

論 文

UDC 621.746.27.047 : 621.746.582 : 669.14-147

インラインリダクション連続鋳造ビレットの品質*

雑賀 喜規** · 福井 浣一*** · 恒久 好徳****
塩田 倬雄*** · 乗富 重夫***** · 野田 武*****

Qualities of Billets Produced by Continuous Casting with In-Line Reduction

Yoshinori SAIGA, Kanichi FUKUI, Yoshinori TSUNEHISA, Takuo SHIODA,
Shigeo NORITOMI, and Takeshi NODA

Synopsis:

A billet continuous casting machine with in-line reduction was installed at the Kishiwada Steel Co. Ltd., and has been in operation since March, 1972. This paper deals with various qualities of the billets produced by this machine during the start-up period. The followings have been found:

- 1) Center shrinkage cavities and porosities were well cured by the in-line reduction process.
- 2) The non-metallic inclusions were elongated along the drawing direction throughout the billet by the in-line reduction process, though the inclusions locating at the central parts extended in a greater extent than those at outer layers.
- 3) Microscopic examinations showed that as-cast billets consist of normal Widmannstätten structures but the in-line reduction improves the structure to some extent.
- 4) The difference between the tensile properties of the central part and those of the outer layer of the billet was negligible.

It can thus be concluded that the in-line process results in excellent and sound qualities of the billets.

(Received Nov. 30, 1973)

1. 緒 言

連続鋳造ビレットの品質については、いろいろと試験、研究が行なわれ、報告も多い。しかしインラインリダクション（鋳型より引き抜かれた鋳片を、一定寸法のビレットに切断する前に圧下を加える）が行なわれたものについての報告は非常に少なく、オーストリア、ベラー社の B. TARMANN の報告¹⁾、および、わずかの報告²⁾³⁾があるにすぎない。これらの報告は、品質については、インラインリダクションを行なうことにより、それが向上するというを主体としており、圧下を加えた場合のビレット内部における個々の位置での圧下の影響についてはあまり明らかでない。

今回、岸和田製鋼(株)において、パウダーキャスト、インラインリダクション連続鋳造機が、昭和 47 年 3 月より稼動を開始し、そのスタートアップ時に、種々のビレットの性状試験を行なった。ここでは主として、種々の内部性状に及ぼす圧下の効果について、明らかとなつた点をまとめて報告する。

なお本設備の主要仕様を Table 1 に示した。鋳込寸法は、140 mm φ であるが、これを第 1 段圧下により、105 mm(縦)×140 mm(横)に、第 2 段圧下により、さらに 105 mm φ の成品寸法とする。

2. 試験項目および方法

2.1 表面性状

ビレットの表面状態を目視により観察し、とくに圧下による割れの発生有無を調べた。

2.2 内部性状

2.2.1 断面マクロ腐食

ビレットの横断面(引抜方向に対して直角な断面)および縦断面(軸心部をとるわん曲内面側から外面側にかけての断面)より試験片を採取し、次の条件でマクロ腐

* 昭和48年11月30日受付

** 石川島播磨重工(株)技術研究所 工博

*** 石川島播磨重工(株)技術研究所

**** 石川島播磨重工(株)技術研究所兼工業炉事業部

***** 岸和田製鋼(株)

食を行なつた。

腐食液 1:1 塩酸溶液
腐食温度 70~75°C
腐食時間 20 min

2.2.2 非金属介在物

縦断面のわん曲内面側(以下内側とよぶ)から同外面側(以下外側とよぶ)にかけて非金属介在物(以下介在物とよぶ)の清浄度, 大きさ, 形状の変化を調べた。清浄度の測定は, 圧下後の鋳片を用い, JIS G 0555 (鋼の非金属介在物の顕微鏡試験方法) により行なつた。測定位置は, 内側から 5 mm 部を起点として, 外側へ向かい 10 mm 間隔で調べた。測定視野は各点を中心に, 20 視野×3 列計 60 視野とした。介在物の大きさについては, 同じく圧下後の鋳片を用い, 内側から 2 mm 部を起点として, 外側へ向かい 2 mm 間隔で調べた。測定方法は各点を中心に顕微鏡で観察し, 内側に平行に 10 mm 移動させ, その中に見られるもつとも大きな介在物の寸法を測定した。介在物が円形の場合にはその直径を, ま

た長くのびたようなものでは, 長径と短径の長さを測定し, まず円形としての面積を求め, さらに介在物の大きさを端的に表現し, 比較を容易にするため, この面積を円形になおし, その直径を求めた。又形状については, 圧下前, 後の鋳片を用い, 内側から 5 mm 部を起点に, 外側へ向かい 5 mm 間隔で調べた。測定方法は各点を中心に前方法と同様, 顕微鏡で観察し, 内側に平行に約 30 mm 移動させ, その中に見られるもつとも大きな介在物の長径と短径の長さを測定し, この比から形状の変化を求めた。

2.2.3 顕微鏡組織

介在物の形状を調査した圧下前, 後の鋳片を用い, 3% ナイタル液腐食により, 顕微鏡組織を観察した。

2.2.4 機械試験

圧下後の鋳片を用い, 表面部と中心部より JIS 4 号引張試験片を引抜方向に平行に採取し, 950°C の焼鈍を行なつた後, 試験した。圧下前の鋳片では中心部に収縮巣, ポロシティなどが存在しており, その部分の伸び, 絞りなどの性質は当然劣ると考えられたため, 試験は行なわなかつた。

2.2.5 供試材の化学成分, 鋳込条件

介在物, 顕微鏡組織, 酸素量を調べた鋳片の化学成分, 鋳込条件, 試験項目をまとめて Table 2 に示した。

3. 試験結果および考察

3.1 表面性状

表面性状は, 溶鋼成分, 鋳込温度, 2 次冷却水量, 鋳片表面温度および温度分布などにより, 影響を受ける。とくにインラインリダクションの場合の鋳片の表面割れは, 圧下時の鋳片表面温度の均一性が重要なポイントである。このためには鋳込温度, 2 次冷却水量などの適正な設定が勿論重要であるが, 本機では圧下装置の前に均熱帯を設けて, 表面温度の均一化を計っている。表面性

Table 1. Details of machine.

Machine type	Straight mold bending type with in-line reduction stands
No of strand	2 strands
Ladle capacity	40 ton/charge
As cast billet size	140×140 mm
Final billet size	105×105 mm
Billet length	1 800~2 000 mm
Casting speed	2.4 m/min
Steel grade	Steel bar for concrete reinforcement
Bending radius	5 000 mm
Casting method	Submerged nozzle and powder casting

Table 2. Chemical composition and casting conditions of test billet.

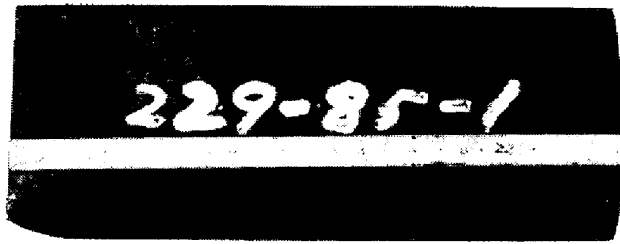
Heat No	Chemical composition (%)						Casting temp. (°C)	Casting speed (m/min)	Cooling water (l/kg)*	Test item**
	C	Si	Mn	P	S	O				
225	0.25	0.40	0.77	0.020	0.029	0.007	1 555	2.40	0.97	Inclusion test I
243	0.26	0.40	0.85	0.020	0.029	—	1 565	2.20	1.00	〃 I, II
234	0.28	0.35	0.74	0.023	0.015	0.005	1 550	2.40	0.97	〃 I
253	0.26	0.24	0.75	0.024	0.012	0.006	1 545	2.40	0.80	〃 I, II
233	0.25	0.39	0.86	0.020	0.009	0.006	1 555	2.40	0.96	〃 I, II
238	0.23	0.25	0.82	0.021	0.004	—	1 575	2.25	1.01	〃 II
3 525	0.21	0.26	0.83	0.024	0.015	—	1 565	2.45	0.93	Inclusion test III Micro structure

* The value is for secondary cooling water.

** I...Cleanliness II...Size III...Shape



(a) unsound surface



(b) sound surface

Photo. 1. Surface appearance of continuously cast billet.

状の例を Photo. 1(a), (b)に示した. 圧下時の鑄片表面温度が適当なものでは, (b) のように, 表面性状はいたって良好である.

3.2 内部性状

3.2.1 断面マクロ腐食

圧下前, 後の横, 縦断面のマクロ腐食結果を Photo. 2に示した. 左側が圧下前, 右側が圧下後のものである. 圧下前のものでは, 中心部に収縮巣が認められるが, 圧下後のものでは, このような収縮巣は認められない. インラインで圧下をかける場合, 中心部が, 未凝固圧下であろうと, 凝固後の圧下であろうと, 中心部の温度は, 表面近傍の温度にくらべて, 非常に高い. このため, インラインでの圧下効果が収縮巣の圧着に非常に大きく影響を及ぼしていると考えられる.

3.2.2 非金属介在物

ビレット内部の介在物の清浄度分布を Fig. 1 に示した. 本図は供試材のヒートを S 量の高い順に左上からな

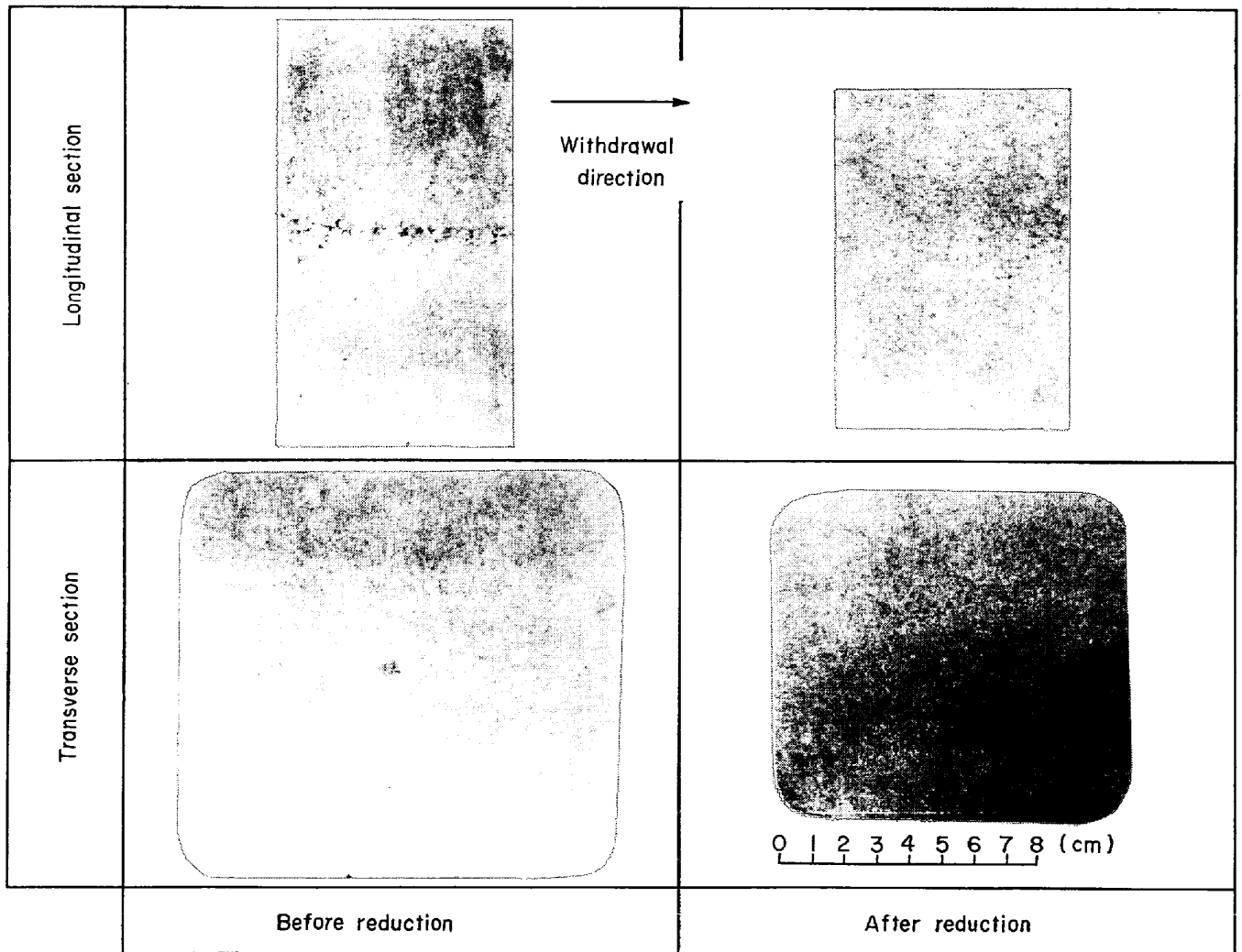


Photo. 2. Macrostructure of continuously cast billet.

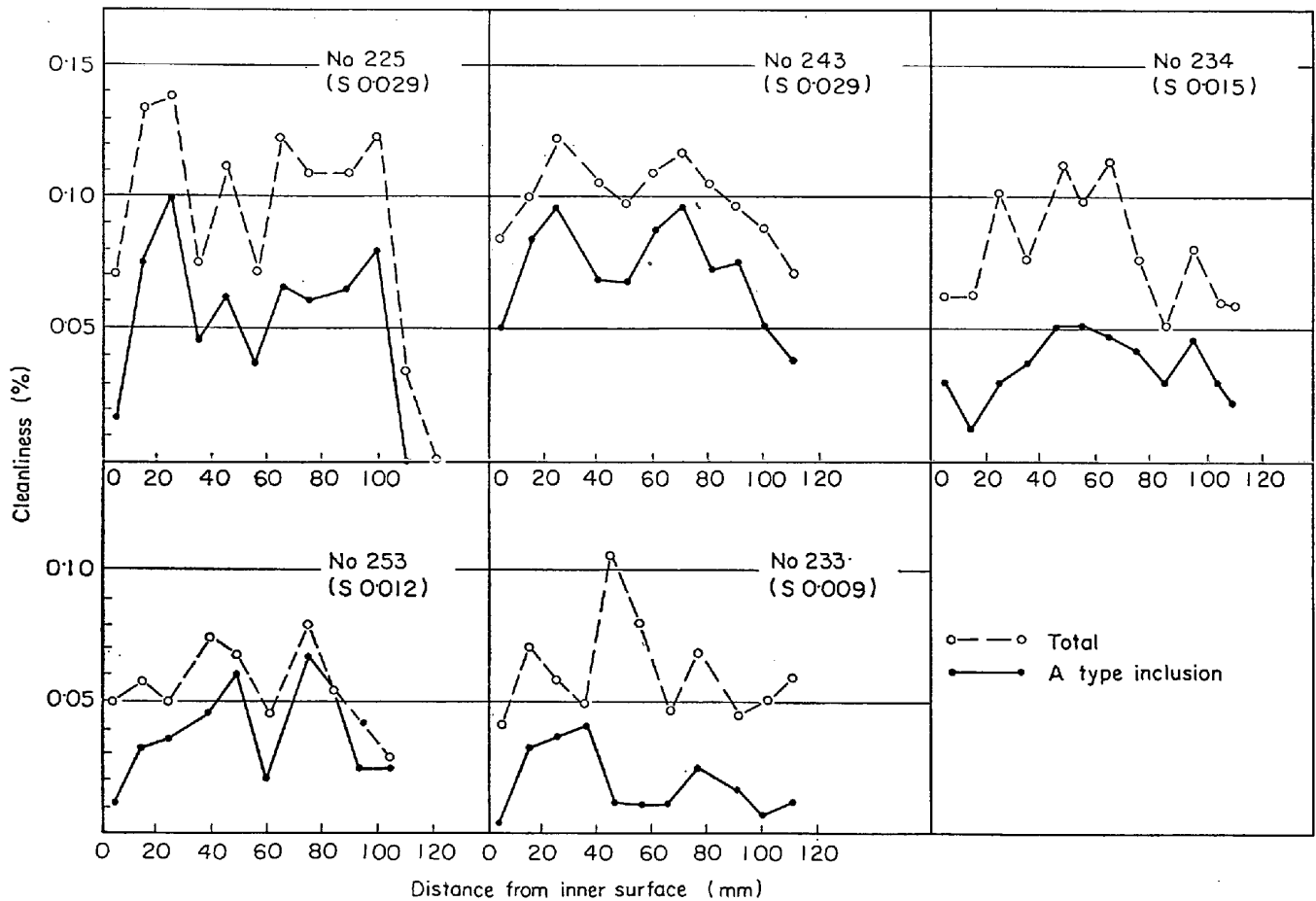


Fig. 1. Local variation of cleanliness.

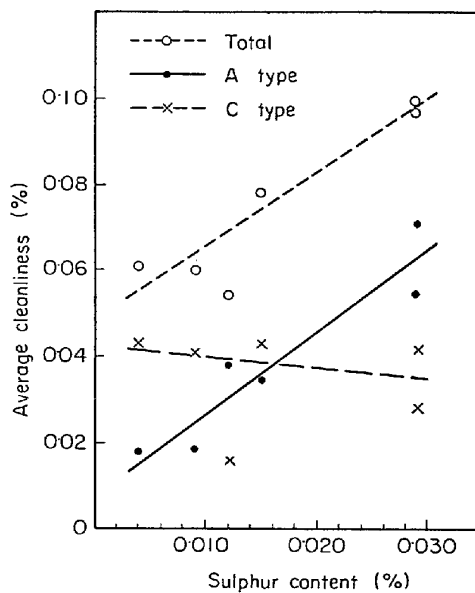


Fig. 2. Relation between sulphur content and cleanliness.

らべ示したもので、横軸に内側から外側にかけての距離、縦軸に清浄度をとったものである。本図より、相当バラ

ツキはあるが、傾向として、内側、外側の表面近傍では、非常に清浄であるが、中心部へいく程、わるくなっている。鋳片の表面部と軸心部で介在物の分布に顕著な差はないという報告⁴⁾もあるが、今回の試験では、かなりの差が認められる。同図より全体的にS含有量の少ないほど、より清浄になっているようである。これらの関係を明らかにするため、横軸にS含有量、縦軸にそのヒートの清浄度の平均値をとって整理した。結果をFig. 2に示した。A系介在物は、明らかにS量とともに多くなっているが、C系介在物はS量に無関係に、ほぼ一定である。このため全清浄度は、S量とともにわるくなっている。なおここで認められたA系介在物について、EPMA分析をいくつか行なったが、結果はPhoto. 3に示したように、硫化物が主体であり、珪酸塩は認められない。S量とともに硫化物の面積率が増加することはほかの文献⁵⁾でも明らかにされており、今回の実験結果と一致する。

つぎに介在物の大きさの分布について述べる。介在物の大きさの分布傾向をFig. 3に示した。横軸に内側から外側にかけての距離、縦軸に介在物の平均径をとって

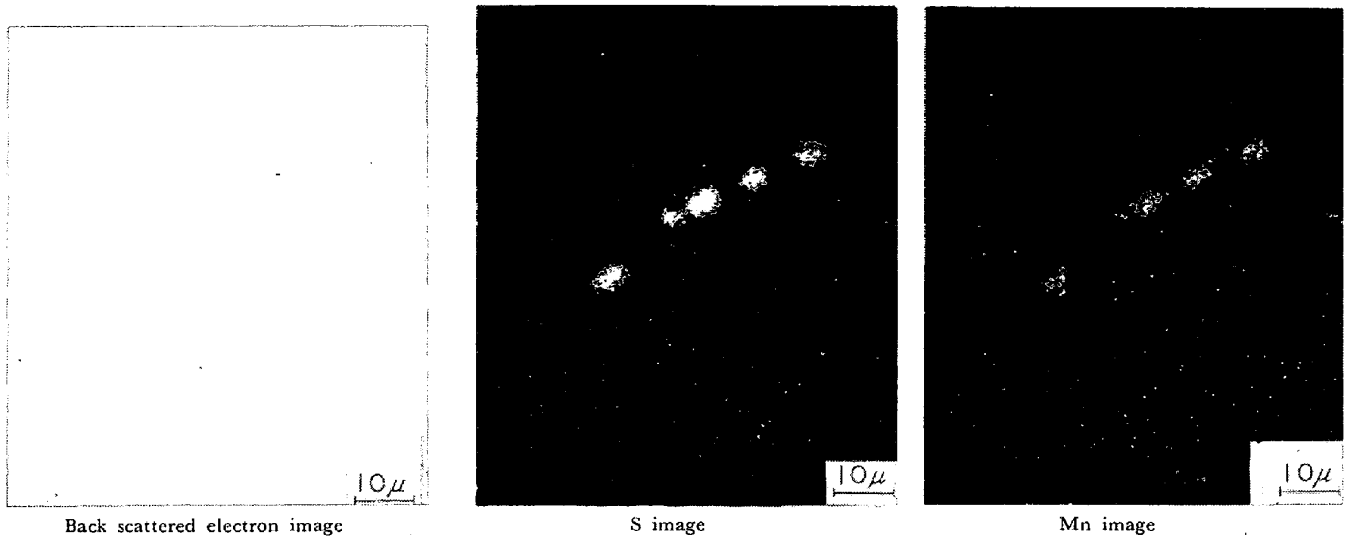


Photo. 3. Electron scanning images of non-metallic inclusion.

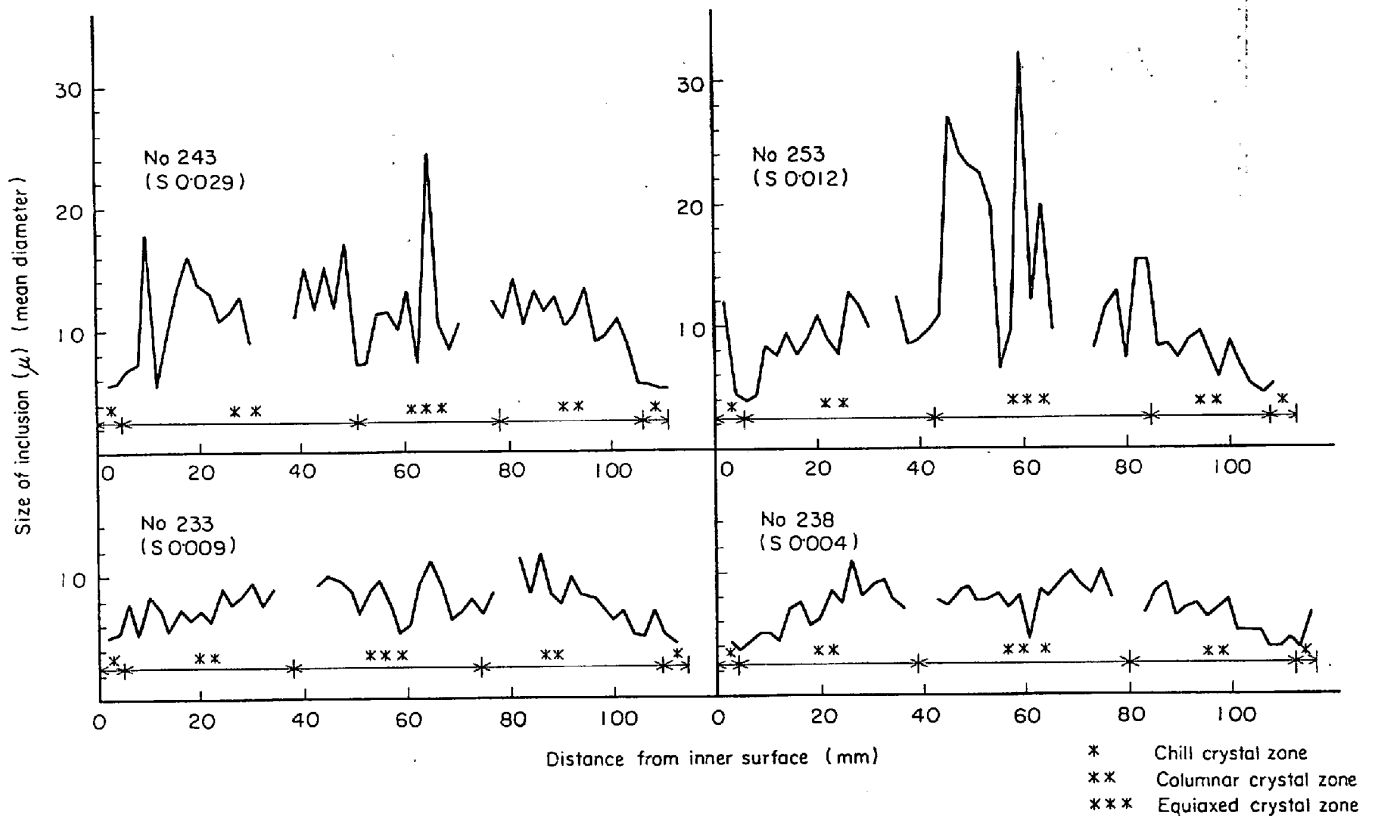


Fig. 3. Local variation of inclusion size.

整理したもので、各ピレットとも、内、外表面近傍の介在物は小さく、内部にいくに従って大きくなり、とくに S 量の多い場合には中心部の大きさにかなりバラツキがある。これらのヒートについて、縦断面のチル晶、柱状晶、等軸晶の範囲をマクロ試験により求め、位置的に対応させ Fig. 3 に示した。これより結晶組織と介在物の大きさの関係を調べると、柱状晶域では表面から中心部へいくに従がい徐々に大きくなる傾向がある。等軸晶域

では、S 量の多い場合に大きさがかなりバラツキているが、S 量の少ないものではほとんど一定の大きさになっている。大きいものはすべて Photo. 4 a) に示したような A 系介在物であるので、Fig. 3 は A 系介在物の大きさの分布ともいえる。C 系介在物は Photo. 4 b) に示したように、ほとんど 5μ 以下の小さいものである。介在物の大きさの分布は従来の報告とよく一致している⁹⁾。このような分布を示すのは、まず柱状晶の発達する過程

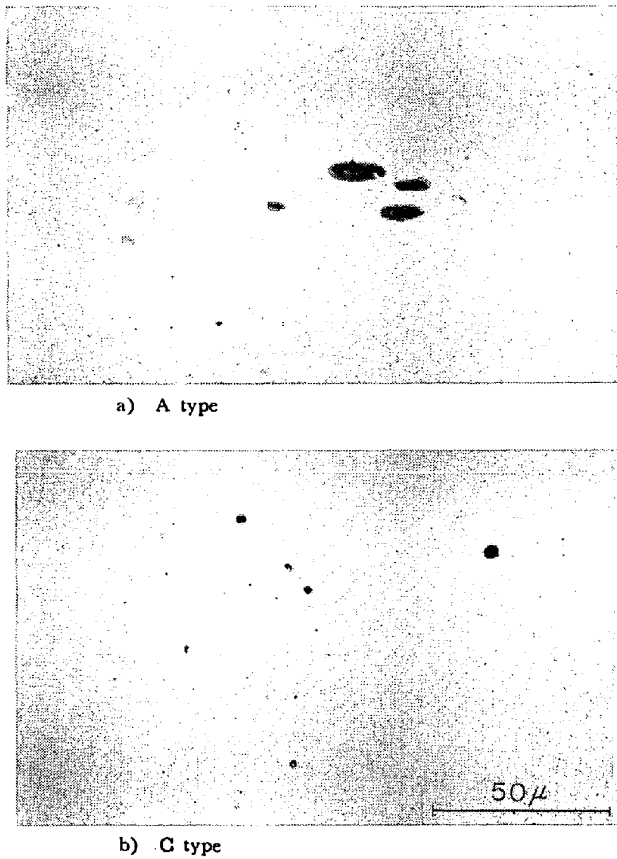


Photo. 4. Typical A and C type inclusions.

では、鑄込初期のため、内部溶湯の温度もかなり高く、流動性もある。また内、外部の温度差も大きいために、方向性を持った凝固がよく行なわれる。よつて凝固が内部へ進行するに従い、介在物の濃縮、凝集が起こり、介在物もそれに伴つて徐々に成長する。しかし、等軸晶域では、すでに内部の溶湯温度も低く、流動性も低下して、凝固も全体的にほぼ同時に進行する形となるので、種々の大きさの介在物が分布するものと考えられる。

つぎに介在物の形状の傾向を述べる。この介在物の形状も前述のように、各部で内側に平行移動した場合に見られた最大のものを対象としたので、硫化物の形状の傾向といえる。形状の変化を長径と短径の比（形状係数とよぶ）であらわし結果を整理した。ここで比が1であることは介在物が円形の場合であり、1以上であることはダ円形に変形されていることを示している。形状係数の傾向を Fig. 4 に示した。(a)は圧下前のもの、(b)は圧下後のものを示す。圧下前では、表面近傍が1~1.5程度で円形かそれに近い形状を呈しており、中心部が3程度とわずかのびたダ円形状の介在物が存在している。一方、圧下後のものでは、表面近傍で2~3、中心部では6~10 とかなり長いものも存在しており、圧下の効果が大きくあらわれている。代表的な介在物の形状を Photo. 5 に示した。(a)は圧下前のものであり、表面は円形に近いが、中心部のはほぼダ円形となつている。(b)は圧下後のもので、中心部のものがよくのびていことがわかる。Fig. 4 および Photo. 5 より明らかなように、鑄片がインラインで圧下されることにより、表面近傍より、むしろ中心部の圧下効果が大きくある。今圧延比を次のように定義し、各位置での圧延比の変化を調べる。

圧延比 = 圧下後の形状係数 / 圧下前の形状係数

圧延比の傾向は Fig. 5 に示したように、表面部にくらべ中心部の圧延比が非常に大きく（3以上）なつている。圧下前が 140 mm φ で圧下後が 105 mm φ であるため、ピレット寸法的にいえば、圧延比は約 1.8 程度である。しかし、実際には Fig. 5 に示したように、表面部にくらべ、中心部がよくのびされ、圧下の効果が中心部でいかに大きいか、本研究により、明らかにされた。これはインラインで圧下する場合には、前述のように中心部の温度が、表面近傍の温度にくらべて非常に高いためであろう。

介在物の延性は、温度、鋼の成分、介在物の組成などにより影響を受けるので、圧延比の比較を単純に介在物ののびた状態で行なうには、多少問題があると思われるが、ここでは前述のように、これらの介在物がほとんど硫化物を主体としていることから、一応成分、組成の影

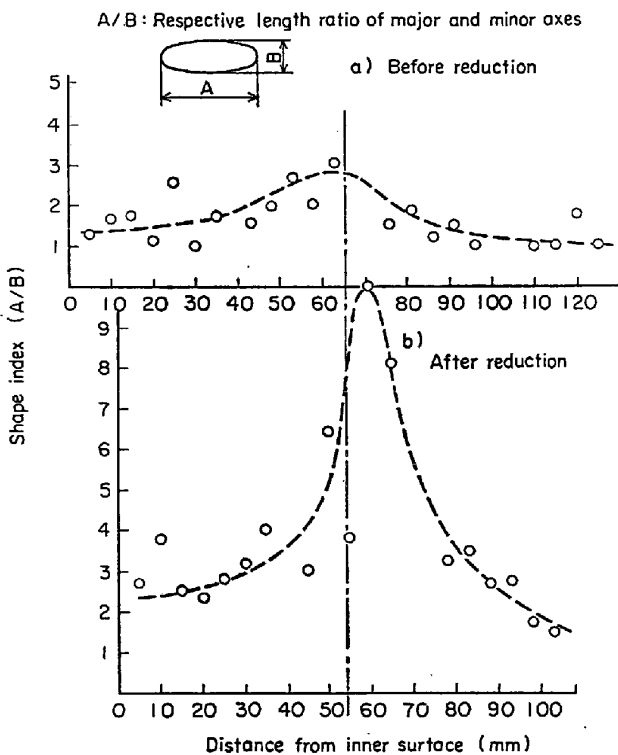


Fig. 4. Shape index change of billet before and after reduction.

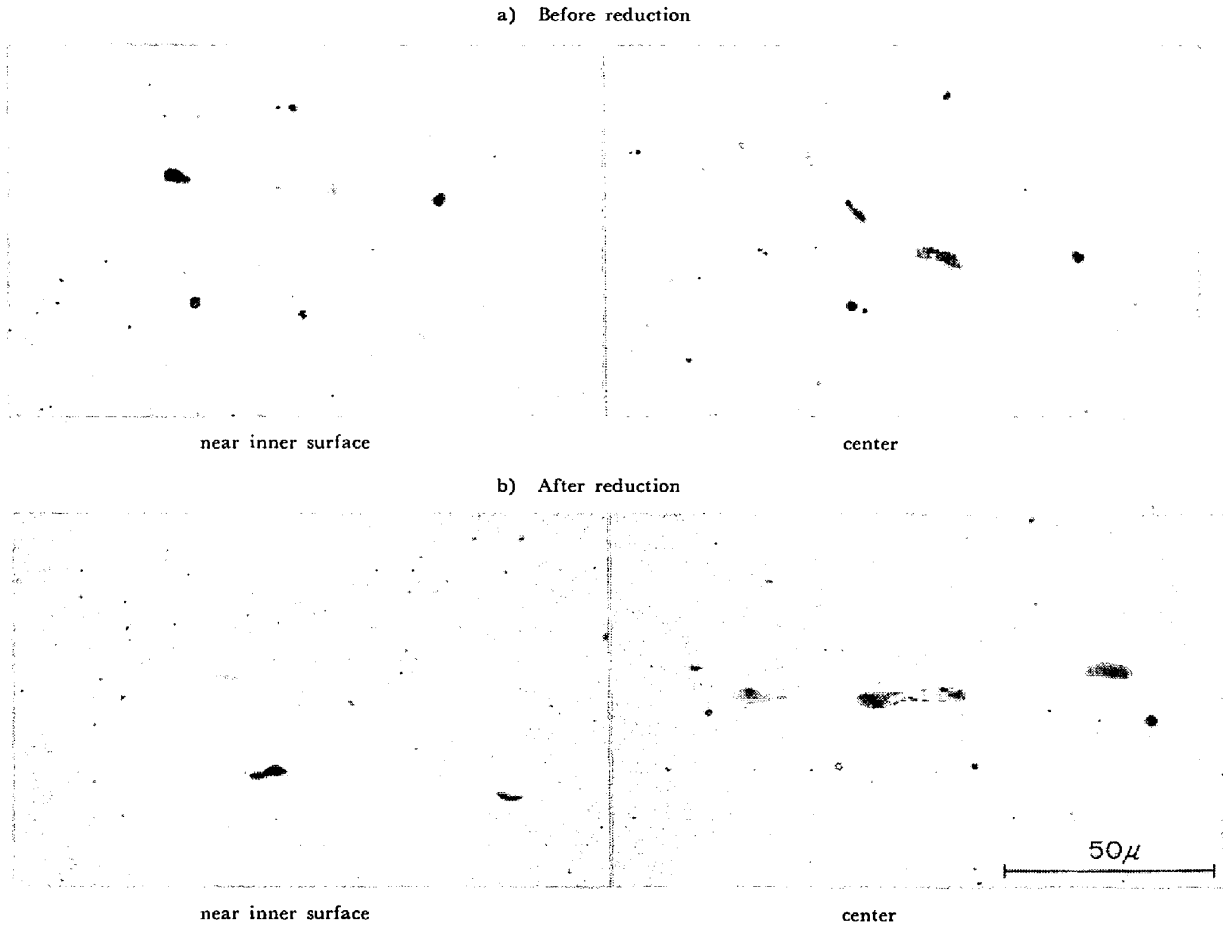


Photo. 5. Inclusion of billet before and after reduction.

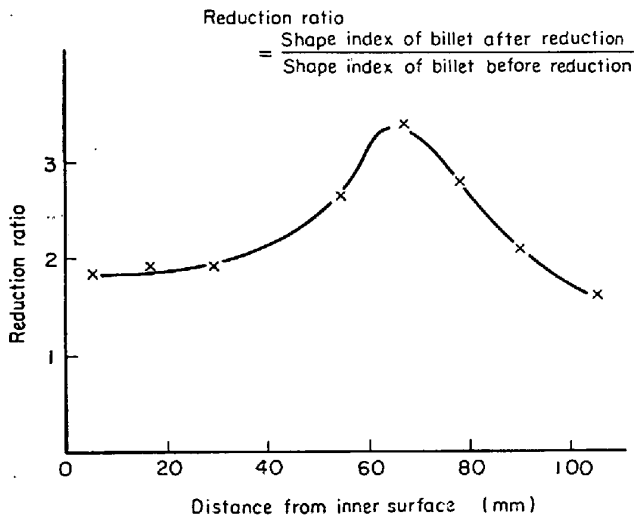


Fig. 5. Local variation of reduction ratio in billet.

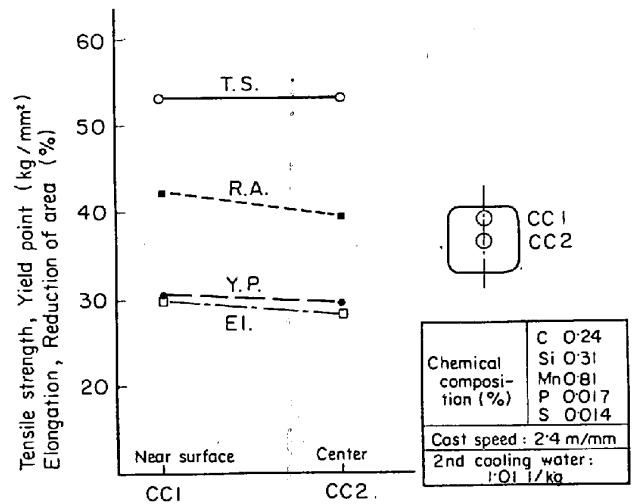


Fig. 6. Mechanical properties of continuously cast billet (105 mm φ)

響は無視できると考え圧延比を求めた。

3.2.3 顕微鏡組織

圧下前, 後の ビレット内部の 顕微鏡組織の 変化を, Photo. 6 に示した. 同図左側上から, 表面近傍, 中間部, 中心部での組織であり, 右側上から, 圧下後の同相当位

置での組織である. 圧下前は, 通常の 鑄放し組織を 呈しているが, 圧延比約 1.8 に 圧下することにより, 圧下前に見られた ウィドマンステッテン組織が 少なくなっており, 組織も 全体的に 改善されている. この 変化の 状態は, 表面近傍から 中心部にかけて, はつきり あらわれて

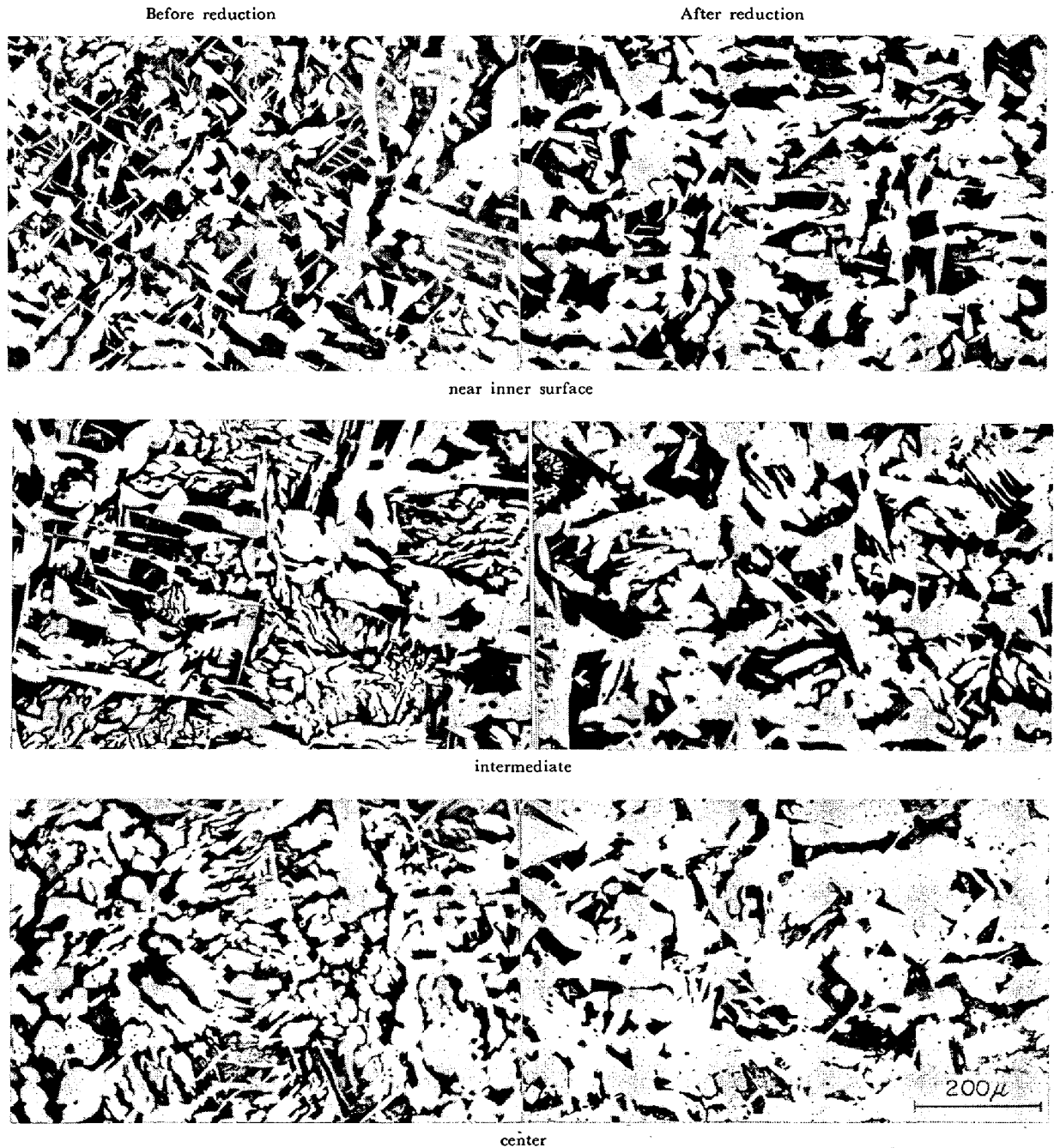


Photo. 6. Microstructure of billet before and after reduction.

いる。しかし、圧下後といえども、やはり焼なましまたは焼ならしをしなければ、正常な組織とはならないようである。焼ならし後の組織を Photo. 7 に示した。インラインリダクションによる組織の改善効果について、ほかの報告例⁷⁾を Photo. 8 に示した。これは 140 mm φ のものを 80 mm φ まで (圧延比 3) 直接圧下したもので、十分に組織が改善されている。

3.2.4 機械的性質

軸心部に収縮巣を有する鋳造のままの状態のビレットは、一般に圧延加工をうけると、組織および機械的性質

が均一になつていく。連続鋳造ビレットでは、圧延比が 10 で、表面部と軸心部の伸び、紋りが近づくといわれている⁴⁾。しかし今回の試験結果によると、Fig. 6 に示したように、引張強さ、降伏点、伸び、紋りとも、両者間にはほとんど差はない。インラインで圧下をかけることにより、圧延比は 1.8 と少ないが、中心部に対する圧下効果は大である。これは前述の断面のマクロ組織、介在物の形状変化などにより、十分立証できることである。

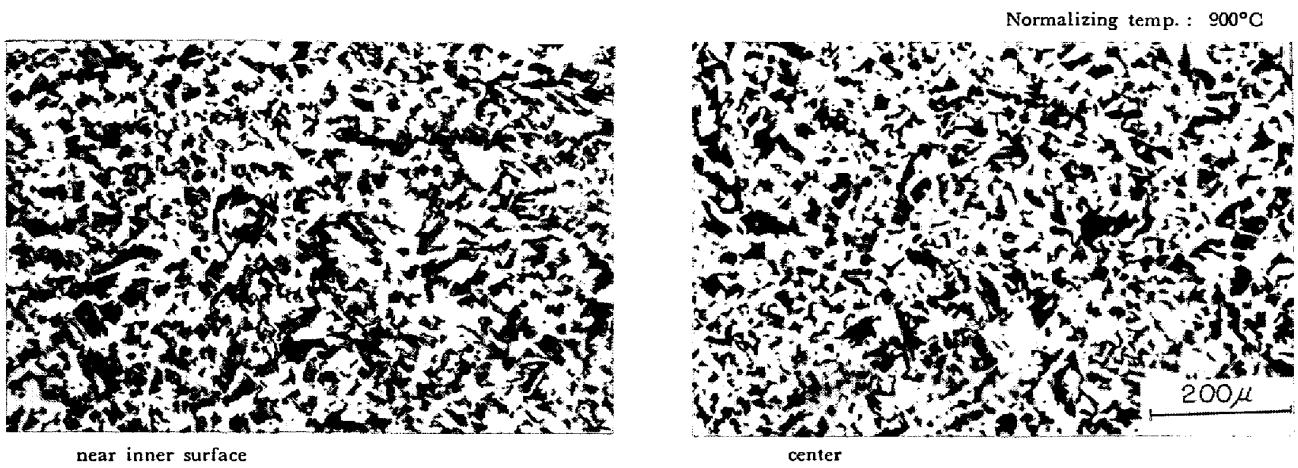


Photo. 7. Microstructure of normalized continuously cast billet.

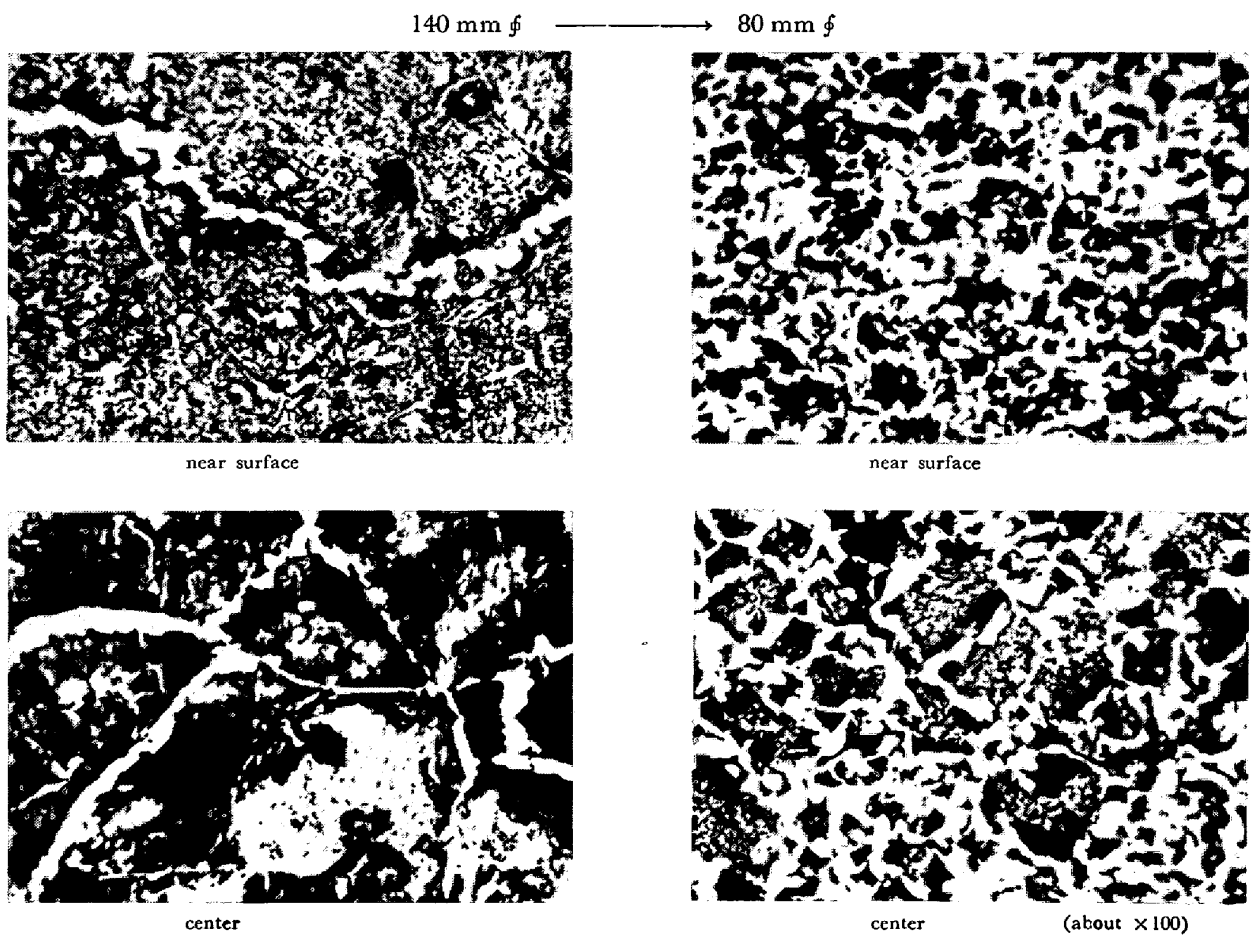


Photo. 8. Microstructure of billet before and after in-line reduction. (AISI 5117 Steel)

4. 結 論

以上述べてきたように、本研究の結果は明らかにインラインリダクションによる効果とそうでないものとのわけられる。そこでつぎのように要約する。

1) インラインリダクションの効果

a) 中心部の収縮巣、ポロシティは圧着され、良好な内部性状のものが得られる。

b) 非金属介在物は表面部より中心部がよりのばされた形状をしており、圧下効果は中心部が大である。

c) 圧下前に見られた鋳造組織が、圧下を加えることで表面近傍から中心部へかけ、全体的に改善される。

d) 圧下後の鋳片の機械的性質は表面近傍、中心部ともにほぼ同等であり、位置的な差はない。

2) その他

a) 硫化物系介在物量はS含有量とともに増加しているが、酸化物系介在物量はS含有量とは無関係にほぼ一

定である。

b) 介在物の大きさは硫化物系は小さいものから大きいものまで存在しているが、酸化物系は大体 5μ 以下のものが多い。また内、外表面近傍に小さいものが多く内部にいくほど大きくなる。とくにS量の多いものでは中心部に大きな介在物が存在する。

文 献

- 1) B. TARMANN and H. VON BANK: AIME, Elec. Furn. Steel Conf. Proc., 24(1966) p. 30
- 2) T. LEJA, J. TOPERZER, and S. NEOGI: Iron Steel Eng., 48(1971) 2, p. 60
- 3) 竹原, 藤田, 角井, 林, 秋田: 鉄と鋼, 58(1972) 11, p. 150
- 4) 明田, 牛島: 鉄と鋼, 48(1962) 8, p. 933
- 5) 森, 田中, 平居: 鉄と鋼, 56(1970) 14, p. 1824
- 6) 川上, 細田, 石田: 学振資料, 19委 9570 1973.5
- 7) B. TARMANN: Report from the Böhler Engineering Division, 1971