

© 1988 ISIJ

技術報告

連铸におけるインライン押込み剪断技術に関する基礎的検討

津田 統*・大砂 寛*・山口喜弘*²・坂本史郎*³

Fundamental Investigation of Inline Prereduction Shearing Method of Continuous Casting Steel

Osamu TSUDA, Hiroshi OSUNA, Yoshihiro YAMAGUCHI and Shiro SAKAMOTO

Synopsis :

The prereduction shearing method of continuous casting steel has been fundamentally investigated in which reduction of thickness and sequential shearing are applied to the steel for the purpose of decreasing the capacity of a shearing press as well as saving energy.

The prereduction shearing model tests of hot carbon steel were carried out, and a prereduction shearing apparatus was made according to the results.

The prereducing tests of unsolidified ingots were also carried out to show that no internal cracks are found when the ratio of solid shell thickness to total thickness is more than about 30%. In the prereduction shearing tests of unsolidified ingots, a few internal defects appeared, but they were very fine and thought to be harmless. Some cracks and leaks of liquid steel through the cut section were observed too, and they caused to the surface defects at the end of rolled sheets. However, they were not so serious because they would be cut off with crop loss.

The press capacity is minimum when a prereducing load equals to a shearing load, and for a large section continuous casting steel it will be remarkably reduced by angular tools after solidification, and by circular tools before solidification.

It is concluded that the prereduction shearing method is very useful for promoting hot direct rolling process of continuous casting steel.

Key words : continuous casting ; solidification ; forging ; shearing ; direct rolling ; internal crack ; saving energy ; press shear.

1. 緒 言

連铸工程と圧延工程との連続化をはかる技術(例えば、連铸材のHCRおよびHDR技術)を実施するには、搬送材の保有熱を最大限に利用することが必要であるが、現在、多く用いられているガス切断法は、切断所要時間が長く、切断代も大きいので、省エネルギーおよび歩留りの点から問題がある。

これに対して、プレス装置による単純な剪断法は高速切断を行う上で有効であるが、大断面のスラブ材やブルーム材の切断においては切断力が大きくなり、大型のプレス設備が必要となる。この問題に関して山田¹⁾は、

2段V型工具を用いて押込み切断を行うことにより、必要プレス力量を約25%減少したと報告しているが、この技術は凝固潜熱の活用を目的としたものではない。

一方、著者らは、必要プレス力量の減少と同時に、未凝固の状態でも高速切断を可能にすることを目的として、連铸片の断面を縮小する押込み工程と、連铸片を保持しながら切断する剪断工程とを連続させた「押込み剪断技術」の研究を進めてきた。

連铸片の直送圧延時の熱間加工性については、冷却速度の制御が重要であり、徐冷またはある温度で保定する効果²⁾が報告されているが、内部がまだ完全凝固していない状態で高速切断された铸片では、その顕熱を有効に

昭和61年10月本会講演大会にて発表 昭和61年11月塑性加工学会にて発表(昭和62年11月10日受付)
(Received Nov. 10, 1987)

* (株)神戸製鋼所 機械研究所 (Mechanical Engineering Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd., 1-3-18 Wakinohama-cho Chuo-ku Kobe 651)

*² (株)神戸製鋼所 技術情報企画部 工博 (Technical Information & Planning Department, Kobe Steel, Ltd.)

*³ (株)神戸製鋼所 機械工場 (Machinery Plant, Kobe Steel, Ltd.)

活用して徐冷または保定の工程を組むことが比較的容易である。したがって、未凝固状態の連铸片に対して「押込み剪断技術」が適用できれば、省エネルギー効果のみならず、連铸材の無加熱直送圧延を実現する上で大きく役立つものと考えられる。

本論では、まず小型鋼片による熱間モデル実験により、押込み剪断に必要なプレス力量を低減する最適な加工条件を検討し、この結果に基づいて、既存のプレス設備に組込み可能な、実機寸法の押込み剪断装置を設計・製作して、連铸材サンプルの切断実験を行った結果について述べる。次に、小型インゴットを用いて未凝固状態で押込み実験を行い、内部欠陥に対する適正な加工条件についての議論を行う。さらに、完全凝固直前の小型インゴットを用いて押込み剪断実験を行い、未凝固連铸片のインライン押込み剪断技術の可能性を検討する。

2. 押込み剪断技術

2.1 実験方法および実験条件

2.1.1 小型鋼片による熱間モデル実験

押込み剪断加工における必要プレス力量の低減に関して、工具形状および加工条件の影響を明らかにするために、熱間鋼を用いてモデル実験を行った。

実験に用いた工具は、Fig. 1 に示すように、それぞれ左右に2分割された平、円弧、V型の3種類の形状である。押込み工程では左右の工具を合わせて圧下を行い、剪断工程では上下の2分割工具を左右でそれぞれ対として切断を行う。

試験片は 38 mm 厚×55 mm 幅×150 mm 長の中実材と中空材で、材質は S45C である。中実材を用いた実験では、各工具形状について押込み量に対する押込み荷重と剪断荷重の関係を求め、押込み時の幅拡がり、軸方向伸びなどを測定した。また、中空材は 5 mm 高×25 mm 幅の空洞を有し、押込み時の内部空隙の閉鎖傾向を調べるために用いた。

実験は、1000°C に加熱した試験片を用いて押込み加工を行い、再加熱した後、剪断加工を行った。押込みお

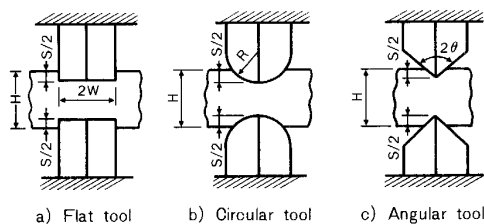


Fig. 1. Basic tool shapes in prereluction shearing process.

び剪断時の工具速度は、約 1 mm/s とした。

2.1.2 大型鋼片を用いた押込み剪断実験

切断に必要なプレス力量、切断面性状、および圧延後のクロップロスなどを調査するために、Fig. 2 に概要を示す押込み剪断装置を試作し、これを用いて連铸材サンプルの押込み剪断実験を行った。

本装置は、切断刃と保持刃からなる上下工具の取付けと交換が簡単にできる構造であり、厚み 150 mm、幅 200 mm、力量 200 tf までの押込み剪断が可能である。押込み時には下工具を固定して 40~50 mm/s の速度でラムを押し下げるが、剪断時には保持刃を支持しているバックアップ用ブロックを油圧シリンダーで抜き取り、代わりにエアシリンダーで保持刃を支えながら切断するようになっている。

試験片は連铸スラブの中心部より採取し、断面が 100 mm 厚×200 mm 幅および 150 mm 厚×200 mm 幅になるように、それぞれ機械加工した。Table 1 に供試材の化学成分を示す。試験片の加熱温度は 1250°C で、加熱炉から抽出後、約 1 min で押込み剪断した。

なおV型工具については、刃先部での摩耗や変形を防止する目的で、Fig. 3 に示すように、刃先先端に r 部を加工し、また合わせ面の先端部に硬化材（ハッチング部分）を肉盛り溶接した。

2.2 実験結果

2.2.1 熱間モデル実験

(1) 押込み時の幅拡がり

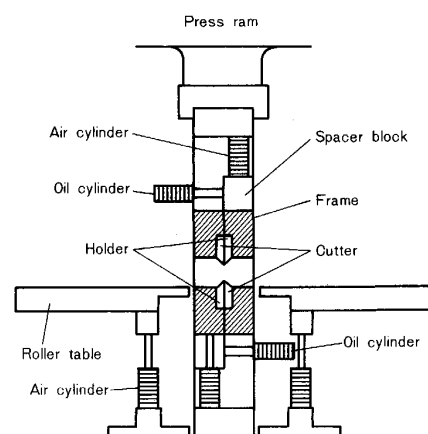


Fig. 2. Prereluction shearing apparatus.

Table 1. Chemical composition of carbon steel (wt%).

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Al
0.11	0.22	0.78	0.018	0.004	0.01	0.01	0.02	0.031

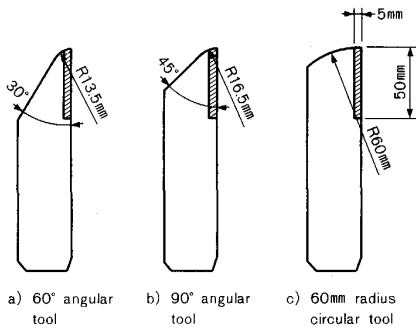


Fig. 3. Tools for prereducing shearing tests of hot carbon steel.

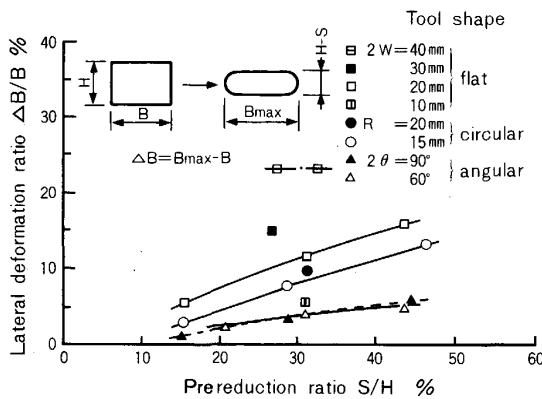


Fig. 4. Relation of lateral deformation to prereducing ratio in prereducing shearing model tests of S45C at 1000°C.

Fig. 4 に示すように、押込み時の幅拡がり率 $\Delta B/B$ (ΔB : 幅拡がり量, B : 素材幅) は、平および円弧工具で押込み率 S/H (S : 押込み量, H : 素材厚) と共に大きくなるが、V型工具では S/H に対してそれほど増加しない。したがって、端部における幅方向のメタルフローを抑制するには、押込み率を小さくし、またV型工具を用いることが必要である。

(2) 押込み時の軸伸び

押込み時の伸び比 λ/S (λ : 軸伸び量) は押込み率 S/H には余り依存せず、 λ は S の 10~40% でほぼ一定であり、押込み剪断装置と連铸材の速度同期を行って、押込み剪断に伴う軸方向応力の発生を打ち消すことが可能である。

(3) 押込みおよび剪断荷重

押込み率 S/H に対する押込み荷重および剪断荷重の関係を、無次元化した荷重 $P/k/A$ (P : 荷重, k : 平均変形抵抗, A : 素材断面積) として Fig. 5 に示す。同図より、以下の点が指摘できる。

a) 平工具の押込み荷重は押込み率に対して急速に増

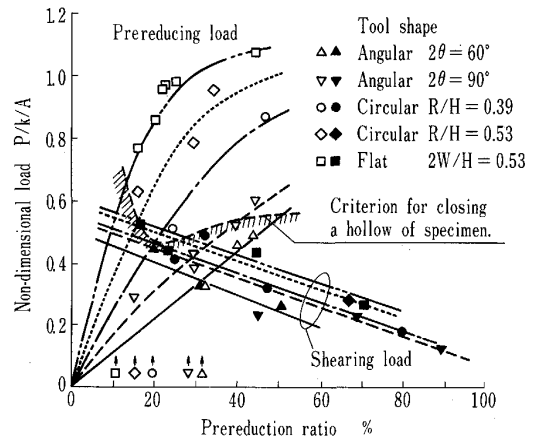


Fig. 5. Relation between prereducing loads and shearing loads in prereducing shearing model tests of S45C at 1000°C. The arrows below the figure indicate minimum load conditions for each tool.

大するため、押込み率の小さい部分を除いて単純な剪断における必要プレス力量を大幅に上回る。

b) 円弧工具の押込み荷重曲線は円弧の半径が小さいほど低下するので、剪断荷重曲線と交わる押込み率が大きくなり、必要プレス力量の低減効果が現れる。

c) V型工具の押込み荷重曲線は円弧工具よりも低く、また工具先端角度が小さくなるほど低下するので、剪断荷重曲線と交わる押込み率はさらに大きくなり、必要プレス力量の低減効果がいつそう大きく現れる。

以上より、必要プレス量を最小にするには、押込み荷重と剪断荷重とが等しくなる押込み率で押込み剪断することが必要であり、工具形状としては円弧工具またはV型工具を選定することが効果的である。

(4) 中空試料の空隙閉鎖条件

中空試料を用いて押込み加工を行い、中空試料の幅中央断面における空隙が閉鎖した押込み率の範囲を各工具形状について図示すると、Fig. 5 の斜線部が得られた。この結果、平、円弧、V型の順に空隙閉鎖に必要な押込み率が大きくなり、工具と鋳片との接触幅の大きさとの相関が認められた。

2.2.2 大型鋼片を用いた押込み剪断実験

(1) V型工具刃先の改善効果

熱間モデル実験の結果、V型工具を用いればプレス力量を低減できることが明らかになったが、V型工具の刃先部は、押込み剪断時に大きな面圧が作用し、かなり急速に摩耗や変形が進展する。このため、切断が困難になったり、切断面の品質に悪影響を与えることになる。

先端角 90° のV型工具について、切断本数と刃先摩耗量の関係を調べると、切断本数の少ない範囲で既にか

Table 2. Improvement of decrement of tool length in cutting of carbon steel at 1150°C by making roundness at the tip of 90° angular tools.

Angular tool	Roundness of the tip (mm)	No. of sheared specimen	Decrement of tool length (mm)	
			Cutter	Holder
Acute tip	0	11	4.65	1.85
Round tip	16.5	9	0	0

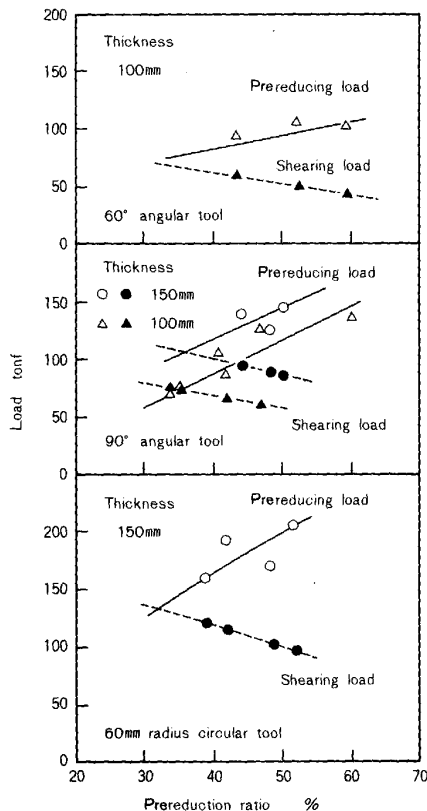


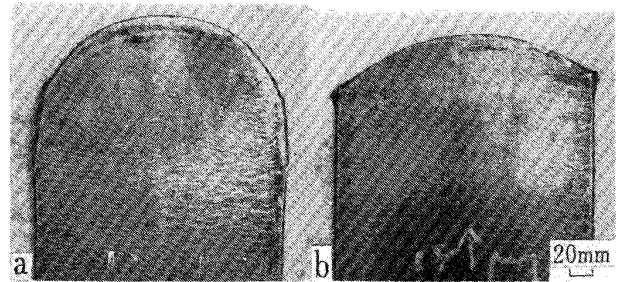
Fig. 6. Relation between prereducing loads and shearing loads at various prereluction ratio.

りの摩耗が発生し、その後は、刃先形状はほぼ安定していることがわかった。これは、摩耗の進展に伴って、刃幅寸法の増加により刃先強度は向上し、逆に面圧は低下するためであると考えられる。

そこで、初期摩耗後の刃先形状を参考にして、先端 r 部を持つ V 型工具を作成した (Fig. 3)。この内、先端角 90° の改良工具を用いて押し込み剪断を行った後の刃先摩耗量を、Table 2 に示す。これより、刃先形状の改善が、工具の初期摩耗を防ぐ上で極めて重要であることがわかった。

(2) 押し込み荷重および剪断荷重

Fig. 6 に、押し込み率に対して押し込み荷重および剪断荷重の関係を示す。その結果をモデル実験の場合 (Fig. 5) と比較すると、V 型工具では先端角 60° と 90° の最



a : Simple cutting
b : Prereluced shearing by a 60° angular tool

Photo. 1. Crop end profiles at a leading end after rolling.

小荷重の差が小さく、また円弧工具については、最小荷重を与える押し込み率が大きくなっている点が異なる。

前者の理由としては、改善 V 型工具を用いたために、同じ押し込み量における接触幅の増加割合が、先端角が小さいものほど大きくなり、押し込み荷重の差が縮小したと考えられる。

また後者の理由としては、押し込み加工と剪断加工の間で再加熱を行ったモデル実験に対して、本実験では連続して押し込み剪断を行ったために、工具との接触による温度低下によって、剪断荷重が相対的に大きくなったと思われる。この時、V 型工具では前述の理由で押し込み荷重も増加しているのに対して、円弧工具では押し込み荷重の変化要因はないので、この場合にのみ最小荷重を与える押し込み率が大きくなったと考えることができる。

(3) 圧延後のクロップロス

押し込み剪断された試験片を再加熱して圧延し、表面性状および先後端形状を観察した。圧延後の表面には、押し込み剪断したことによる欠陥は認められなかった。また、クロップロスは Photo. 1 に見るように、押し込み剪断された端部の方がかなり少なく、タンク形状の長さではほぼ半分になっている。

なお、切断面にバリの発生は少なく、いずれの工具形状でも直線的に切断することができた。

3. 未凝固押し込み剪断技術

3.1 実験条件および実験方法

3.1.1 未凝固押し込み実験

未凝固状態で連铸片を押し込み剪断する場合の内部品質および表面状態を調査するために、100 mm 厚×220 mm 幅×330 mm 高の割り型鑄型を用いて、約 70 kg の低炭素鋼 (C≤0.09%) および中炭素鋼 (C=0.33~0.56%) を大気中で鑄込み、凝固中に鑄型を開放して押し込み実験を行った。使用工具は、30 mm 高×100 mm 幅の一对の

平板および円柱状パンチで、片方はインゴット表面にあつた状態で固定し、もう一方を0.1~3.0 mm/sの速さで押し込んだ。

次に、押し込み加工したインゴットの縦断面の切断サンプルを作成して、サルファープリントおよびマクロ組織による内部欠陥の調査を行った。またEMXによる偏析調査を行った。

Table 3に実験条件および結果の一部を示す。

3.1.2 未凝固押し込み剪断実験

インゴットは、100 tの真空溶解炉を用いて溶製し、127 mm厚×177 mm幅の鑄型で鑄造した。Table 4に溶鋼の成分を示す。鑄込み終了後、約3 minでインゴットを型抜きし、前述の切断装置に搬送して未凝固のまま押し込み剪断を行った。

使用工具は、先端半径40 mmおよび60 mmの2種類の円弧工具である。切断したインゴットの一方はそのまま空冷し、表面状態および内部品質の調査に当たった。また、他の一方は隣接する圧延機で直送圧延し、板状にして欠陥などの調査を行った。

3.2 実験結果

3.2.1 未凝固押し込み実験

(1) 切断インゴットの状況

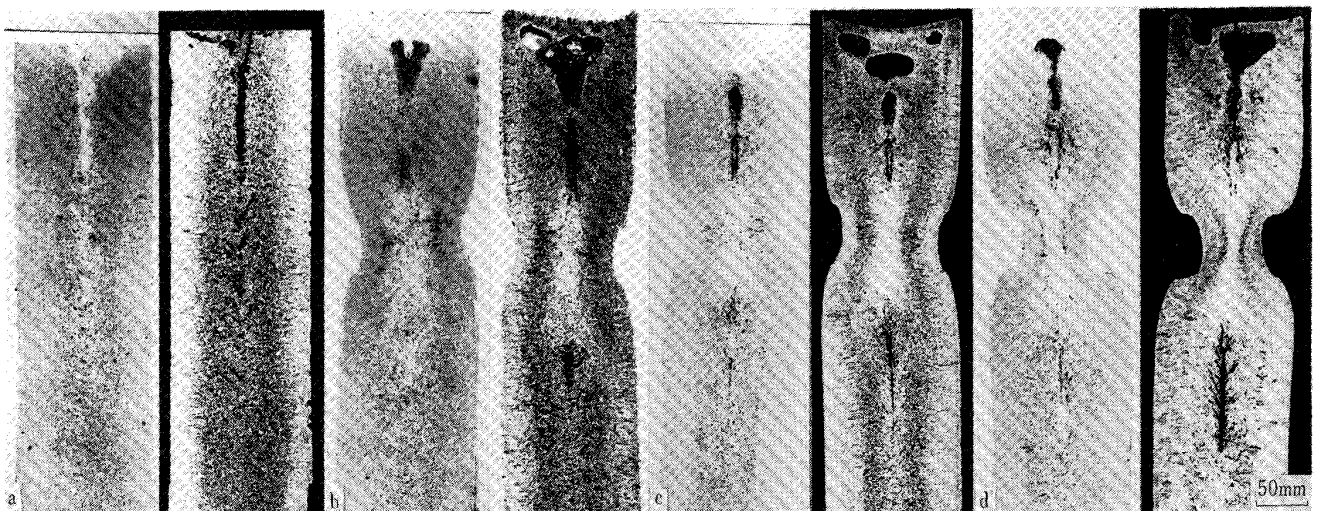
Photo. 2に、中炭素鋼インゴット縦断面のサルファープリントおよびマクロ組織の一部を示す。この内、aは押し込み加工をしないインゴット、bは内部割れが見られたNo. 22インゴット、cおよびdは健全なインゴットである。押し込み部直下には、ホワイトバンド(負偏析)

Table 3. Chemical composition and test results for prereducing tests of unsolidified ingots.

Type of steel	Ingot No.	Chemical composition (wt%)						Pouring temp. (°C)	Opening time (s)	Loading time (s)	Reduction (%)	Load (tf)	Internal defects				
		C	Si	Mn	P	S	Al										
Low carbon steel	31	0.05	0.18	0.38	0.030	0.028	0.027	1650	180	244	29.6	11.5	Found				
	33	0.09	0.23	0.48	0.030	0.032	0.039	1630	180	278	25.5	21.3	None				
	34	<0.05	0.13	0.29	0.029	0.027	0.019	1640	180	314	27.7	27.4	None				
Middle carbon steel	8	0.43	0.24	0.51	0.031	0.029	0.037	1625	150	Not reduced	30.6	45.8	None				
	17	0.34	0.25	0.43	0.032	0.031	0.051	1630	154								
	22	0.44	0.26	0.50	0.029	0.027	0.045	1625	150					358	28.0	33.0	Found
	23	0.36	0.26	0.50	0.031	0.030	0.034	1630	150					358	54.8	43.0	None

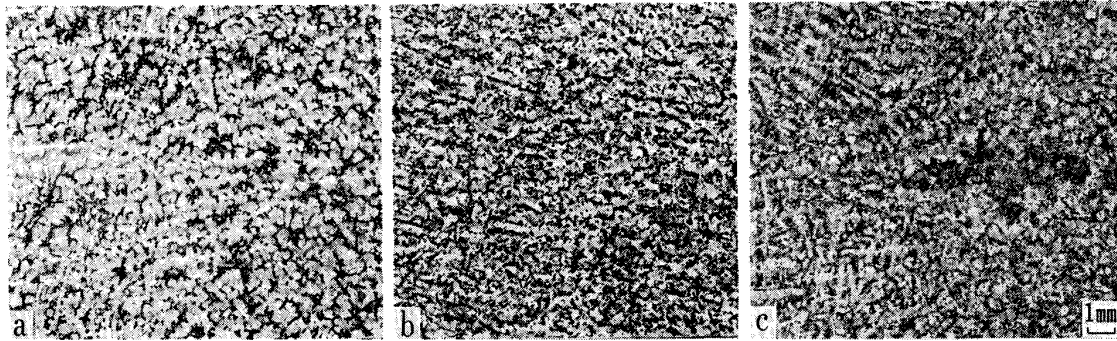
Table 4. Chemical composition of test ingots (wt%).

Ingot	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Al
No. 1	0.41	0.22	0.64	0.006	<0.005	0.10	0.10	<0.01	0.029
No. 2	0.43	0.22	0.65	0.004	<0.005	0.10	0.10	<0.01	0.024
No. 3	0.40	0.22	0.61	<0.002	<0.005	0.10	0.09	<0.01	0.027
No. 4	0.41	0.22	0.61	0.003	<0.005	0.11	0.09	<0.01	0.033
No. 5	0.45	0.23	0.63	0.004	<0.005	0.10	0.10	<0.01	0.025



a : No. 8, prereluction 0% b : No. 22, prereluction 28.0% c : No. 17, prereluction 30.6% d : No. 23, prereluction 54.8%

Photo. 2. Macro-structures (right) and sulphur test results (left) of the longitudinal cross-section of unsolidified middle carbon steel ingots after prereducing test.



a : Center 100 mm under the punch b : Center at the punch c : 17 mm from surface at the punch

Photo. 3. Macro-structure in the longitudinal cross-section of an unsolidified middle carbon steel ingot after prereducing (No. 22).

Table 5. Test results for prereducing shearing tests of unsolidified middle carbon steel ingots.

Ingot		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
Prereducing shearing	Start of reducing	6'50"	6'20"	6'00"	6'00"	6'00"
	End of shearing	7'25"	7'00"	6'44"	6'30"	6'26"
	Solid thick. ratio (%)	38.9	37.3	36.0	36.0	36.0
	Tool radius (mm)	60	60	40	40	40
	Reduction ratio (%)	48.8	41.9	54.0	47.8	55.6
	Reducing load (tf)	50.8	40.0	40.0	30.1	37.7
	Shearing load (tf)	40.0	40.0	32.0	28.1	22.9
Cut surface quality		Shear cracks	Center crack	A little leak	Leak	Some leak
Rolling	Transfer condition	Naked	Naked	Covered	Covered	Covered
	Rolling time		8'02"	10'00"	10'19"	10'00"
	Aimed thickness (mm)	23	23	23	13	13
	Finishing temp. (°C)	965	1 009	972	850	895

ができ、これから押込み時における凝固層厚みを知ることが出来る。

次に Photo. 3 に、No. 22 インゴットの中心部マクロ組織を示す。押込み部では、非押込み部よりも等軸晶が微細化され、またホワイトバンドの周辺部には、割れの縮退したボイド状欠陥が見られる。

なお、工具の圧痕部には加工に起因する表面割れなどは見られず、インゴットの表面性状は健全であった。

(2)内部割れ

Fig. 7 に凝固層厚みと押込み率の関係として、内部割れ発生状況を示す。凝固層厚みが押込み後の厚さの約 30% 以上であれば内部割れは発生せず、また約 25% 以上では大きな割れは生じていない。

(3)内部偏析

No. 22 インゴットの押込み部および非押込み部から試料を採取し、C, Mn, P の分析を行った。その結果、押込み部直下での C, Mn, P は、鋼塊中心部で 0.33%, 0.38%, 0.015%, また 1/4 厚み位置で 0.48%, 0.41%, 0.026% であった。一方、ポンチセンターから 100 mm ボトム側では、鋼塊中心部で 0.33%, 0.38%, 0.015%, また 1/4 厚み位置で 0.43%, 0.38%, 0.026% であった。他のインゴットについても調査したが、押込みによ

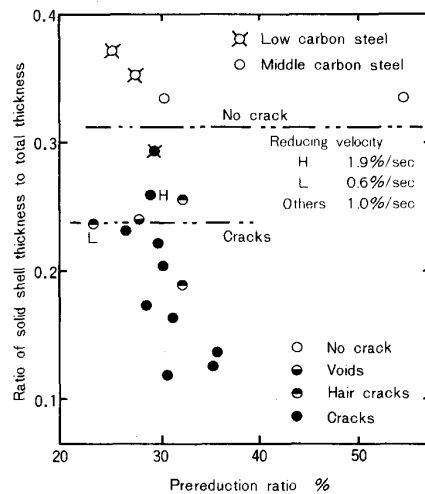
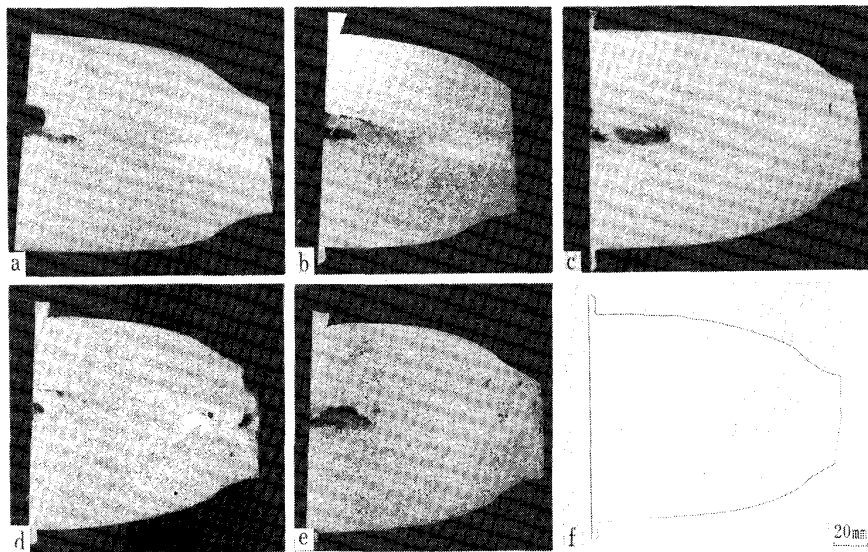


Fig. 7. Effect of solidification ratio upon appearance of internal cracks.

る著しい差異は認められなかった。

(4)センターポロシティ

押込みにより中心部が閉鎖されたインゴット下半部のセンターポロシティの発生状態は、押込み加工をしないインゴットに比べて、いくぶん増大している。しかし、全溶鋼に対する分離溶鋼の体積比率を考えると、実際の



a) No. 1 ingot b) No. 2 ingot
c) No. 3 ingot d) No. 4 ingot
e) No. 5 ingot f) No. 3 ingot

Photo. 4. Macro-structures a)~e) and a sulphur print f) of the longitudinal cross-section of the unsolidified ingots cut by prereluction shearing method.

連铸片ではインゴットよりも相対的に小さいので、押込みによるセンターポロシティへの影響はより少ないと考えられる。

3.2.2 未凝固押込み剪断実験

Table 5 に、実験結果を示す。押込み剪断および圧延時点における表面温度は、約 1250°C と 1180°C であり、剪断直後の切断面は 1300°C 以上であった。

(1) 最小荷重条件

熱間鋼の場合 (Fig. 6) と比較すると、最小荷重値は小さく押込み率は大きい。これは、未凝固部の存在によつて、押込み荷重曲線が相対的に低下するためであると考えられる。

(2) 切断インゴットの外観

切断面にはクラックおよび漏鋼跡が観察されたが、その他の表面部および切断バリは良好であった。漏鋼跡は、先端半径の小さい円弧工具を用いた No. 3~5 のインゴットで見られ、切断直後には認められなかつたことから、未凝固部の圧着不十分による溶鋼のしみだしが原因であると考えられる。

(3) 内部品質の調査

Photo. 4 に、縦断面のマクロ組織調査およびサルファープリントによる内部欠陥調査結果を示す。サルファープリントでは、いずれのインゴットにおいても内部に顕著な割れは認められず、極めて健全であった。

一方、No. 1~2 インゴットのマクロ組織には、剪断時にできた中心偏析帯のメタルフロー組織に沿つて一連のクラック状欠陥が存在するが、これらは切断面に近い領域に限られている。また漏鋼跡が認められた No. 5 インゴットでは内部に数個の欠陥が見られるものの、著

しく漏鋼した No. 4 インゴットでは内部流動体の移動方向に少数の欠陥が発生し、わずかに漏鋼した No. 3 インゴットの内部欠陥は調査面で 1 か所だけであつた。

このような内部欠陥の実体を明らかにするために、No. 3 インゴットの欠陥部について EPMA で線分析を行つた。この結果、欠陥部には P は見られず、C, Si, Al が偏在し、欠陥の幅は約 54 μm であること、また S がこの両側に局在し、その幅は数 μm であることがわかつた。

(4) 圧延材の品質調査

切断したインゴットの圧延後の表面状態を調べた結果、前述した切断面欠陥に起因する割れが、切断面側の端面に認められた。また、No. 1~2 インゴットでは、端面の割れが圧延面に回り込んでいないのに対して、No. 3~5 インゴットでは圧延面にも回り込んで現れ、面さずとなつている。このことから、切断面での漏鋼発生は避けるべきであり、押込み工具と押込み量の条件設定が重要であると考えられる。しかし本実験では、127 mm から 13 mm に圧延した時の回り込み長さは最大でも 40 mm 以下であり、タンク形状によつて決まる圧延クロップロス範囲内に十分含まれている。

4. 考 察

4.1 必要プレス力量の低減効果

Table 6 に、熱間鋼およびインゴットの押込み剪断実験における最小荷重条件をそれぞれまとめた。また押込み剪断技術を大断面ブルーム CC に適用する場合を考えて、おのおのの押込み剪断条件における単位断面積当たりの荷重値を、断面内の平均温度を用いて補正し、た

Table 6. Comparison of various loads based on the results of prereduction shearing tests.

Material	Section A(mm ²)	Tool shape	Mean temp. (°C)	Experimental results					Estimation for CC bloom	
				Simple shear load P ₀ (tf)	Minimum load P (tf)	Reduction (%)	P/P ₀ (%)	Average load P/A(kgf/mm ²)	Mean temp. (°C)	Average load (kgf/mm ²)
CC steel	100×200	60° 90°	1150	105.6 117.7	70.2 71.5	30.9 35.2	66.5 60.7	3.15 3.58	1120	3.72 3.79
	150×200	90° 60 mmR		169.3 194.2	105.1 133.5	35.9 32.2	62.1 68.7	3.50 4.45		3.71 4.71
Ingots	127×177	40 mmR 60 mmR	1372	— —	28.9 40.0	46.6 41.9	— —	1.29 1.78	1270	1.50 2.07

がいと比較した。

同表から、完全凝固後の押込み剪断用として、先端角 90° の V 型工具を、また未凝固押込み剪断用として、板厚 127 mm に対して先端半径 60 mm の円弧工具を、それぞれ採用する場合、必要プレス力量は単純なプレス剪断時に比べ、それぞれ約 61% および約 34% に低下することがわかる。

4.2 未凝固押込み剪断における内部欠陥防止条件

連鋳ラインにおける内部割れ防止に関しては、これまで数多くの報告がされているが、大部分は軽圧下のインラインリダクションを想定した検討が行われている。例えば、KOMMA ら³⁾は凝固シエルの曲げやバルジング変形を打ち消すために、凝固収縮に相当するだけの軽圧下をロール配列で与えることを推奨し、楯ら⁴⁾は、中心偏析およびセンターポロシティ対策として凝固末期軽圧下装置を実用化している。しかし、本論で述べた未凝固押込み剪断における加工歪み量は、瀬々ら⁵⁾が示している未凝固軽圧下条件をはるかに上回るものであり、内部欠陥防止対策として新たな考え方が必要である。

3.2.1(2)で述べたように、未凝固インゴットの押込み実験で凝固層厚みが最終厚みの約 30% 以上になれば、内部割れは生じないことが判明したが、この現象の説明として次のことが考えられる。すなわち、凝固層が厚く、かつ固液共存域の固相比率が大きくなる凝固末期の押込み加工では、側面の凝固層の変形拘束効果と同時に固相部分も変形を受け持つために、上下の凝固層と中心部の固液共存域が共に圧縮性の応力状態になりやすく、内部割れの発生と進展が妨げられる。また、大きな押込み量を与えるほど、中心部に作用する相当歪みと静水圧応力は大きくなるので、その効果はいつそう顕著になる。

小島ら⁶⁾も、連鋳片で未凝固大圧下を試み、内部割れが生じないことを明らかにしているが、Photo. 3 で見

られたマクロ組織の微細化やボイド状欠陥の形成などは、上述の説明を裏付けるものである。さらに竹原ら⁷⁾が、インラインリダクションにおいて液相の絞り出しが完全に行われていれば、内部割れ発生には至らないことを示しているが、内部応力の作用を理解する上で参考になる。

5. 結 言

連鋳片のインライン押込み剪断技術の基礎検討として、以下のことが判明した。

(1) 押込み荷重と剪断荷重とが等しくなる押込み率で必要プレス力量は最小となり、完全凝固状態の場合 V 型工具を用い、未凝固状態の場合円弧工具を用いて、必要プレス力量の大幅な低減が可能である。

(2) 未凝固切断鋳片の内部欠陥は微細かつ少数であり、また切断面でのクラックまたは漏鋼跡も、圧延後はクロップロスとして切り捨てられる。

(3) 中心部の負偏析帯やセンターポロシティについては、実際の連鋳片での問題点の説明が今後必要である。

(4) 本技術の適用によつて、インラインプレス装置の切断能力が増大し、経済性の高い設備化を実現できるとともに、歩留りおよびロール噛込み性などが改善される。

文 献

- 1) 山田晃義, 山本直道, 鈴木 秀, 加納好昭: 昭和 59 年塑性加工春期講演会 (1984), p. 53
- 2) W. T. LANKFORD, Jr.: Metall. Trans., **3** (1972), p. 1331
- 3) G. KOMMA, G. VOGT and K. WUNNENBERG: Iron Steel Eng. (1973) June, p. 68
- 4) 楯 昌久, 石黒守幸, 小森重喜, 村上勝彦, 福田 有: 日本鋼管技報 (1978) 79, p. 1
- 5) 瀬々昌文, 三隅秀幸, 長田修次, 原田慎三, 鈴木洋夫: 鉄と鋼, **71** (1985), S212
- 6) 小島信司, 松川敏胤, 今井卓雄, 溝田久和, 川縁正信, 山崎久生: 鉄と鋼, **73** (1987), S209
- 7) 竹原鋭郎, 山崎大蔵, 角井 旬, 林 寛治, 秋田秀喜: 鉄と鋼, **60** (1974), p. 875