

技術資料

UDC 621.746.27.047 : 621.746.582 : 669.14-147

連続鋳造鋳片の加工法と鋼材の性質*

牛 島 清 人**

Processing and Properties of Continuously Cast Steel

Kiyoto USHIJIMA

1. 緒 言

鋼の連続鋳造によつて供給される鋳片量は逐年拡大され、1970年には全世界粗鋼生産量の10%を超えており、将来とも逐次鋼塊-分塊法を置換してゆくものと予測されている。5年後にはこの連続鋳造の使用比率は20%前後に達すると予測しているものもある¹⁾。

近年の傾向として、大量生産工場の鋼板用素材となる大型スラブを鋳造する大容量機と、比較的小型の棒鋼用素材を供給するピレット用材の両極端で普及が著しい。これは中間寸法の鋳片からは粗圧延工程が必要となり、連続鋳造本来の目的の一つが失われることになるので当然の趨勢ともいえよう。

いずれにせよ工程省略、歩留向上、省力機械化などのメリットを追求して逐年普及しつつある連続鋳造法について、その分担する領域、加工法、得られた鋼材の性質などについて述べる。

2. 連続鋳造の領域

連続鋳造の歴史を見ると、当初溶鋼から製品の断面形状のものを直接、連続的に鋳造するという発想があつた。しかし近代的な量産設備として完成した現在の形態は、比較的単純な正方形または長方形の断面形状の半製品を連続的に鋳造するものとなつている。これは鋼の持つ高融点、低熱伝導率、収縮、偏析などの各種の物理的性質が、その凝固過程において品質、操業両面における制約となつて現われてくるためである。とくに近代的な鋼の大量生産方式の中にあつて、精錬炉、圧延設備の大容量化の中間に位置する設備として、連続鋳造も単純化、大容量化の方向を取らざるをえない趨勢にある。

しかしながら一方には鋼の製造工程を合理化するものとして可及的に製品に近い形を鋳造するという本来の努力も続けられており、各種の異形断面の素材を連続鋳造

する試みが行なわれている。またこれら相反する要求を満すものとして、工程の合理化という目的からは一步後退するが、連続鋳造機に粗圧延設備を組み込んだいわゆる in-line reduction 方式も工業化されてきている。

2.1 異形断面鋳片

上述のように工程の簡略化を目的とし、可及的に製品断面形状に近い鋳片を鋳造する試みとして、従来図 1²⁾ に示すようなものが考えられた。これらのうち工業化されたものまたは工業化に近いものは、H型鋼用素材のい

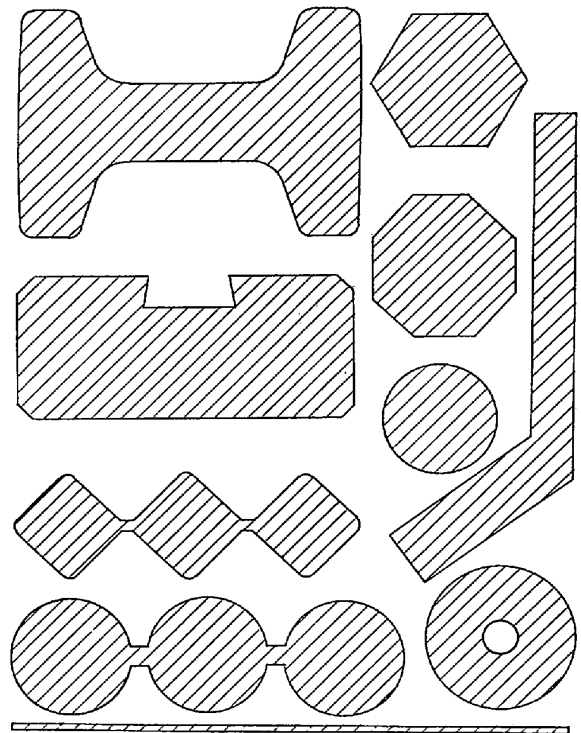


図 1 従来試験された各種の異形断面の連続鋳造鋳片²⁾

* 昭和48年11月16日受付 (依頼技術資料)

** 住友金属工業(株)本社第1技術開発部 工博

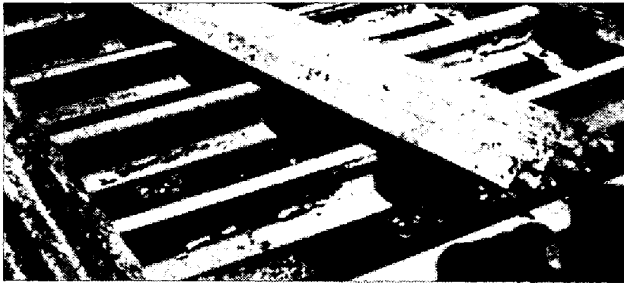


図 2 Weybridge 法による鋳片³⁾

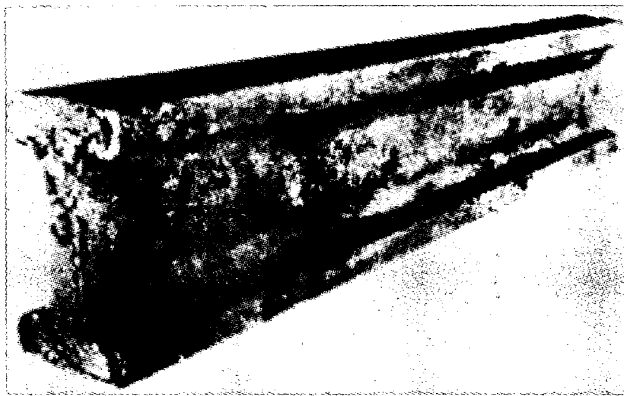


図 3 連続鋳造された H 型用素材⁴⁾

いわゆる dog-bone と鋼管用素材の 楕円，多角，中空，丸などである。

2.1.1 型鋼用素材

英国 BISRA 研究所は 1960 年の始めから異形断面鋳片の連続鋳造の研究を進めてきた。最初に実現された形はいわゆる Weybridge 法³⁾ と呼ばれるもので、これは図 2 に示すように正方形断面の鋳片を対角線上に複数個連ねたものである。これ自体は小型のビレットの鋳造能力を上げるために考案されたもので、複数個を同時に 1 ストランドで鋳込み、凝固後各ビレットの連結部分をガス切断して複数個のビレットとする考えであつたが、大量生産設備として実用化されるまでにいたらなかった。

しかしこれに続いて BISRA の Sheffield 研究所は、カナダの Algoma Steel Corp. と共同研究を推進した結果、1960 年代前半に図 3 に示すような H 型鋼用素材の連続鋳造の基礎実験に成功した⁴⁾。これに基づき Algoma Steel Corp. は 1968 年 110 t 転炉に連結して 2 ストランドの型鋼用素材の連続鋳造機を建設した⁵⁾。ここで考えられたいわゆる dog-bone または beam blank と称する型鋼用素材は、見体的には図 4 に示す A~E のごとき断面寸法のものである。主として鋳込まれているのは A~C の形状といわれているが、これら寸法の素材から圧延される型鋼は表 1 に示すごとき数 10 種類のものである。

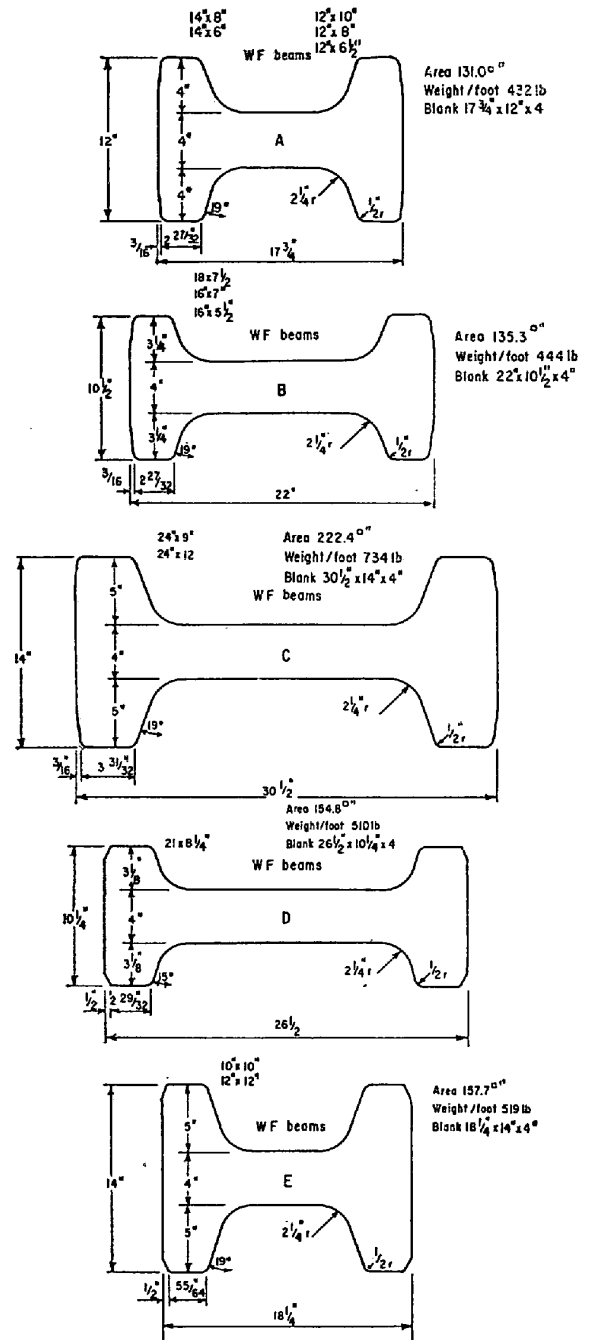


図 4 Algoma Steel の異形断面鋳片の横断面プロフィール⁶⁾

もちろんかかる複雑な断面形状の素材を連続鋳造するためにはタンディッシュ，鋳型，ローラー・エプロン，スプレイ装置を始めとして，連続鋳造機各部に単純なスラブ以上の設備が必要である。たとえばローラー・エプロンは図 5 に示すごとく鋳型直下では実に 4 対のローラーで支持する必要があるが，凝固の進行にしたがって鋳片の形が固まるとともに逐次 2 対，1 対のローラーに減じていく方式をとらざるをえない。またスプレーにしても図 6 に示すごとく多方向からの冷却が必要である。かくの

ごとく通常の正方形または長方形断面の鑄片に比べて鑄造側にかかる負担は大であるが、分塊の省略、約 10%といわれる歩留の向上など型鋼製造に寄与するメリットは大きいとされており、最近わが国においてもこのH型鋼用素材の連続鑄造機が稼動開始した。

2.1.2 鋼管用素材

鋼管用素材としては、古く 1950 年代初頭 50 mm×80 mm, 80 mm×105 mm などの楕円形断面のビレットの鑄造⁶⁾、1960 年代初頭対辺距離 90 mm の正六角形断面のビレット⁷⁾、115 mm φ の円形断面ビレット⁸⁾などの連続鑄造が試みられてきており、一部生産化されたところもある⁹⁾。いずれも鑄型、ローラー・エプロンなどの設計、配置が鑄造技術の要点とされている。これら通常の方法で製造されたビレットはいずれも表面の平滑度、軸

心部のセンター・ポロシティの残存などで必ずしも完全なものではない。そこでさらにこれを改善するものあるいは最終製品に近い形のを鑄造する目的で、中空円筒のビレットおよび円形中実であるが、遠心鑄造を併用した遠心連続鑄造法などが開発されてきている。

(1) 中空円筒ビレット

古く 1950 年代から西ドイツ Mannesmann A. G. の Huckingen で研究が進められ、外径 300 mm, 内径 100 mm の中空ビレットの連続鑄造に成功した。その後同社の Gelsenkirchen で図 7 に示すような外径 450 mm, 内径 100 mm, の中空円筒の鑄造にも成功したといわれている¹⁰⁾。

オーストリアの Böhler でも同様に 1950 年代に中空円筒ビレットの連続鑄造の研究を行なった。ここでは図

表 1 Algoma steel の dog-bone と製品H型鋼の断面寸法⁵⁾

Beam blank			Final product			
Profile	Dimensions, in.	Area, sq in.	Size, in.	Weight, lb per ft.	Area, sq in.	Total reduction in area
A	17 ³ / ₄ ×12×4	131.0	12×10	53	15.6	8.4 to 1
			12×10	58	17.1	7.7 to 1
			12×8 ³ / ₄	40	11.8	11.1 to 1
			12×8 ³ / ₄	45	13.2	9.9 to 1
			12×8 ³ / ₄	50	14.7	8.9 to 1
			12×6 ¹ / ₂	27	7.9	16.6 to 1
			12×6 ¹ / ₂	31	9.1	14.4 to 1
			12×6 ¹ / ₂	36	10.6	12.4 to 1
			14×8	43	12.6	10.4 to 1
			14×8	48	14.1	9.3 to 1
			14×8	53	15.6	8.4 to 1
			14× ³ / ₄	30	8.8	14.9 to 1
			14× ³ / ₄	34	10.0	13.1 to 1
			14× ³ / ₄	38	11.2	11.7 to 1
			B	22×10 ¹ / ₂ ×4	135.3	18×7 ¹ / ₂
18×7 ¹ / ₂	45	13.2				10.2 to 1
18×7 ¹ / ₂	50	14.7				9.2 to 1
18×7 ¹ / ₂	55	16.2				8.4 to 1
18×7 ¹ / ₂	60	17.7				7.6 to 1
16×7	32	9.4				14.4 to 1
16×7	36	10.6				12.8 to 1
16×7	40	11.8				11.5 to 1
16×7	45	13.2				10.2 to 1
16×7	50	14.7				9.2 to 1
16×5 ¹ / ₂	26	7.7				17.6 to 1
16×5 ¹ / ₂	31	9.1				14.9 to 1
C	30 ¹ / ₂ ×14×4	222.4				24×9
			24×9	76	22.4	9.9 to 1
			24×9	84	24.7	9.0 to 1
			24×9	94	27.6	8.1 to 1
			24×12	100	29.4	7.6 to 1
			24×12	110	32.4	6.9 to 1
			24×12	120	35.3	6.3 to 1
D	26 ¹ / ₂ ×10 ¹ / ₂ ×4	158.5	21×8 ¹ / ₄	55	16.2	9.8 to 1
			21×8 ¹ / ₄	62	18.3	8.7 to 1
			21×8 ¹ / ₄	68	20.0	7.9 to 1
			21×8 ¹ / ₄	73	21.5	7.4 to 1

E	18 ⁴ / ₈ × 14 × 4	164.5	10 × 10	42	12.4	13.4 to 1
			10 × 10	49	14.4	11.4 to 1
			10 × 10	54	15.9	10.3 to 1
			10 × 10	57	16.8	9.8 to 1
			10 × 10	60	17.7	9.3 to 1
			10 × 10	66	19.4	8.5 to 1
			10 × 10	72	21.2	7.8 to 1
			10 × 10	77	22.6	7.3 to 1
			10 × 10	89	26.2	6.3 to 1
			10 × 10	100	29.2	5.6 to 1
			10 × 10	112	33.0	5.0 to 1
			10 × 10 B P	42	12.4	13.3 to 1
			10 × 10 B P	57	16.8	9.8 to 1
			12 × 12	65	19.1	8.6 to 1
			12 × 12	72	21.2	7.8 to 1
			12 × 12	79	23.2	7.1 to 1
			12 × 12	85	25.0	6.6 to 1
			12 × 12	92	27.0	6.1 to 1
			12 × 12	99	29.1	5.7 to 1
			12 × 12	106	31.2	5.3 to 1
			12 × 12	117	34.4	4.8 to 1
			12 × 12	120	35.3	4.7 to 1
			12 × 12	133	39.1	4.2 to 1
			12 × 12	161	47.4	3.5 to 1
			12 × 12	190	55.9	2.9 to 1
			12 × 12 B P	53	15.6	10.5 to 1
			12 × 12 B P	74	21.8	7.5 to 1
			12 × 12 B P	89	26.4	6.3 to 1
			12 × 12 B P	102	30.0	5.5 to 1

8¹¹⁾に示すように円弧にそつて鑄造し、鑄造面から 180° 経た位置でなお未凝固のままのビレットを引上げることによつて円筒殻のみを取り出す方法で中空円筒ビレットを鑄造するという着想を実現した。この結果図 9 に示すような外径 150 mm の中空ビレットが得られた¹²⁾。肉厚については鑄造速度と冷却速度を適当に選ぶことによつて任意のものが得られるとされている。

しかしながら上記の各法はいずれも設備上、操業上の問題が多く、量産用設備として普及するにいたっていない。むしろ現在工業設備としてすでに実績を上げつつあるのは中空円筒ではないが、中実円形断面ビレットを品質、能率よく鑄造しようといわれている遠心連続鑄造設備である。

(2) 遠心連続鑄造

すでに述べたようにこれは遠心鑄造と連続鑄造を組合わせた方法である。図 10 に示すように鑄型、ローラー・エプロン、ピンチ・ロールはビレットと一体となつて軸心のまわりを回転しつつ、逐次上方タンディッシュからの鑄造とビレットの下方への引抜きが連続的に行なわれる¹³⁾。この結果ビレットは通常の連続鑄造によるものよりも正確な真円度のものが得られ、かつビレット表面品質が改善されるとともに軸心部のポロシティも改善されるといわれている。

本法は 1950 年代末期からフランスの Vallourec と SFAC とが共同で開発を進めてきたもので¹⁴⁾、当初は中

空円筒ビレットも試験したが、現在は中空円形断面ビレット用のみで、最近米国¹⁵⁾、日本などでも量産設備が建設中で 1974 年にはこれらも稼動を開始する予定である。

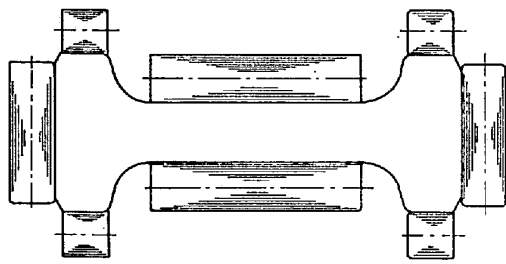
2.2 In-line reduction

In-line reduction とは鑄造に引続いて、得られた鑄片を連続鑄造機内で粗圧延する方法である。この着想は鑄片の内部品質を改善するという発想と、同一断面寸法の鑄片から多種類の断面寸法の鑄片を得るという生産性の面からの発想に基づいている。前者は Böhler に代表される BSR であり、後者は米国 U.S. Steel その他の一般に sizing mill と呼ばれている方法である。

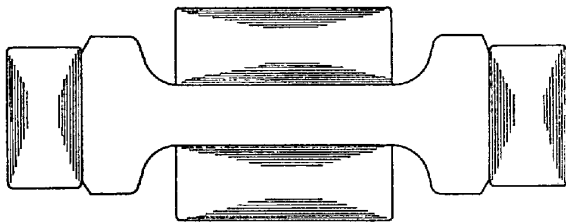
2.2.1 BSR 法

BSR 法とは Böhler Strand Reducing の略で、古くから行なわれてきた連続鑄造鑄片の凝固の研究に基づき、1967 年同社に設置された装置である。すなわち図 11 の概念図に示すとおり凝固最終部のビレットを圧下することによつて、中心の偏析ならびにポロシティを除去し健全なるビレットを得ようとする着想である。事実 140 mm φ ビレットに鑄込み、その最終凝固位置で圧下して 90 mm φ のビレットを得た。もちろんこの方法は内部品質の改善のほかにも同一断面寸法の鑄片を鑄込んで、多種類の断面寸法の鋼片を得るという利点も備えたものである。

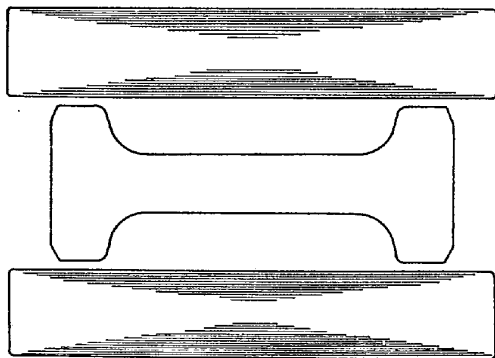
しかしながら凝固最終位置を正確に検知すること、凝固最終位置を正しく圧下ロールの位置に持ちきたらす鑄



Roller apron sections IA top and IA bottom
7 sets of rolls each



Roller apron sections IB and 2
11 sets of rolls each



Roller apron sections 3 and 4
12 sets of rolls each

図 5 Dog-bone 用二次冷却帯ローラー⁵⁾

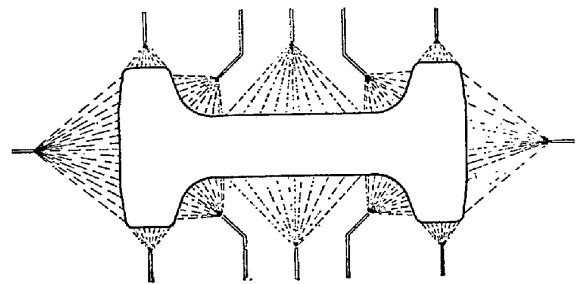


図 6 Dog-bone 用二次冷却帯スプレー⁵⁾



図 7 連続铸造された中空円筒ピレット¹⁰⁾

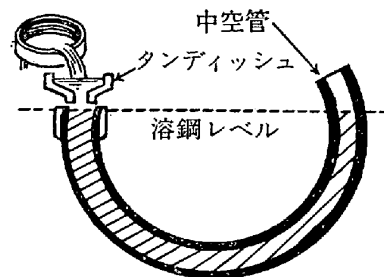


図 8 Böhler 型中空円筒ピレットの連続铸造法
模型図¹¹⁾

込条件の制御など工業的には困難な点が多く、しかも铸片の内部に割れが発生しやすい。したがってその後の In-line reduction はほとんど铸片の凝固後に圧下を加え、主として断面寸法変化のメリットのみを狙う方向になりつつある。これがつぎに述べる sizing mill である。

2.2.2 Sizing Mill

この範囲に属するものとしてはブルーム、ピレット系統では表 2 に示すようなものがある。引抜ロールを通過後、再加熱炉または均熱炉を経て铸片の内外部の温度を均一化した後、ほとんど2ないし8スタンドの水平および垂直圧下のロール群で圧下して、一定断面寸法のピレットから数種類の所要の断面寸法のピレットを得

る。その最大圧下量はほとんど断面積で 40~50% である¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾。

ピレット用の1例として岸和田製鋼の場合、垂直-ベンディング型の2ストランド連続铸造設備に連結して均熱炉があり、その後直接圧下設備を備えている。铸造ピレットは 140 mm φ でこれを垂直、水平2スタンドの圧下装置で 105 mm φ に圧下して以後の圧延工程に送る。これによつてピレットの内部品質も向上するといわれている¹⁷⁾。

スラブ用の sizing mill としては U. S. Steel の Gary で 1967 年初めて大がかりな設備が完成した¹⁸⁾¹⁹⁾。これは図 12 に示すように垂直-ベンディング型の連続铸造

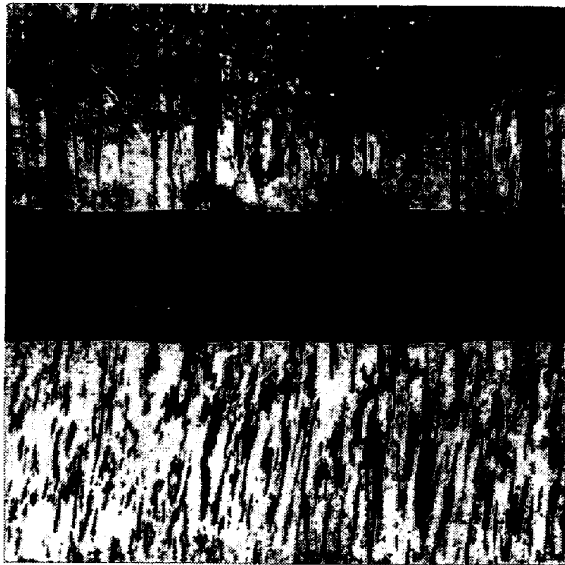
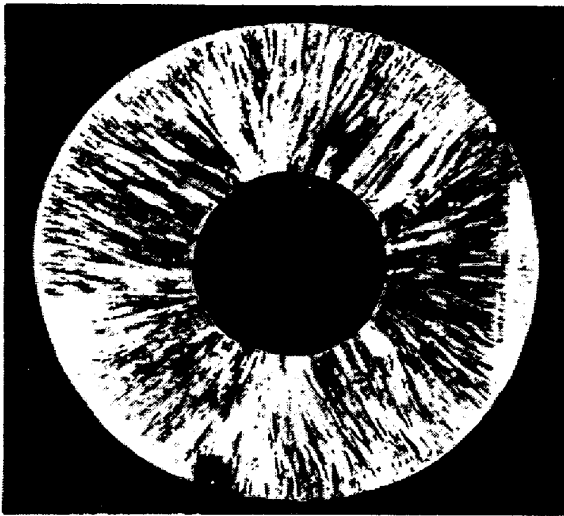


図 9 連続铸造された中空円筒ピレットの断面¹²⁾

表 2 ブルーム, ピレットの sizing mill

会 社 名	压下寸法 (mm)		压下量 (%) ($1 - \frac{\text{压下後断面積}}{\text{压下前断面積}}$)
	压下前	压下後	
Timken Roller Bearing	240×305	240 φ	38
George Town Steel	135×100	100 φ	45
National Steel steel	185 φ	180×140	39
Inland Steel	178 φ	127 φ	49
	146 φ	100 φ	53
U. S. Steel	190 φ	100 φ	72
	140 φ	105 φ	44

機に加熱炉と水平 3 スタンド, 垂直 4 スタンド合計 7 スタンドの reduction mill を備えており, 1375 mm×233 mm の铸造スラブを 1375 mm×225 mmないし 800

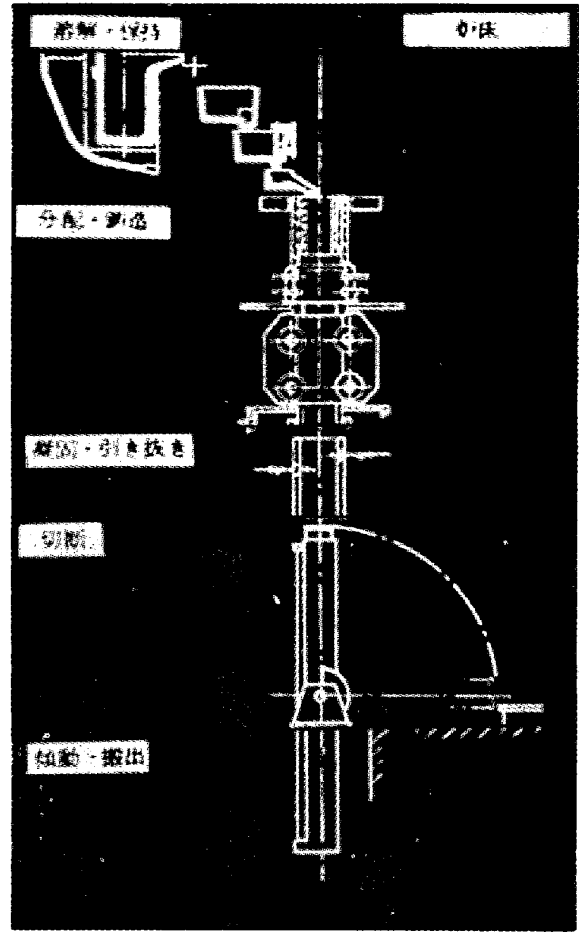


図 10 遠心連続铸造法の模型図¹³⁾

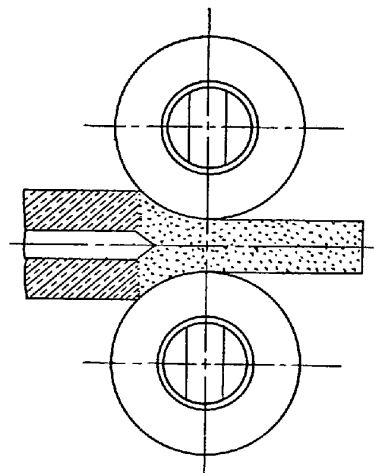


図 11 BSR法の概念図

mm×150 mm のスラブとする場合と, 1900 mm×233 mmの铸造スラブを 1900 mm×225 mm ないし 1000 mm×183 mm とする場合とがある. いずれも最大60%程度の压下量となる. これによつて铸造は 2 種類の断面寸法のスラブのみとし, これから所要の任意の断面寸法のスラブを得ようとするものである.

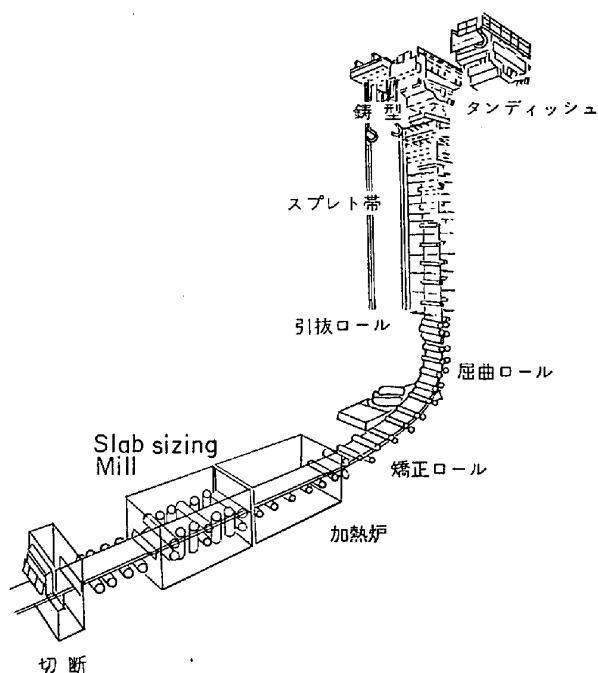


図 12 U. S. Steel の sizing mill 付連続鋳造機¹⁸⁾

ただこれら sizing mill の最大の欠点は分塊工程に匹敵する規模の粗圧延を含むことで、しかもこの粗圧延機の圧延速度は連続鋳造の鋳造速度に連動しているため効率が悪く、かつロールには通常の場合よりもむしろ苛酷な条件となる。また鋳造のストランドごとに粗圧延設備が必要となり、設備費も通常の場合と比較して決して有利とはいえない場合が多いと見られている。しかしながら既存の小断面素材の圧延設備を生かし、かつ製鋼部門を合理化するために連続鋳造を導入する場合、一般に操業上ピレットの断面は大きい方が安定して容易であるので、この間をつなぐものとして sizing mill が生きてくる場合もある。

3. 鋳片の品質

連続鋳造された鋼材の性質を明らかにするまえに、鋳造のままの状態の鋳片の性質について簡単に述べる。連続鋳造法が従来の鋼塊-分塊法と比べて最も大きく異なる点は、まず第1に従来の鋼塊がキルド鋼、セミキルド鋼、リムド鋼の3種類に大別されるのに比べて、現在鋳片ではキルド鋼のみしかないという点であり、第2に後続の圧延工程に供する時点で従来法は一旦分塊という工程を経ているのに対して、鋳片は鋳造のままのいわばポロシティを持ったままの状態であるという点である。

3.1 リムド鋼の連続鋳造

連続鋳造においても過去にリムド鋼の鋳片を製造しようという試みが数多くなされてきた。おもなものを紹介

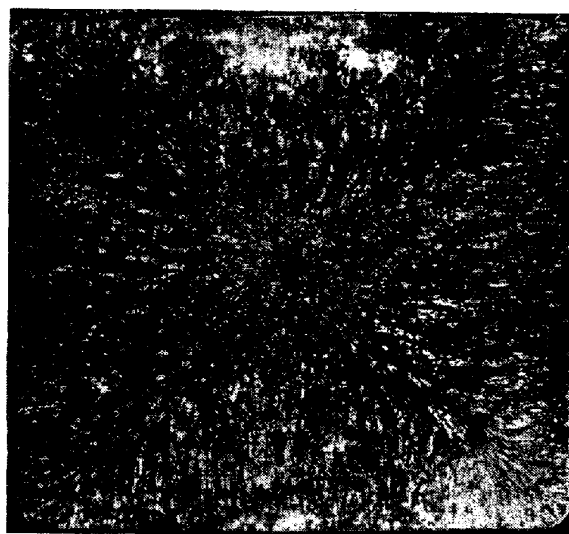


図 13 リムド鋼の連続鋳造鋳片の横断面²⁰⁾

すると次のとおりである。

Appleby Frodingham では 225 mm φ のピレットで数 10 回にわたりリムド鋼の鋳造試験を行なった¹⁹⁾。この結果最も適切な条件で鋳込まれた場合は図 13 に示すごとくりムド鋼に近い形態の鋳片が得られるが、一般には鋳片表面層に健全なソリッド・スキンを安定して得ることがむずかしく、部分的にピンホールが残ったり、成分の偏析が現われた。鋳込温度ならびに鋳込速度によってスキン厚さは敏感に変化し、これらの要因はいずれも低い場合にスキン厚さが厚くなる傾向にある。鋳込中これらの条件を非常に狭い適切な範囲に維持することがむずかしく、しかも作業条件が厳しいので9カ月にわたって行なった 54 溶解の 80 t 溶鋼を 60 t 以上鋳込みえたのはわずか 37% にすぎなかつた。得られたピレットから圧延した棒鋼の品質も表面状況が悪く多量の表面疵取りが必要で、冷間引抜きの結果も Si キルド程度のものしか得られなかつたといわれている。

同じく英国の Steel Co. of Wales では²¹⁾スラブについてリムド鋼の鋳造試験を行なっているが、鋳型内でのリミングの調節が問題で、60 t 取鍋のリムド鋼の最初の 1/3 は正常に鋳込みうるがしだいにガス放出が激しくなり、ついには鋳込みを中止せざるをえなくなることが多い。スラブの品質としてはリミングアクションの激しいものほど良好であるとされている。

また西ドイツ Dillinger でも²²⁾、1 000 mm × 185 mm のスラブについてリムド鋼の鋳造試験を行なったが、溶鋼中の炭素および酸素の適正含有量の維持が最も問題で炭素含有量が低いほどリミングアクションの調節が困難となる。逆にリミングアクションが弱い場合は取鍋からの溶鋼流に酸素を吹き込んでリミングアクションを活発

にすることも必要である。いずれにせよスラブ厚さが増大するに従って鑄型内でのリミングアクションの調節は容易となるとされている。結局 200 溶解の試験をしたが、鑄造操作ならびに鑄片品質の両面で未解決の問題が多く、リムド鋼の連続鑄造の可否の判断を下すのはこの時点では早すぎると考えられるとされていた。

一方、ソ連邦において早くから精力的な試験が行なわれており、リムド鋼の鑄造法ならびに得られた鑄片の性状についての研究が進められ、すでに量産化が可能であるとの報告もあつたが²³⁾、その後量産ラインで製造しているとの報告を聞かない。

そのほか、米国 McLouth での疑似リムド鋼の鑄造や真空脱ガス法を併用してリムド鋼の連続鑄造を具現しようという試みなどもいくつかあつたが、いまだに量産に移つたところはない。

いずれにせよ鋼塊の場合に比べて連続鑄造ではスラブの断面が小さく、凝固域が長いこと、初期の冷却速度が早いことなど、本質的な特徴がすべてリムド鋼の実現に向いていない点がこの工業化の難関となつており、連続鑄造によつて得られる鋼はほぼキルド鋼に限られるというのが大勢である。

3.2 鑄片の品質

現在連続鑄造鑄片の品質は従来の鋼塊-分塊法による鋼片に比べて一般には同等のものが得られている。もちろん部分的にはより劣る点もあるがむしろ優れている点も多い。そこでつぎに鑄片の表面、内部の品質、寸法精度などについて特徴を簡単に述べる。

3.2.1 鑄片の表面品質

連続鑄造の鑄込においては鑄型は上下往復運動を行なっている。この鑄片と鑄型との間の潤滑は、通常小断面のピレットには菜種油、大断面のスラブには合成フラックスの熔融物で行なわれる。しかしながら鑄型の上下往復運動によつて鑄片表面には、その往復運動の周期にしたがつて横方向の線状の凹凸すなわちオッシレーションマークが残存する。

また一般に鋼塊の場合よりも表面からの冷却が強いので、冷却のアンバランスによつて鑄片表面に縦および横方向の割れが出やすい²⁴⁾²⁵⁾。このほか鑄込条件が不適正な場合はノロ噛み、ピンホールなどが出ることは通常の鋼塊鑄込の場合と同様である²⁶⁾。

そこでこれら各種の鑄片の表面疵は後続の加工前に除去する必要があり、大容量のスラブ用連続鑄造機にはスクーパーが接続されているものが多い。しかしながら一般にはスラブ、ピレットともに普通鋼に向けるものは表面疵取りなしまたは部分的な疵取りで加工工程に供す

るのが通常化しつつあり、高級鋼に向けるものは入念な疵取りが行なわれる。したがつてこの表面手入歩留の面でも連続鑄造は鋼塊-分塊法よりも勝る場合がある。

3.2.2 鑄片の内部品質

連続鑄造において鑄片を連続的に引抜く方法は、現在ほとんど複数対の引抜ロールによつて行なわれる。したがつてこのロールに鑄片との摩擦による引抜力を与えるためにはロールによる鑄片への加圧が必要である。そこで適正な引抜条件を誤まると鑄片の内部に割れが発生しやす²⁷⁾²⁸⁾。

成分の偏析については鑄片は比較的小断面でかつ凝固速度が速いので、鋼塊の場合に比べるとはるかに少ない。連続鑄造では比較的鑄込時間が長くなるが、この長時間の鑄込においても偏析は問題とならない²⁹⁾。ただ最近スラブにおいて軸心部のごく狭い範囲に高い偏析の発生する場合のあることが指摘されており^{30)~34)}、これは連続鑄造鑄片の凝固に特有の機械的、冶金的要因によるものと考えられている³⁵⁾。

つぎに湾曲型の連続鑄造材においては、凝固シエルの発達に湾曲に沿つて進行する。そこで鑄片内に持ち込まれた介在物は上浮の過程で湾曲したスラブの内ないしは上側の凝固シエルに捕捉される。したがつて凝固、矯正後の鑄片においては湾曲内側に相当する表面と軸心との中間部分に介在物の集積が起こる³⁶⁾³⁷⁾。もちろん鑄込条件の選び方によつて介在物総量を減少し、この中間部の集積を軽減することはできる³⁷⁾。

これら各種の欠陥は連続鑄造鑄片にとくに発生しやすいものであるが、適正な鑄込条件を選ぶことによつてほとんど実用上問題のない程度までに軽減あるいは消滅せしめることが可能である。

最後に鑄片の形状、寸法については、一般に鋼塊を分塊してえた鋼片より良好であるといわれている。ただ鑄造条件によつて若干の寸法変動はあるが³⁸⁾、これも適正条件下で鑄込むことによつてバラツキの少ない所要の寸法のもののが得られることが明らかである。またとくに円形断面のピレットについては通常の連続鑄造では真円のもののが得がたいが、遠心連続鑄造では真円度のよいピレットが得られるといわれている¹⁴⁾。

4. 鑄片に加えるべき加工比

連続鑄造法においては分塊工程を省略しているため、当然鑄造状態から最終製品までの加工比は従来の鋼塊-分塊による場合よりも小さい。したがつて鋼材として具備すべき性質を發揮せしめるために鑄片に加えるべき必要最小の加工比を明らかにすることがとくに連続鑄造に

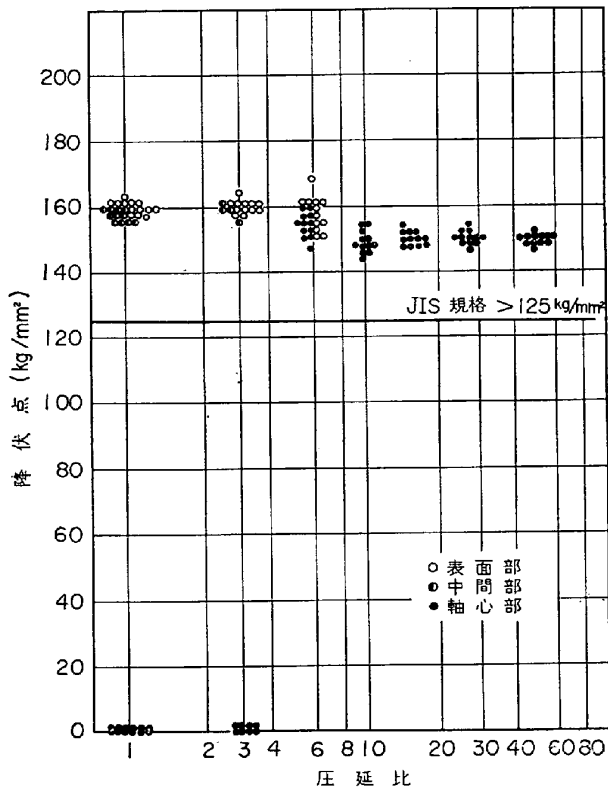


図 14 圧延比が降伏点に及ぼす影響 (Si-Mn ばね鋼)³⁹⁾

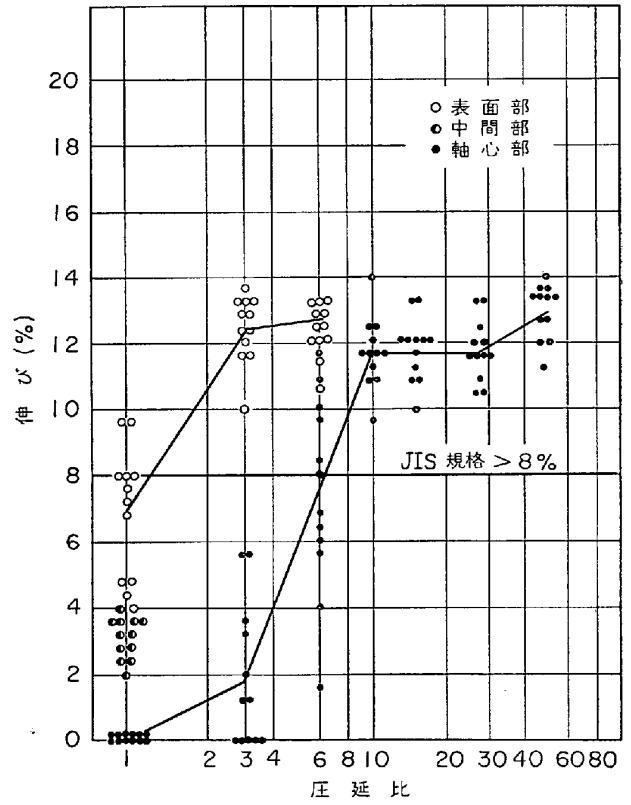


図 16 圧延比が伸びに及ぼす影響 (Si-Mn ばね鋼)³⁹⁾

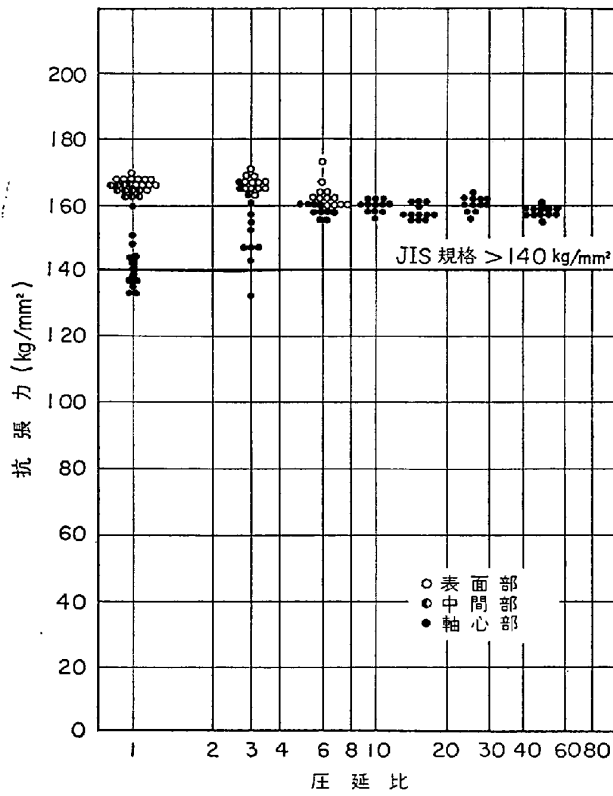


図 15 圧延比が抗張力に及ぼす影響 (Si-Mn ばね鋼)³⁹⁾

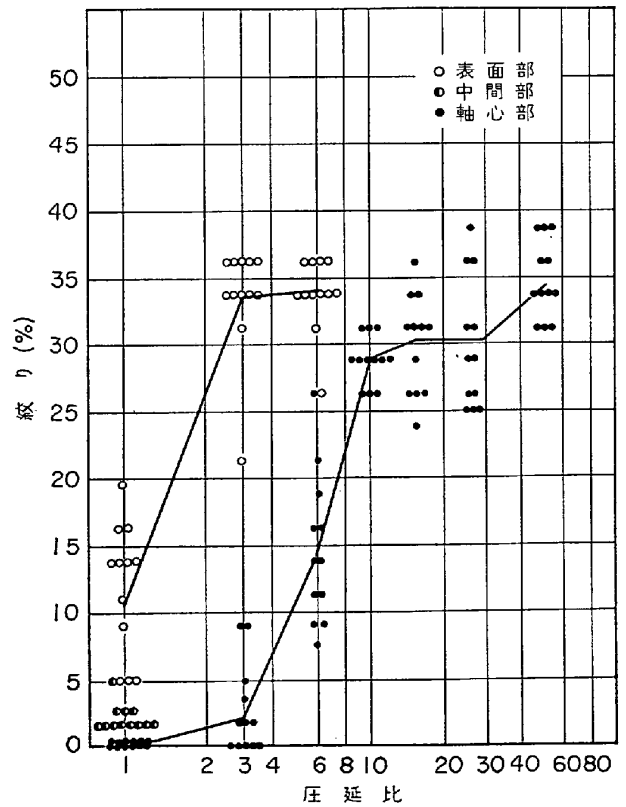


図 17 圧延比が絞りに及ぼす影響 (Si-Mn ばね鋼)³⁹⁾

表 3 連続鑄造ピレットに加えるべき必要最小圧延比

研 究 者	必要最小圧延比(ピレットの横断面積/製品の横断面積)
W. B. PIERCE ⁴⁰⁾	4 で一次品は破壊され優秀な物理的性質が得られる.
H. KOSMIDER, H. NEUHAUS, and A. WEYEL ⁴¹⁾	1.7 で一次品は破壊される. 3.3 でブローホールは圧着する.
J. HOFMAIER ⁴²⁾	6~12, スラブから板にする場合は 4~5 でよい.
B.H.C. WATERS, W.H. PRITCHARD, A. BRAYBROOK, and G.T. HARRIS ⁴³⁾	5.5 で一次品は圧着され, 一端が開口している収縮孔は圧着する. ただし炭化物の偏析は残る (高速度鋼)
P. THOMAS ⁴⁴⁾	4~5 で軸心の不均一部分は均一化する.
I.M.D. HALLIDAY ⁴⁵⁾	4~8 で柱状晶は破壊される.
G. FENTON and J. PEARSON ⁴⁶⁾	一般に 2, 規格の厳しいものでも 6.7 で十分である.
B. TARMANN ⁴⁷⁾	6 で組織の均一性が得られる (高合金鋼)
G. LITTLEWOOD and W.H. FRITCHARD ⁴⁸⁾	9 で機械的性質, 据え込み試験その他一般性状の良好なものが得られる.
G. FENTON, G. LITTLEWOOD, and J. ZAEYDYDT ⁴⁹⁾	あるものは 2 でよいが規格の厳しいものは 6.7 必要.
M. CABANE ⁵⁰⁾	内部を稠密にするためには炭素鋼, 低合金鋼で 6, ステンレス鋼, 耐熱鋼で 8, 高速度鋼, 工具鋼で 10 必要である.

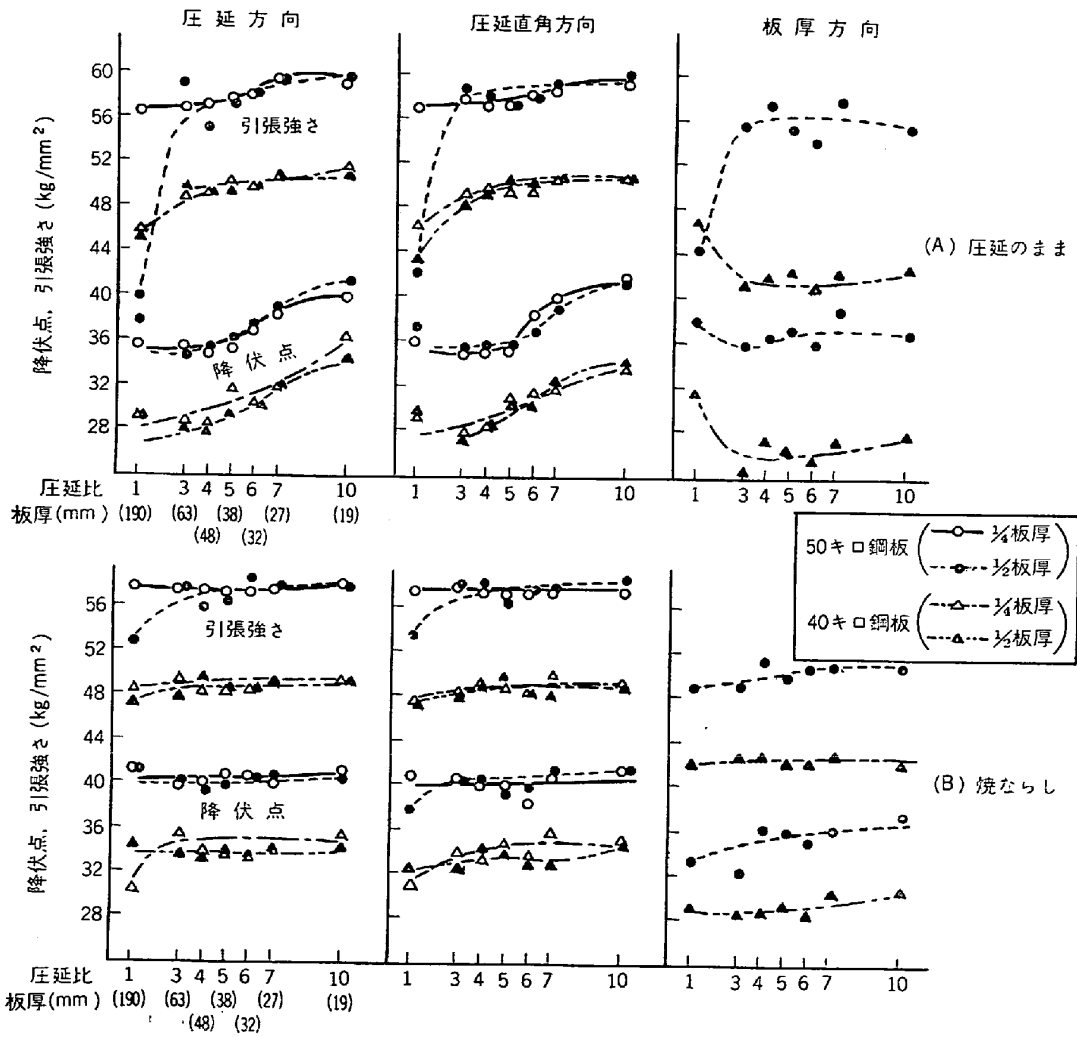


図 18 圧延比が降伏点, 引張強さに及ぼす影響(厚板)⁵¹⁾

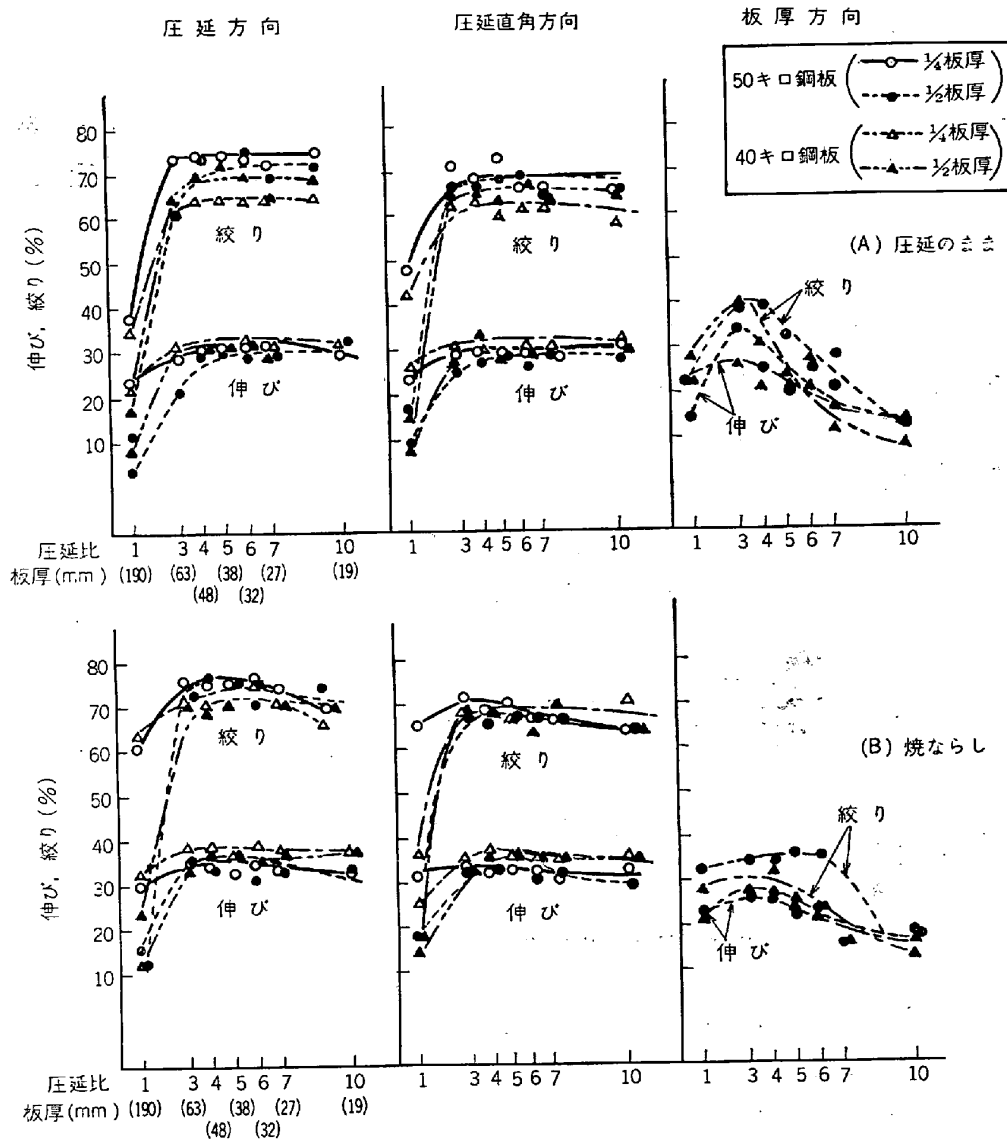


図 19 圧延比が伸び、絞りに及ぼす影響(厚板)⁵¹⁾

においては重要である。この点についての従来の研究結果はつぎのとおりである

4.1 ビレットの圧延の場合

Si-Mn ばね鋼を 130 mm φ ビレットに鑄込み、これを圧延していく過程で逐次鋼材の表面層、中心部から試験片を切出し引張り試験を行なつた³⁹⁾。この結果は図 14～17 に示すとおり、圧延加工比（鑄造のままの鑄片の横断面積／試験した鋼材の横断面積）が 6 以下では部分的に不十分な箇所があるが、10 以上にするることによつて各部とも所要の鋼材として十分な性質を具備するようになる。したがつてビレットを圧延する場合の必要最小の加工比は 6～10 の範囲にあることが明らかである。このほかの研究結果についても表 3 に示すとおり、ほとんど限界の必要加工比として 10 以下の値を出している^{40)～50)}。

4.2 スラブの圧延の場合

スラブの圧延の場合はビレットの場合と異なり主として一方向圧延であることと、比較的低碳素の鋼種が主体となることもあつてビレットの場合に比べて必要最小の圧延加工比はやや小さい値が示されている。

40 kg/mm² 級および 50 kg/mm² 級の厚板材を 190 mm 厚さのスラブに鑄込み、これに 1～10 の圧延比の加工を加えて、圧延方向、圧延に直角方向、圧延に垂直方向の引張りおよび衝撃試験を行なつた⁵¹⁾。この結果は図 18～21 に示すとくで、スラブから鋼板を製造する場合の必要最小の圧延比は 3～5 で十分であることがわかつた。このほかの研究でもほぼ同様の結果を示している^{52) 53)}。

4.3 鍛造の場合

連続鑄造ビレットに種々の鍛造加工を施してその性状

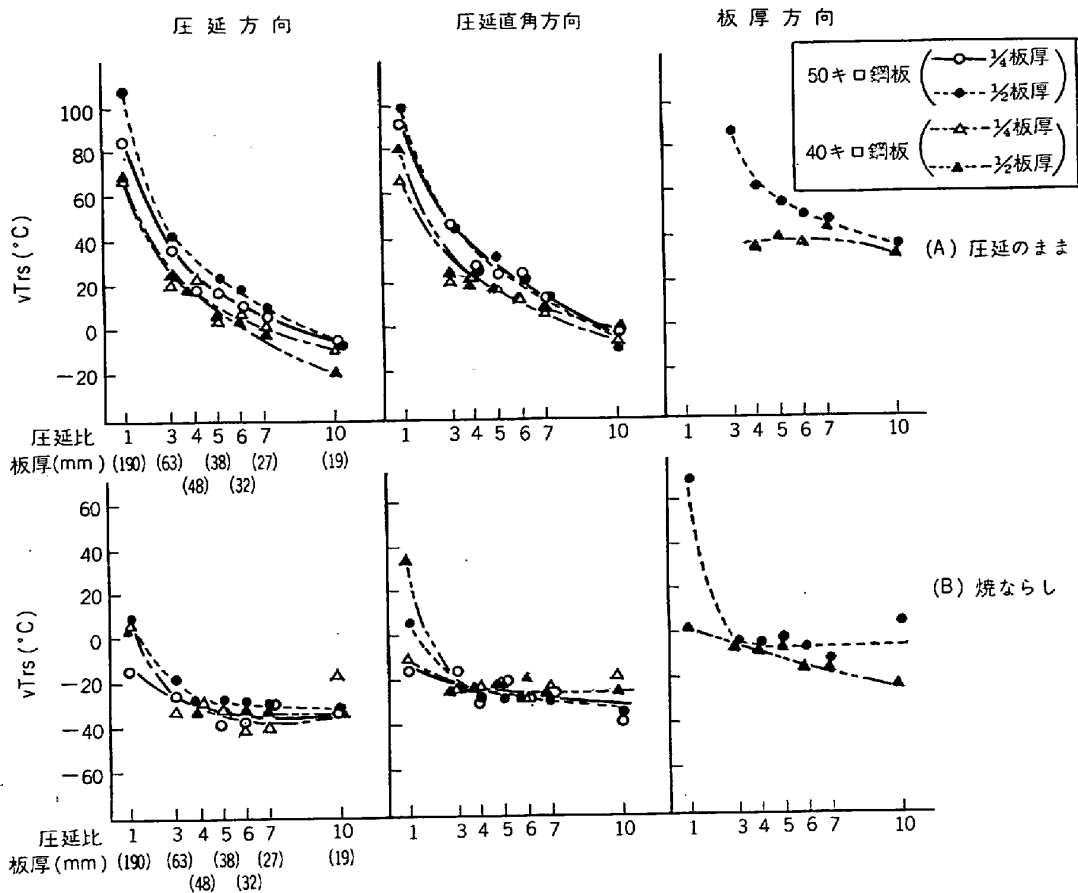


図 20 圧延比が衝撃性質 (破面遷移温度) に及ぼす影響 (厚板)⁵¹⁾

を調査した結果はつぎのとおりである⁵⁴⁾。すなわち0.41% Cの炭素鋼を300 mm ϕ に鋳込み、これを鋳造のまま270 mm ϕ に鍛造したものおよび200 mm ϕ に鍛造したものから試験片を切り出し、1/2 圧縮の据え込み鍛造を行なった。この結果表面割れは発生せず、中心のポロシティも圧着した。すなわち鍛造材においても鋳片の鍛造性が優れていることがわかった。つぎに、300 mm ϕ ピレットに300 mm ϕ ~100 mm ϕ の鍛造加工を加えた後各部の引張り試験を行なった。この結果図 22 に示すごとく、加工比2.8以上で各部とも十分所要の性質を具備するにいたることがわかった。このほかの研究でも同様な結果を示している⁵⁵⁾。

5. 連続鋳造鋳片から製造した製品の性質

連続鋳造鋳片は鋼板、条鋼、鋼管、鍛造品などすでに各種の鋼材として利用されており、その品質は従来の鋼塊法によるものと同様または部分的にはむしろ優れている点も見い出されている。これらの概要を品種別に以下に述べる。

5.1 鋼板

5.1.1 厚板

鋼板のうちで最も早く連続鋳造鋳片の利用が日常化されたのはステンレス鋼について普通鋼では厚板である。したがって現在厚板については40 kg/mm² 級を主体として、50 kg/mm² 級、一部では60 kg/mm² 級も連続鋳造鋳片が使用されている。また通常的大型鋼塊の底部に見られるC、Mnの負偏析、沈殿晶部の大型介在物がない点などはむしろ鋼塊材よりも優れている点であるといわれている。大径管素材についてもAPI-52, 60, 65級の製造が可能であるといわれる⁵³⁾⁵⁶⁾。

5.1.2 熱延鋼板

つぎに薄板について見ると、まず熱延板のまま使用されるもの、電縫管用素材とするものなど各種の利用がすでに日常化されている。従来の鋼塊材に比べて板内の硫化物が小さく分散しているので衝撃試験などではむしろ連続鋳造材の方が優れた値を示す場合もあるといわれている⁵³⁾。

5.1.3 冷延鋼板

すでに述べたとおり連続鋳造においてはリムド鋼は工

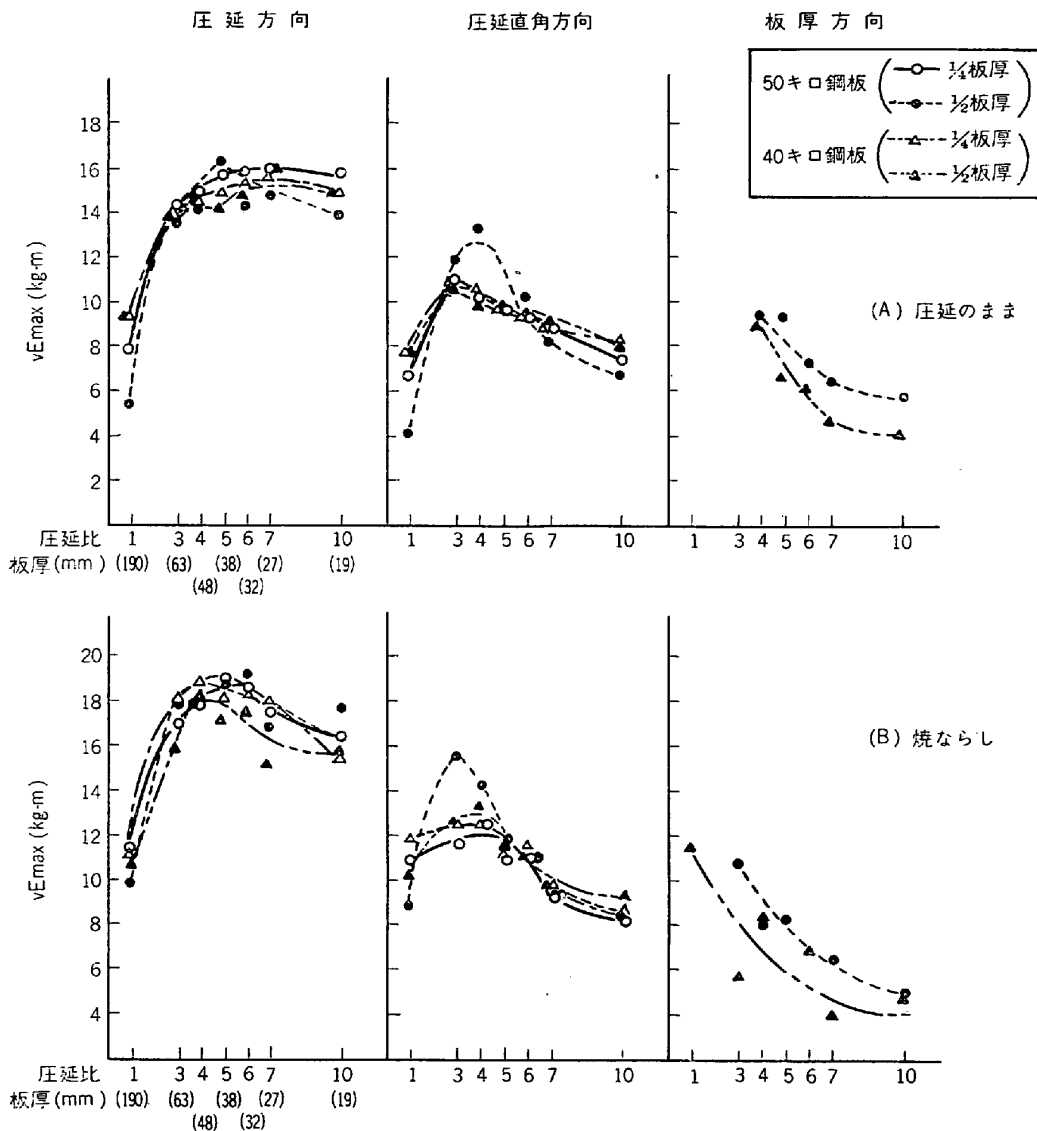


図 21 圧延比が衝撃性質 (100%延性破面の吸収エネルギー) に及ぼす影響(厚板)⁵¹⁾

業化されていない。疑似リムド鋼を誘導加熱炉で加熱し圧延して冷延鋼板を製造する方式もあつたが⁵⁷⁾現在の主流は Al キルドまたは若干 Si を入れた Si-Al キルド鋼の連続鋳造鋳片の利用である。Al キルド鋼ではたとえば図 23 に示すような成分のもので、機械的性質は図 24 に示すとおりで深絞り用として十分満足な性質を示すといわれている⁵⁸⁾。この鋼種では sol. Al を適切な範囲に留め、かつ過剰の酸素と結合した Al₂O₃ 系介在物をとくに表面近傍で少なくすることが要点で、錫メッキ鋼板にも使用可能のものができている⁵⁹⁾。

とくにこの鋼種では真空処理の利用、不活性雰囲気鋳造の活用など種々の対策がとられる場合もある。また Si-Al キルド系でも冷延鋼板が製造されているが、これは降伏点、引張り強さがやや高く、伸びが若干低く従来の

深絞り用 Al キルド鋼よりも若干性能が劣るとされている⁶⁰⁾。

5-1-4 その他鋼板

このほか特殊なものとして電気鉄板用珪素鋼の連続鋳造もすでに行なわれている⁶¹⁾。最後に鋼板の耐腐食性についての問題が提起されたことがあるが、その後の研究で各種の腐食試験を行なつた結果、連続鋳造材も従来の鋼塊材と同等でなんら遜色ないことが明らかにされている⁶²⁾⁶³⁾。

5-2 条鋼、線材

5-2-1 条鋼

現在一般の鉄筋材を主体とする条鋼の製造には広く連続鋳造鋼が普及している。最初に述べたビレット、ブルーム系統の連続鋳造機の機数が急速に伸びている理由は

主としてこの分野での連続鑄造の普及によるところが大きい。とくに高張力の異形鉄筋にはすでに大量に使用されており、その品質はたとえば表4に示すとおり従来の鋼塊材と比べてなんら遜色のないもので、ガス圧接試験の結果も問題ないとされている⁶⁴⁾。

つぎに、機械構造用鋼についても連続鑄造鑄片から鍛伸、圧延によつて得た条鋼に各種の鍛造加工を施してその品質を試験した結果、従来の鋼塊材と比較して同等の

ものであることが明らかにされている⁶⁵⁾。このほかにも各種の構造用材として使用されている例は多い^{66)~68)}。

5-2-2 線 材

線材については普通線材、硬鋼線材ともに連続鑄造鑄片によつて製造可能である⁶⁹⁾。もちろん線材から2次加工した各種の製品についても従来の鋼塊材となんら変わらない⁷⁰⁾。とくにPC鋼線の引張り性能向上のために鑄造時に電磁攪拌を行なうなどの特殊な製造法も採り入れられている⁷⁰⁾。

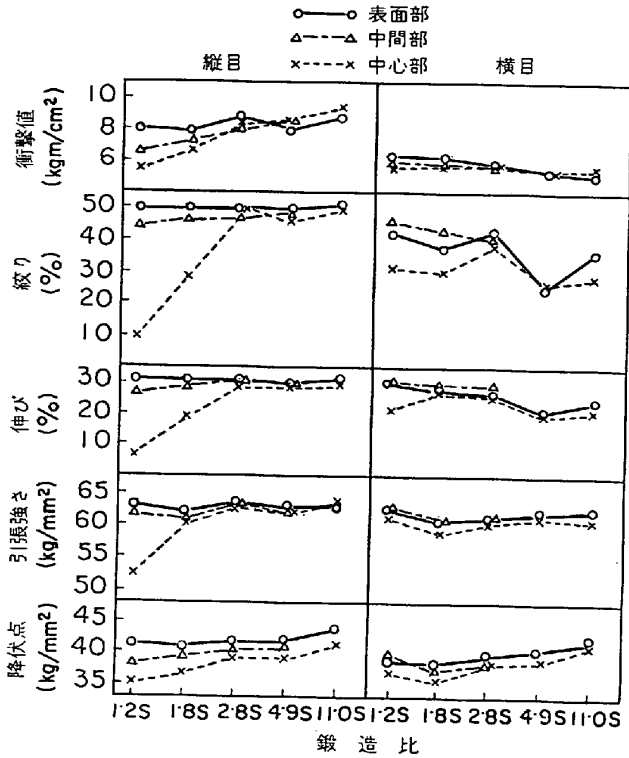


図 22 鍛造比が引張りおよび衝撃試験に及ぼす影響 (S40C)⁵⁴⁾

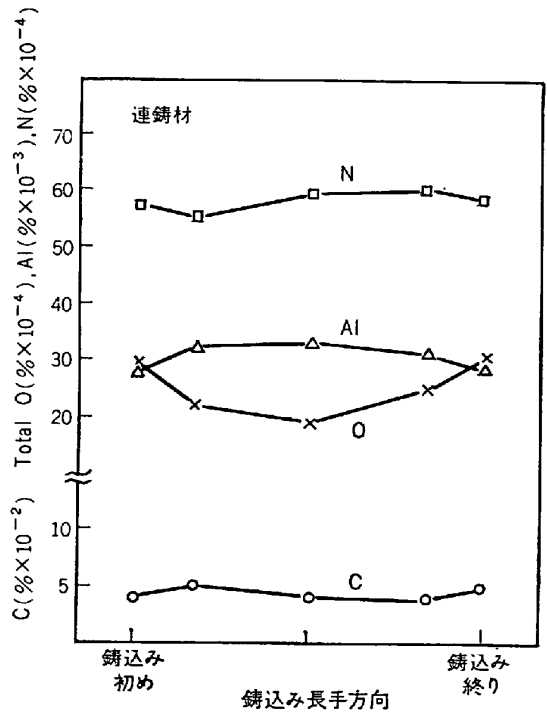


図 23 Al キルド鋼の成分 (冷延鋼板)⁵⁸⁾

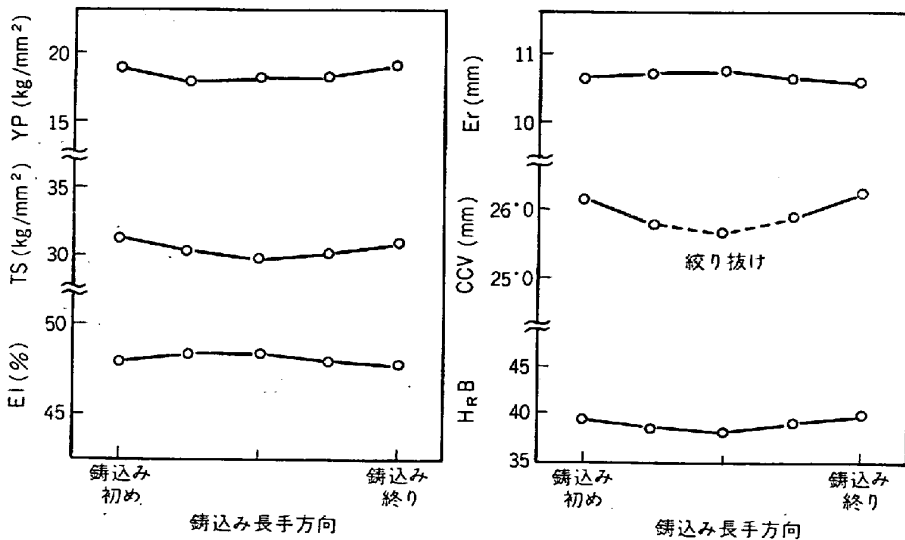


図 24 連続鑄造による冷延鋼板の機械的性質 (板厚 0.7 mm)⁵⁸⁾

表4 連続鑄造による高張力異形鉄筋の化学成分と機械的性質⁶⁴⁾.

品 種	分析位置	C	Si	Mn	P	S	Cu	C+Mn/6
スミバー35	レードル チェック	0.18	0.41	1.40	0.028	0.014	—	0.41
		0.18	0.39	1.37	0.028	0.015	0.08	0.41
スミバー40	レードル チェック	0.24	0.41	1.45	0.021	0.015	—	0.48
		0.24	0.39	1.51	0.023	0.014	0.07	0.49

規 格	ピレット	サイズ	試 料	降 伏 点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	降伏比 (%)	伸 び (%)	曲 げ (4D, 188°)
スミバー35	連鑄材	D32	1	36	55	65	34	良 良 良
			2	35	55	64	34	
			3	36	55	65	35	
	分塊材	D32	1	39	60	65	34	良 良 良
			2	39	60	65	34	
			3	39	60	65	33	
スミバー40	連鑄材	D32	1	44	64	67	31	良 良 良
			2	43	64	68	30	
			3	43	64	68	31	
	分塊材	D32	1	43	69	67	28	良 良 良
			2	42	66	68	30	
			3	43	66	67	37	
JIS, SD35		≥D25		≥35	≥50		≥20	4D, 180°
JIS, SD40		≥D25		≥40	≥57		≥18	5D, 180°

5.2.3 その他条鋼

その他条鋼系の製品としてばね鋼⁷¹⁾, 軸受鋼⁷²⁾なども連続鑄造鑄片から製造可能である。とくに軸受鋼については均質性, 炭化物や非金属介在物の微細分布などの面で従来の鋼塊材よりも優れている面も見い出されている。また特殊なものとしてはS系快削鋼についても試験が行なわれている⁷³⁾。

5.3 鋼 管

溶接鋼管についてはすでに厚板, 熱延鋼板のところでも述べたとおり, 逐次連続鑄造鑄片の使用が普及してきている。これに比べると継目無鋼管の分野での連続鑄造の普及は一步遅れた感がある。過去に円形断面鑄片からの直接製管⁷⁴⁾, 中空鑄片からの製管¹⁰⁾, 角形断面鑄片を一旦円形断面にしてからの製管などの試みがなされたが, 工業化されているのはすでに述べた軸受鋼やステンレス鋼以外の普通鋼管では二三の例を見るに過ぎない。これは円形断面の健全な鑄片を安定して得ることに非常に細心の機械調整を必要とすることや, 角形断面からいつたん粗圧延して円形断面にすると連続鑄造本来の歩留向上のメリットが半減することなどによるものである。

これらの問題の解決にこたえるものとして, すでに述べた遠心連続鑄造が工業化されつつある。わが国におい

ても1974年には本法の工業的規模のものが稼動することになっており, 一つの局面を開くものと思われる。

6. 結 言

鋼の連続鑄造が供給する鑄片はとくに従来の加工工程を変えることなく, 分塊を省略して従来とほぼ同様の製品加工の工程で製品化する。また得られた製品についても従来の鋼塊分塊法よりも加工比が少ないにもかかわらず, その製品の品質は同等または場合によつてはむしろ優れた性質を示すことを述べた。工程省略, 歩留向上などのメリットはもちろんのこと省力化, 機械化という時代の趨勢にこたえて, 連続鑄造法による鋼製品が将来ますます普及していくことは明らかであると考えられる。

文 献

- 1) H. GOTTHELF, R. KLAGES, H. W. KREUTZER, K. NÜRNBERG, H. SCHÄFER, and C. WEIDEMÜLLER: Stahl u. Eisen, 93 (1973) 16, p. 714
- 2) C. HOLDEN: JISI, 207 (1969) 6, p. 806
- 3) W. H. PRITCHARD and M. C. D. HOBBS: Steel Times Annual Rev., (1966), p. 209
- 4) J. PEARSON: Iron Steel Inst. Spec. Rep., (1965) 89, p. 88

- 5) G. S. LUCENTI: *Iron Steel Eng.*, 46 (1969) 7, p. 83
- 6) J. SELRON: *Iron Age*, 175 (1955) 8, p. 88
- 7) 牛島清人: 鉄と鋼, 47 (1961) 2, p. 24
- 8) 牛島清人: 鉄と鋼, 48 (1962) 6, p. 3
- 9) たとえば製鉄研究, (1967) 261, p. 3
- 10) U. PETERSON, K. G. SPEITH, A. BUNGEROTH: *Stahl u. Eisen*, 86 (1966) 6, p. 333
- 11) *Steel*, 158 (1966) 3, p. 25
- 12) B. TARMANN: *Iron Age Metalworking International*, (1966) Ang., p. 22
- 13) *Iron Age*, 211 (1973) 20, p. 48
- 14) 川崎技報, (1971) 44, p. 75
- 15) J. E. McCONNELL: *AIME O-H Proc.*, 55 (1972) p. 56
- 16) E. S. SZEKERES: *AIME O-H Proc.*, 55 (1972), p. 48
- 17) 乗富重夫, 高木利雄, 松窪光雄, 野田武, 田沢謙一: 鉄と鋼, 59 (1973) 11, p. 81
- 18) A. V. WIEBEL: *Blast Furn. Steel Pl.*, 57 (1969) 9, p. 741
- 19) *33/The Magazine of Metals Proc.*, 7 (1969) 5, p. 96
- 20) R. JOHNSON, J. W. MIDDLETON, and D. FORD: *Iron Steel Inst. Spec.*, (1965) 89, p. 52
- 21) R. W. EVANS: *Iron Steel Inst. Spec.*, (1965) 89, p. 91
- 22) K. H. BAUER: *Iron Steel Inst. Spec.*, (1965) 89, p. 88
- 23) たとえば G. M. ITSKOVICH and V. B. GANKIN: *Stal in Eng*, 6 (1961), p. 407
- 24) 明田義男, 佐々木寛太郎, 牛島清人: 鉄と鋼, 45 (1959) 12, p. 23
- 25) 明田義男, 牛島清人: 鉄と鋼, 46 (1960) 14, p. 3
- 26) 森久, 鉄と鋼, 58 (1972) 10, p. 1511
- 27) 明田義男, 牛島清人: 鉄と鋼, 46 (1960) 7, p. 15
- 28) 牛島清人: 鉄と鋼, 47 (1961) 2, p. 24
- 29) 明田義男, 牛島清人: 鉄と鋼, 48 (1962) 8, p. 11
- 30) 根本秀太郎, 川和高穂, 佐藤秀樹, 宮原忍: 鉄と鋼, 58 (1972) 11, p. 148
- 31) 浅野綱一, 広本健, 大橋徹郎: 鉄と鋼, 59 (1973) 4, p. 83
- 32) 梅田洋一, 梨和甫, 安元邦夫, 徳田誠: 鉄と鋼, 59 (1973) 4, p. 81
- 33) 阿部泰久, 山地俊介, 渋谷明彦, 篠田研三: 鉄と鋼, 59 (1973) 4, p. 84
- 34) 高石昭吾, 村田裕信, 小舞忠信, 関原博通: 鉄と鋼, 59 (1973) 11, p. 103
- 35) 高橋忠義, 工藤昌行: 鉄と鋼, 59 (1973) 11, p. 101
- 36) 熊井浩, 広本健, 大橋徹郎, 松永久, 大野唯義: 鉄と鋼, 59 (1973) 11, p. 1067
- 37) 熊井浩, 広本健, 大橋徹郎, 松永久, 大野唯義: 鉄と鋼, 59 (1973) 11, p. 106
- 38) 井上俊明, 直川博俊, 新美英俊, 野呂克彦: 鉄と鋼, 58 (1972) 11, p. 145
- 39) 明田義男, 牛島清人: 鉄と鋼, 48 (1962) 8, p. 11
- 40) W. B. PIERCE: *Blast Furn. Steel Pl.*, 41 (1953) 11, p. 1301
- 41) H. KOSMIDER, H. NEUHAUS, and A. WEYEL: *Stahl u. Eisen*, 76 (1956) 11, p. 668
- 42) J. HOFMAIER: *Stahl u. Eisen*, 77 (1957) 2, p. 69
- 43) B. H. C. WATERS, W. H. PRITCHARD, A. BRAYBROOK, and G. T. HARRIS: *JISI*, 190 (1958) p. 233
- 44) P. THOMAS: *JISI*, 190 (1958), p. 123
- 45) I. M. D. HALLIDAY: *Iron Steel*, 191 (1959), p. 121
- 46) G. FENTON and J. PEARSON: *JISI*, 189 (1958), p. 160
- 47) B. TARMANN: *Radex Rundschau*, (1961), p. 579
- 48) G. LITTLEWOOD and W. H. PRITCHARD: *Iron and Coal*, 183 (1961), p. 1381
- 49) G. FENTON, G. LITTLEWOOD, and ZAEYTYDT: *Iron and Coal Trades Rev.*, 182 (1961), p. 681
- 50) M. CABANE: *Steel and Coal*, 184 (1962), p. 805
- 51) 長谷部茂雄, 井関祥浩, 浜中禎雄, 中村昌明: 住友金属, 24 (1972) 1, p. 79
- 52) 根本秀太郎, 清水達夫, 佐坂三郎, 武田宣正, 福田有, 太田幹二: 日本鋼管技報, (1969) 46, p. 27
- 53) 松本敏夫, 斉藤剛, 三好俊吉: 日本鋼管技報, (1972) 57, p. 93
- 54) 永井親久, 野崎輝彦, 三浦正淑, 小原浩二: *R and D*, 19 (1969) 3, p. 24
- 55) M. SIGNORA and R. CARDANS: *JISI*, 195 (1960) p. 253
- 56) たとえば, 根本秀太郎, 川和高穂, 添田茂樹, 阪本英一, 小谷野敬之, 木村吉太郎: 日本鋼管技報 (1970) 50, p. 27
- 57) B. McARTHUR: *Iron Steel Eng*, 45 (1968) 9, p. 74
- 58) 岩崎利雄, 高谷之啓, 鈴木康治, 千野達吉: 高田庸: 川崎製鉄技報, 5 (1973) 2, p. 77
- 59) T. B. WINKLER and J. W. HALLEY: *Joint Development of the Strand Casting Progress for Quality Sheet and Tin Mill Products AISI*, (1971) Oct. 14
- 60) 久保寺治朗: 第8回西山記念講座, 成形性から見た薄板の製造技術, (1969) Aug. 4
- 61) 連続製造グループ: 石川島播磨技報, 11 (1971) 4, p. 339
- 62) G. KULLBERG: *Iron Steel*, 45 (1972) 2, p. 173
- 63) 金子信之, 川和高穂, 松島巖, 石津善雄, 福田有: 日本鋼管技報, (1968) 43, p. 37

-
- 64) 梶山勝津芳, 瀬戸口脩, 三浦一良: 住友金属, 22 (1970) 3, p. 111
- 65) 永井親久, 野崎輝彦, 三浦正淑, 小原浩二: R and D, 19 (1969) 3, p. 24
- 66) L. BAECKER and P. GOSSELIN: J. Metals, 23 (1971) 5, p. 16
- 67) A. L. COLLINS: Concast News, 9 (1970) 2, p. 4
- 68) O. STEINHAEUER and R. JAUCH: Stahl u. Eisen, 87 (1967) 7, p. 374
- 69) 本木奏, 福富寿一郎, 植崎啓邦, 工藤紘一: 鉄と鋼, 57 (1971) 11, p. 110
- 70) 岩田齊, 山田勝彦, 藤田照夫, 林享三: 鉄と鋼, 59 (1973) 11, p. 99
- 71) 新日鉄, 八幡製鉄所: 第 43 回特殊鋼部会資料 (昭和 46 年 6 月)
- 72) 岡本一生, 仕幸三郎: 製鉄研究, (1967) 261, p. 35
- 73) 神戸製鋼, 神戸工場: 第 36 回特殊鋼部会資料 (昭和 43 年 11 月)
- 74) J. M. KAY, J. W. MENTER, and C. HOLDEN: Iron Steel Inst. Spec. Rep., (1965) 89, p. 23
-