡美樹:日立金属技報, 21 (2005), 45~52.
- [25] 館幸生・清水敬介・辻井信博・本辰郎:型技術者会議 2000, (2000), 208~209.
- [26] 日原政彦・永島洋: 型技術者会議 2005, (2005), 248~249.
- [27] 日原政彦・永島洋: 型技術, (2005), 74~75.
- [28] 須藤興一:熱処理, 32-1 (1992), 33.
- [29] 松田幸紀・須藤興一:電気製鋼, 64-3(1993), 140.
- [30] 横井大円・辻井信博・横山嘉彦・深浦健三: 鉄と鋼, 89-6 (2003), 96.
- [31] 森下雅則・麻田祐暉・千葉芳孝・原康介・安藤光浩・田村庸: 型技術, 7 (1999), 176~177.
- [32] 製品紹介: 電気製鋼, 74-2 (2003), 133.
- [33] 型技術協会 熱間金型の寿命改善委員会編:熱間用金型の寿命対策, 日刊工業新聞社, (2001).
- [34] 河田一喜:塑性と加工, 45-518 (2004), 153~157.
- [35] 池永勝・鈴木秀人:熱処理, 41-6 (2001), 305~312.
- [36] 安丸尙樹:まてりあ, 35-9 (1996), 969~975.
- [37] 池永勝・鈴木秀人:熱処理, 41-6 (2001), 305~312.
- [38] 森下雅則・横井大円・清水敬介: 型技術者会議 2001, (2001), 166~167.
- [39] Klaus Schmid・藤原美昭: 型技術者会議 2005, (2005), 236~237.
- [40] 八代浩二・佐野正明・倉元眞實: 型技術者会議 2005, (2005), 156~157.
- [41] 高石和年・岩城忠則・近藤俊郎・南幸一・佐佐木和幸・阿部保記:塑性と加工, 25-518 (2004), 183~187.
- [42] 森下弘一・鈴木寿之:塑性と加工, 45-520 (2004), 310~314.
- [43] 土屋能成:豊田中央研究所 R&D レビュー, 34-4 (1999), 3~12.