

냉간 압출시 Chevron Crack 방지에 대한 고찰

최영순* · 이정환**

(1997년 6월 26일 접수)

A Study of Preventing Chevron Crack in Cold Extrusion

Y. S. Choi and J. H. Lee

Abstract

Chevron crack in cold extrusion has been studied in view of deformation conditions and material characteristics. There is V formed chevron crack is occasionally occurred in core part of shaft by multi-stage free extrusion. Although many research results were reported and theoretical analyses were accompanied, in this study we discussed practical method to prevent chevron crack in the field of working conditions and material characteristics. We have found that chevron crack is eliminated under condition of high hydrostatic state in deformation and decreased segregation, refinement of micro structure of materials.

Key Words : Chevron crack, Cold extrusion, Deformation condition, Material characteristic

1. 서론

샤프트(Shaft)를 다단 자유 압출로 단조할 때 소재중심 축의 내부에 V자 형상의 크랙(Crack)이 자주 발생된다. 이 크랙(Crack)은 소재중심부 위에 주기적으로 분포하는 것이 특징이고 그 형상이 갈매기 모양같이 생겨 세브런 크랙(Chevron Crack) 이라고 한다.

압출 공정에서 발생한 세브런 크랙(Chevron Crack)은 인발시에 생기는 파단현상과 동일한 것이지만 인발때처럼 파단되지 않고 크랙(Crack)이 내부에 존재하기 때문에 문제가 심각하다. 그 때문에 샤프트(Shaft) 제조에 사용되는 중탄소강의 잉곳(Ingot) 재료는 중심부위에 편석이 많은 윗부분을 제거하거나 전체적으로 노말라이징(Normalizing) 해서 압출하여 사용하거나 연속주조 압연

재를 사용하는 것이 좋다.

세브런 크랙(Chevron Crack)에 대해서는 많은 연구가 되어 왔고 이론적인 해석도 몇 가지 방법이 제안되고 있지만 현재까지 알려진바로는 가공 조건의 영향이 제일 큰 것으로 나타났다. 즉 압출시 가공 조건의 영향으로는 다이스의 각도가 크면 클수록 또는 단면 감소율이 작으면 작을수록 내부에 크랙(Crack)이 발생하기 쉽다고 설명할 수 있다.

Fig. 1과 같은 세브런 크랙(Chevron Crack)은 중심의 편석이 주 발생 요인이 되고 이를 방지하기 위하여 노말라이징(Normalizing) 효과가 중요하다는 경험적인 해석이 지배적이지만 정량적인 평가를 내릴 수는 없는 실정이다.

본고에서는 세브런 크랙(Chevron Crack)을 지배하

* 한일 단조 공업(주)

** 한국 기계 연구원

는 요인을 가공 조건과 재료 특성의 양 측면을 종합적으로 검토하여 가공조건을 결정하고 동시에 재료 측면에서도 고찰하였다.

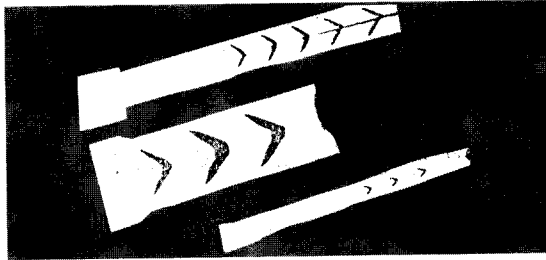


Fig. 1 세브런 크랙(Chevron Crack)

2. 세브런 크랙(Chevron Crack) 발생 요인

서론에서 서술한 바와 같이 세브런 크랙(Chevron Crack)에 영향을 주는 요인 중 가공 조건으로는 다이스 각도, 단면 감소율, 마찰 계수 등을 들 수 있다.

마찰 계수는 다단으로 압출하는 생산 공정에서는 인산염 피막 처리와 윤활 공정(Bonderite+Bondelube)이 일반적으로 사용되고 있으므로 이로 인한 변화는 거의 없다고 무시하고 다이스각도와 단면감소율에 대하여 검토하였다. 그리고 재료 인자로서는 결정 입경, 중심 편석, 탄화물 형태 등을 들 수 있다. 강재의 세브런 크랙(Chevron Crack) 발생한계를 평가하는 방법으로 소재의 연성과 압출 한계의 관계 특히 비틀림을 소재 연성의 자료로 사용하여 압출 한계와의 대응성 관계를 실험하였다.

3. 실험 재료와 조건

실험에 사용된 재료는 외경 39 mm의 압연봉을 사용하

였고, Table 1에 화학성분과 열처리상태를 나타내었다. A 부터 C까지는 동일 부위이고 D는 이것과 똑 같은 잉코트(Ingot)의 꼭대기 부분으로 모두 압연 공정을 거쳐 미세화 되었다. 압출 시편은 $\phi 39$ 그 자체와 $\phi 28$ 로 가공한 2가지를 사용하였으며, 어느 것이나 인산염 피막 처리 후 본데루베(Bondelube)처리하여 파단될 때까지 압출하였다.

Fig. 2는 실험에 사용한 금형의 조립도 이고 다이스를 공정별로 교환해서 압출을 반복하였으며, 압출시 속도는 20 mm/sec로 일정하게 하였다.

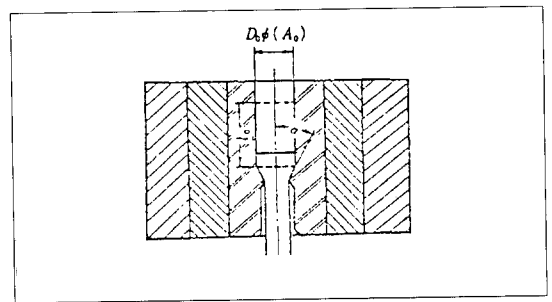


Fig. 2 압출용 금형 조립도

Fig. 3은 다이스 각도 $10 \sim 15^\circ$ 로 하고 냉간압출에서의 압출속도에 따른 압출 하중의 영향을 보기 위하여 압출 속도는 4, 20, 120 mm/sec로 했을 때 압출 하중을 측정된 결과이고 압출 속도가 4 mm/sec에서 압출 하중이 가장 높고 압출 속도 20, 120 mm/sec에서는 거의 차이가 없다. 실험은 압출 속도를 20 mm/sec로 하고 다이스 각도는 10° 와 15° 그리고 1단의 단면감소율은 10%와 20%로 하였다.

세브런 크랙(Chevron Crack)의 검출은 제품을 종방향으로 절단, 부식하여 보거나 비파괴로서는 X선 투과 검사

Table 1 실험 재료의 화학 성분 및 열처리 상태

강종	부위	번호	처 리	조직	C	Si	Mn	P	S
S45C	중심부	A	압연봉	f-p	0.44	0.22	0.83	0.0016	0.015
	"	B	920℃ 60분로냉	f-p	"	"	"	"	"
	"	C	780℃ 90분 700℃ 150분로냉	s	"	"	"	"	"
	꼭대기 부	D	압연봉	f-p	"	"	"	"	"

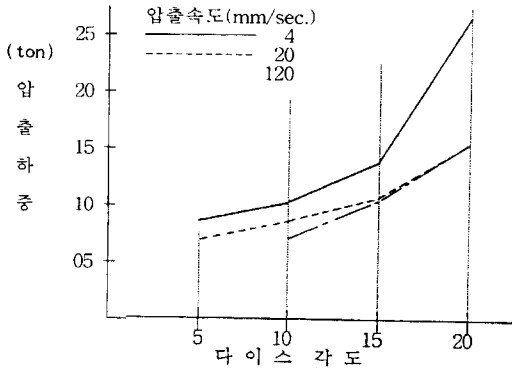


Fig. 3 압출 속도, 다이스 각도와 하중

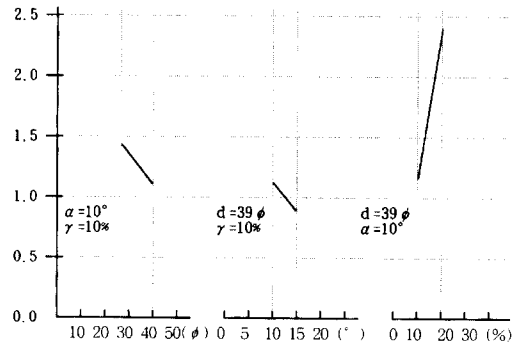


Fig. 5 가공 조건과 압출 한계 소재경(d) 다이스 각도(α) 감면율(γ)

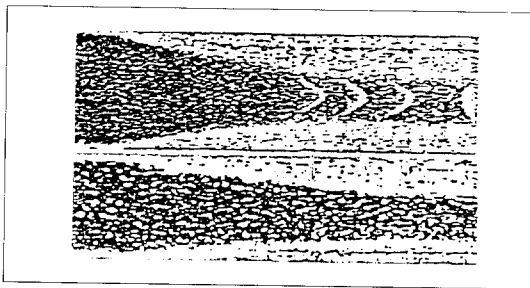


Fig. 4 φ 39, φ 28 내부 Crack X선 투과 사진

를 하였다. Fig. 4의 (a)는 소재경 φ 39, (b)는 소재경 φ 28의 X선 검출 사진이다.

4. 실험 결과

1) 가공 조건의 영향

(1) 다이스 각도

각각 다른 다이스 각도로 반복하여 압출 하였을 때 압출 변형 한계에 차이가 생긴다. Table 2는 다이스 각도 10°

와 15°로 각소재를 10%씩 단면 감소율로 압출한 결과를 나타내고있다. 실험 결과 다이스 각도 15°의 경우는 10°에 비해 10~20%의 압출 변형이 낮아진다.

(2) 단면 감소율

한 단의 단면 감소율을 10% 와 20% 2가지 방법으로 각소재의 압출 변형 한계를 구한 결과는 Table 3과 같다. 단면 감소율 20%인 경우 10%에 비해서 압출 변형 한계는 모두 2배 이상으로 상승하고 있다. 이상의 가공 조건의 영향을 정리하여 보면 Fig. 5에 나타난 바와 같이 단면 감소율의 영향이 가장 큰 것을 알 수 있다.

이상은 가공 조건의 영향을 본 것이며 가공 조건에 따라 압출 한계에 큰 영향을 주는 것을 알게 되었다. 대표적인 예로 Fig. 6은 동일 소재에서도 가공 조건이 다르면 압출 한계에 큰 차이가 생긴 결과를 나타내었다. 이 예로 압출 한계 변형이 2배 이상 달라지게 된다.

위에 서술한 내용은 세브런 크랙(Chevron Crack)의 요인중 가공 조건에 의한 영향을 고찰하였고 다음은 재질로 인한 영향, 즉 중심부의 편석, 결정 입도, 소재의 인장 특성등이 압출시 세브런 크랙(Chevron Crack)에 미치는

Table 2 압출 변형 한계(φ 39)

素 材	10° 변형	15° 변형	변형差
A	1.13	0.90	0.23

Table 3 압출 변형 한계(φ 39)

素 材	10% ε _f	20% ε _f	ε _f 差
A	1.14	> 2.42	> 1.28

Table 4 편석과 압출 한계

No	강피부위	비틀림	압출 한계 변형
A	중간부	0.800	1.13
B	상 부	0.746	0.98

Table 5 결정 입도와 연성

NO	조직	입경	입도	압출 한계 변형
A	새립 구상화	10 μm	10	1.360
B	중립	16 μm	9	0.829
C	조립	30 μm	7	0.670

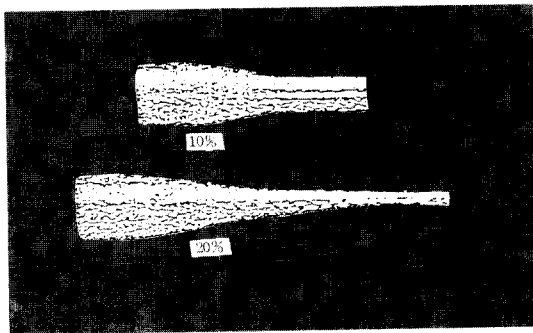


Fig. 6 가공 조건에 따른 압출한계

영향 등을 고찰하였다.

2) 재질 인자의 영향

(1) 중심 편석

세브린 크랙(Chevron Crack)은 재료 중심에서 발생되기 때문에 주로 축 부근의 재질상태에 따라 압출 한계가 결정되는 것이다.

Table 4는 동일 잉코트(Ingot)를 통해서 압연한 소재인데도 그 중간 부분 A와 Top부분 E의 압출 한계는 굉장히 큰 차이가 있다. 이것은 Top부분에 중심 편석을 소유하기 때문에 그 부분의 연성이 낮아지기 때문으로 생각된

다. 중심 편석의 영향은 이 시편에서 편석이 지름 2~3mm(외경 ϕ 39) 이지만 그 영향은 결정적으로 나타난다.

(2) 결정 입도

재료의 결정립은 압연 조건 또는 그 후의 열처리에 따라 크기가 변화되므로 결정립 크기에 따른 압출성을 평가하기 위해 Table 5의 A, B, C 소재를 동일 압출조건하에서 실험을 수행하였다. B와 C는 Fig. 7과 같이 압출 변형 저항은 거의 차이가 없지만, A의 경우는 Fig. 7의 결과로 보면 알 수 있듯이 입경의 영향은 매우 큰 것으로 나타나

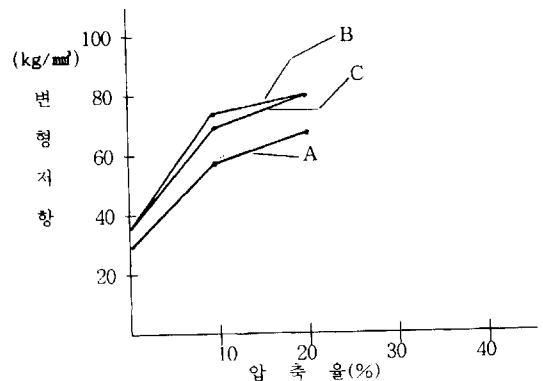


Fig. 7 입경과 압출성

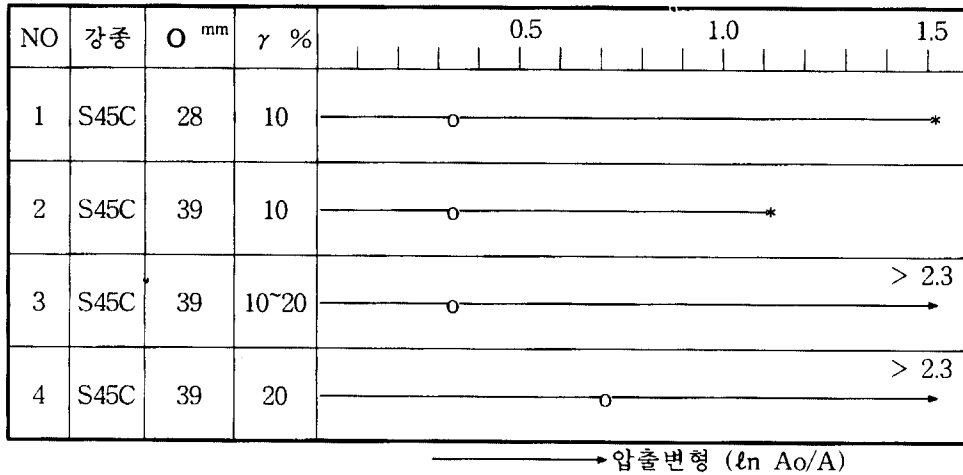


Fig. 8 마이크로크랙과 마크로크랙 발생 변형

가능한한 미세한 결정립을 유지하는 것이 유리한 것으로 나타났다. 다른 연구자의 보고에 의하면 동일 입경에서도 탄화물을 구상화한 재료는 0.2정도 한계가 향상된다.

3) 인장 특성에 의한 압출 한계의 예측

인장 특성과 압출 특성이 어떻게 대응하는가를 이해하는 것은 단순한 인장 시험만으로 압출한계를 예측할 수 있으므로 실제로 중요한 것이다.

그러나 압출 한계는 중심축상의 극히 적은 부위의 재료 상태에 영향을 받기 때문에 비교적 굵은 인장 시편의 특성에서는 압출성과 대응하지 않는 경우도 있다.

압출 한계 변형은 가공조건에 따라서는 비틀림 변형과 거의 같은 경우가 있는데 외력은 압출력인데도 단순 인장과 같은 정도밖에 변형되지 않기 때문이다. 이것은 압출할 때 중심축상의 응력 상태가 인장 성분이 높아지기 때문이다.

구상화한 재료는 비틀림 변형저항이 극히 높은 것에 비해 압출 한계는 그다지 상승하지 않는다. 이것은 층상 시멘타이트 조직의 강종에 있어서 비틀림과 압출 한계 변형과 조직과 연관이 있는 것을 의미하며, 인장 파단과 압출시 내부 Crack은 엄밀히 일치하지 않지만 적어도 소재에 가한 주응력 방향은 일치하고 파단연성은 대응되는 것을 알 수 있다. 이와 같이 조직을 한정할 때 인장 특성과 압출성은 깊은 관계가 있으며 즉, 인장 특성으로부터 압출성을 예측할 수 있다.

4) 세브런 크랙(Chevron Crack)의 기점

거시적인 세브런 크랙(Chevron Crack) 발생에 앞서 미세한 크기의 크랙이 발생하는데, 그 형태는 펄라이트의 전단 깨어짐과 펄라이트 입도와 웨라이트 입도의 입계 크랙 두 가지가 있는데 정량적으로 보면 전자가 차지하는 비율이 높다. 마이크로 크랙이 소재 중심부축 상에 발생할 때의 변형과 마크로 크랙 발생 변형과의 관계를 여러 가지 조건에서 조사한 것이 Fig. 8의 No.1과 No.2에 나타내었다. 이 비교로부터 $\phi 28$ 과 $\phi 39$ 에서 마크로 크랙 발생 변형은 차이가 없는 것으로 보인다. 사이즈(Size)효과가 마이크로 크랙 전과 과정 안에 나타내는 것을 증명한다.

지금까지 동일 압출 조건(10% 10°)에서 마이크로 크랙은 $\epsilon=0.35$ 부근에서 발생하고 있는데 변형과정중 단면 감소율의 증가로 인한 마크로 크랙 발생 변형은 대단히 상승하고 있다. No.4는 최초로 단면감소율 20%했을 경우 이고 마크로 크랙 발생 변형은 0.72로 상승하고 있다. 이상으로 마이크로 크랙도 마크로 크랙과 같이 가공 조건에 의해 지배가 되는데 마이크로 크랙이 발생해도 마크로 크랙의 진행을 억제하려면 (No.3의 예가 그것임) 연성을 현저히 높여야 한다는 것을 알 수 있다.

5. 냉간 압출 강재

앞에서 실험한 결과로 세브런 크랙(Chevron Crack)을 막기 위해서 가공조건을 변경하는 방법도 있으나 단면감소율의 상승은 소재가 벤딩되거나 다이소 마모상 제한이

있고 다이스 각도를 적게 하는 것은 샤프트 단에 붙어있는 테이퍼부 길이가 길어지므로 사용상 지장을 초래하는 등의 많은 제한을 받는다. 재질특성의 개선은 압출 한계에 비례적으로 효과가 있는데, 즉 소재 중심축 근처의 축평행 방향의 연성을 높게하기 위하여 조직의 미세화와 중심부의 편석 제거가 필요하다. 또한 축방향으로 늘어난 개재물은 거의 유해하지 않기 때문에 피삭성의 관점에서 0.02% 정도 함유된 S는 감소시킬 필요가 없다. 이런 점에서 제어 압연으로 조직이 미세화 되고 연속 주조 전자 교반으로 중심부 편석이 제거된 소재를 사용하는 것이 셰브런 크랙의 방지에 효과적으로 생각된다.

이렇게 제조된 압연 재는 실제 다단 압출 공정에서 셰브런 크랙(Chevron Crack)이 발생되지 않는 것을 증명할 수 있었다.

6. 결 론

셰브런 크랙(Chevron Crack) 발생 방지에 효과적인 압출가공 조건과 재료특성을 검토하여 최적 압출조건과 요구재료 특성을 평가하였다. 그 결과 가공 조건상은 소재 변형 중에 정수압을 높게 하는 조건 즉 단면감소율이 작은

다이스 각도가 유효하고, 재질 특성 측면에서는 중심축 탄성을 높게 하기 위하여 중심 편석의 제거, 조직의 미세화가 유효하다는 것을 밝혔다.

즉 중심축 탄성의 향상을 위하여 소재 제조방법을 연속 주조 재로 전환하고, 주조시 전자 교반을 통하여 중심 편석을 제거함과 동시에 봉강 압연의 온도 제어에 의하여 휘라이트-펄라이트조직의 미세화를 도모해서 압출 강재의 조직을 소준 조직과 거의 같게 하고 중심 편석을 줄인 것이 압출성이 뛰어 난것을 확인하였다.

참고문헌

- (1) 이동녕, '금속강도학'. 문운당.
- (2) '押出し加工', 日本塑性加工學會編, コロナ社.
- (3) Serope Kalpakjian, 'Manufacturing Processes for Engineering Materials', Addison-Wesley Publishing Company.
- (4) Taylan Altan, Soo-Ik Oh, Harold L. Gegel, 'Metal Forming', ASM.
- (5) Aviztur, 'Metal Forming Processes and Analysis', McGraw-Hill.