

技術資料

# 알루미늄 쌍롤주조시 주방스트립의 조직 불균일 및 결함발생

조성석\*

## The Occurrence of Structure Inhomogeneities and Defects in As Cast Strip During Twin Roll Casting of Aluminum

S. S. Cho\*

연속 스트립 주조(continuous strip casting)를 하게 되면 액체 금속에서 직접 최종 치수의 판을 얻을 수 있는 매력적인 공정 단축의 이점을 얻을 수 있다. 쌍롤 주조기(Twin Roll caster)는 비교적 작은 투자비와 융통성이 좋아서 상용으로 널리 사용되고 있는 기계이다. 이들 주조기에 의해 생산된 strip은 현재 여러 가지 용도로 기존 재료에 잘 적용되고 있다. 또한 기존 재료의 성질이 개선되는 것도 있다. 쌍롤 주조기는 거의 30년 동안 상용으로 사용되어 왔으나, 이에 관한 문헌은 극히 희박하다. 대부분의 이용 가능한 정보는 기계 제작자에 의해 출판되었기 때문에 이 방법의 좋은 점에 관해서만 논의되었다. 최근 매우 흥미있는 문헌이 출판되었다. Nes와 Slevolden<sup>(2)</sup>은 주조 조직과 아닐링(annealing)조직에 대하여 서술하였다. Jin<sup>(3)</sup>등은 주조시 중심선 편석(center-line segregation)의 생성을 고찰하였다.

Althoff<sup>(1)</sup>는 기계적 성질을 종합하였고, 몇편의 논문은 스트립주조(strip casting)<sup>(4,5)</sup>에 특히 적합한 새로운 합금에 대하여 기술하였다. Iricibar와 Jin은 응고영역(solidification zone)에 미치는 주조인자(casting parameter)의 영향을 고찰하였다.

본 고에서는 H, Westengen의 논문을 번역하여 쌍롤 주조시 발생하는 전형적인 조직 불균일성과 주조결함에 대하여 훑어 보기로 하겠다. 대부분의 결함은 주조 조건과 작동방법(operational practice)을 주의깊게 조절하므로써 제거할 수 있지만, 기존재료의 용도에 완전히 경쟁이 되기 위해서는 쌍롤 주조법을 향상시키는 연구가 필요하다는 것은 자명한 일이다.

### 1. 쌍롤 주조법

#### 1.1 개요(General aspect)

몇몇 중요한 세부사항이 다르긴 하지만, 기계설계 및 작동의 주원리는 상용으로 쓰이는 쌍롤(roll)주조기<sup>(7,8,9)</sup>에 공통이다. 주조용해로(caster furnace)로부터 나온 액체금속을 정화계(laundry system)를 통과시켜 주조노즐(casting nozzle) 앞에 있는 headbox로 공급한다. 주조 노즐(cast nozzle)은 액체금속을 필요로 하는 strip폭을 갖도록 수냉식 롤(roll)사이에 공급하여 응고되도록 한다. 주조용해로(casting furnace)나 정화계(laundry)에 입자미세화 원소를 첨가한다. 정화계(laundry system)에 한줄로 용탕정화장치(melt cleaning unit)를 설치하여 비금속 개재물 및 가스를 제거한다. 최근 설치된 장치는 보통 tight coiling을 설치하고 롤(roll)표면에 스트립(strip)이 붙는 것에 의해 생성되는 문제를 해결하기 위하여 강력한 구동력을 갖는 coiler를 갖춘다.

#### 1.2 응고선단(Solidification front)

그림 1에서 스트립(strip)주조의 모형을 볼 수 있으며, 중요한 인자를 표시하였다. 주방상태의 스트립(strip)은 그림 2와 같은 종단조직을 하고 있으며, 응고선단에 대한 정보를 가지고 있다. 입자는 응고선단에 수직하게 성장하고 A와B 사이에서만 변형이 일어난다고 가정한다면 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$Y = t_1 / 2 \tan \psi_1 \dots \dots \dots (1)$$

$$S_{eff} \approx S - Y \dots \dots \dots (2)$$

\*충남대학교 공과대학 금속공학과

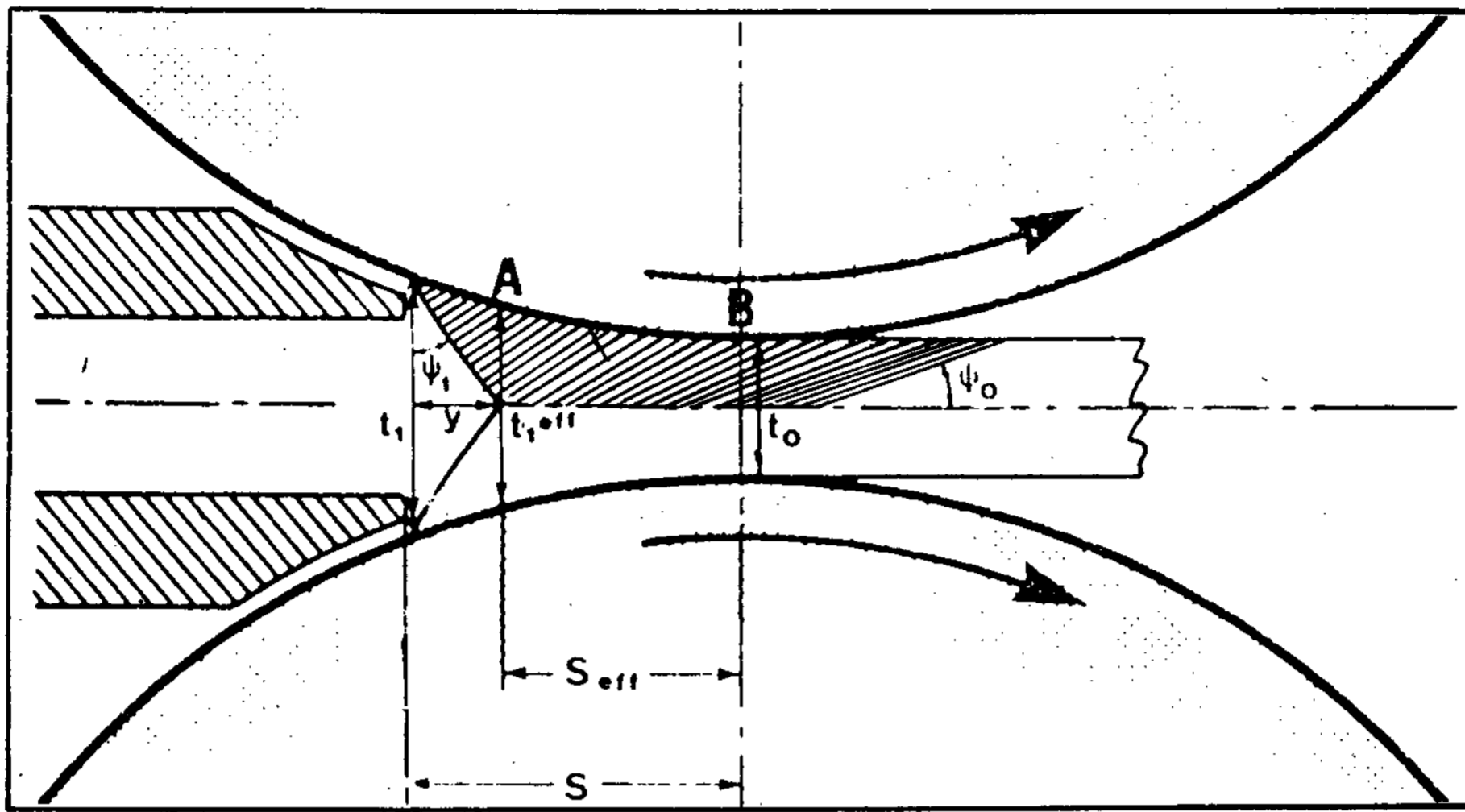


그림 1. Schematic drawing showing the rolls cavity, nozzle and solidifying strip.

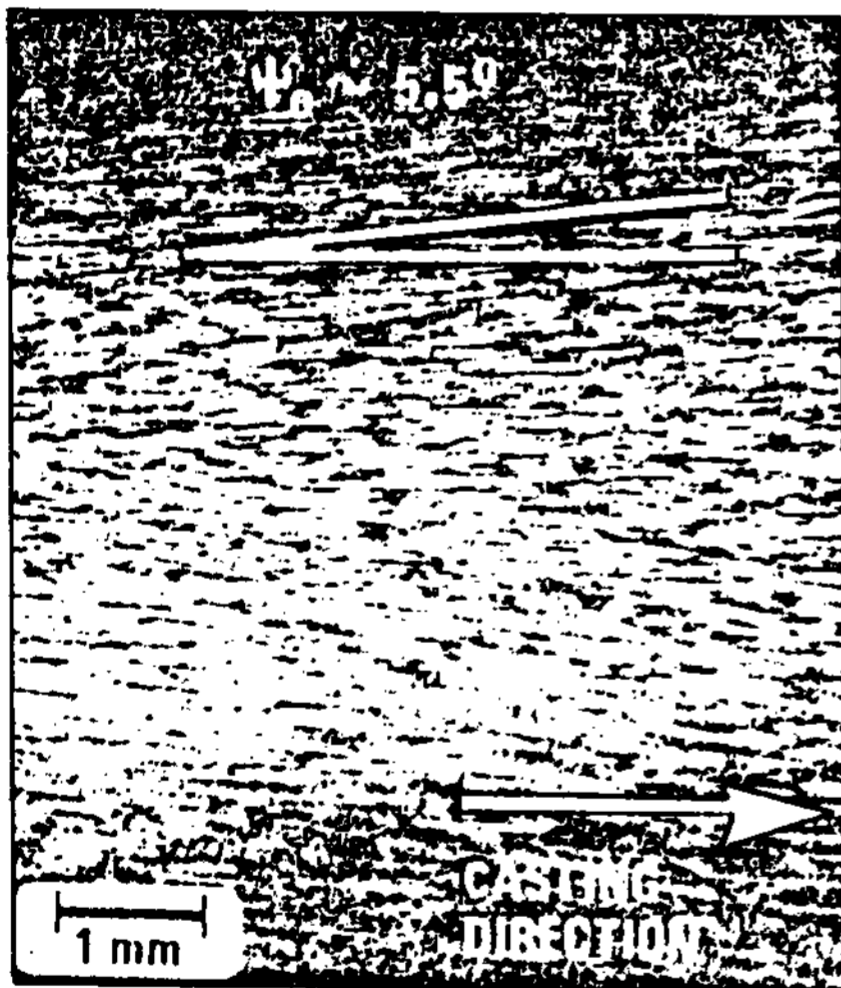


그림 2. Typical grain structure of properly grain refined strip. Casting conditions: tip setback; S=70mm, casting speed; 95m/min., Liquid metal temperature in the headbox; 685-688°C.

$$t_1^{eff} = S_{eff}^2 / R + t_0 \dots\dots\dots(3)$$

$$\tan\psi_1 = (t_1^{eff} / t_0)^2 \tan\psi_0 \dots\dots\dots(4)$$

응덩이 길이 y를 구하려면 반복법에 의해 이들을 풀면 된다. 그림 2에서  $\psi_0$ 를 측정하면 약  $5.5^\circ$  이므로 응덩이 길이 y는 4.8mm가 된다.

응덩이 길이 y에 미치는 롤(roll)속도나 주조 온도의 영향은 Iricibar와 Jin(6)이 보여준바와 같이

forward slip을 측정함으로써 유도할 수 있다. Jin 등은 다른 조건은 일정하게 놓고, 롤(roll)속도를 780mm/min로부터 1260mm/min로 증가시키면 응덩이 길이가 1.6mm 증가함을 측정하였다.

### 1.3 롤 틈에서의 변형 (Deformation in the rolling gap)

단면 감소율은 다음과 같이 나타낼수 있다.(그림1 참조)

$$\% \text{ red} = (t_1^{eff} - t_0) / t_1^{eff} \dots\dots\dots(5)$$

이미 논의한 특정 예에서 단면 수축율은 약 58%이다. 롤(roll)을 빠져나온 금속의 온도는 약 300°C근방이다. 따라서 변형은 고상선 온도와 300°C사이의 온도범위에서 변형이 일어난다. 출구(exit)온도가 낮기 때문에 스트립(strip)에 재결정은 일어나지 않고 변형된 채로 존재하게 된다(그림3 참조).

그림 4a는 판두께를 가로질러 측정된 경도 윤곽을 나타내고 있다. 그림 4b의 가공 경화 곡선과 비교하면, 주조시에 도입된 변형은 냉간 압연에서의 단면 수축을 10-25%에 해당한다.

### 1.4 응고조직 (Solidification microstructure)

응고가 높은 냉각속도로 일어나기 때문에 그림 5a와 같이 세포상 성장 양상(cellular growth pattern)을 갖기 쉽다. 스트립(strip)두께를 가로질러 측정된 cell간격의 변화는 그림 5b와 같다.

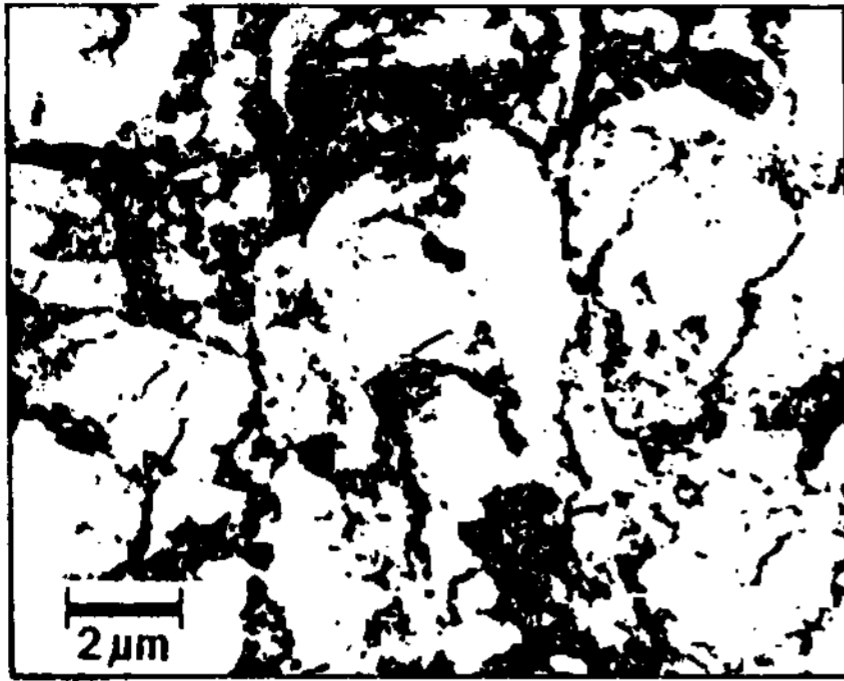
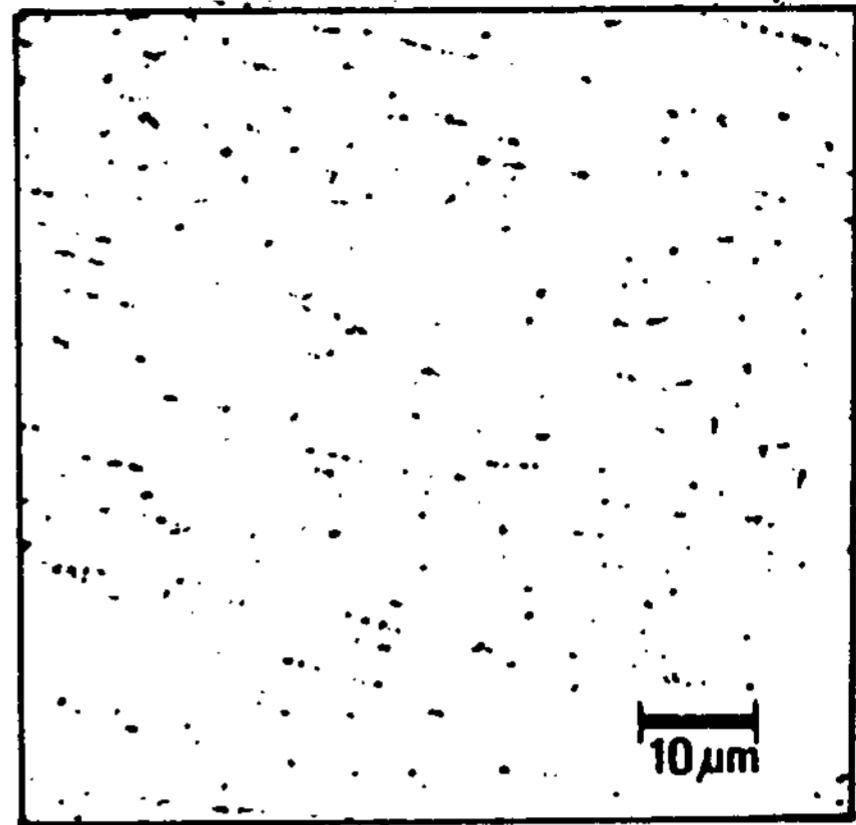
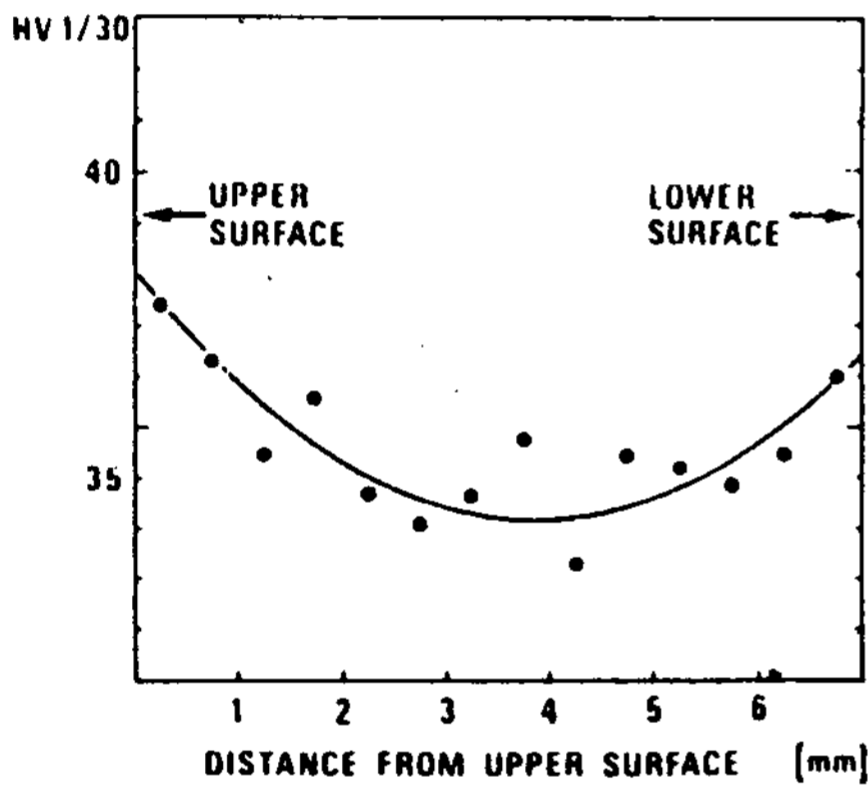


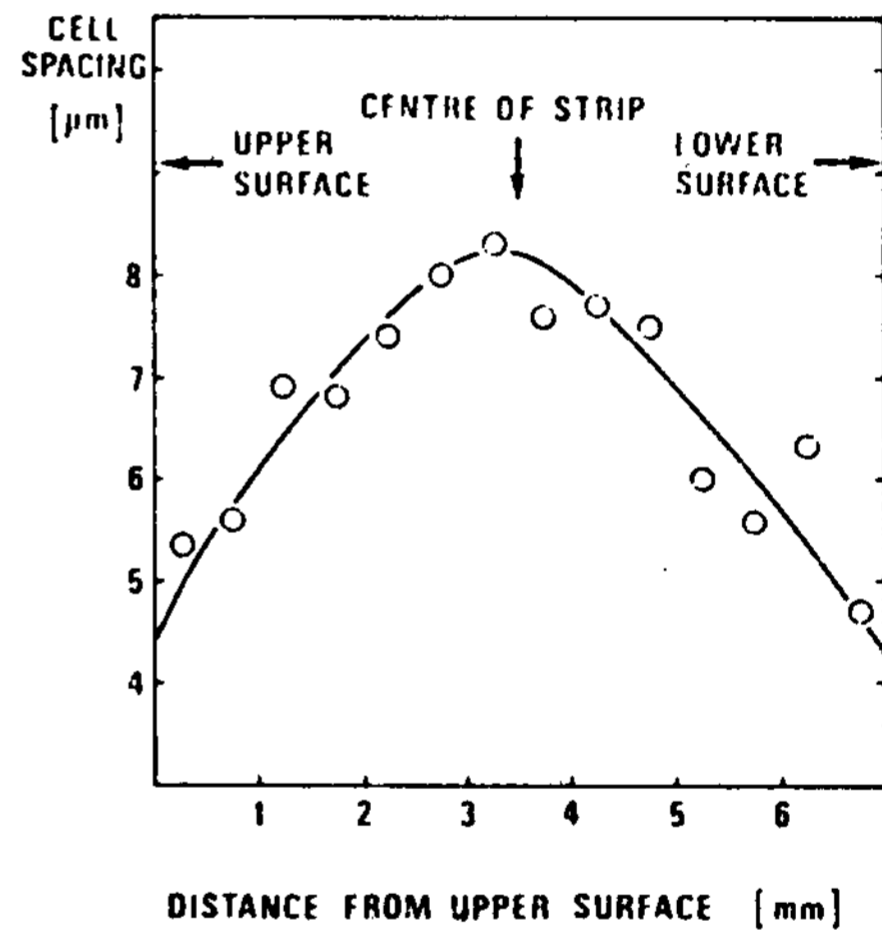
그림 3. TEM micrograph showing the deformation structure of as cast strip.



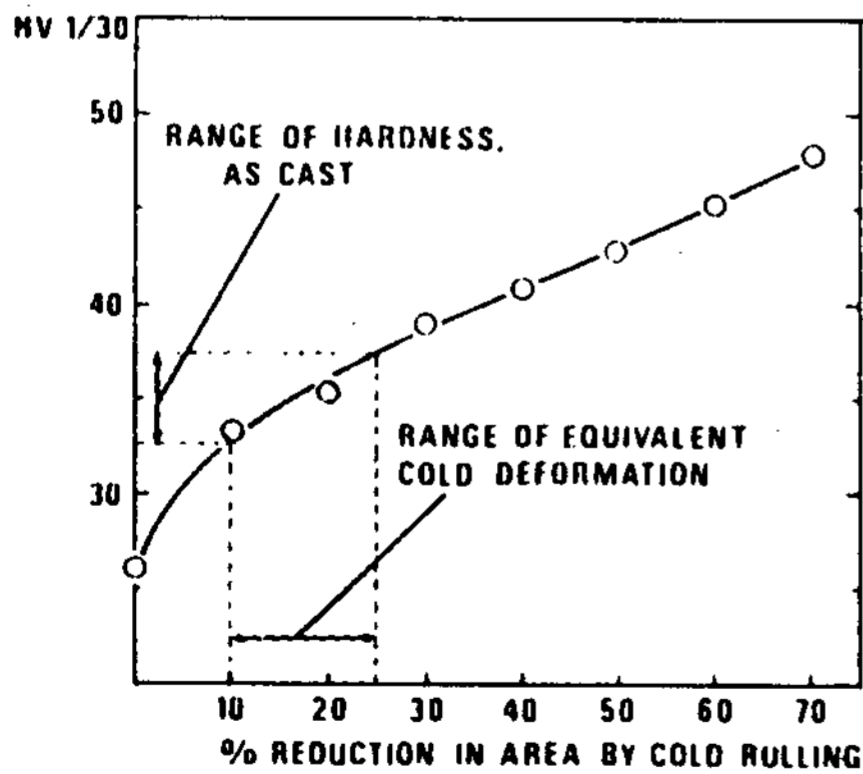
a)



a)



b)



b)

그림 4. a: Variation in hardness across the strip thickness, for as cast strip. Al-99.5w/o. b: work hardening of the same material during cold rolling after soft annealing.

그림 5. a: Typical solidification cell structure as observed by light microscopy, longitudinal cross section, 0.5mm from the surface. b: Variation in cell spacing across the strip thickness: Alloy Al-0.5w/o Fe-0.2w/o Si

2차 수지상 간격 (d)의 측정과 응고속도(v)로부터 유도한 다음과 같은 식<sup>(10)</sup>을 이용하면

$$d \cdot v^{0.33} = 33.4 \{ \mu\text{m} (\text{k/s})^{0.33} \}$$

응고속도(v)는  $10^2 \text{k/s} \sim 10^3 \text{k/s}$  범위로 계산되었다. 이 응고 속도는 기존의 DC주조<sup>(10)</sup>의 응고속도보다 100배 정도 더 크다. 높은 응고속도는 주방상태의 미세조직에 중요한 영향을 준다.

1.5 초정의 크기 분포(Size distribution of primary constituents)

그림 5b와 같이 세포상태크기(cell size)가 작으면 초정의 크기에 직접 영향을 준다. 기존의 DC-주조 후 열간 압연한 재료와 비교해 보면 금속간 화합물의 크기는 그림6에서 보는바와 같이 5배정도 감소한다.

금속간 화합물의 크기가 작아지면 중요한 장점과 단점을 나타낸다. 새로 개발된 합금AA8006과 AA8007은 입자크기를 1~5 $\mu\text{m}$ 범위로 안정화시키기 위하여 금속간 화합물 입자의 미세 분포를 이용한다.

소위 저공정(low-eutetic) 합금은 입계강화에 의해 그다지 큰 가공성의 감소없이 강도를 증가시킬 수 있다.

한편 금속간 화합물의 크기가 작으면, 이들을 함유한 스트립(strip)을 인발(drawing) 및 wall-ironing법으로 강통을 제조할때 표면상처(surface galling)가 종종 나타난다. 주방상태의 표면과 관련된 다른 인자도 이것에 영향을 주리라고 생각한다.

1.6 초정의 형태(Types of primary constituents)

응고속도가 높으면 주조시에 준안정 화합물이 생성되기 쉽다. 유사한 현상을 DC-주조 주괴에서 관찰할 수 있다. 주괴의 두께를 가로질러 응고속도의 변화가 일어나기 때문에 수많은 다른상이 생성되어 소위 말하는 "전나무 영역(fir-tree zone)"이 생성된다.

냉각속도가 10k/s이상이면 tetragonal  $\text{Al}_m\text{Fe}$  상이 생기기 쉽고 높은 냉각속도에서는 bcc의  $\alpha\text{-AlFeSi}^{(12)}$ 상도 함께 생성된다.

1.7 고용원소(Elements in solid solution)

주방상태의 스트립(strip)은 Mn, Fe, Cr, Zn등과 같은 원소를 상당히 과포시킨다. 일례로 1.0w/oMg, 1.0w/oMn, 0.13w/oSi 및 0.35w/oFe을 함유하는 주방상태의 AA3004합금의 전기비저항은  $6.54\mu\Omega\text{cm}^{-1}$ 로 측정되었다. 고용체중의 Mn+Fe의 양은 다음과 같이 나타낼수있다.

$$w/o(\text{Mn}+\text{Fe})(\text{고용체중의량}) \approx$$

$$(\rho - \rho_{\text{Al99.99}} - 0.5C_{\text{Mg}}) / 3.6 \dots \dots (7)$$

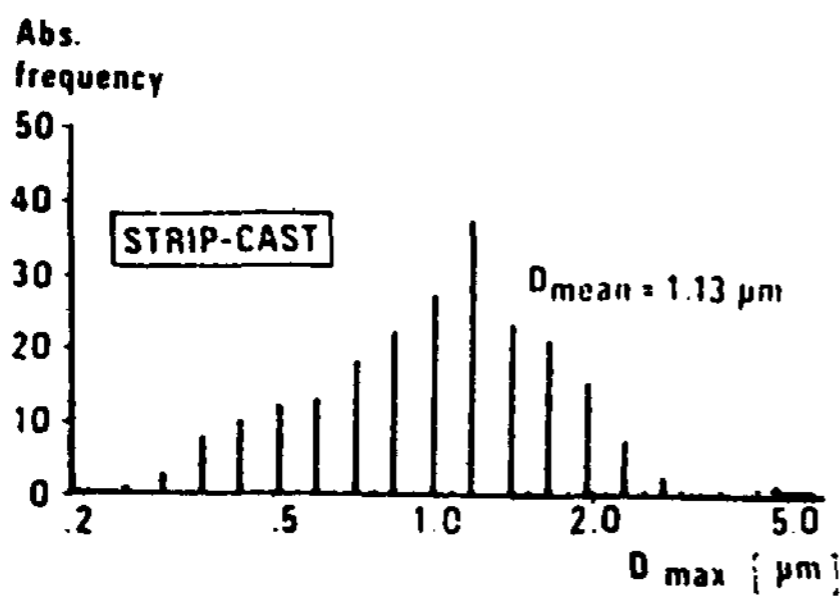
$\rho$ 는 합금의 비저항,  $\rho_{\text{Al99.99}}$ 는 99.99w/oAl의 비저항,  $C_{\text{Mg}}$ 는 Mg의 농도를 나타낸다. 인자 0.5 및 3.6은 참고문헌<sup>(13)</sup>에서 취한 것이다. 주방상태의 AA3004의 전기 비저항을 측정한 결과 고용체중에 0.92w/o의 Fe+Mn이 있음을 보여주었다.

후속되는 annealing시 Fe와 Mn의 석출이 일어나기 때문에 입자크기(grain size)문제에 봉착하게 된다<sup>(2)</sup>. 이들 문제를 파악할수 있는 가능한 방법으로는 균일화처리 및 flash-annealing처리가 있다. 높은 과포화의 장점은 재결정을 지연시키는 것으로써, 기계적성질이 우수한 temper-annealed sheet 제조에 매우 유리하다.

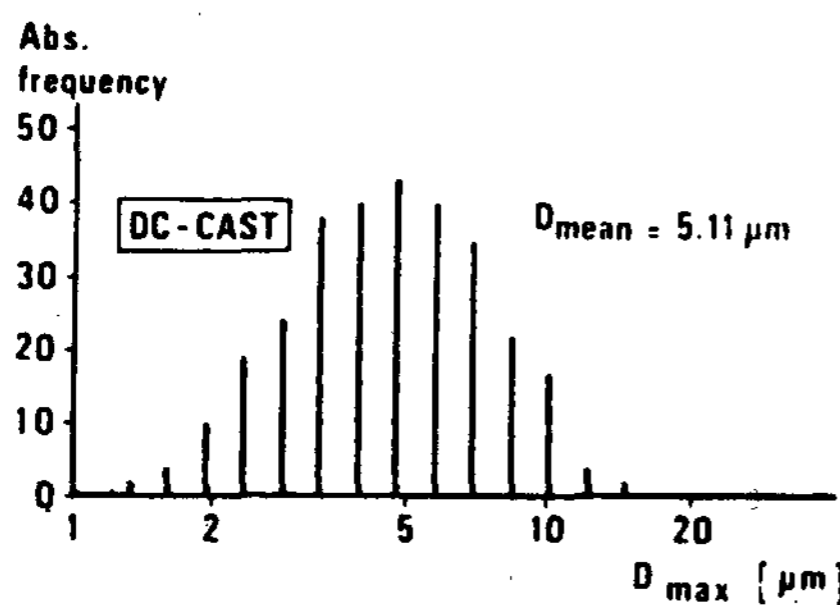
2. 조직 불균일과 주조결함(Structure Inhomogeneities and Casting Defects)

2.1 중심선 편석(Centerline Segregation)

중심선 편석은 그림 7에서 보는바와같이 합금



(a)



(b)

그림 6. Size distributions of primary constituents. Alloy AA 3004. a: Strip cast, homogenized 24h/550 $^{\circ}\text{C}$ , cold rolled to 2.5mm and soft annealed. b: DC-cast, homogenized, hot and warm rolled to 2.5mm followed by soft annealing. (The quoted mean values are the arithmetic means).

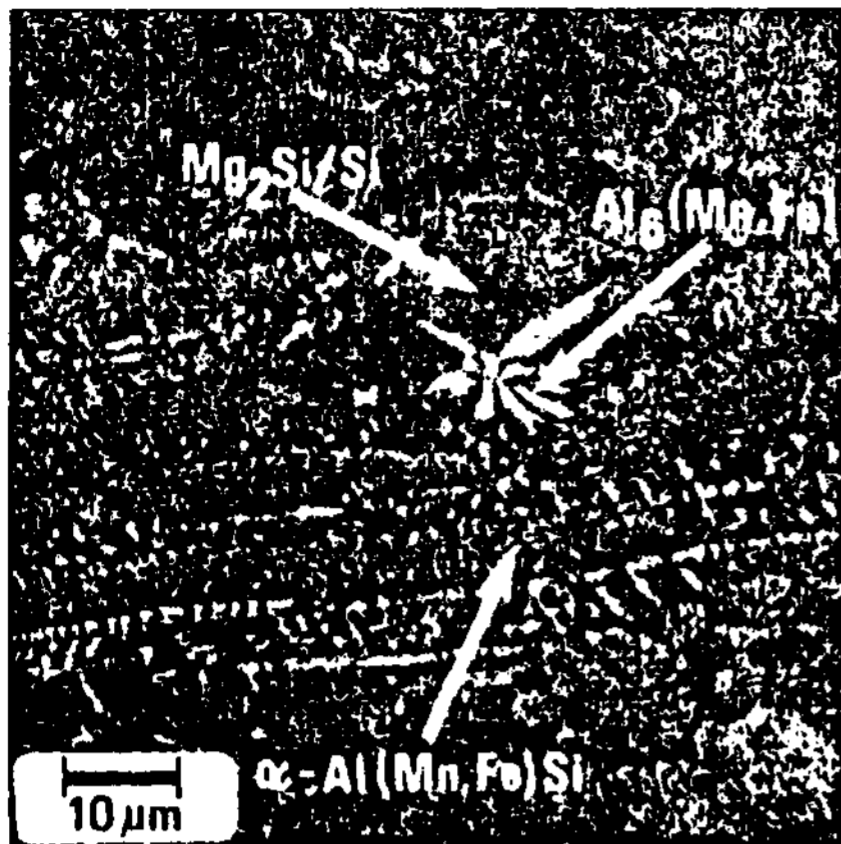


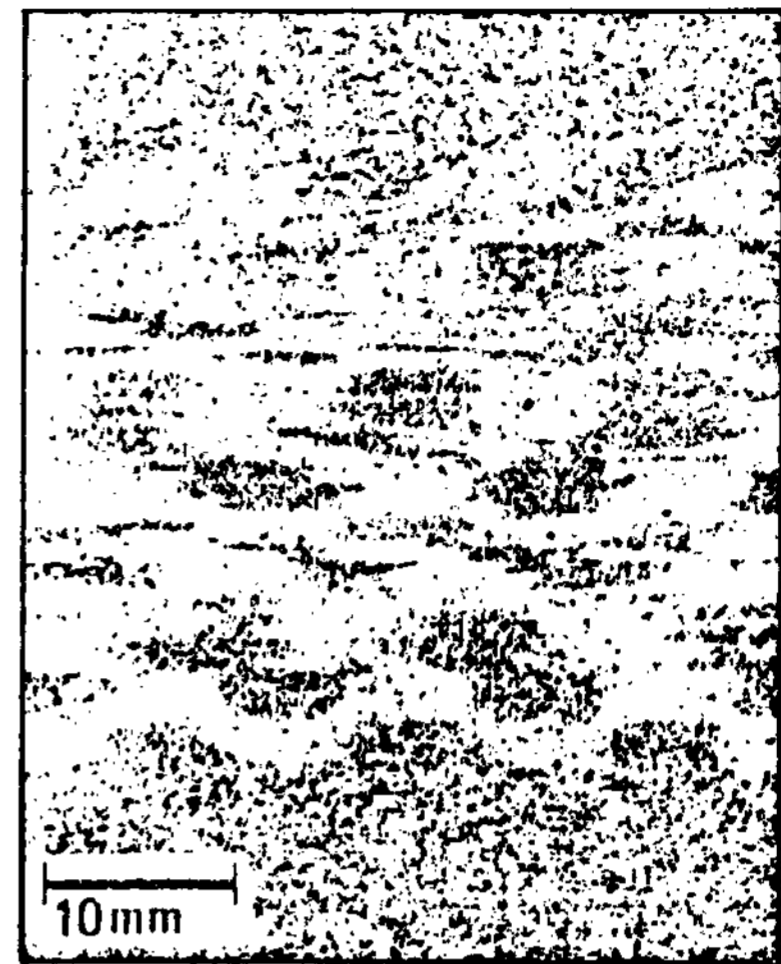
그림 7. Centerline segregates as observed by scanning electron microscopy. Alloy AA3004.

원소의 양이 많은 재료에서 특히 잘 나타난다. Jin<sup>(3)</sup>등의 최근 보고서에 의하면 이들 불균일성은 압력에 의해 유발된 channel 편석이다. 롤(roll)에 의해 걸리는 압력의 작용하에서, 합금원소가 풍부한 액체금속은 더 차거운 것으로부터 더 뜨거운 영역으로 몰려서(squeeze) 채널(channel)을 형성한다. 이 액체가 응고될때 전형적인 공정균(eutectic colonies)이 형성된다. 국부적으로 조성이 과공정으로 될 수 있으며, 그림7에서 보는바와같이 커다란 초정입자(preeutectic particle)를 생성시킨다. Jin<sup>(3)</sup>등에의하면 중심선 편석의 부피 분율은 합금원소 및 주조 속도가 증가할수록 증가한다. 이들 불균일성은 롤(roll)주조법의 고유 성질로 보이며 판재는 최종 성질에는 악영향을 주지 않는다.

### 2.2 입자조직 (Grain structure)

균일하고 미세한 입자를 갖는 조직을 안정화시키기 위해서는 다량의 입자 미세화 원소를 첨가하는 것이 일반적인 일이다. 그림 2와 8은 여러가지 미세조직을 보여주는 것으로 그림 2는 적당히 미세화 시킨 조직이고, 그림8a는 미세화 원소가 아주 적은 것으로 깃털결정(feather crystal)조직을 하고 있고, 그림 8b는 미세화원소가 전혀 없는 조대한 조직을 하고있다.

실제로 주조용해로(casting furnace)에 Ti을 함유하는 경화제를 첨가하고 정화계 (launder)에 Al<sub>5</sub>Ti<sub>13</sub>분을 첨가하면 롤주조기(roll caster)를 오랫동안 연속적으로 운전하여도 최대의 입자 미세화에 대한 신뢰성을 준다.



(a)



(b)

그림 8. Unfavourable grain structure. a: Feather crystal formation. b: Coarse grain structure.

### 2.3 레벨선 (Level line)

그림 9에서 DC-주조에서와 유사한 레벨선(level line)이라고 부르는 표면 불균일성을 볼수 있다. Nes<sup>(2)</sup>가 지적한대로 이 표면 불균일성은 주방상태의 판에서 육안으로 볼수 있으며, 이 결함은 표면 바로 밑의 세포상간격(cell spacing)의 변화와 관련이 있다. 이것은 표면 가까운 곳에서의 응고 속도가 주기적으로 변한다는 것을 의미하는 것이다. 이 주기적인 응고 속도의 변화는 액체 금속이 분출구(nozzle tip)를 떠날 때 액체 금속에 생긴 산화물피막이 주기적인 파괴를 일으키기 때문

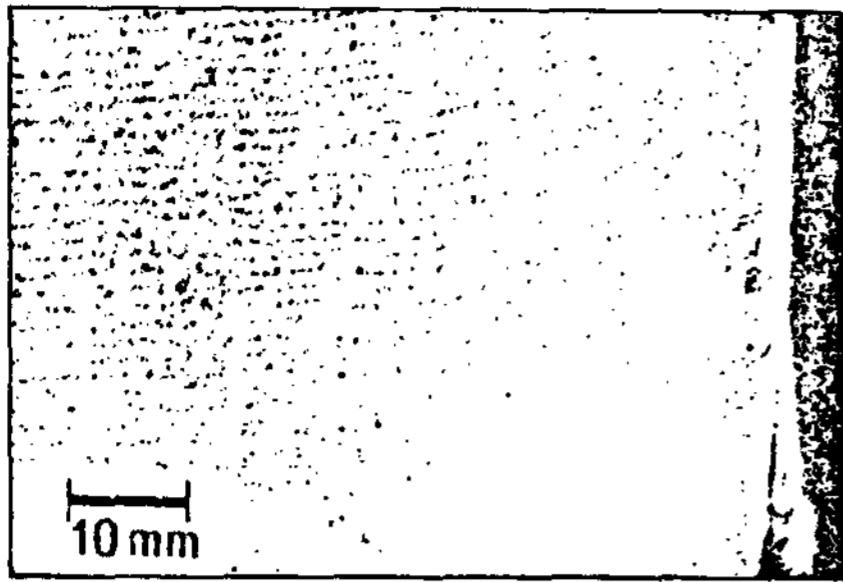


그림 9. Typical level lines. The Sample is etched to emphasize the effect.

에 나타나는 것이다.

2.4 표면 줄무늬(Surface streaking)

표면에 생긴 줄무늬는 주조시에 종종 볼 수 있다. 이들 줄무늬는 표면 밑에 존재하는 결함에 의한 것도 있고 아닌 것도 있다.

2.4.1 스트립(strip)속에 공극을 갖는 줄무늬(streaks with underlying voids)

다소 연속적인 공극(void)의 가로보 (stringer)는 심각한 주조 결함이다. 이 공극은 스트립(strip)을 따라 수백 m 확장될 수 있다. 그림10a는 스트립(strip)의 횡단면(transverse cross

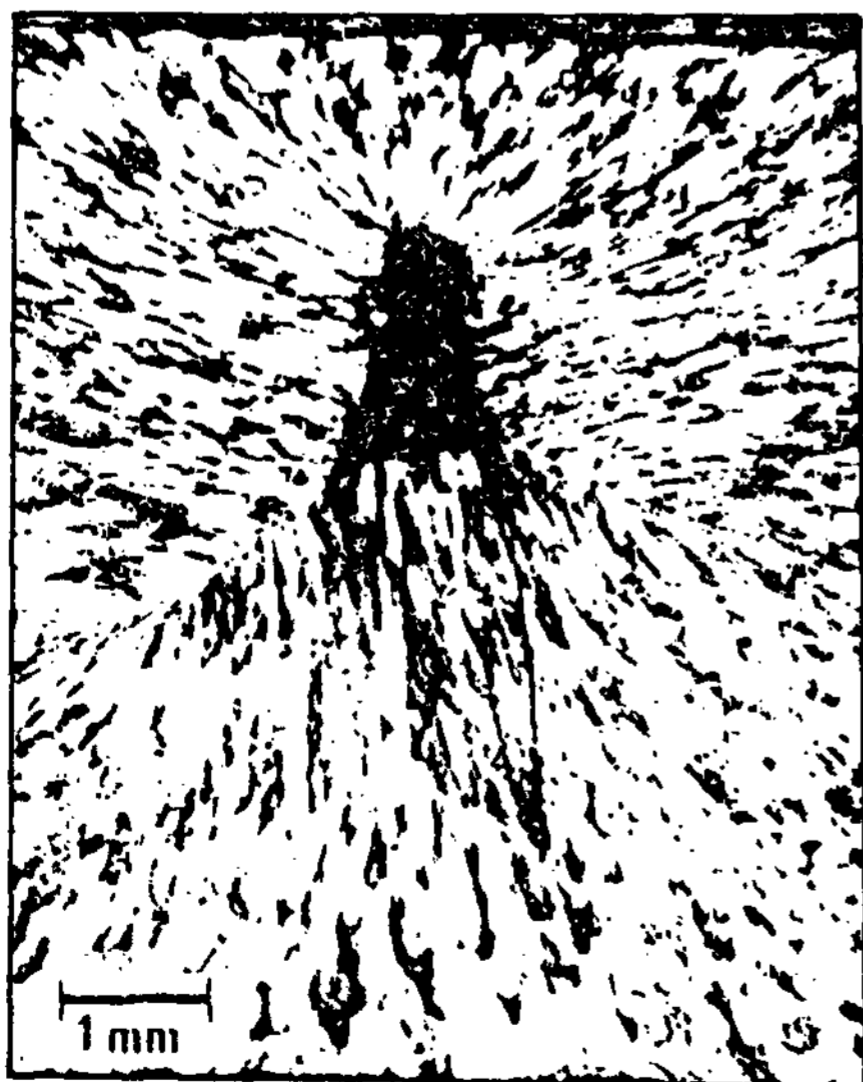
section)에서 볼수 있는 예이다. 이들 결함은 순수 Al이나 Al-Mn합금에서 보다 Mg을 함유하는 Al합금에서 더욱 자주 발생한다. 이들 결함은 그림10b에서 보는 바와 같이 주방상태의 스트립(strip)표면에 무늬를 수반하는 것이 보통이다. 그림 10c에서 보는바와 같이 간단한 굽힘 시험에 의해 이들 결함의 심각성에 관한 정보를 얻을 수 있다. 그림10a에서 알 수 있는 바와 같이 공극 주위의 입자는 뒤틀려 있는데, 이것은 용탕흐름(melt flow)을 방해하는 장애물이 공극 결함을 생성시키는 원인이라고 할 수 있다.

이들 장애물을 형성하는 경우는 두 종류가 있다.

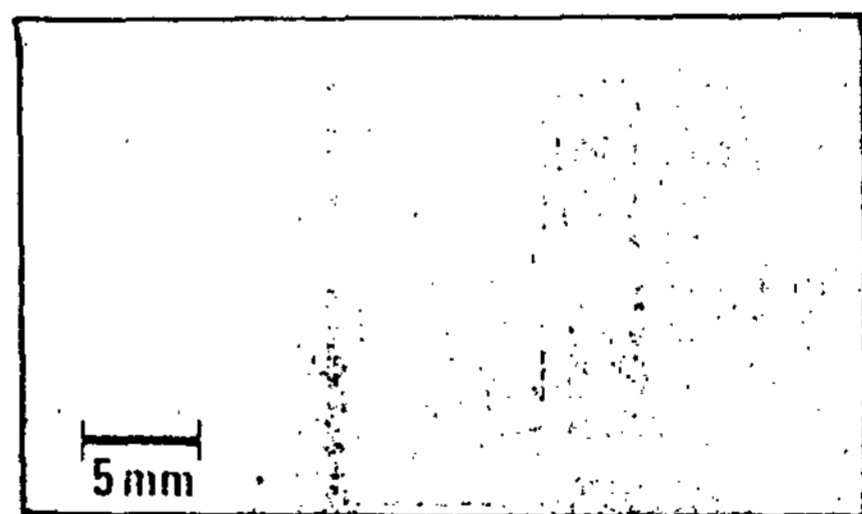
- ① 국부적으로 불순물이 집적되어 노즐(nozzle)을 막는 경우.
- ② 노즐(nozzle) 출구에 가스 방울(H<sub>2</sub>)이 형성되는 경우.

주조를 마친 후 주조노즐(casting nozzle)를 조사한 결과 그림11에서 보는 바와 같이 nozzle 밑 바닥에 slurry가 쌓인 것을 볼 수 있다. 이 slurry는 주사 전자 현미경으로 조사한 결과 산화물 뿐만 아니라 Ti와 B을 함유하는 입자의 덩어리임을 확인하였다(그림 11b).

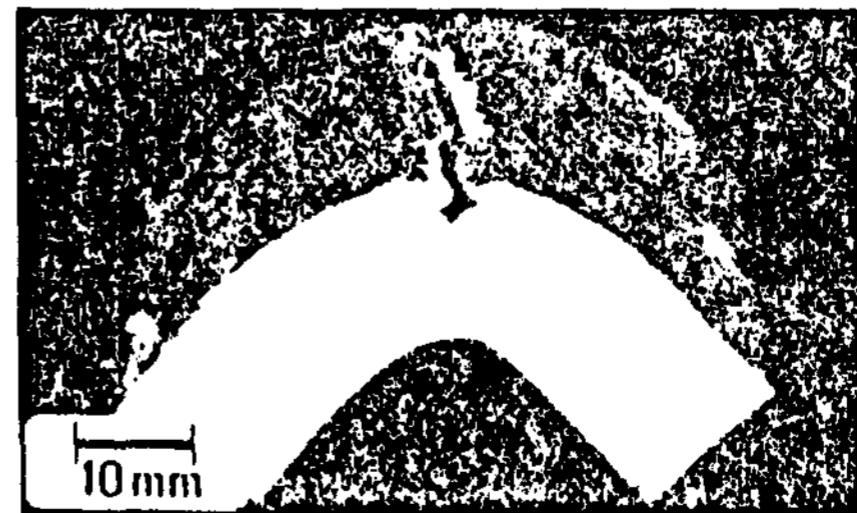
Mg을 함유하는 용탕(melt)은 노즐(nozzle)속



(a)

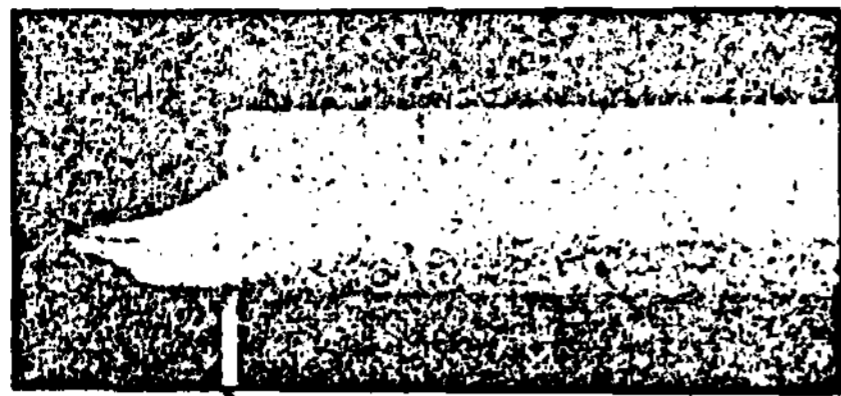


(b)

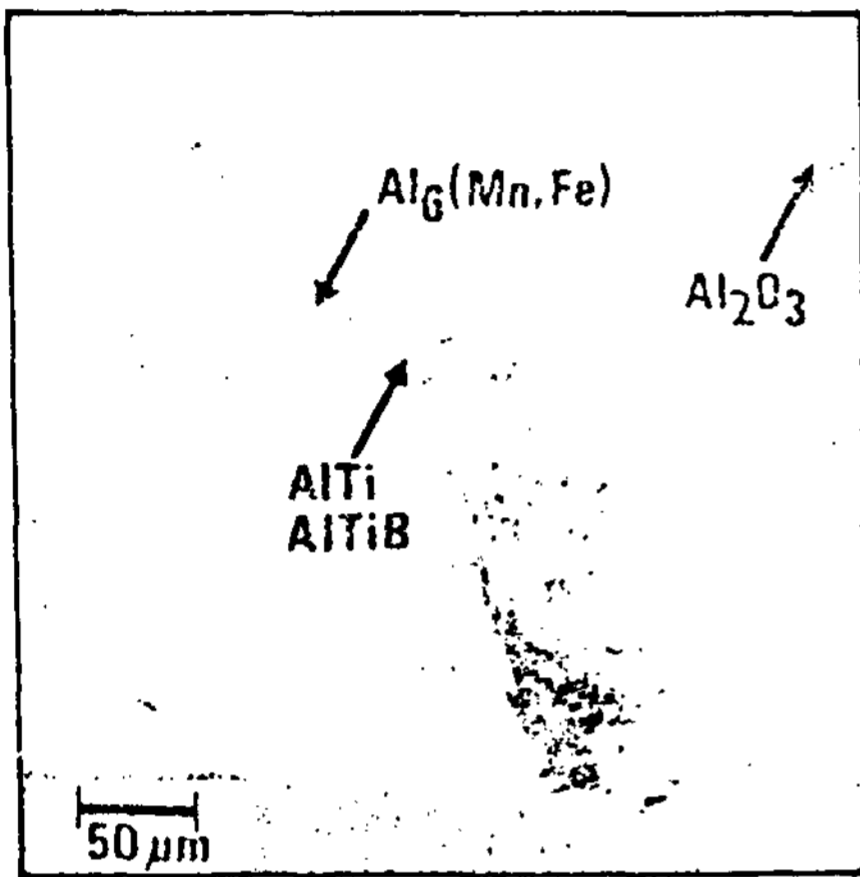


(c)

그림 10. Surface streaking with underlying voids. a: Transverse cross section showing the grain structure and void. b: Appearance of the as cast surface. c: Cracking after bend testing Al-0.6w/o Mg-1.0w/o Mn.



TIP OF THE NOZZLE  
(a)



(b)

그림 11. a: Longitudinal cross section of the material inside the casting nozzle. Etched to reveal the segregates at the bottom of the nozzle  
b: micrograph of the bottom layer showing the various constituents which are present.  
Alloy Al-0.6w/o Mg-1.0w/o Mn.

에 있는 styrite 재료를 공격하여 nozzle을 갉아 먹고(erosion) 침정석(spinel)을 생성한다. 노즐(nozzle)의 다소 정지된 밑바닥층은 수 mm 두께로 성장하여 국부적 막힘(clogging)을 초래하게 된다.

공극 결함을 가지는 재료에서 H<sub>2</sub>량을 측정해 보면 매우 높은 값을 나타내는 것이 보통이다. 그림 10에서 결함을 함유하는 재료의 H<sub>2</sub> 농도는 0.29PPM이다. Low metal을 일정한 시간내에 처리하기 위해서는 주조용해로(casting furnace)를 높은 온도로 유지할 필요가 있다. 따라서 H<sub>2</sub>농도는 증가하게 되고, 특히 Mg을 함유하는 용탕은 H<sub>2</sub>량이 증가하게 된다. 정화(laundry)계의 개선과 효과적인 탈가스 장치가 낮은 H<sub>2</sub>농도를 위해 필요하다.

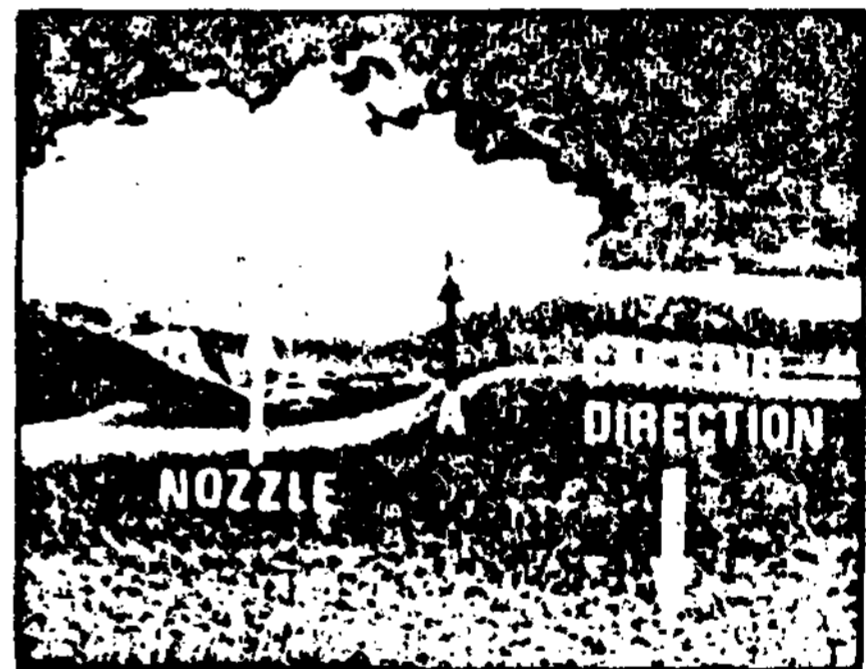
2.4.2 편석에 의해 생기는 표면 줄무늬

응고 영역으로 금속을 주입하는 방법이 불규칙하면 편석을 유발한다.

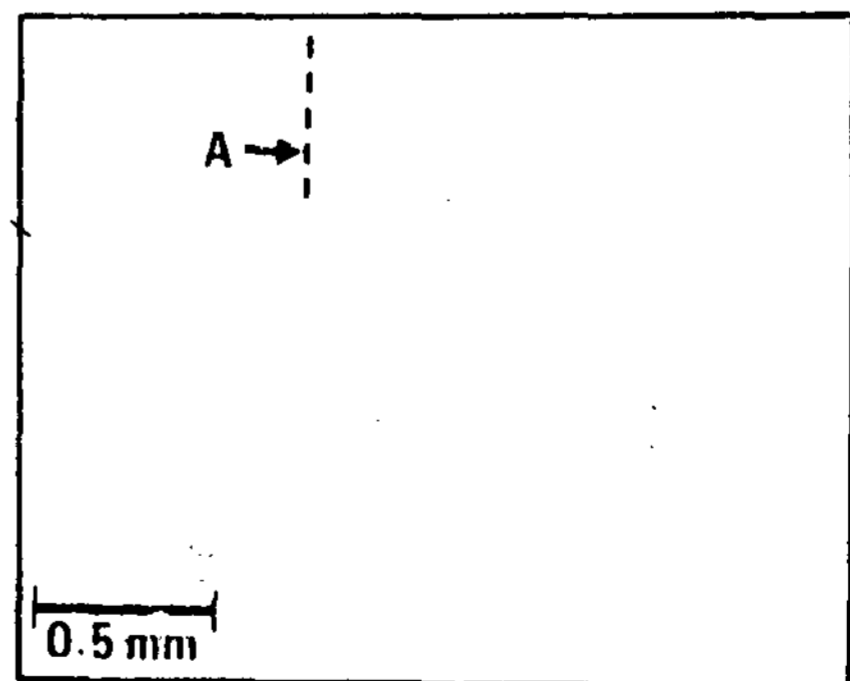
그림 12a는 주조 후의 분출구(nozzle tip)에서의 찌꺼기를 보여주고 있다. 위치 A에서와 같이 두개의 이웃 nozzle segment가 변위되고 있음을 알 수 있다. 이 결과로 생긴 응고 영역의 뒤트림은 스트립(strip)에 표면 줄무늬를 형성하게 된다. 그림 12b는 줄무늬와 관련된 질량편석(massive segregation)을 보여주고 있다.

2.4.3 해가 없는 줄무늬

끝으로 어떠한 내부 결함과도 관련이 없는 표면 줄무늬가 발생할 수 있다. 이 줄무늬는 냉간 압연에 의해 없앨 수 있다. 이 줄무늬는 주조롤(roll)의 표면 조건의 국부적 변화 또는 Al이나 산화물 등의 퇴적(deposit)에 의해 생성된다.



(a)



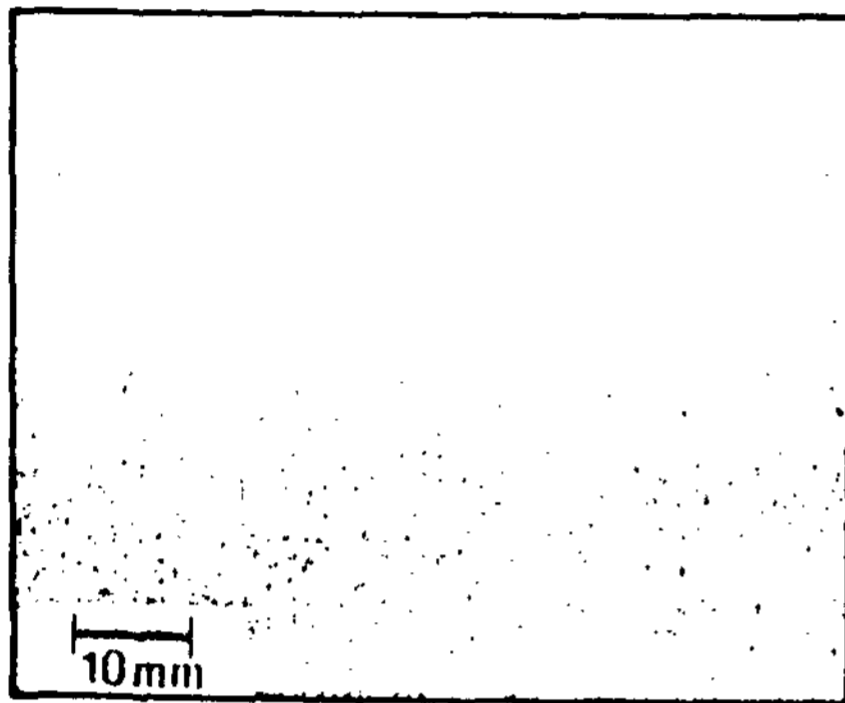
(b)

그림 12. a: Close up view of the remnants of the tip of the nozzle showing displacement of two adjacent nozzle segments. b: Segregation of Fe/Si caused by the distorted metal flow.

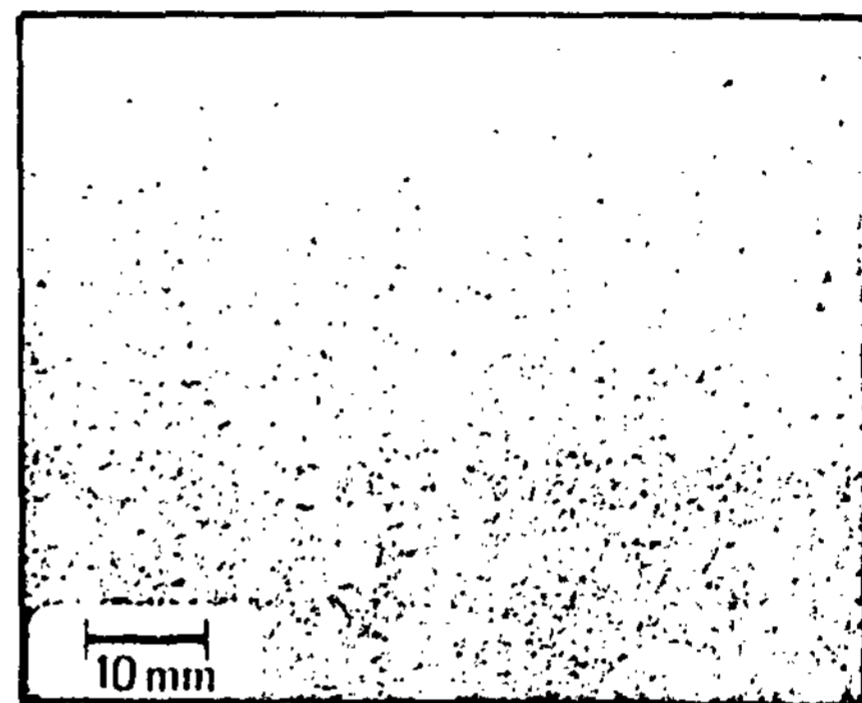
2.5 롤(roll)의 표면 손상에 의해 생기는 표면 결함(Surface defects caused by damaged roll surfaces)

주조롤 표면의 불규칙성이 스트립(strip)표면으로 전달된다. 주조롤(roll)표면에 가장 일반적으로 생기는 손상은 열피로 (thermal fatigue)에 의해 생긴다. 일정기간 주조기를 사용하면 주조롤(roll) 표면에는 균열과 돌출이 균열의 가장자리를 따라

생성된다. 따라서 스트립(strip)표면에는 들어간 자국이 심하게 생긴다. 이러한 주조롤(roll)표면은 다시 갈아내야한다. 그림13a는 새로 갈아낸 거의 완벽한 비단같이 윤없는 표면을 보여주고 있다. 그림13b는 주조롤을 갈아내기전에 표면상태를 보여주고 있다. 이 롤(roll)은 450 M/T을 생산한 후의 것이다.



(a)



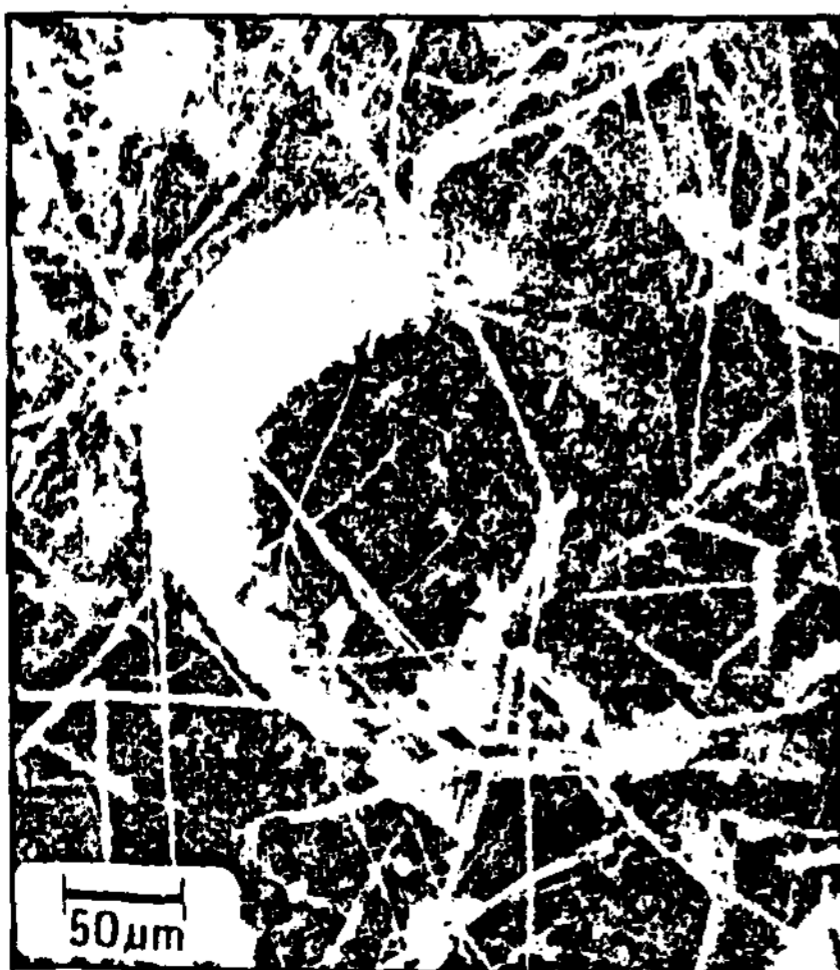
(b)

그림 13. Typical examples of good and bad strip surface caused by changes in the surface quality of the rolls. a: new rolls. b: After casting 450 metric tonnes.

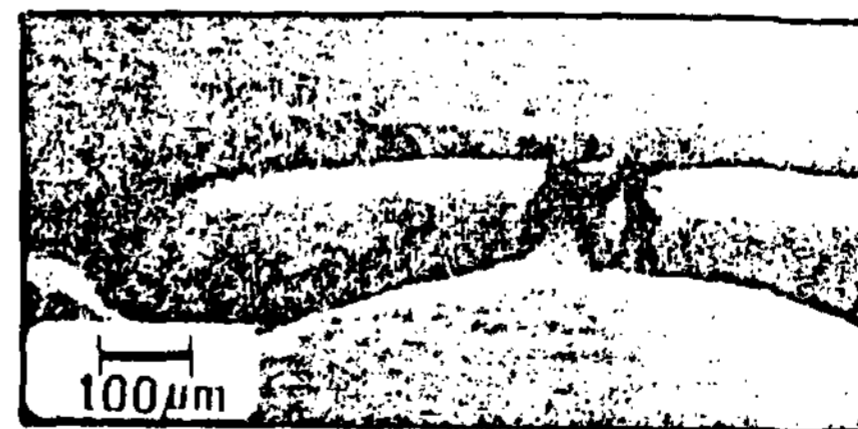
2.6 노즐 재료에서 나온 입자의 압입(Rolled-in particles from the nozzle material)

SCAL JUMBO 3C Caster에서 주조하기 전에 롤(roll)을 굴러 nozzle tip을 접촉시켜 nozzle을 고정 시킨다. 주조시 노즐(nozzle)과 롤(roll)사이의

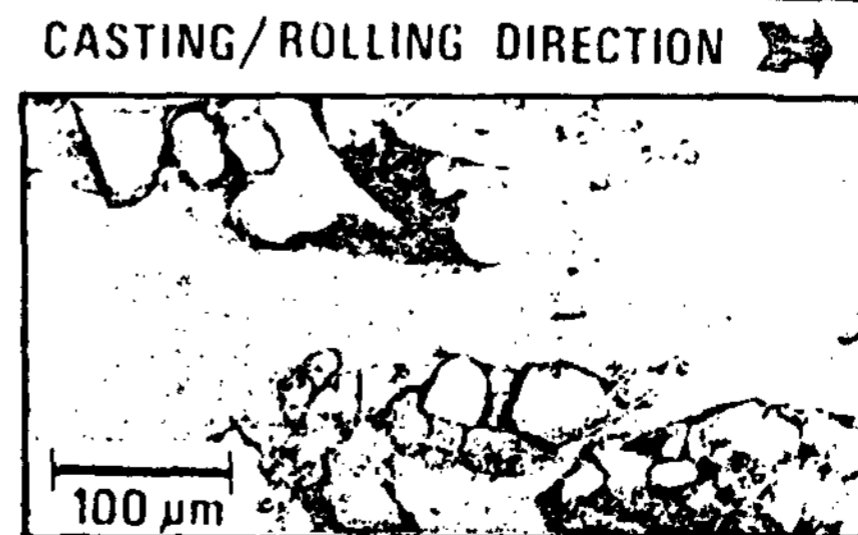
간격은 매우 작아서 조건이 조금만 달라져도 노즐 (nozzle)과 롤(roll)은 직접 접촉할 수 있다. 노즐 (nozzle)재료는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> 함유와 결합제로 구성되어 있으나 커다란 입자가 그림 14a에서 보는 바와 같이 존재할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 14. SEM micrographs, a: Nozzle material, note the coarse particle embedded in the fibrous matrix. b: Particle from the nozzle rolled into the surface of as cast strip. c: Defects in 70 μm foil caused by the nozzle particles.



롤(roll)이 노즐(nozzle)과 직접 접촉하게 되면, 입자가 롤(roll)표면으로 떨어져 주방스트립(strip)으로 전달되어 변형시 입자가 스트립(strip)표면에 박히게 된다(그림 14b). 더 많은 압연을 하면 그림 14c에서 보는 바와 같이 판재에 심각한 결함을 일으키게 된다. 노즐(nozzle)을 주의 깊게 조정함으로써 이들 결함의 수를 최소화 시킬 수 있다. 이러한 문제를 완전히 해결하기 위해서는 노즐(nozzle)재료를 개선하는 일이 필수적이다.

2.7 가장자리 균열과 찌저짐 (Edge cracking and tearing)

가장자리 균열은 쌍롤 주조(twin roll cast) 재료에서 나타나는 가장 일반적인 특징이다. 그림 15a에서 균열을 볼 수 있으며, 더욱 자세한 시험에 의해 균열 근방에서 편석양상(pattern)을 보일 수 있다. 그림 15b에서 알 수 있듯이 균열은 금속이 부분적으로 응고될때 생성된다는 것을 말해 주는 것이다.

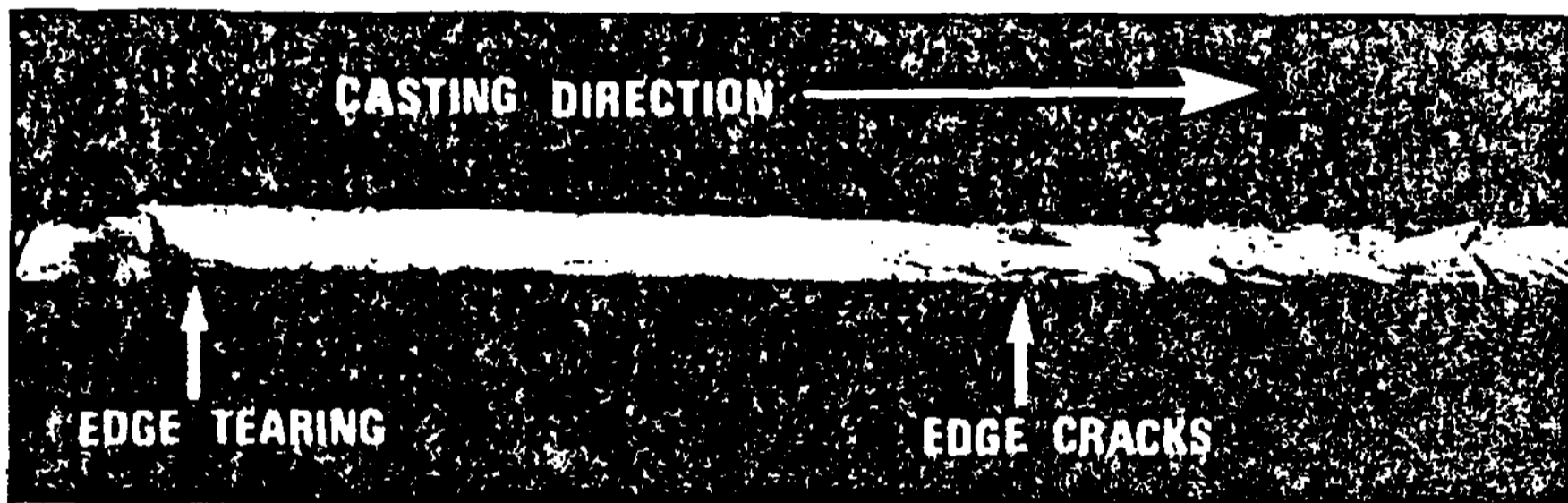
응고 구간이 큰 합금은 작은 합금에 비해 가장자리 균열이 더욱 잘 일어난다. 또한 분출구

(nozzle tip)를 롤(roll)로부터 멀리 할수록 변형이 크기 때문에 균열 생성이 쉽게된다. edge trimming을 하는것 외에는 가장자리 균열을 제거할 간단한 방법은 없다.

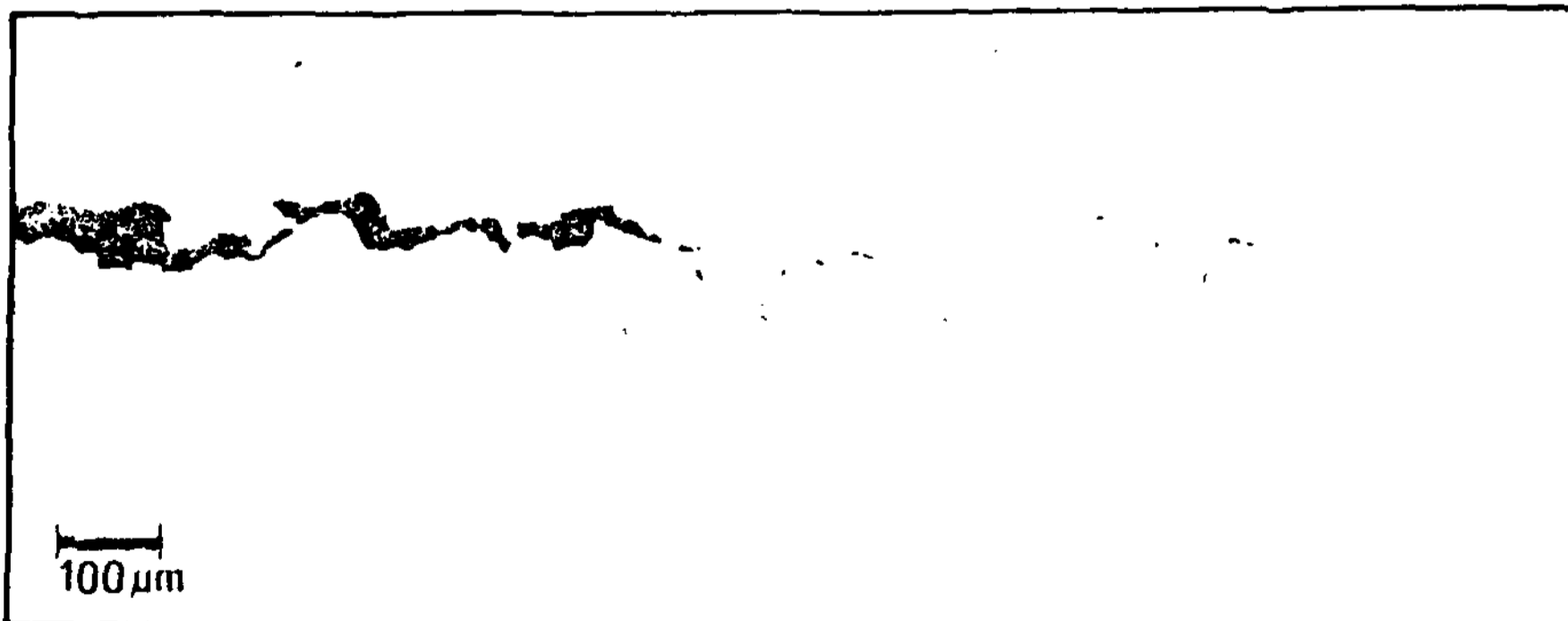
스트립(strip)의 폭을 적당히 해줌으로써 적당한 가장자리 균열을 고려할 수 있다. 그러나 이 균열은 때때로 그림 15a와 같은 가장자리 찌저짐을 초래한다. 이들 균열은 스트립(strip)에 수cm까지 확장될 수 있으며, 주조후의 가공시에 치수 문제를 야기시킬 수 있다.

2.8 롤 표면에 달라붙기(Sticking)

주조 롤(roll)속도의 상한은 롤(roll)표면을 통해 용탕으로부터 열을 축출하는 속도에 의해 결정된다. 금속이 롤(roll)을 빠져 나오기 전에 완전히 응고되지 않으면 응고는 불안정하게 된다. 그러나 실제로는 주조 롤(roll)의 속도를 제한하는 또 다른 현상이 일어난다. 특히 스트립(strip)이 롤(roll)표면에 부착하거나 (adhesion)달라 붙는것(sticking)에 의한 영향을 받는다. 달라붙는 경향



a)



b)

그림 15. a: Typical edge cracks which develop into an edge tearing.  
b: Segregation pattern in the vicinity of an edge crack.

은 롤(roll)속도가 높아짐에 따라 액체 금속의 온도가 높아짐에 따라 증가한다. 또한 응고 구간이 넓은 합금이 좁은 것에 비해 달라 붙기가 더욱 쉽다. 이 달라붙는 문제(sticking problem)는 효율이 좋은 윤활제(MgO, graphite)를 사용하거나 스트립(strip)에 장력을 가해줌으로써 감소시킬 수 있다. Bercovici<sup>(14)</sup>에 의하면 스트립(strip)에 심한 손상을 일으키는 macroscopic sticking은 롤(roll) 각각에 걸리는 구동력(driving force)을 비교함으로써 알아낼수 있는 microsticking에 의해 진행된다고 한다. 이 현상은 생산성<sup>(14)</sup>을 최적화 시키기 위해 자동제어 장치(system)의 설계에 이용되고 있으나, 이러한 장치(system)는 보통으로는 사용되고 있지 않다.

### 3. 결론(concluding remarks)

여기서 종합한 조직 불균일성과 주조 결함은 아직 완벽하지 않다. 주의를 요하는 여러가지 현상을 지적하였다. 연속적인 스트립(strip) 주조법은 공학자에게 새롭고 흥미로운 일을 제시하고 있다. 또한 장치와 관련된 문제는 기계 설계자와 생산 기술자에 의해 더욱더 개발 되어야 한다는 것을 강조하고 있다. 가장 첨예한 문제는 액체금속을 응고 영역으로 주입하는 것과 관련이 있다. 노즐(nozzle)재료의 개선이 필수적인 일이다. 공법의 경제성을 고려할때 주조롤(roll)의 수명 개선이 중요하다. 가장자리 균열과 달라붙는 현상을 기본적으로 이해하면 scrap양을 줄일수 있고 롤(roll)주조법의 생산성을 높일수 있다.

### 참고 문헌

1. J. Althoff; Aluminum 56 (3) (1980) pp. 199-202.
2. E. Nes and S.Slevolden, "Casting and Annealing Structures in Strip Cast Aluminum Alloy", Aluminum 55 (5) (1979) pp. 319-324.
3. I. Jin, L.R. Morris and J.D. Hunt, "Centerline Segregation in Twin Roll Cast Aluminum Alloy Slab", pp. 873-888 in Light Metals 1982, J.E. Andersen, ed.; AIME, New York, N.Y. 1981.
4. L.R. Morris, "Structure of Continuously

- Cast Eutectics Used in the Manufacture of Fine-Grained Aluminum Sheet", pp. 370-376 in Solidification of Metals, The Iron and Steel Institute, London, 1967.
5. E. Nes and S. Slevolden, "Mechanical Properties of New Strip Cast AlMnZr Alloys", Aluminum 55 (5) (1979) pp. 398-402
6. R. Iricibar I. Jin, "Forward slip During Roll Casting of Aluminum Strip", in Pacific Northwest Metals and Minerals Conference, Spokane, Washington, 1982.
7. C.J. Moser, "Continuous Casting-Hunter Technology", pp. 837-849 in Light Metals 1982, J.E. Andersen, ed.; AIME, New York, N.Y., 1981.
8. J.M. Chateau and P. Crouzet, "Technological Break-through in Continuous Strip Casting: The Jumbo 3C", in Light Metals 1978, J.J. Miller ed.; AIME, New York, Y., 1978.
9. A. Odok and G. Thym, "Moderne kontinuierlich arbeitende Bandgiessverfahren für die Herstellung von Aluminum Breitband", Aluminum, 50 (6) (1974) pp. 411-414.
10. I. Miki, H. Kosuge and K. Nagahama, "Supersaturation and Decomposition of Al-Fe Alloys during Solidification", Journal of Japan Inst. Light Metals, 25 (7) (1975) pp. 1-9
11. H. Westengen, "Formation of Intermetallic Compounds During DC Casting of a Commercial Purity AlFeSi Alloy", Zeitschrift für Metallkunde 73 (6) (1982), pp. 360-368.
12. M. Ryvola, L.R. Morris and G. Marchand, "Nucleation of Intermetallic phases on the Cast Surface Of Al-Mn Alloy", pp. 23-29 in Microstructural Science, Vol.6, J.E. Bennett, ed.; Elsevier North-Holland, 1978.
13. D. Altenpohl, Aluminum und Aluminiumlegierungen, p. 526; Springer Verlag, Berlin, 1965.
14. S. Berovici, French Patent No. 8101185, 1981.