

## 技術解説

# 열간 단조용 비조질강

## Non-Heat Treatment of Hot Forging Steel

이준범

산업과학기술연구소

### 1. 서 론

기계 구조용 부품은 주로 탄소강을 압연 가공 또는 열간 단조 후 퀴칭, 템퍼링(이하 Q/T라 칭함) 처리(이하 조질 처리)를 실시함이 주 공정였지만 최근 자동차 업계 및 건설용 중장비 제작업체에서는 엔진부품, Pin, Arm류 등에 비조질강으로 전환하고자 시도하고 있다.

이러한 비조질강은 오래전 부터 독일에서 사용하여 일부 제품에는 사용 가능성을 연구사례로 보고된 적도 있으나 1979년 제2차 오일 쇼크 이후 외국에서 원재료 및 열처리 비용의 원가 절감을 기하면서 조질강(Q/T처리강)에 부합하는 비조질강의 사업성을 검토하기 시작하였다.

비조질강의 공정을 조질강과 비교한 것이 표 1<sup>1)</sup>에 나타내 듯이 주로 가공업체에서 실시되는 퀴칭, 템퍼링 등을 생략하고도 조질처리와 동등한 재질을 확보하는 것으로 이의 장점은 1) 소재 조질비의 에너지 절감 2) 공정 단축 3) 재고 간략화 4) 열처리 불량률의 저

감에 있다.

본 내용은 열간 단조용 비조질강의 현황과 개발 사례를 기술하고자 한다.

### 2. 비조질강의 기본적 고찰

#### 2.1. 조질강과 비조질강의 비교

일반적으로 조질강으로 사용되는 탄소강은 압연재를 가열한 후 열간 단조 가공한 후 퀴칭, 템퍼링하여 제품화하는데 이에 요구되는 기계적 성질을 JIS규격에 의한 강도 및 충격치 특성을 그림 1, 그림 2에 나타내었다. 따라서 비조질강은 궁극적으로 조질강의 기계적 성질에 만족하는 또는 향상되어야만 하는 것이 현재 연구의 목표이다.

또한 조질강과 비조질강의 차이를 제품의 단면 경도로 나타낸 것이 그림 3이다. 여기서 알 수 있듯이 비조질강은 표면부와 중심부의 경도차가 조질강에 비해 양호하고 또한 비조질강의 경우 size가 크고 적음에 별 차

표 1. 조질강과 비조질강의 공정비교

용 도	공 정		비 고
단조용	조질강	압연재 — 단조 — 냉각 — Q/T — 절삭가공	Crank Shaft
	비조질강	압연재 — 단조 — 냉각 — 절삭가공 (일부 냉각속도 관리)	Connecting Rod
절삭용	조질강	압연재 — 절삭가공 — Q/T — 마무리가공	Shaft, Pin
	비조질강	압연재(일부 제어압연) — 마무리 절삭 가공	

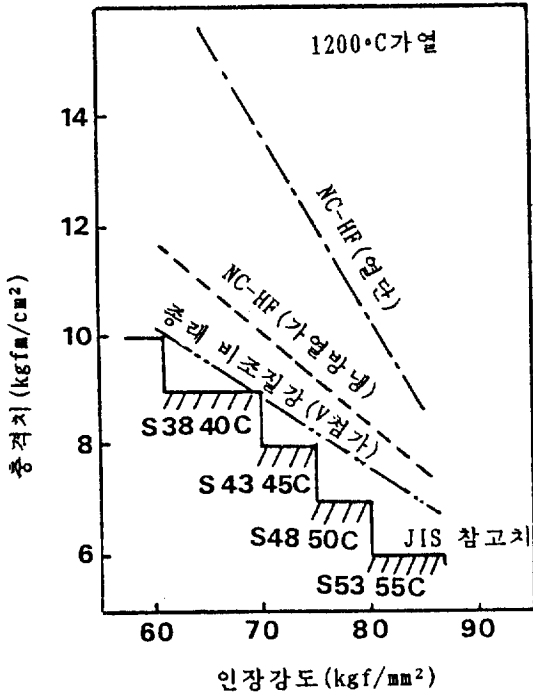


그림 1. 열간단조 성형부품의 강도, 인성관계

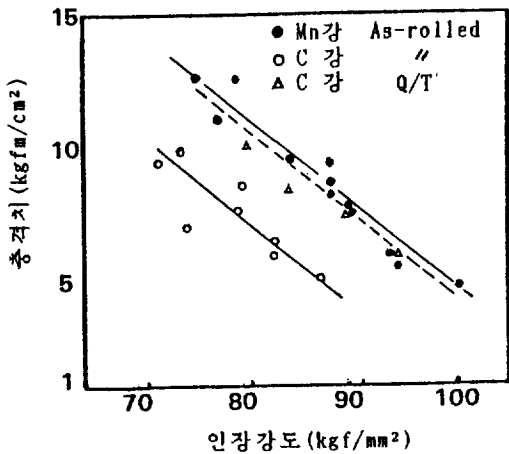


그림 2. 인장강도와 Charpy 충격치와의 관계

이가 없다. 따라서 비조질강은 기계적 성질이 균일하여 열간 단조시의 비틀림 현상이 적어 취급이 쉬운 강종이라 보여진다.

2.2. 비조질강의 강종

비조질강의 기계적 성질은 열간 가공, 냉각조건 등의

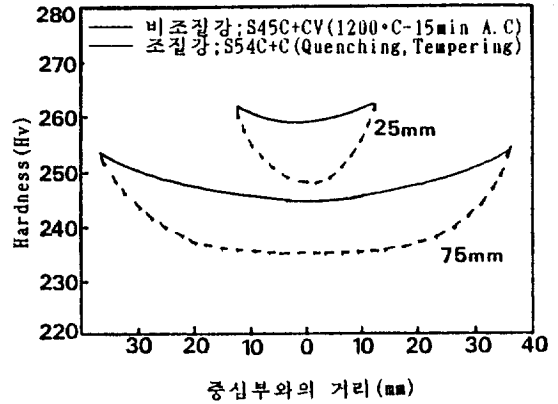


그림 3. 단면부의 경도 분포

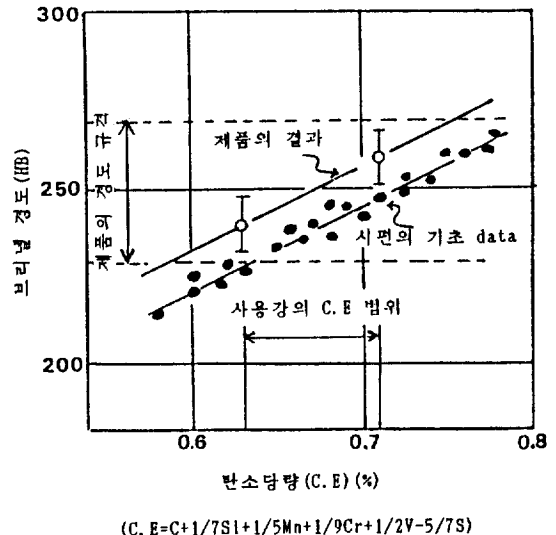


그림 4. 비조질강의 시험편과 실무품에서 탄소당량과 경도와의 관계

영향을 받지만 주로 화학 성분에 의해 결정된다. 특히 기본인 경도치는 탄소당량(C.E)과 비례 관계를 그림 4와 같이 나타내고 있다.<sup>2)</sup> 여기서 알 수 있듯이 요구되는 강도 수준은 성분계에 의해 결정되나 비조질강에 있어서는 조질강의 퀴칭, 템퍼링 처리를 생략화 하면서 강도를 상승시키는 것으로써 탄소강에 강화시킬 수 있는 원소가 첨가되어야 한다.

최근 비조질강의 강화를 볼 때 미량합금 첨가원소는 Ti, Nb, V 등이 대표적 원소이지만 압연 또는 단조 가열온도(1100~1250°C)에서의 오스테나이트 중에

충분히 고용되는 원소로는 V이 가장 많이 이용되고 있다<sup>3)</sup> 또한 V첨가강은 냉각시에 타 강종과 다른 성질이 있어 이를 나타낸 것이 그림5이다. 이 그림은 V첨가시 함유량과 냉각시 속도 변화를 경도로 나타낸 것으로 0.2% 탄소강에 비하여 V첨가된 (0.2%V, 0.5%V) 강은 냉각 속도가 약 600°C/min 이하로 되면 경도는 상승되면서 60~80°C/min에서는 최대 경도치에 도달하게 된다. 이는 V첨가에 의한 냉각시에 석출에 의한 강화로 비조질강의 강종 선택 원소로 중요한 인자로 생각할 수

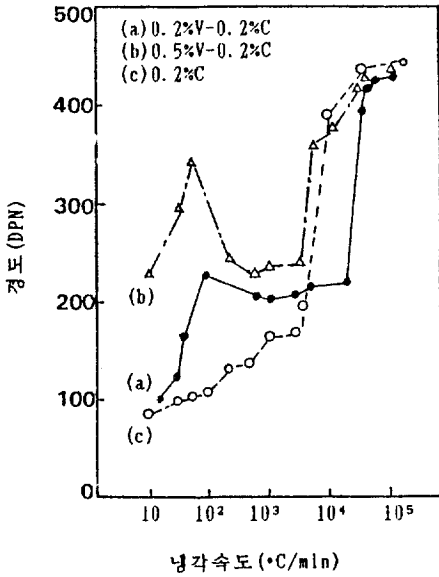


그림 5. 경도와 냉각속도와의 관계

있다.

표 2는 비조질강의 사용되는 화학성분의 예로<sup>4)</sup> 기본적 화학성분은 Mn, Cr이 특이하고 특수원소로 표현되지 않았지만 Ti, Nb, V 등을 미량 첨가한 것으로 생각되고 또한 냉각시의 조직 제어로 ferrite-pearlite, bainite로 하면서 비조질강의 인성 확보면에 중점 관리함을 짐작할 수 있다.

2.3. 비조질강 사용상 문제점

전술한 바와 같이 비조질강의 사용은 조질강에 비하여 공정 생략화의 장점은 있지만 실제 사용시 부품의 기계적 성질을 충분히 만족해야만 하나 현재까지는 다소 미흡한 점이 있다. 표3은 일본 아이제 제강의 비조질강의 용도별 강종명을 JIS규격으로 대비한 자료로 이에 대한 조질강과 비조질강의 불성치를 그림 6

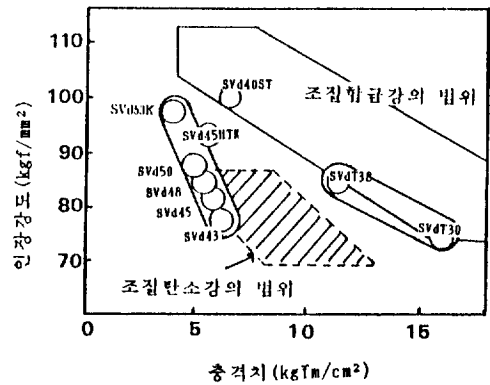


그림 6. 질삭용 비조질강의 충격치와 인장강도

표 2. 비조질강의 예

분 류	組 織	鋼 種 名	主 要 化 學 成 分 (%)				用 途 別 使 用 可 否		
			C	Si	Mn	Cr	特 殊 元 素	直 接 切 削 用	鍛 造 用
基本型	Ferrite Pearlite	SVd 43	0.40-0.46	0.15-0.35	0.70-1.00	0.15-0.25	添 加	可	可
		SVd 45	0.42-0.48	-	-	-	-	-	-
		SVd 48	0.45-0.51	-	-	-	-	-	-
		SVd 50	0.47-0.53	-	-	-	-	-	-
		SVd 53	0.50-0.56	-	-	-	-	-	-
		SVd 53K	0.53-0.58	-	1.05-1.25	添 加	-	-	-
高靱性型		SVdT 20	0.18-0.22	-	1.10-1.40	0.15-0.25	-	否	可
		SVdT 25	0.23-0.27	-	1.18-1.32	添 加	-	-	-
		SVdT 30	0.27-0.31	-	-	-	-	可	-
		SVdT 38	0.36-0.40	-	-	-	-	-	-
高强度型		SVd 45 HT	0.42-0.48	-	1.10-1.40	0.15-0.25	-	-	-
		SVd 40 ST	Mn-V 系				-	-	否
		Bainite SVd 20 BT	Mn-Cr-V 系				-	否	可

표3. 일본업체별 비조질 구조용강의 규격

구분			강재 제조업체								
강도 (kg/mm <sup>2</sup> )	JIS	TYPE	愛知製鋼	KSC	KOBE	山陽特殊製鋼	NSC	住友金屬	大東特殊鋼	NKK	
70kg/mm <sup>2</sup> 이상	S43C S45C상당	기본형	SVd40, 43	NH35F	KNF43	WA35	S43CV	S43CV	WF40	NC43V, 45V	
		고인성형	SVdT20, 25	NH35FV	KNF23M, 43M	SMnV30TL	SMnVT430	LMIC70F	HMF30	NC33HFB	
		패삭형	SVd40 SVd43 SVdT20 SVdT25	각각 S1 S2, L1 및 L2	NH35FVS	KNF43S1F 43L1	WA35TL	S43CVS, L	S43CVS CVL	WF40L, HMF30L	NC43VS, VL NC45VS, VL NC33HFBS, HFBL
75kg/mm <sup>2</sup> 이상	S48C, S50C상당	기본형	SVd45, 48	NH40F	KNF48	WA40	S43CMV	S48CV	WF45	NC48V, 50V	
		고인성형	SVdT30	NH40FV	KNF48M	SMnV35TL	SMnVT433	LMIC75F	HMF35	NC33HFC, B-HFL	
		패삭형	SVd45 SVd48 SVdT30	각각 S1 S2, L1 및 L2	NH40FVS	KNF48S1F 48L1	WA40TL	S43CMVS, L	S48CVS CVL	WF45L, HMF35L	NC48VS, VL NC50VS, VL NC33HFCS, CL
80kg/mm <sup>2</sup> 이상	S53C, S55C상당	기본형	SVd48, 50	NH45F	KNF53	WA45	S45CMV	S53CV	WF50	NC53V, 55V	
		고인성형	SVdT38	NH45FV	KNF53M	MALC85	SMnVT438	LMIC80F	HMF40	NC33HFD, B-H2F	
		패삭형	SVd48 SVd50 SVdT38	각각 S1 S2, L1 및 L2	NH45FVS	KNF53S1F 53L1	WA45TL	S45CMVS, L	S53CVS CVL	WF50L, HMF40L	NC53VS, L, B-HF2S NC55VS, L, B-HF2L NC33HFDS, HFDL

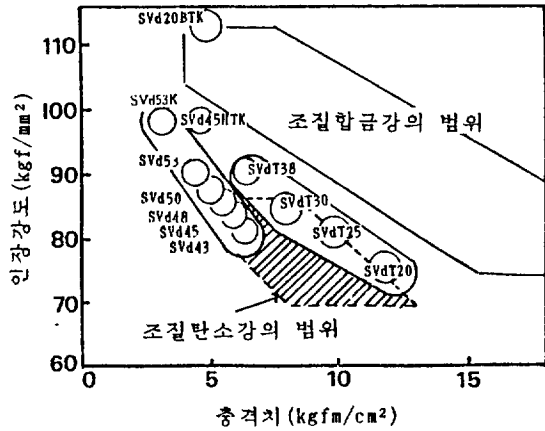


그림 7. 단조용 비조질강의 충격치와 인장강도

그림 7에 나타내었다. 여기서 알 수 있듯이 비조질강은 조질 합금강 및 탄소강의 물성치 범위보다 다소 수준이 낮은 경향을 보이고 있어 향후 개선해야 할 문제점이

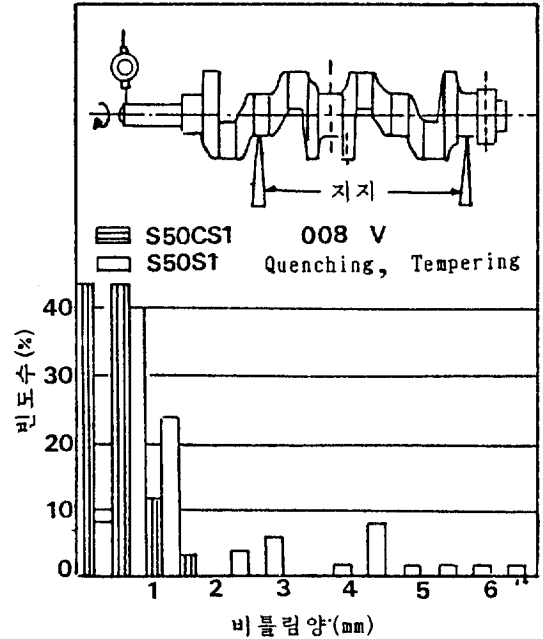


그림 8. 비조질강의 crank shaft 비틀림 발생상태

있다. 그러나 사용부품의 crank shaft의 비틀림 현상은 그림 8에서 보듯이 조질강에 비해 비틀림 현상이 적어 교정을 위한 annealing공정을 생략화해도 가능한 것으로

보여진다. 전반적으로 비조질강은 조질강에 비해 다소 물성치가 미흡한 점이 있어 향후 충격치 및 피로수명의 연장이 개선되어야 할 점이다.

### 3. 비조질강의 사용 현황

비조질강 사용량에 관한 정확한 통계 자료는 없지만 연구 사례로 보아 영국, 독일, 일본 등에는 적용되리라 추측된다. 본 내용은 1988년 일본에서 비조질강 사용 현황에 대한 앙케이트 설문 조사를 소개 인용하고자 한다.<sup>5)</sup>

설문 대상 지역 : Tokyo, Osaka, Nagoya

#### 3.1. 비조질강의 존재 유무(183업체 회답)

안다 : 171 업체 (93.4%)

모른다 : 12 (6.6%)

#### 3.2. 사용현황(171업체)

사용 : 105 업체

비사용 : 56 업체

무회신 : 10 업체

#### 3.3. 사용 개시(105업체중)

1년전 : 19 업체

1~3년 : 48 업체

3~5년 : 24 업체

5년이상 : 12 업체

무회신 : 2 업체

#### 3.4. 월 평균 사용량

0.5 ton 이하 : 12 업체

1 ton 이하 : 10 업체

1~3 ton : 29 업체

3~5 ton : 10 업체

5 ton 이상 : 44 업체

#### 3.5. 사용동기

비조질강의 장점 : 81 업체

#### 3.6. 비조질강의 가공 내용

단조 가공 : 15 업체

Header가공 : 2 업체

절삭가공 : 89 업체

#### 3.7. 비조질강의 사용 업체

자동차 : 22 업체

산업기계 : 92 업체

Bolt, Screw : 4 업체

공작기계 : 20 업체

기타 : 3 업체

이러한 통계 data를 비롯 일본에 국한된 사항이지만 국내업체로 보아 비공식적으로는 비조질강을 사용하거나 사용을 시도하고 있는 것으로 알고 있다.

표 3은 일본 업체의 비조질 구조용강의 회사별 규격이다.

### 4. 비조질강 향후 개선 사항

여러 연구자에 의해 비조질강의 실제 사용 부품에 적용하고자 많이 시도하고 있으나 현재까지는 전체적인 조질강에 사용되지 않고 여러 연구자에 의해 비조질강 확대 사용을 시도하고 있지만 실제 부품의 적용여부는 일부 부품에 한정되어 있고 또한 비공개적으로 사용됨이 현재 여건으로 보아진다. 따라서 확대 적용은 조질강의 물성치에 부합되는 강도, 인성, 피로수명 그리고 공구의 수명의 연장을 고려해서 1) Alloy Design 2) 냉각속도 관리 3) 공구의 수명 연장 4) 실사용 부품에 맞는 강종 선택 등이 고려되어야 한다.

### 5. 참고문헌

1. 脇門惠洋 : 特殊鋼, vol.37, No.11, 1988, p.9.
2. 三輪能久 : 특수강, vol.36, No.7, 1987, p.12.
3. 谷野 외 : 일본 금속학회지, vol.29, 1965, p.734.
4. 脇門惠洋 : 特殊鋼, vol.37, No.11, 1988, p.10
5. 特殊鋼 : vol.37, No.11, 1988, p.38.