

환봉의 고속정밀절단 특성에 관한 연구

임성주, *김소겸, 나경환, **정성종
생산기술연구원
* (주)봉신중기 설계부
** 한양대학교 기계설계학과

A Study on the characteristics of high speed precision bar cropping

S.J.Lim, *S.G.Kim, K.H.Na, **S.C.Chung
KAITECH

* Bongshin Casting & Machinery Co., LTD.
** Hanyang University

Abstract

The present study is concerned with the characteristics of the high speed precision bar cropping. This process is a practical application of High Energy Rate Forming in which the impact energy source is given by internal combustion engine. To enhance the added value of product, the recent forging fields trend toward the near net shape processes through the cold and closed die forging. For the purpose of these processes the precedent process is to obtain the precision billet which has little weight deviation and defect. The accuracy of initial billet by bar cropping depends upon the process parameters and die design technology. Therefore, in order to investigate the effect of process parameters upon product quality, the cropping experiments are carried out according to the various parameters such as billet clearance, billet length, billet material, cropping speed and so on. From these results some criteria of the optimal die design for the product of good quality are suggested.

1. 서론

최근 기계기술은 급속도로 진보하고 있으며 기계장치 및 부품들도 고기능화되어 복잡해지는 추세로 가격경쟁도 심화되어 가고 있다. 단조부품에 있어서도 복잡한 부품을 어떻게 하면 한층더 저가격으로 생산하느냐 하는것이 과제로 되고 있다.

따라서 단조공정도 칫수 정도가 낮은 공정에서 칫수 정도가 높은 냉간, 온간 및 열, 냉간 복합공정으로 전환되어 가고 있는 추세이다. 단조에서는 가공공정, 형의구조, 소재의 기계적 성질 윤회방법 등이 제품품질에 큰 영향을 주

지만 단조정밀도가 엄격해 질수록 공급되는 소재의 정정도 엄격해 지기 때문에 정밀절단에 대한 요구도 점점 중요시 되고 있다.

특히 소재의 형상불량, 중량편차, 크랙(crack), 버어(burr)등의 표면결함과 절단면의 가공경화 등은 직접적으로 냉간 단조품의 형상, 치수 및 제품 품질을 저하시키고 공구파손과 수명 단축을 초래시키며 단조하중에 커다란 영향을 미친다.^(1,3)

그러므로 이와 같은 소재불량은 결국 냉간단조의 장점을 줄이고 단조품 생산비용의 상승을 초래하며 생산 자동화에 큰 장애가 된다. 더구나 최종제품의 조건이 엄격할때는 냉간단조가 곤란해지는 경우도 발생하게 된다.

한 보고서에 따르면⁽²⁾ 약 90%의 회사가 공급되는 소재의 중량편차를 $\pm 1.5\%$ 이내로 관리하고 있으며 특히 길이(L) 대 직경(D)의 비 (L/D)가 2이내의 소재에서는 0.2% 이내로 중량편차를 관리하는 경우도 있다. 절단면의 경사각은 2° 이내를 목표로 하여 절단되고 있는 것으로 알려지고 있다.

따라서 냉간단조용 소재로서 중량 편차가 적고 형상이 양호하며 결함이 없는 소재를 경제적으로 저가격에 공급하려는 노력이 활발히 이루어지고 있다.

그러나 양질의 소재를 얻는것은 상당한 고도의 기술을 요하기 때문에 기술적 제반문제에 부딪히는 경우가 많다. 소재 절단에 있어서 절단속도가 빠르면 양호한 절단면을 얻을 수 있으며 절단소재의 형상불량, 중량편차 및 기타 결함 등이 작아지는 고정밀도 절단 제품을 얻을 수가 있는 것으로 알려지고 있기때문에 최근 고속 절단에 의한 소재절단으로 양질의 소재를 얻으려는 연구가 점차 증대하고 있다.^(1,3,4)

본 연구진은 정밀절단공정의 국내보급이 시급함을 깨닫고 고속절단이 가능한 HERF 방식의 절단장치를 개발한 바 있다.⁽⁹⁾ 표1은 개발된 고속정밀 절단 장치의 사양을 나타내고 있다. 종래의 절단방식은 주로 기계식 프레스에 의한 저속절단(드롭해머 3.6~5m/sec, 기계식 크랭크프레스 1-2m/sec)⁽³⁴⁾이 대부분으로 고속절단은 원소재의 재료학적 특성과 원소재의 형상과 크기 및 공정변수(절단날의 클리어런스, 금형의 형상, 절단속도, 절단소재의 재질, 절단소재의 절단길이, 절단소재의 형상, 축압력, 운할조건, 소재의 전처리 등)^(5,6,7)에 크게 영향을 받는 민감한 공정으로 고속절단에 관한 실험자료는 미비한 상태이다.

따라서 본 논문에서는 이미 개발되어 발표된 HERF 방식의 고속정밀 절단장치와 절단금형을 이용하여 각 절단공정 변수들이 절단된 제품의 품질에 어떠한 영향을 주는지 실험을 통하여 규명하였으며 향후 최적금형 설계를 위한 금형설계 기준과 절단된 제품을 효과적으로 얻을 수 있는 방향을 제시하였다.

2. 고속절단 공정

봉재의 절단과정은 그림1처럼 전단초기에 절단날이 소재 내부로 파고 들어가 전단면을 형성할 때 까지의 소성변형 단계와 그후에 절단날이 닿는 부분부터 크랙(crack)이 발생한 파단면을 형성하기 시작하는 크랙의 발생단계와 그것이 성장 전파하여 만나는 단계로 이루어지며 이와 같이 하여 소재의 최종적인 분리

가 일어난다.^(1,8,6,7) 이때 절단 속도를 빠르게 하면 재료는 마치 취성을 나타내듯이 절단되기 때문에 절단면이 평평한 파단면이 얻어진다.⁽³⁾

최근 본 연구진에 의하여 개발된 HERF 방식의 고속정밀 절단장치는 공기와 압축된 가스(프로판가스)의 혼합비에 의한 순간적인 폭발력을 에너지원으로 하여 고속절단(13m/sec)을 행하는 소성기계로서 기존햄머와 유사하다.

절단금형은 구성방법에 따라 3가지 형태로 구분할 수 있는데 지지부가 없는 1단금형(O-U Type, Open Type), 지지부가 있는 1단금형(O-O Type, Close Type) 그리고 한번의 절단공정에서 2개이상의 절단제품을 얻을 수 있는 다단금형(multiple crop type)^(6,7) 등이 있으며 이중 지지부가 있는 1단금형은 굽힘이 없는 양질의 정밀한 제품을 얻을 수 있으나, 제품의 취출이 어려운 단점이 있으며 지지부가 없는 1단금형은 설계와 제작이 간단하고 자동화시 유리하지만 제품에 굽힘현상이 발생하여 불량한 제품이 얻어지는 단점이 있다.⁽³⁾ 때문에 본 논문에서는 정밀한 제품을 얻기 위하여 그림2처럼 지지부가 있는 1단금형을 채택하였으며 고정날의 재질은 냉간금형 공구강(STD 11)을 사용하였으며 이동날(moving blade)은 공구의 수명을 연장하기 위하여 2중링 구조로 설계⁽⁸⁾하였으며 재질은 고속도 공구강(SKH 9)을 열처리하여 사용하였다.

3. 절단 실험

절단공정 변수들을 규명하기 위한 종래의 실험은 주로 저속 프레스에 의한 것이 대부분이다. 따라서 본 실험에서는 고속정밀 절단장치와 절단금형을 이용하여 고속절단시 실제 한봉절단에 크게 영향을 주리라 판단되는 주요 공정 변수들을 선별하여 각 변수들의 특성에 관한 실험을 수행하였으며 선정된 절단 공정 변수는 다음과 같다.

- 이동날(moving blade)과 고정날(stationary blade) 사이의 클리어런스(MSC)
: 0.0, 0.2, 0.4, 0.8, 1.0mm
- 절단날(이동날과 고정날)과 절단소재(billets) 사이의 클리어런스(BSC)
: 0.2, 0.4, 0.8mm
- 절단소재의 길이 및 직경
: L25, 38, 50mm (Φ25)
- 절단 속도
: 10, 13m/sec
- 절단소재의 종류
: SM45C, SM20C, Cu

이동날과 고정날 사이 클리어런스의 영향을 파악하기 위하여 다른 모든 변수들은 일정한 값으로 고정하고 절단날 사이의 클리어런스(MSC)를 0.0, 0.2, 0.4, 0.8, 1.0mm로 변화시키면서, 반복적인 실험을 하였다. 같은 방법으로 절단날과 소재 직경 사이의 클리어런스, 절단길이, 절단소재 및 절단속도를 변화시키면서 절단공정 변수들의 특성치에 관한 실험을 수행하였다.

실험은 개발된 고속정밀절단장치와 금형장치를 이용하였으며, 한층 더 정확한 실험값을 얻기 위해 모든 실험소재의 외경은 연마가공하여 기준치수에 최대한 가까운(±0.02) 범위에 있는 것만을 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

절단실험 결과 각 절단공정 변수들이 절단제품에 미치는 영향은 다음과 같이 나타남을 알 수 있었다.

1. 이동날과 고정날 사이의 클리어런스의 영향 : MSC (그림 2의 CLE. 1, 그림 3)
클리어런스가 0.2mm에서 절단면의 평면도는 매우 양호한 상태였으나, 클리어런스 0.4mm부터는 절단단면의 중앙 양끝 부위에서 약간의 부스럼이 발생하기 시작하였고(그림 4(a)) 0.8mm와 1.0mm에서는 두드러진 계단 단면이 나타났다. 이 계단 단면 발생으로 인하여 절단면의 경사각이 끝나는 부위의 높은점이 그림4(b)처럼 두께 t 만큼 소멸되었으며, 경사각도(θ) 두께 t 만큼 감소하였다. 그리고 절단된 제품의 무게는 클리어런스 값이 커짐에 따라 증가하는 현상을 보였다. 즉, 이동날과 고정날 사이의 클리어런스(MSC)에 의한 가장 큰 영향은 절단제품 단면의 평면도를 좌우하는 인자라는 것을 실험을 통하여 알 수 있었다.
2. 절단날(이동날과 고정날)과 절단소재(billet) 직경 사이의 클리어런스 관계 : BSC (그림 2의 CLE. 2, 그림 5)
이 클리어런스는 MSC와 함께 절단 변수중 가장 중요한 인자로서 실험결과를 살펴보면 다음과 같다. 클리어런스가 0.2mm에서는 중량 변화나 굽힘(bending : ϕ) 현상이 나타나지 않았으나, 0.4mm에서는 굽힘이 조금 나타나기 시작하여 0.8mm에서는 두드러진 굽힘 현상을 보였으며, 또한 단면 경사각(θ)이 크게 되는 것을 볼 수 있었다. 그리고 이동날과 고정날 사이의 클리어런스(MSC)를 0.8mm, 절단날과 절단소재 직경 사이의 클리어런스(BSC)를 0.8mm 즉, 양쪽 클리어런스를 최대로 한 경우 굽힘(ϕ)과 단면경사각(θ)이 아주 심하게 변형되는 것을 볼 수 있었다.(그림 4(c)) 즉 이 클리어런스(BSC)가 증가할수록 굽힘(ϕ) 현상이 두드러지게 나타나는 것으로 보아 이 클리어런스(BSC)의 가장 큰 영향은 절단제품의 굽힘(ϕ)을 좌우하는 인자라는 것을 실험을 통하여 알 수 있었다.
이 클리어런스가 작을수록 제품의 정밀도 면에서는 우수하겠으나, 자동화(상용화)시에는 금형내 절단소재의 원활한 이송을 위한 적당한 틈새가 필연적으로 요구되기 때문에(즉, 실제 절단소재의 표면은 기계가공면이 아니므로 형상이 균일하지 않다는 것을 감안해야 함) 0.4mm 정도의 클리어런스가 제품의 형상면이나 이송면에서 적당하다고 하겠으며, 또한 금형 입구에 테이퍼 형상을 주어 소재의 장입을 쉽게 해주어야 함을 알 수 있었다.
3. 절단속도의 영향 (그림 6)
실험에 적용된 고속정밀 절단장치의 속도 조정 범위는 2모드(mode) 즉 10, 13m/sec으로 고정되어 있기 때문에 속도변화에 따른 속도영향을 정확히 파악할 수는 없었다.
만약 저속과 고속의 뚜렷한 속도 변화가 가능했더라면 속도변화에 따른 속도영향을 파악할 수 있었겠지만, 이 절단장치는 상용기계로서 설계 제

작되었기 때문에 저속에 의한 절단 특성을 볼 수는 없었다. 그러나 보통 저속인 기계식 프레스에서 절단된 제품과 비교해보면 고속에서 절단된 제품의 정밀도가 매우 우수함을 거시적으로 입증할 수 있었다.

4. 길이의 영향(그림 7, 그림9)

길이 대 직경의 비(l/D)가 1 이상인 세가지 경우 즉, $\phi 25\text{mm}$ 일때 길이가 각각 25mm, 38mm 및 50mm에 대해 실험한 결과, 절단 단면 경사각(θ)은 길이가 증가할수록 작아지는 것을 알 수 있었으며, 중량편차도 소재 길이가 짧은 것보다 긴 소재에서 작게 나타났다. 이에 반하여 길이대 직경비(l/D)가 1 이하에서는 절단 단면의 경사각(θ)이 크게 되고 굽힘현상이 두드러지게 나타나는 것을 볼 수 있었다. 일반적으로 길이 대 직경비가 큰 경우에는 관성의 효과 때문에 절단면의 경사각이 축선에 관하여 거의 수직한 평면상태를 나타냄을 볼 수 있었다. 또한, 실험소재 3종류(SM45C, SM20C, Cu)에 관한 실험결과도 소재에 따른 길이의 영향은 거의 유사한 결과를 보였다.

5. 소재 직경의 영향

소재 직경에 관한 영향은 $\phi 25\text{mm}$ 절단시와 $\phi 38\text{mm}$ 절단시 별다른 차이가 나타나지 않았다. 그러나 단지 직경이 크면 절단소재에 절단날이 닿는부분 즉 크랙(crack)이 시작하는 지점부터 끝나는 지점까지의 거리가 그만큼 길어지기 때문에 그 길이에 따른 경사각이(θ) 거리에 비례하여 증가하는 현상을 보였으며, 굽힘각(ϕ)도 $\phi 25\text{mm}$ 보다 크게 나타났다. 기타 다른 현상은 $\phi 25\text{mm}$ 와 $\phi 38\text{mm}$ 의 경우 같은 현상을 보였다.

6. 절단소재의 영향(그림 8)

실험에 사용된 절단소재는 3종류(SM45C, SM20C, Cu)였으나, 소재에 따른 클리어런스 영향은 거의 유사하였으며, 소재의 경하고, 연한 정도에 따라 절단날이 소재를 파고드는 깊이는 소재마다 다르게 나타났다. 절단날이 파고드는 깊이는 Cu, SM20C, SM45C 순으로 연할수록 절단날이 소재깊이 파고 들어가는 것을 볼 수 있었다. 또한 절단날 끝(edge)이 직접 닿는 부분에서는 절단된 단면의 찌그러짐이 연한재질(Cu)에서 두드러지게 나타났다. 그러나 일반적으로 절단면은 양호한 상태였다.

7. 절단제품의 중량 정밀도(그림 10)

지금까지 실험을 통하여 얻은 최적의 절단공정변수를 조합하여 연속적인 절단실험을 수행한결과 중량편차가 $\pm 3\%$ 이내로 나타남을 볼 수 있었다.

5. 결 론

고속정밀 절단공정에 의한 환봉의 정밀절단 특성에 관한 연구를 통하여

얻은 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 절단실험을 한 결과 각종 공정변수들이 제품품질에 미치는 영향은 다음과 같음을 알 수 있었다.
 - a) 절단면의 평면도를 좌우하는 인자는 절단날(이동날과 고정날) 사이의 클리어런스(MSC) 영향이 가장 크다.
 - b) 절단제품의 굽힘을 좌우하는 인자는 절단날과 절단소재 직경 사이의 클리어런스(BSC) 영향이 가장 크다.
 - c) 상용화(자동화)시 소재의 원활한 이송을 위하여 절단날과 절단소재 직경 사이의 클리어런스(BSC)는 0.4mm가 적당함을 알 수 있었다.
 - d) 절단된 제품의 중량편차는 절단장치와 금형장치의 정밀도를 최대한 유지시키고, 각 공정변수들을 적절하게 선택한다면 최대 $\pm 0.3\%$ 범위까지 제어가 가능하다. 따라서 정밀 소성가공 분야 등에서 요구되는 정밀한 원소재 공급이 가능하다는 것이 입증되었다.
- (2) 향후 최적 절단금형설계를 위한 제한된 금형설계 기준과 양질의 제품을 생산할 수 있는 기본적인 데이터를 제시 하였으며 더 많은 절단공정 변수에 대한 지속적인 연구가 수행된다면 고속절단에 관한 확고한 기술적 정립이 이루어질 수 있으며 고품질, 고정밀도의 원소재를 생산 하리라 예상된다.

6. 참고문헌

1. 中川威雄, 工岸英明, 田材公男, "냉간단조용 소재를 얻는 봉재절단", 일본 소성가공학회지, Vol. 22, No.241, pp.150~158, 1981.
2. "폐쇄단조에 있어서 환봉 절단 정도의 조사연구", 단조기술연구소 素形材센터 연구조사보고, 417, 1992.
3. 中川威雄, 工岸英明, 田材公男, "냉간단조용 소재를 얻는 봉재절단". 일본 소성가공학회지, Vol. 24, No.271, pp.830~839, 1983.
4. 根藤秀明, "일본의 고에너지 속도 가공기술과 연구동향", 대한기계학회지, pp.380~387, 제31권, 4호, 1991.
5. J.Wepner and G.Mielke, "Accurate shearing of bar stock", Metallurgia and metal forming, pp.101~103, 1974.
6. R.Lawson, "Cropping billets for cold extrusion", Metallurgia and metal forming, pp.93~100, 1974.
7. R.Lawson, J.Lucas Ltd., "Cropping billets for cold extrusion", Metallurgia and metal forming, pp.40~46, 1976.
8. 박준수, 임성주, 나경환, "고속환봉 절단금형의 최적설계", 한국정밀공학회 93년도 추계학술대회 초록집, pp.73~77, 1993.
9. 김소겸, 김윤배, 임성주, 최석우, 나경환, "고속정밀 절단장치 개발", 한국소성가공학회, 1993년도 춘계학술대회 초록집, pp.50~54, 1993.

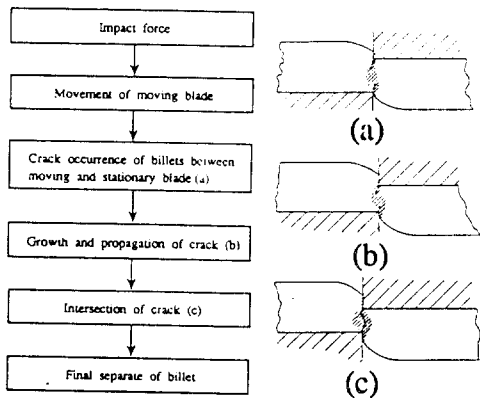
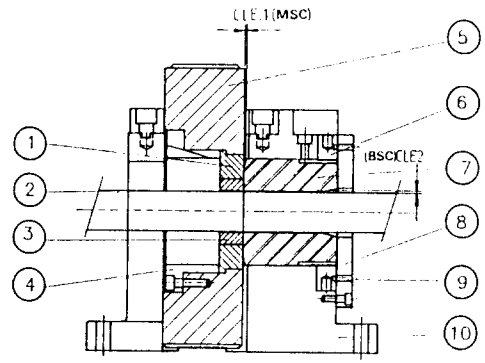


Fig. 1 Crack propagation mode



- ① Insert housing ② Billet ③ Moving blade insert ④ Blade cover
- ⑤ Moving blade housing ⑥ Clearance adjustable nut ⑦ Stationary blade
- ⑧ Stop cover ⑨ Fixed nut ⑩ Die housing

Fig. 2 High speed cropping die assembly

절단조건	MSC (mm)	θ ()	Weight (g)
<ul style="list-style-type: none"> • BSC : 0.4mm • Φ 25mm • L = 25mm • V = 13m/sec • SM45C 	0.0	2° 34'	96.4
	0.2	2° 30'	96.82
	0.4	2° 8'	97.23
	0.6	1° 40'	98.04
	0.8	1° 10'	98.82
	1.0	0° 56'	98.94

Fig. 3 Influence of clearance between moving and stationary blade on products quality (MSC)

Table 1
Specification of high speed cropping machine

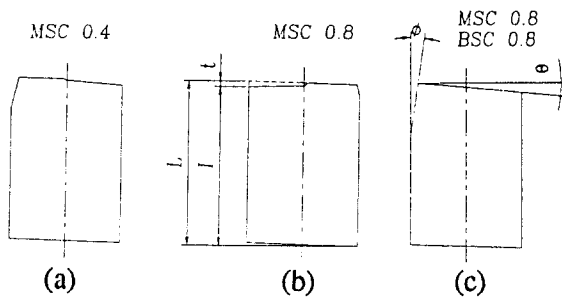


Fig. 4 Example of cropped product on MSC

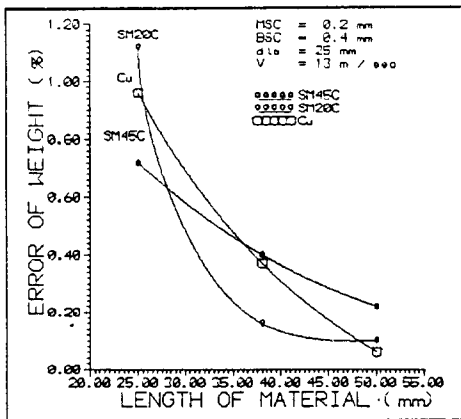
NO	SPECIFICATION	UNIT	
1	MOVING IMPACT RAM SPEED	m/sec	16
2	NOMINAL STROKE	mm	280
3	MOVING IMPACT RAM WEIGHT	kgf	125
4	MAX. CUTTED BILLET DIA.	mm	Φ 50
5	MAX. INITIAL BILLET LENGTH	mm	6000
6	MIN. CUTTED BILLET LENGTH (Φ 50)	mm	50
7	CYCLE TIME	sec	1
8	MACHINE SIZE (W x D x H)	m	0.75 x 0.9 x 2.1
9	TOTAL WEIGHT	TON	3.5

절단조건	BSC (mm)	ϕ (°)	Weight (g)
<ul style="list-style-type: none"> • MSC : 0.2mm • ϕ 25mm • L = 25mm • V = 13m/sec • SM45C 	0.2	1.69	96.79
	0.4	2.08	97.10
	0.8	3.00	98.33

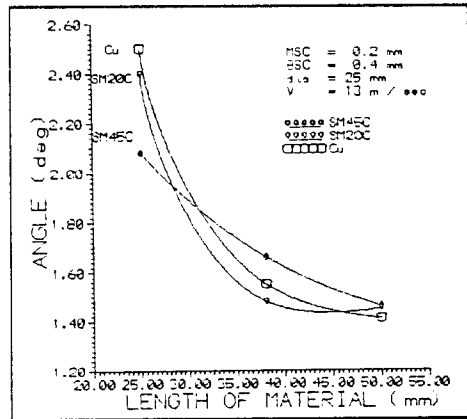
Fig. 5 Influence of clearance between blade and billets on product quality (BSC)

절단조건	절단 속도	θ (°)	Weight (g)
<ul style="list-style-type: none"> • MSC : 0.2mm • BSC : 0.2mm • ϕ 25mm • L = 25mm • SM45C 	10	1.61	97.06
	13	1.59	97.02

Fig. 6 Influence of bar cropping speed on product quality



(a)



(b)

Fig. 7 Influence of billet length on product quality

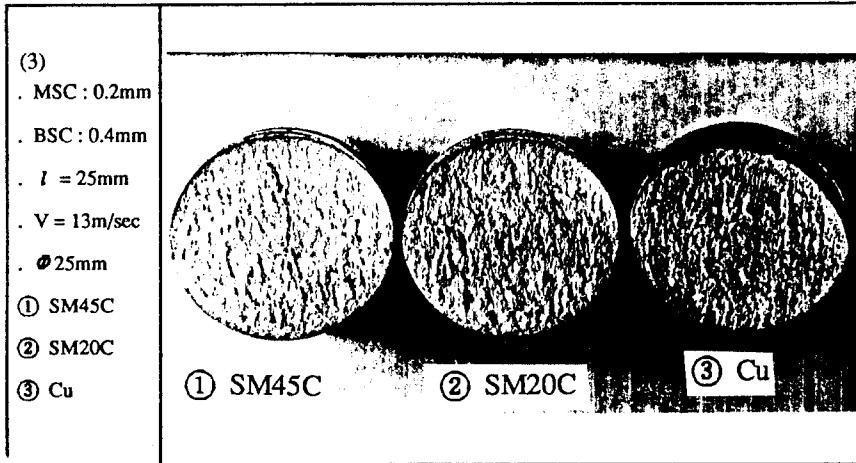


Fig. 8 Example of cropped product of various materials

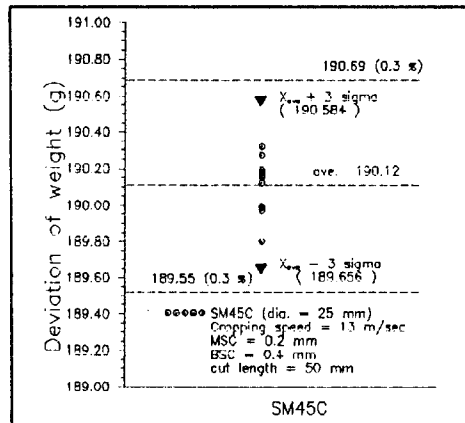
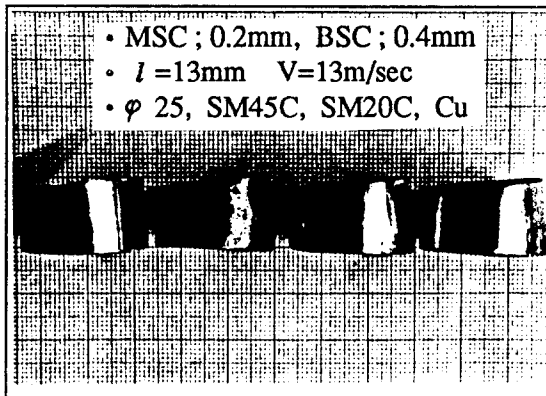
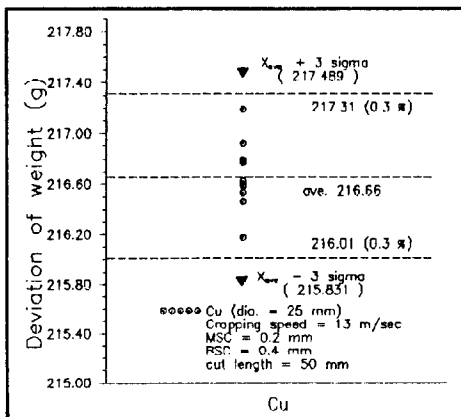
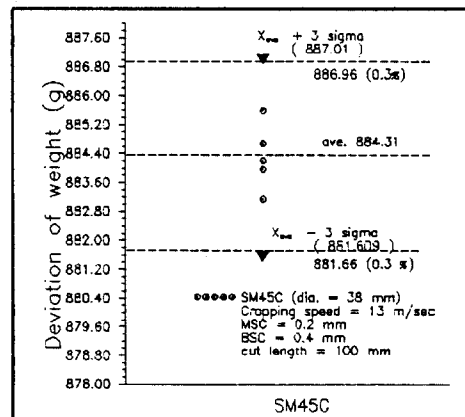


Fig. 9 Influence of billet length on product quality

(a)



(b)



(c)

Fig. 10 Deviation of weight on product quality