

# 알루미늄 7175합금의 대형 주조 빌레트 개발

이광식, 김형찬, 임성택\*, 손영일\*  
삼선공업(주), 국방과학연구소\*

## 요 약

로켓트 추진기관 단조부품용  $\phi 370\text{mm}$ 급 알루미늄합금 7175 빌레트의 국산화개발과 관련한 용해주조기술 현황과, 합금설계와 미량원소첨가가 품질과 제작수율개선에 미치는 영향을 분석하였다. 미량의 Be첨가는 용탕의 유동성을개선하고 미세기공량을 감소시켜 단조성을 개선할것으로 기대되며, 불순물인 Fe/Si 비를 제어하면 주조균열생성을 크게 억제하는 것으로 나타났다. 현재의  $\phi 370\text{mm}$ 합금 빌레트의 품질수준은 전반적으로 양호하지만, 단조품의 최종물성 개선과 용해주조 조건 정립을 위한 합금설계, 열해석 등의 체계적인 연구와 노하우습득이 필수적으로 요구되며, 이는 향후 예상되는  $\phi 650\text{mm}$ 급의 대형빌레트의 개발과 7050적용에 이용될 것으로 판단된다.

## 1. 서 론

최근 항공우주 산업의 발전과 더불어 7XXX 알루미늄 합금은 항공기와 로켓트 구조재료로 많이 이용되고 있다.

A7175합금은 기존의 A7075의 파괴인성 및 SSC저항성을 향상시키고 소성가공성을 개선하기 위하여 Fe, Si 등 불순물의 함량을 조절한 고순도, 고품위의 단조용 합금이라고 할 수 있으며, Table 1.에 두합금의 성분을 비교하여 나타내었다.<sup>1~2)</sup>

현재 추진기관 구조용 대형단조품의 단조용 소재로서 고품질의 A7175합금의 대형빌레트를 D.C 연속주조방식으로 주조하여 사용하고 있는데 현재까지 제작 가능한 빌레트의 크기는 단조용 소재로서 가져야할 (압출)가공비가 없거나 추천값 8S 이상에는 크게 부족한 실정이다. 따라서  $\phi 370\text{mm}$ 급 빌레트의 미세조직 등의 품질과 제작성 문제는 알루미늄 부품 사업에서 매우 중요하다. 그러나 실제적으로 빌레트주조시 주조성의 문제로 응고균열이

심하게 발생되어 수율이 낮고 생산성이 떨어지므로 공정조건 및 품질안정에 대한 문제가 제기되어왔다.<sup>2~3)</sup>

D.C 주조법은 알루미늄 빌레트 생산의 가장 일반적인 방법으로서 Fig.1에서와 같이 용융 금속이 분배기와 spout를 거쳐 수냉되고 동시에 하강하고 있는 몰드에서 연속적으로 응고하는 방식으로서<sup>4)</sup>, 장치바가 저렴하고 냉각 성능이 우수하여 치밀한 미세조직을 얻을 수 있는 반면, 몰드 설계의 특성상 주조 표면 특성이 나쁘다. 대형 빌레트의 경우에는 표면특성이 더욱 나쁘며, 빌레트 내외부의 응고속도 차이가 심하여 내외부 조직이 다르고 중심부의 조직은 매우 조대하여 품질이 떨어진다. 또한 응고 속도 차이는 열 응력을 발생시키고 이는 주조 균열을 유발하여 수율은 크게 저하시킨다. 이 현상은 합금 원소량이 많은 7000계 합금에서 더욱 뚜렷하므로 주조 속도 등의 조건을 정밀 관리해야 한다.<sup>5)</sup>

본 연구는 이러한 문제점을 개선하고 고품질의 빌레트 제조기술에 적합한 조건을 파악하기 위해서, 공정 및 주조조건 설정 Fe, Si 등 불순물의 함량을 제어하고 용탕의 유동성을 향상시키는 것으로 알려져 있는 Be를 첨가하여 균열의 발생 경향, 주조수율에 미치는 영향을 파악하는데 그 목적이 있다.

## 2. 주 조 방 안

### 공정설계

A7175합금의 대형빌레트제조를 위해서 Table 2와 같은 공정을 따라 반연속 주조방법(Semi-Continuous Direct Chill Casting Method)으로 15" D.C주조기를 사용하여 지름이  $\phi 372\text{mm}$ , 길이가 5,900mm인 대형 빌레트를 주조하고자 하였다.

### 주조조건 설정

당사에서 기존에 적용하고 있는 A7075  $\phi 15"$  빌레트주조조건을 적용하였으며, 조건은 다음과 같다.

- 1) 온도관리
  - ① 반사로 용탕온도:  $740 \pm 10^\circ\text{C}$
  - ② 분배기 용탕온도:  $670 \pm 10^\circ\text{C}$
- 2) 주조속도 :  $45\text{mm} \pm 5/\text{min}$
- 3) 냉각수량
  - ① 초기 :  $1,300 \ell \sim 1,700 \ell / \text{min}$
  - ② 정상 :  $2,500 \ell \sim 3,000 \ell / \text{min}$
- 4) 냉각수 온도 :  $23^\circ\text{C}$
- 5) 탈가스 처리
  - ① 1차 : Ar Gas(10분)  
+ Flux, AG-217(40kg)
  - ② 2차 : Ar Gas(12,000g/hr)  
+  $\text{Cl}_2$  Gas(900g/hr)

### Fe, Si, Be 성분조절

Fe, Si의 성분조절 및 Be첨가 유무에

따른 주조시 균열 발생 현황을 파악하기 위하여 4가지 조건으로 구분하여 작업을 진행하였으며, Fe, Si의 성분을 조절한 경우 Fe/Si의 비를 2이상 3이하로 관리하되 Fe의 양을 0.10 ~ 0.15wt%, Si의 양을 0.04 ~ 0.08wt%범위에서 관리하였다. Be첨가의 경우 40ppm을 첨가하였으며, 4가지 조건은 아래와 같다.

#### 1) A조건

: Fe, Si 성분제어( $2 < \text{Fe/Si} < 3$ ), Be첨가

#### 2) B조건

: Fe, Si 성분제어( $2 < \text{Fe/Si} < 3$ ), Be미첨가

#### 3) C조건

: Fe, Si 성분미제어, Be 첨가

#### 4) D조건

: Fe, Si 성분미제어, Be 미첨가

Table 3에서는 실제적으로 Fe, Si 성분 조절 및 Be의 첨가량을 보여주고 있다.

## 3. 주조 및 결과 분석

삼선공업(주)의 8Ton 용해로를 사용하여 Table 4에 나타난 Ingot, 모합금 및 원소들을 용해하였으며 수소Gas 및 산화물을 제거하기 위하여 1, 2차에 걸친 탈가스처리를하여 4Hole의 15" D.C주조기로  $\phi 372\text{mm}$ 의 대형 빌레트를 제조하였다.

사용된 주조 설비의 개요도를 Fig. 2에 나타내었으며 Fig. 1에서는 용탕이 Mold속에서 응고되어 연속주조가 진행되는 원리를 나타낸 바 있다. Fe, Si의 성분조절 및 Be첨가 유무에 따라 4가지 조건으로 구분하여 균열 발생경향을 정리하면 다음과 같다.

#### 1) A조건

- ① 1차 작업 : 4Ea의 빌레트중 1Ea의

빌레트 상단부 500mm지점에서 중심부 균열 발생

- ② 2차 작업 : 4Ea의 빌레트 중 1Ea의 빌레트 전체에서 중심부 균열 발생.

2) B조건

- ① 1차 작업 : 4Ea의 빌레트중 1Ea의 빌레트 하단부 2,000mm 지점에서 중심부 균열 발생
- ② 2차 작업 : 크랙이 발생되지 않음.

3) C조건

- ① 1차 작업 : 4Ea의 빌레트중 2Ea의 빌레트에서 전체적으로 중심부 균열 발생.
- ② 2차 작업 : 4Ea의 빌레트에서 상단부 500mm부위에서 중심부 균열 발생

- 4) D조건 : 4Ea의 빌레트중 2Ea의 빌레트에서 전체적으로 중심부 균열이 발생.

위와같이 작업조건에 따라 제조된 빌레트를 양호한 상태와 균열이 발생한 상태를 Fig. 3에서 구분하여 보여주고 있다.

각 조건에 따라 7회에 걸쳐 제조된 빌레트의 실제 수율을 Table 5에 나타내었으며, 이는 투입량에 대한 실제 생산량을 의미한다. 단, 균열의 발생이 없는 조건의 2차 작업에서 수율이 낮은 것은 Cold Shut등 표면불량에 따른 것이다. 그리고  $2 < Fe < Si < 3$ 으로 관리한 A, B조건이 관리하지 않은 C, D조건 보다 균열발생량이 적으며 수율도 상당히 높게 나타난다.

Fe/Si 비의 제어가 주요균열을 억제하는 이유는 아직까지 규명되어 있지 않다. 단지 주요균열의 기구가 몰드의 응고구역 내 고액 공존 구역의 상호강도차이와 수

축율의 차이로 균열이 발생한다는 이론으로 부터<sup>6)</sup>, 상대적으로 많은 Fe가 고상의 강도를 증대시키는 것을 추정해 볼 수 있다. 러시아에서도 B93을 비롯한 7000계 합금에서 일반적으로 불순물로만 관리되어 온 Fe를 고온 취성 억제를 위해 오히려 0.2%까지 첨가하고 있으며, Si는 고온 취성을 일으킨다 하여 최대한 억제하고 있다.<sup>7)</sup>

각 조건에 따라 제조된 대형빌레트의 품질안정성을 파악하기 위하여 성분분석, 기계적시험, Micro조직, Macro조직, 액체침투탐상시험을 진행하였다.

특히 Fe, Si, Be에 대한 성분분석은 Table 3과 같으며, 기계적 시험 결과는 Table 6에 나타난것과 같으며 연신율의 경우 Be이 첨가된 A와 C의 조건이 첨가되지 않은 B와 D의 조건보다 높게 나타났으며, 이에 대한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 미량의 Be은 용해시에 용탕 표면에 산화막을 형성하여 합금원소의 고온산화물을 막으며, 유동성을 크게 개선하는 것으로 알려져 있다.<sup>3)</sup> Be 첨가가 빌레트의 연성을 증가시키는 원인을 분석하기 위해 인장시험 파면을 주사전자현미경으로 관찰한 결과 Fig.5와 같이 나타났다. Be이 첨가되지 않은 경우에는 Cell 조직이 많이 노출되어 미세 기공을 많이 함유한 것으로 판단되었다. 따라서 Be 첨가는 미세 기공(주로 수소)을 크게 감소시키고 이는 후속단조공정에서 결함발생을 크게 감소시킬 것으로 기대된다.<sup>3)</sup> Fig.6은 균질화 상태의 미세조직을, Fig.7은 거시단면조직사진으로서 결함이없는 미세균일조직을 나타냈다. Fig. 8은 주요균열이 발생한 빌레트의 액체침투탐상시험 결과이다.

전반적으로 개발된  $\phi 370$ mm빌레트의 품질수준은 양호하지만 단조성형비가 작

은 단조품의 국내단조품의 최종물성 증진을 위해, 용해주조조건 정립을 위한 합금 설계, 열해석 등의 체계적연구와 노하우습득이 시급히 요구되고, 이는 향후 예상되는  $\phi 650\text{mm}$  급 대형빌레트개발과 7050적 용연구에 이용될 것으로 기대된다.

#### 4. 결 론

4가지의 조건으로 대형빌레트 주조작업 및 품질평가 시험을 진행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Fe/Si의 성분비가 2이상 3이하로 관리하였을 때 주조시 균열의 발생빈도가 크게 감소하였다. 단, 부분적으로 균열이 발생하는 것으로 보아 다른 조건(주조속도, 냉각수량 등)에 대한 상세한 검토가 있어야 할 것으로 사료된다.
- 2) Be을 첨가함으로써 빌레트의 연신율이 상승되었으며, 이는 미세기공의 감소에 기인한다. 따라서 빌레트의 단조성이 개선될 것으로 기대된다.
- 3) 빌레트의 전반적 품질수준은 양호하지만 합금설계, 열해석 등의 체계적 연구를 통한 용해주조조건 정립과 품질향상이 요구된다.

#### 참 고 문 헌

1. 황성주, 이오연 외 : 제5회 학술강연회 논문집, 한국추진공학회, 1995, 11, P 195
2. 손영일, 이경훈 외 : 제5회 학술강연회 논문집, 한국추진공학회, 1995, 11, P 181
3. 은일상 : 제20회 산학공동심포지움, “준안정 재료의 물성”
4. 최정철 외: 한국주조공학회지 vol.8. No.3 P13

5. R. Mitamura : Light Metal, Vol.30, No.4, P 227
6. J. Moriceau : Light Metals, Trans AIME, (1975) 119
7. I.N. Fridlyander : Key Engineering Materials, Vol.44~45 (1990) P 321 ~ 332

Table 1 Comparison of A7075 & A7175 component.

composition	A7175	A7075
Si	0.15 Max.	0.40 Max.
Fe	0.20 Max.	0.50 Max.
Cu	1.20 ~ 2.00	1.20 ~ 2.00
Mn	0.15 Max.	0.30 Max.
Mg	2.10 ~ 2.90	2.10 ~ 2.90
Cr	0.18 ~ 0.28	0.18 ~ 0.28
Zn	5.10 ~ 6.10	5.10 ~ 6.10
Ti	0.10 Max.	0.20 Max.
Al	Rem.	Rem.

Table 2 Big Billet Casting Process.

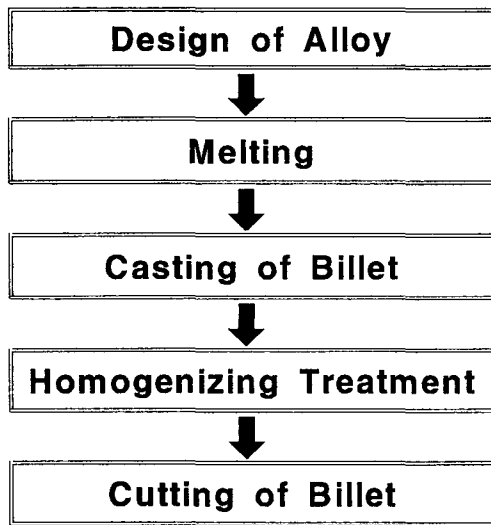


Table 5 Recovery of Billet Production

cond.		input(kg)	output(kg)	recovery (%)
A	1	7,800	5,944	76.2
	2	7,800	4,641	59.5
B	1	7,800	5,671	72.7
	2	7,800	5,366	68.8
C	1	7,800	3,097	39.7
	2	7,800	5,140	65.9
D		7,800	3,026	38.8

Table 3 Control of Fe/Si and minor Be Addition.  
(wt%)

cond.		Fe	Si	Be
A	1	0.15	0.06	0.004
	2	0.15	0.06	0.004
B	1	0.13	0.06	-
	2	0.11	0.05	-
C	1	0.07	0.03	0.004
	2	0.03	0.03	0.004
D		0.07	0.03	-

Table 6 Results of Mechanical Properties

	T.S (kg/mm <sup>2</sup> )	Y.S (kg/mm <sup>2</sup> )	Elong.(%)
A	23.5	10.1	15.5
B	23.1	10.1	13.5
C	23.9	10.4	16.0
D	23.1	10.3	12.4

Table 4 Specification of Ingot, Master Alloy.

Alloy	Specification
Al Ingot	99.9%
Al - Cu Alloy	Al - 40%Cu
Al - Cr Alloy	Al - 75%Cr
Mg Ingot	99.99%
Zn Ingot	99.99%
Al-Ti-B Alloy	Al-5%Ti-1%B

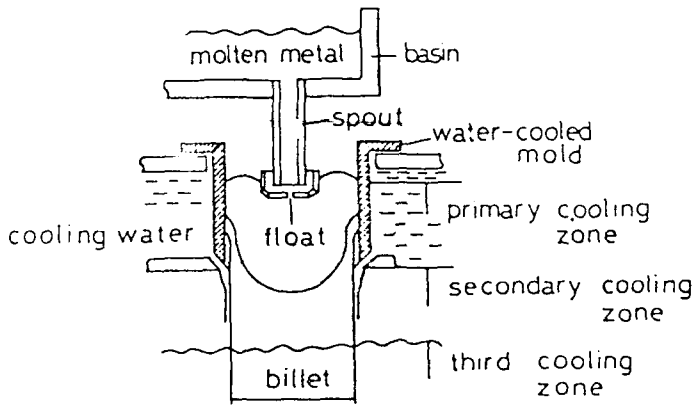


Fig. 1 Description of Semi-continuous Direct Chill Casting Process.

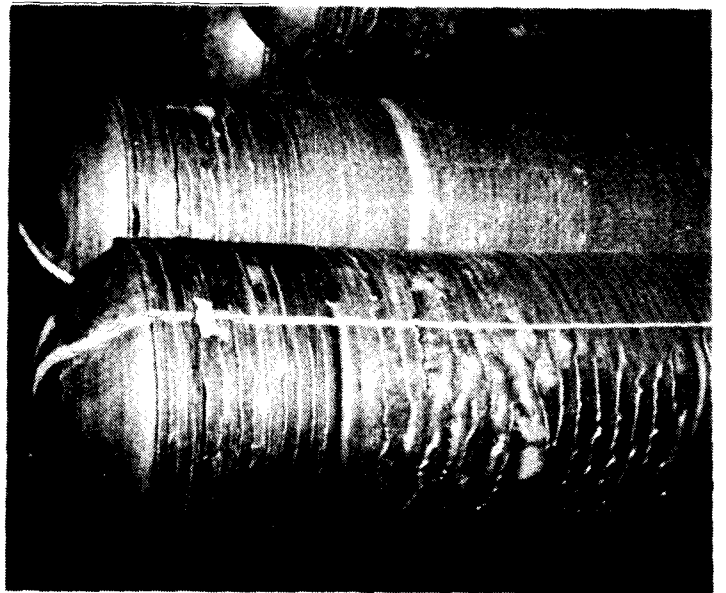
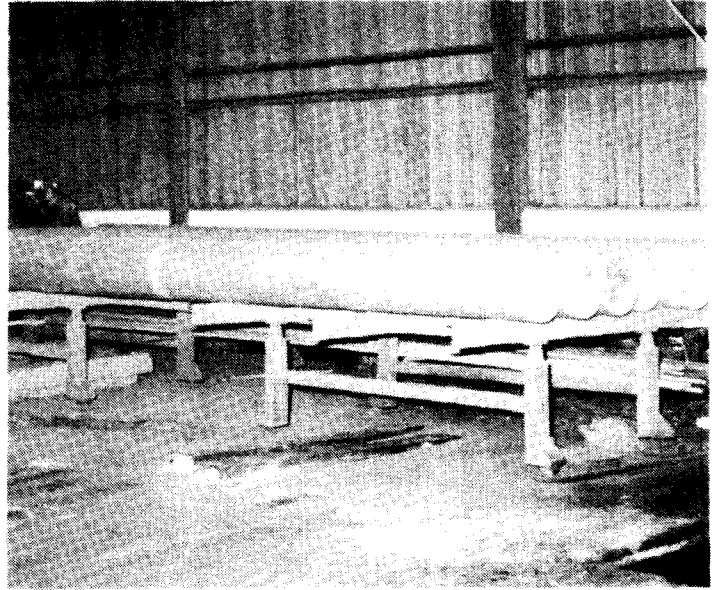


Fig. 3 General Aspects of Big Billet after Casting(a) and IngoCracking(b).

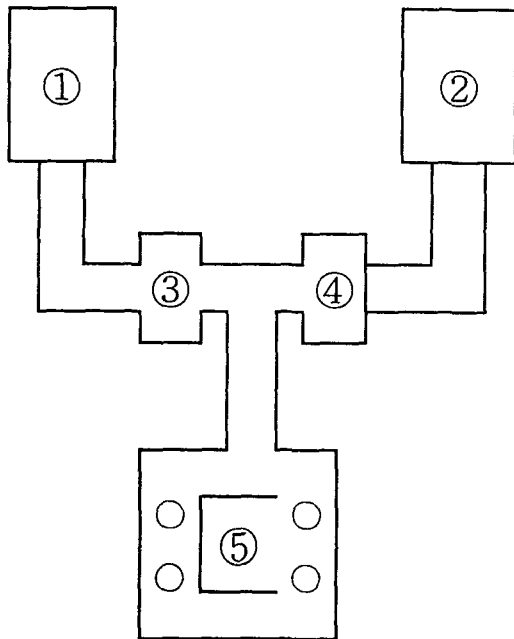


Fig. 2 Melting line of Melting Furnace, Casting Facilities.

- ( ①, ② : Melting Furnace
- ③, ④ : Degassing Furnace
- ⑤ : Distributor)

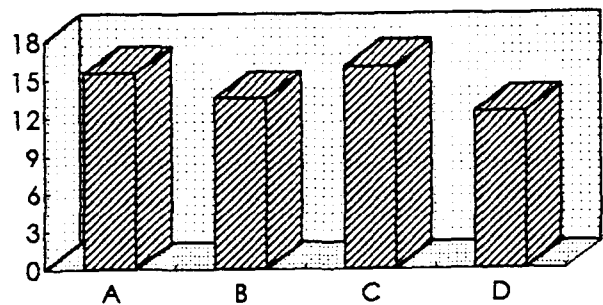


Fig. 4 Comparison of Elongation in Billet Conditions.

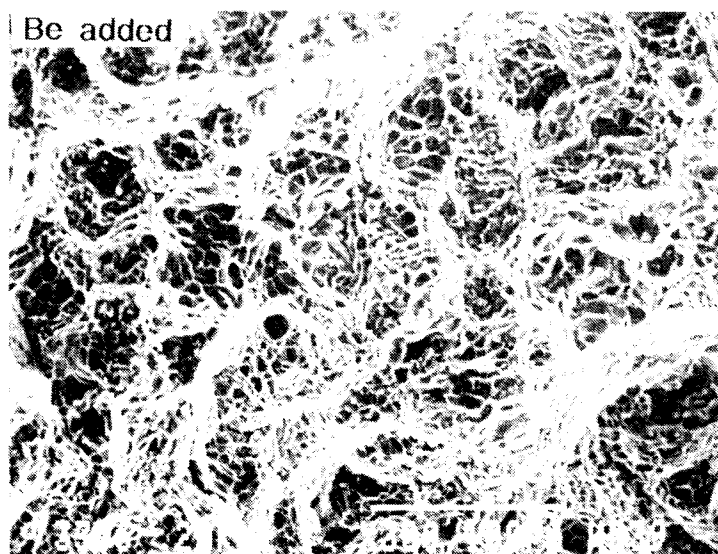
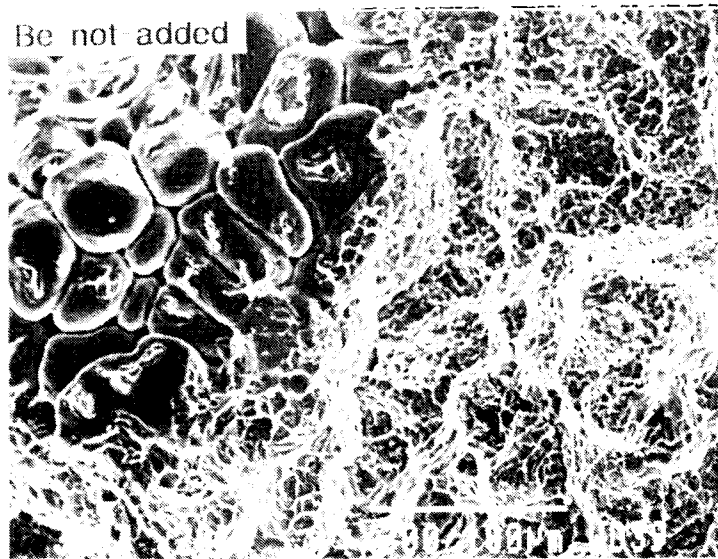


Fig.5 SEM Micrograph of Fractured  
Tensile Specimen.

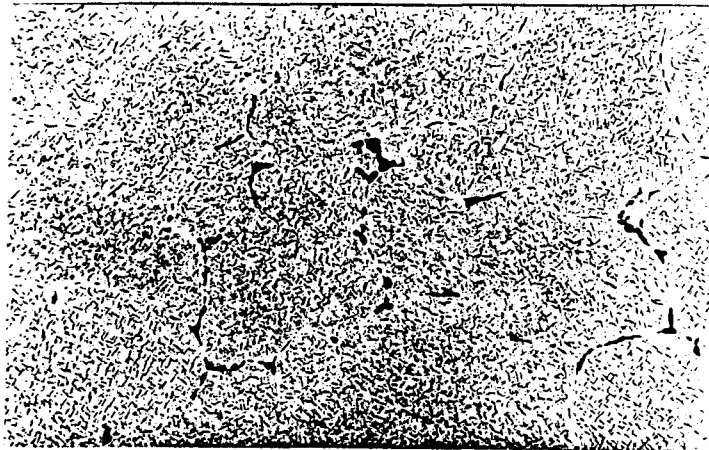


Fig.6 Microstructure of Big Billet.

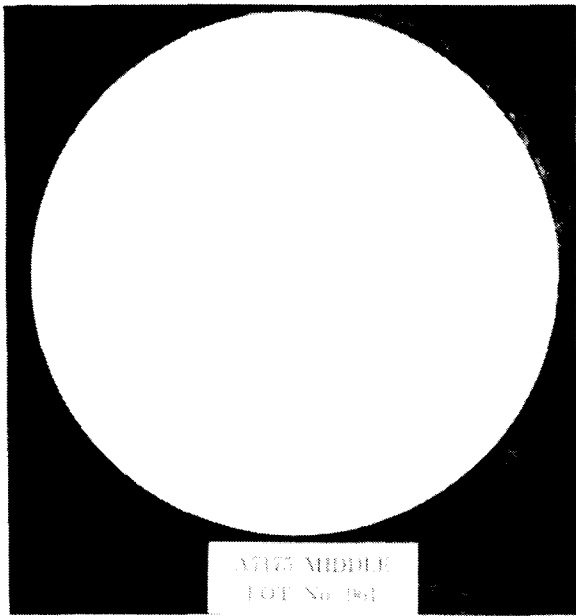


Fig.7 Macrostructure of Big Billet.

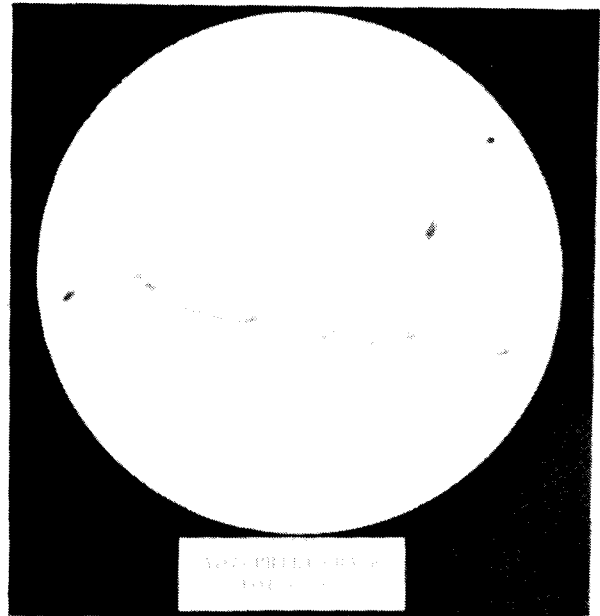


Fig.8 Example of Crack Indication