

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.10 (1978) No.1

連铸製高級線材・棒鋼・管材の品質

Quality of Steel Bars, Wires and Seamless Tubes Made out of Continuously Cast Blooms

大井 浩(Hiroshi Oi) 浅川 貞夫(Sadao Asakawa) 福永 修三(Syuzo Fukunaga)
田村 寿恒(Toshihisa Tamura) 中川 康弘(Yasuhiro Nakagawa)

要旨：

1973 年 10 月に稼動した水島製鉄所のブルーム，ビームブランク兼用の第 3 連続铸造設備は順調な操業を続けている。なかでも，高級鋼である機械構造用炭素鋼，P C 鋼棒用線材，ピアノ線材，タイヤコード用線材および継目無鋼管用ビレット素材の製造技術を確立し，量産していることはビームブランク連铸技術と併せて非常に特徴的なことである。これら製品の品質を従来の造塊材と比較して調査した結果，連铸材は偏析，介在物，表面欠陥および需要家における線材使用結果の点で特に優れていることが判明した。

Synopsis：

The No.3 continuous casting machine at Mizushima Works has been making a satisfactory operation ever since its start in October 1973. Operation techniques have been established to manufacture high quality products such as carbon steel bars for machine structural use, wire rods for piano wire, PC wire or tire cord and billets for seamless tubes. In comparison with the products of conventional ingot process, those of continuous casting process are found to have excellent quality especially in the degree of segregation, inclusion and surface defects. Continuously cast wire rods for piano wire, PC wire or tire cord are also found acceptable to users through their tests.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

UDC 669.14.018.292:621.746.047
 669.14.018.295.3:669.14.426.2
 669.14-462.3:620.191/192

連鑄製高級線材・棒鋼・管材の品質

Quality of Steel Bars, Wires and Seamless Tubes Made
 out of Continuously Cast Blooms

大 井 浩*

Hiroshi Oi

浅 川 貞 夫**

Sadao Asakawa

福 永 修 三***

Syuzo Fukunaga

田 村 寿 恒****

Toshihisa Tamura

中 川 康 弘*****

Yasuhiro Nakagawa

Synopsis:

The No.3 continuous casting machine at Mizushima Works has been making a satisfactory operation ever since its start in October 1973. Operation techniques have been established to manufacture high quality products such as carbon steel bars for machine structural use, wire rods for piano wire, PC wire or tire cord and billets for seamless tubes.

In comparison with the products of conventional ingot process, those of continuous casting process are found to have excellent quality especially in the degree of segregation, inclusion and surface defects. Continuously cast wire rods for piano wire, PC wire or tire cord are also found acceptable to users through their tests.

1. 緒 言

線材・棒鋼製品のうち、機械構造用炭素鋼棒鋼、PC 鋼棒用線材、タイヤコード用線材および継目無鋼管用ビレットなどの高級品種は偏析などについて厳しい要求があるため、従来は比較的小型鋼塊から製造するのが通常であった。

一方、水島製鉄所ではブルーム用の第1連鑄機¹⁾が1968年6月に、またブルーム、ビームブラング兼用の第3連鑄機²⁾が1973年10月に稼動した。特に後者では介在物の減少に有利な大断面の鑄型を採用し、品質および生産性の向上につとめた結

果、上記用途の高級品種も大断面連鑄ブルームから製造できるようになった。その間の連鑄技術の改善経過についてはすでに報告³⁾した。

本報では品質特性の観点から、上記各鋼種の連鑄ブルームおよびこれから製造した製品・半製品（以後連鑄材と称する）を、従来の造塊法による小型鋼塊から製造した製品・半製品（以後造塊材と称する）と比較して報告する。

2. 機械構造用炭素鋼棒鋼

JIS G 4051 に規定されている機械構造用炭素鋼棒

* 水島製鉄所管理部部長
 *** 水島製鉄所管理部条鋼管理課
 ***** 水島製鉄所管理部厚板管理課
 [昭和52年1月5日原稿受付]

** 水島製鉄所管理部条鋼管理課掛長
 **** 水島製鉄所管理部条鋼管理課課長

ディッシュの採用、溶鋼温度の適正管理

(3) 偏析：適正管理された低温注入

このような諸対策の結果、Photo. 1 (a) (b) に示すように大断面ブルームのマクロ組織はきわめて良好である。

2.3 製品・半製品の品質と所要圧延比

圧延比の減少に伴う内部品質の変化を調査した。ブルーム寸法 300×400mm の場合 180mmφ (圧延比 4.7) 以下は造塊材と差がなく良好であることがわかった。なお、供試材の化学成分および圧延寸法を Table 3 に示す。

以下に述べる調査結果より、連铸ブルームは圧延比 4.7 (180mmφ) 以上なら製品化可能と結論で

Table 3 Chemical composition and size of specimens of carbon structural steel bars

Casting	Chemical composition (%)						
	C	Si	Mn	P	S	Al	C _{eq} *
C.C.	0.44	0.21	0.71	0.022	0.019	0.012	0.56
Conv.	0.44	0.35	0.70	0.020	0.014	0.012	0.56

Diameter (mm)	180	160	140	130	90	75	30	
Reduction ratio	C.C.	4.7	6.0	7.8	9.0	18.9	27.2	170.0
	Conv.	—	30.8	40.2	46.5	97.3	140.1	—

* C_{eq} = C + Mn/6

きる。80～180mmφについてはさらに疲労試験などのデータの蓄積とその検討を行ったうえで工程

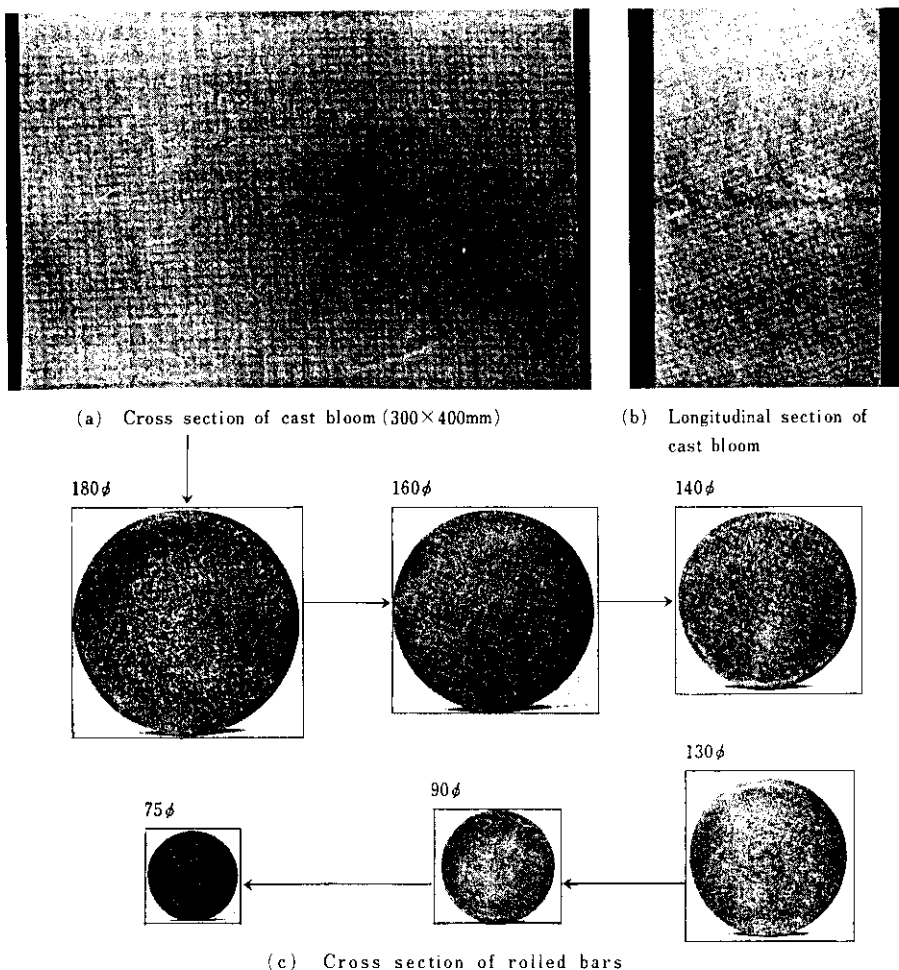


Photo. 1 Macrostructure of continuously cast S45C bloom and bars (20% HCl etched)

化する予定である。

2・3・1 機械的性質

引張試験 (JIS 3号試験片)	アズロール
衝撃試験 (JIS 3・4号試験片)	25mmφ 鍛伸後、 焼入れ・焼戻し (熱処理: JIS G 4051)

の実験条件で各圧延寸法と機械的性質の関係を調査した。結果の一部を Fig. 1, 2 に示す。アズロール材の機械的性質は圧延比の増加とともに向上するが、これは Fig. 1 に示す圧延比と結晶粒度の関係から説明できる。引張強さと降伏点および衝撃値は圧延比 7.8 (140mmφ) 以上では、また伸び、絞りも圧延比 4.7 (180mmφ) 以上ではほぼ一定となっている。一方、鍛伸後焼入れ、焼戻しを行ったものについては、全加工比が同一なため圧延比

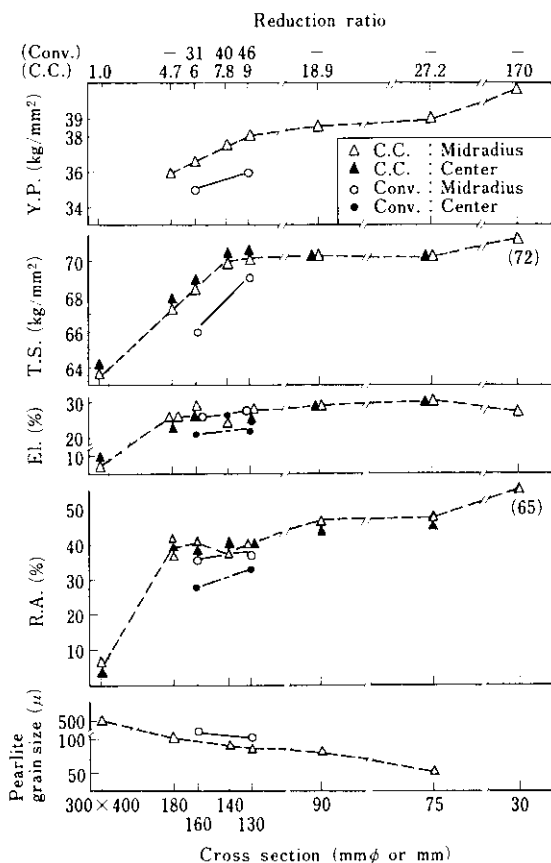


Fig. 1 Influence of reduction ratio on tensile properties and pearlite grain size of S45C as-rolled bars

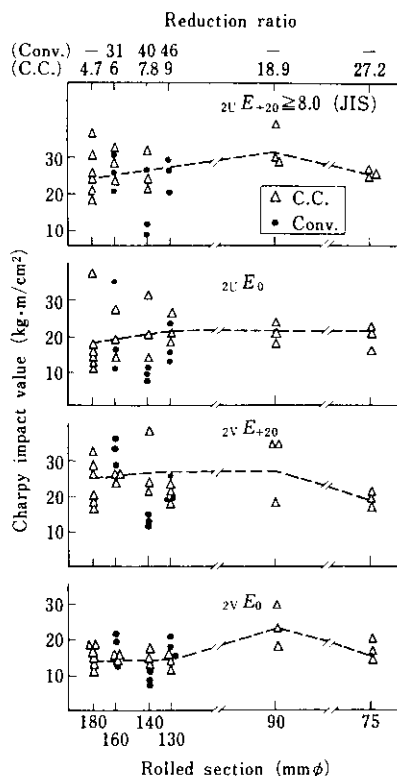


Fig. 2 Influence of initial rolling reduction ratio on Charpy impact value of 25mmφ, S45C forged bars (Q.T.)

による傾向は認められなかった (Fig. 2 参照)。各試験項目とも平均的には連铸材、造塊材の差はほとんどなかったが、造塊材に認められるような悪い側への異常なバラツキは連铸材では認められなかった。

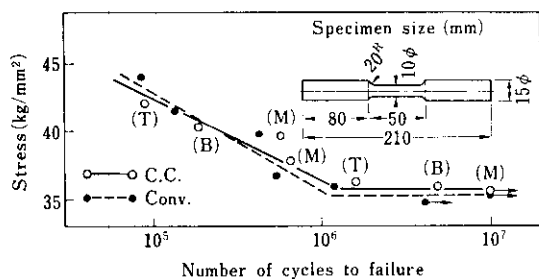
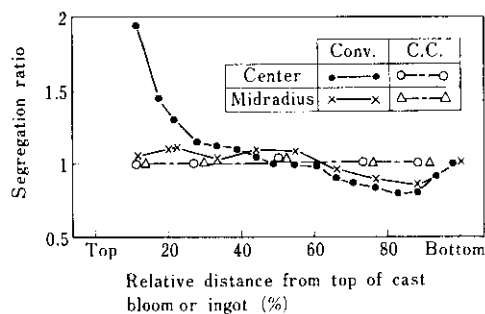
つぎに、Table 4 に示す化学成分を有する S 50C, 75mmφ 丸棒の中心部より Fig. 3 に示す寸法に機械加工した試験片について、小野式回転曲げ試験機による疲労試験を行った。その結果を Fig. 3 に示す。連铸材は造塊材と同レベルで試験片の長手方向、すなわちトップ、ミドルおよびボトムの各部分での差はなく良好である。

2・3・2 マクロ・ミクロ組織

各サイズのマクロ組織を Photo. 1(c) に示した。いずれも偏析などによる異常組織は認められない。また、製品径 75mmφ のマクロ組織を Photo. 2 に C の偏析を Fig. 4 に造塊材と比較して示す。連铸材にはトップ、ミドル、ボトム部とも中心偏析がほと

Table 4 Details of 75mm ϕ S50C specimens for fatigue test

Casting	Position	Grade	Chemical composition (%)							Y.P. (kg/mm ²)	T.S. (kg/mm ²)
			C	Si	Mn	P	S	Al	C _{eq} *		
C.C.	Top	S50C	0.51	0.23	0.78	0.023	0.020	0.012	0.64	66.0	85.0
	Middle									66.0	85.0
	Bottom									66.0	84.9
Conv.	Middle	S50C	0.51	0.28	0.82	0.019	0.021	0.013	0.65	65.8	84.8

* C_{eq}=C+Mn/6Fig. 3 Fatigue test results of 75mm ϕ S50C bars quench-temperedFig. 4 Carbon segregation in 75mm ϕ S45C bars

んど認められず良好であり、造塊材で観察される鋼塊トップ部の濃厚偏析もなかった。また鋳込長さ方向 (L 方向)、断面方向 (C 方向) ともに造塊材より均一性ははるかに優れている。

つぎに、横断面のミクロ組織を Photo. 3 に示

す。各組織ともフェライト・パーライト組織であり、造塊材と同等の組織を呈している。なお、アズロールでのパーライト粒の平均径は Fig. 1 に見られるように圧延比の増加に伴い小さくなっている。

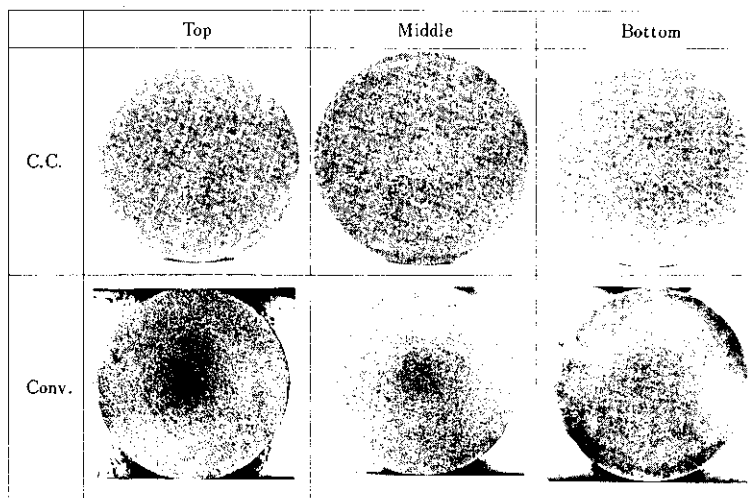


Photo. 2 Macrostructure of bars (dia. : 75mm, JIS S45C)

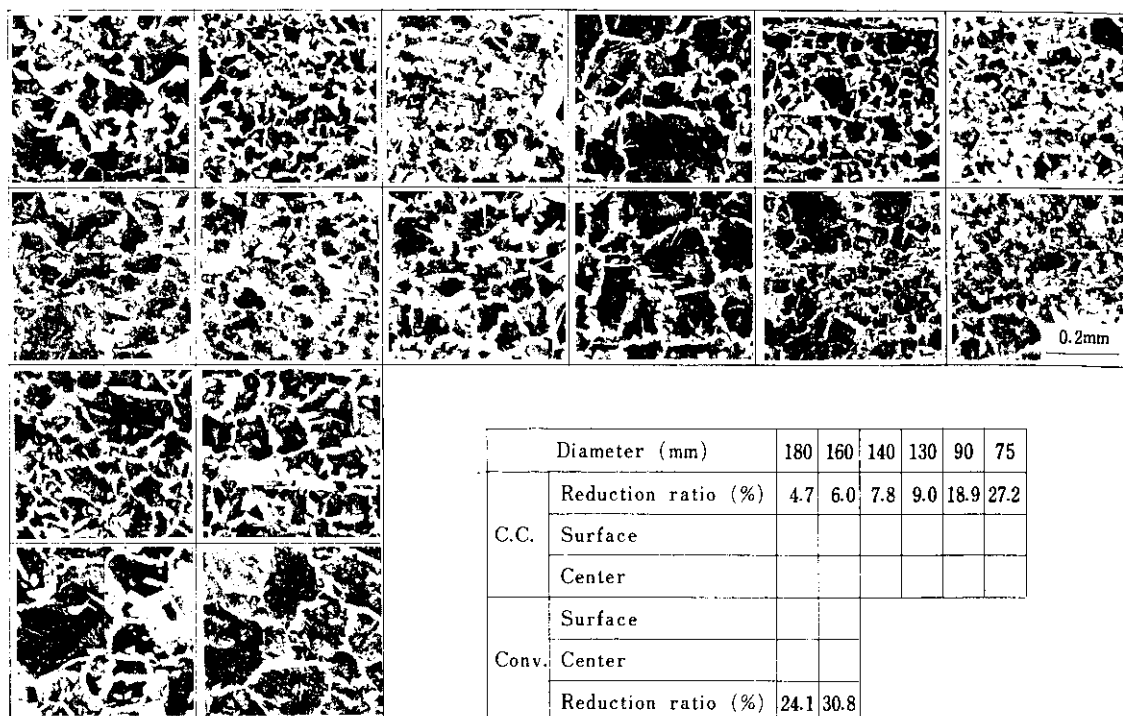


Photo. 3 Typical microstructures of S45C bars

一方、オーステナイト結晶粒度は、Photo.4に示すように Al 量と関係があり、連鑄材と造塊材の差はない。

また Al 量の目標は $15 \times 10^{-3} \%$ なので、結晶粒度は $G_c = 8$ 程度で細粒かつ整粒となっている。

2.3.3 内部欠陥・表面欠陥

(1) 地きず

地きずと圧延比は一定の相関があり⁴⁾、圧延比が大きいほど地きず長さは大きくなる傾向があるという報告⁵⁾もあるが、当社の造塊材の場合、JIS G 0556 にもとづく試験方法により、Table 5 に示す

要領で評点化すると圧延比が大きいほど地きず成績が向上することがわかっている。Fig. 5 に各サイズの地きず試験結果を示す。圧延比 4.7 (180mm ϕ) 以上では連鑄材はすべて判定 A であり、同一径の造塊材と比べて良好である。また現在、通常工程ではブルーム断面 300 $\times$ 400mm の鑄片を製品径 75mm ϕ 以下に圧延しており、圧延比は 27~597 となっている (一部需要家より造塊材の使用を指

Table 5 Evaluation of macro streak flow

Grade	Total number of macro streak flow	Summation of macro streak flow	Maximum length of macro streak flow
A	≤ 7	≤ 15	≤ 4
B	—	≤ 20	≤ 8
C	—	≤ 40	≤ 20
D	—	≤ 50	≤ 30

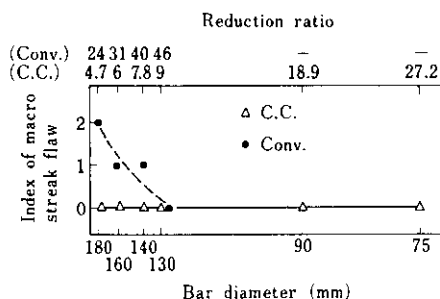


Fig. 5 Influence of reduction ratio on the index of macro streak flow calculated as $(b + 2c)$, where b and c denote each points in flaw ranks B and C respectively

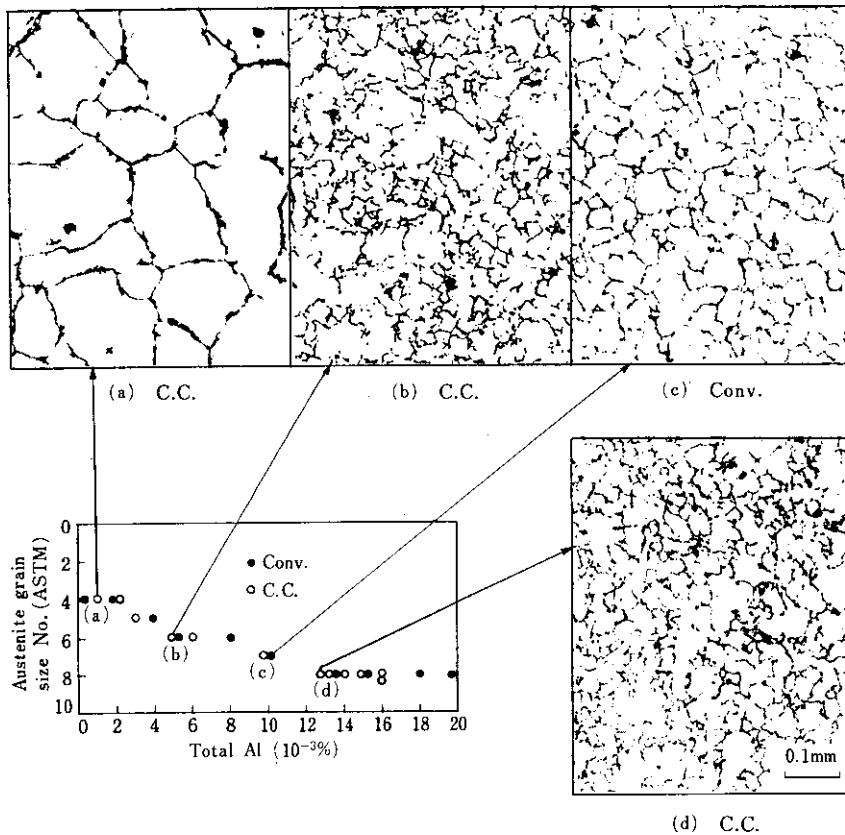


Photo. 4 Relation between austenite grain size and Al content (JIS S43C-S48C)

定される場合もある)。Fig. 6に現行の最大径である75mmφの結果を示す。同図にはJISに準ずる3段削りのほかに表面直下(表面より深さ1.5mmまで)の地きず評点を示したが、連铸材は造塊材と比べ良好である。

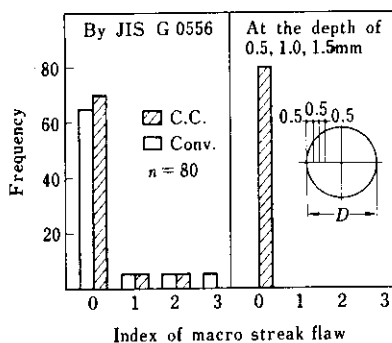


Fig. 6 Frequency distribution of the index of macro streak flow of 75mmφ, S40C bars

(2) 非金属介在物

長手方向断面の介在物観察結果をPhoto. 5に、また清浄度(JIS G 0555)の測定結果をFig. 7に示す。これより次のことがわかる。

- (a) 連铸材の介在物は造塊材に比べ小さく、細く伸びたものが多い。これは連铸材の介在物がすべてA系介在物であり、造塊材はA系とB系の介在物からなるためと考えられる(Photo. 5 参照)。
- (b) 連铸材の清浄度は造塊材の1/2以下で良好である。
- (c) 連铸材は製品径が小さいほど清浄度が良好であるのに対し、造塊材にはその傾向がない。

(3) 表面欠陥

初期の連铸材について多数の製品表面きずを顕微鏡で調査した結果、脱炭、内部酸化しているものが約80%を占め、ブルーム铸片での表面きずが製品に悪影響を及ぼしていることがわかった。

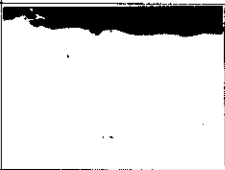
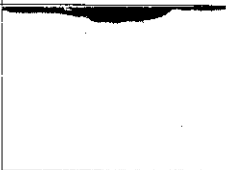
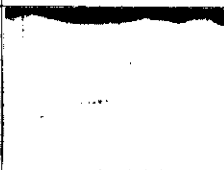
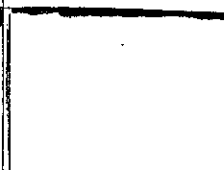
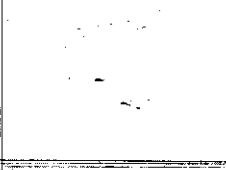
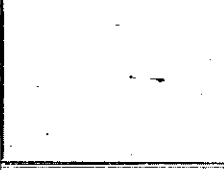
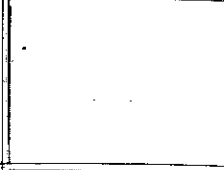
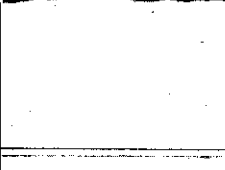
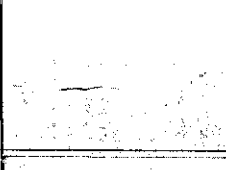
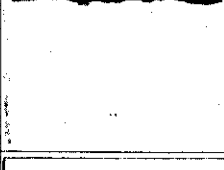
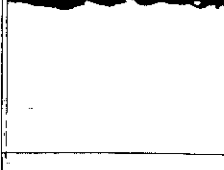
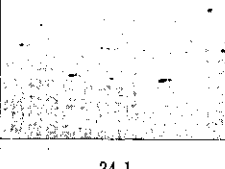
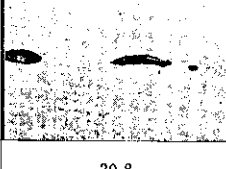
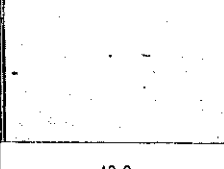
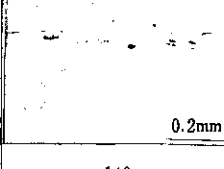
Diameter (mm)		180	160	140	75
C.C.	Reduction ratio (%)	4.7	6.0	7.8	27.2
	Surface				
	Center				
Conv.	Surface				
	Center				
	Reduction ratio (%)	24.1	30.8	40.0	140

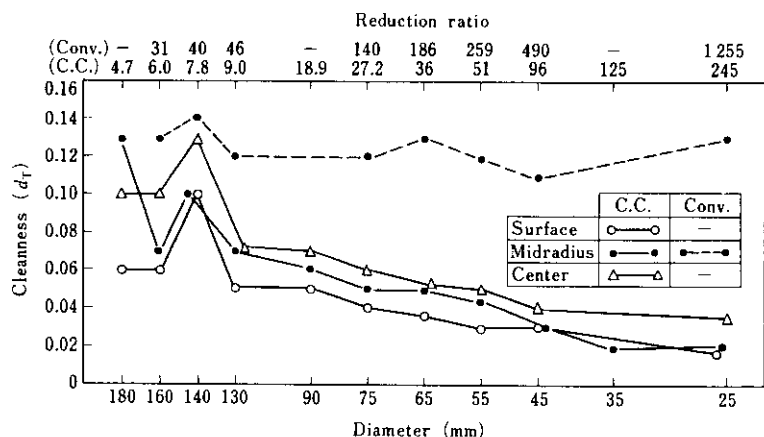
Photo. 5 Typical inclusions observed in 75mm ϕ S45C bars

Fig. 7 Influence of reduction ratio on the cleanliness of S45C bars

一方、前記の諸対策実施後は、Fig. 8 に示すように磁気探傷検査で製品にきずがまったく存在しない本数割合が92%で、きず長さ、きず深さは浅く短いものとなっている。

3. 高級線材

PC 鋼棒用線材、ピアノ線材およびタイヤコード用線材について、現在生産量の多い鋼種の化学

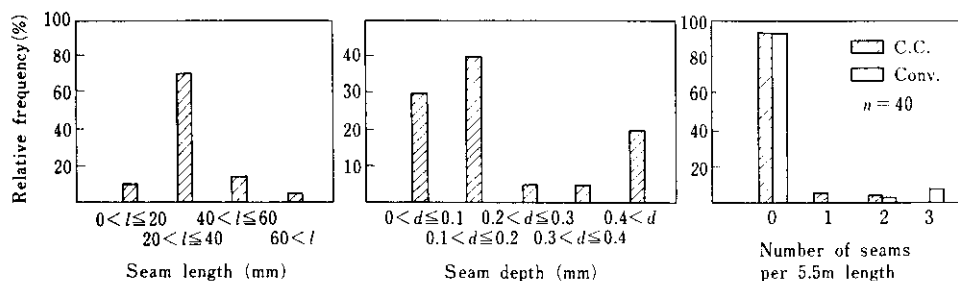


Fig. 8 Surface quality of 75mmφ bars tested by magnetic inspection

Table 6 Chemical composition of steel bars and wire rods being produced in Mizushima Works

Steel type	Grade	(wt%)								
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ti	Al
PC bar	RB25	0.23~0.27	0.40~0.60	1.30~1.60	≤ 0.025	≤ 0.025	≤ 0.08	0.05~0.13	0.015~0.025	0.000
Piano wire rod	SWRS82B	0.80~0.85	0.15~0.32	0.60~0.90	≤ 0.025	≤ 0.025	≤ 0.20	—	—	—
Tire cord	KTC70	0.70~0.76	0.15~0.30	0.40~0.65	≤ 0.030	≤ 0.030	—	—	—	—

成分を Table 6 に示す。

3-1 製品に要求される品質

(1) PC 鋼棒用線材およびピアノ線材

PC パイル、コンクリート橋桁など土木構造物に使用される PC 鋼棒は、コンクリート構造物の緊張材などに使用されるピアノ線材とともに、鋼材の使用条件としては苛酷な部類に属するものである。これら素材の品質特性と製品の品質特性は Fig. 9 のように関連づけられる。

(2) タイヤコード用線材

近年、土木建築用車両から小型自動車用まで、ゴ

ムタイヤには補強材料としてスチールコードが使用されている。このスチールコードの原材料は高炭素鋼線材であるが、このコードの素線の最終直径は $0.12\text{mm}\phi$ で、線材のうちでも加工度の最も高いものである。コードそのものの品質としては、機械的性質からゴム付着性など多くの項目があるが、製品メーカの加工面からの素材に対する要求もまた厳しいものがある。スチールコードと素材の各品質特性は Fig. 10 のように関連づけられる。

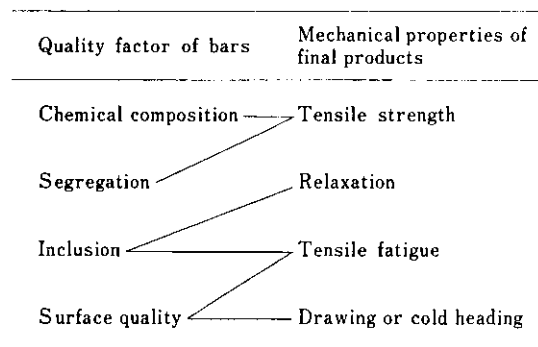


Fig. 9 Schematic quality relation of bars and final products such as piano wire and PC rod

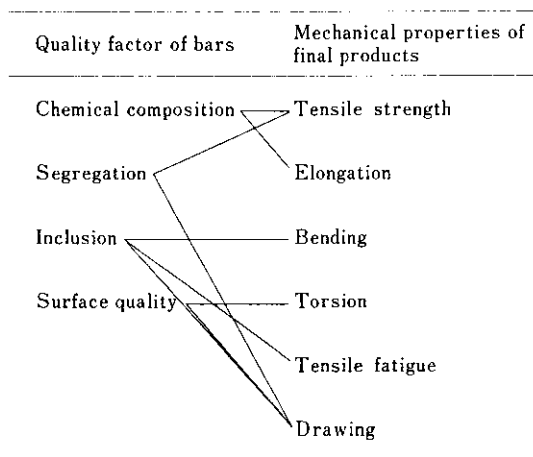


Fig. 10 Schematic quality relation of bars and final products such as tire cord

3.2 ブルーム品質向上策

前述のように、素材（線材）として偏析・介在物および表面品質の良好なことが必要であり、連鑄ブルームの品質向上対策は2.2と同様である。ただし、タイヤコード用線材については、介在物減少対策として下記の2点を追加した。

- (1) アルミナ源の侵入防止
 - (a) リムド鋼受鋼後の鍋を使用
 - (b) Al含有量の少ない合金鉄、スクラップの使用
- (2) 真空脱ガス処理による酸素量の低減

3.3 製品品質

3.3.1 偏析

PC 鋼棒用線材の80×80mm ビレットにおけるC分析結果をFig. 11に、また11mmφ線材のマクロ組織をPhoto. 6に示す。

連鑄材には造塊材のようにトップ部の濃厚偏析はなく、長手方向、断面方向ともに均一で安定している。また、ピアノ線材、タイヤコード用線材の場合も同傾向であった。

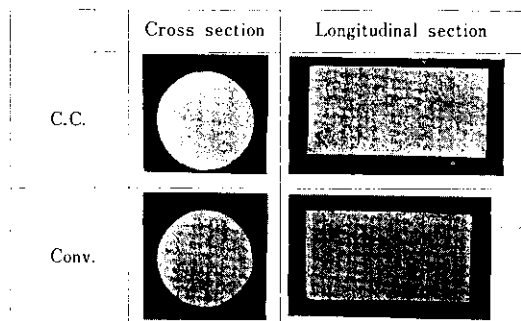


Photo. 6 Macrostructure of 11mmφ wire rod from top bloom (grade: RB25)

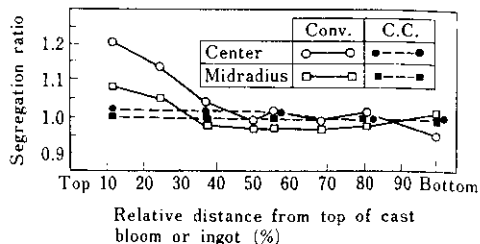


Fig. 11 Carbon segregation in 80×80mm billets for PC

3.3.2 非金属介在物

介在物の測定値は、JIS法、ASTM法あるいはペナルティポイントなる指数で評価される。ペナルティポイントは幅5.5mm×長さ5mmの長手方向断面を検鏡面とし、0.75mmφ視野中の最も清浄でない視野の介在物の個数、最大介在物の幅、さらに介在物の変形の程度を総合的に評価するものであり、介在物の個数が少なく、幅が小さく、変形しているほどその値が小さくなり良好であることを示す。

PC 鋼棒用線材、ピアノ線材およびタイヤコード用線材とも上記介在物のいずれの測定方法においても、連鑄材は造塊材と差がなく良好である。

たとえばTable 7にASTM-A法によるピアノ線材の介在物測定結果を、Fig. 12にペナルティポイント法によるタイヤコード用線材の介在物測定結果を、またPhoto. 7にタイヤコード用線材の介在物形態を示す。

この結果は以下のように要約される。

- (1) ピانو線材（連鑄材、造塊材とも）について
 - (a) 介在物はB系、C系および分散した酸化物である。

Table 7 Inclusion ratings by ASTM-A of 9.5mmφ bar for piano wire (JIS SWRS82B)

Casting	n	Type A (sulfide)		Type B (Al ₂ O ₃)		Type C (silicate)		Type D (globular oxide)	
		Thin ≈ 4μ	Heavy ≈ 6μ	Thin ≈ 9μ	Heavy ≈ 15μ	Thin ≈ 5μ	Heavy ≈ 9μ	Thin ≈ 8μ	Heavy ≈ 12μ
C.C.	15	0	0	1.0	0	1.5	0	1.8	0
Conv.	15	0	0	1.5	0	2.0	0	2.0	0

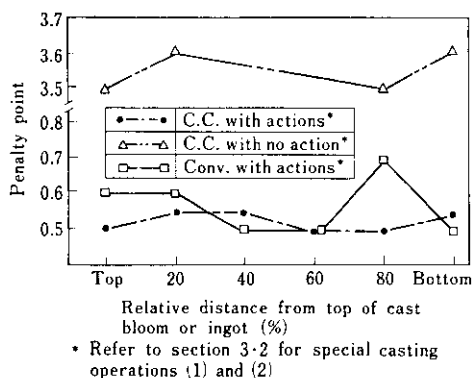


Fig. 12 Distribution of nonmetallic inclusions in PC wire rod by different process

(b) 巨大介在物は存在せず、微小な介在物がほとんどである。

(c) ASTM 評点は 2 点程度までで、1 視野中の介在物個数は少ない。

(2) タイヤコード用線材について

(a) 連鑄材のペナルティポイントは、造塊材に比し鑄片位置に関係なく均一で良好である。

(b) 介在物の形状は変形したのが見られる。これはアルミナの侵入防止を図った効果と推定される。

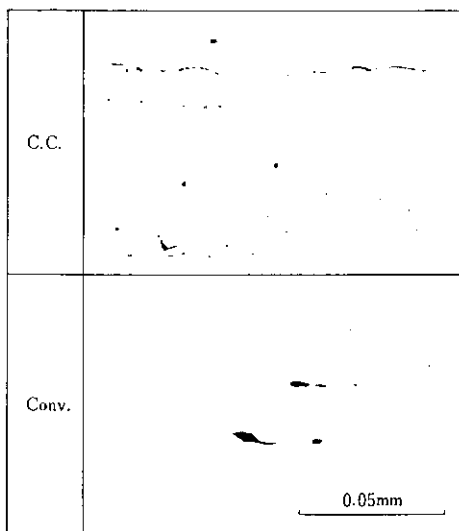


Photo. 7 Typical inclusions observed in 5.5mmφ wire rod (grade: KTC70)

3.3.3 ミクロ組織

ピアノ線材のミクロ組織を Photo. 8 に示す。連鑄材、造塊材ともフェライト・パーライト組織であり、差は認められない。また、PC 鋼棒用線材、タイヤコード用線材も、連鑄材と造塊材との差は認められなかった。

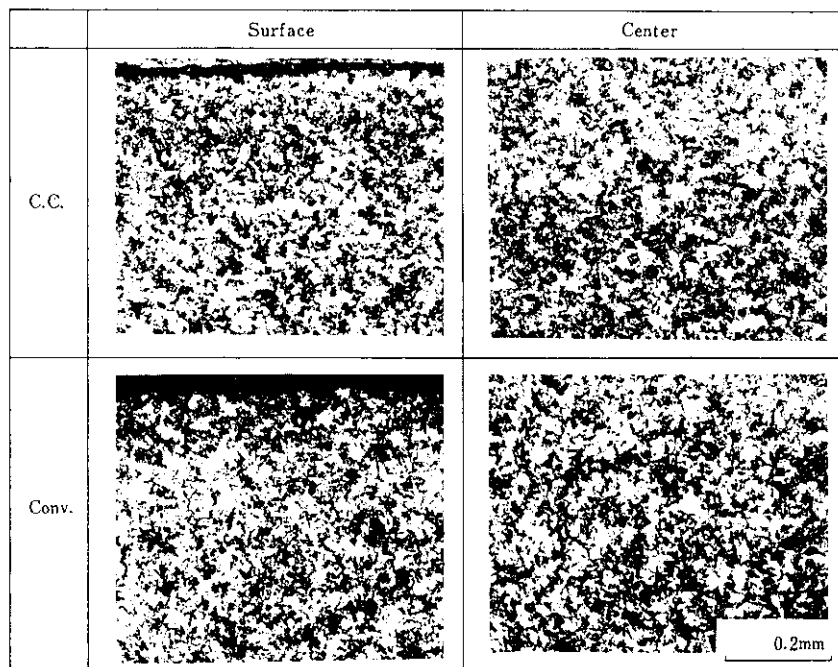


Photo. 8 Typical microstructures of 9.5mmφ wire rod (JIS SWRS82B)

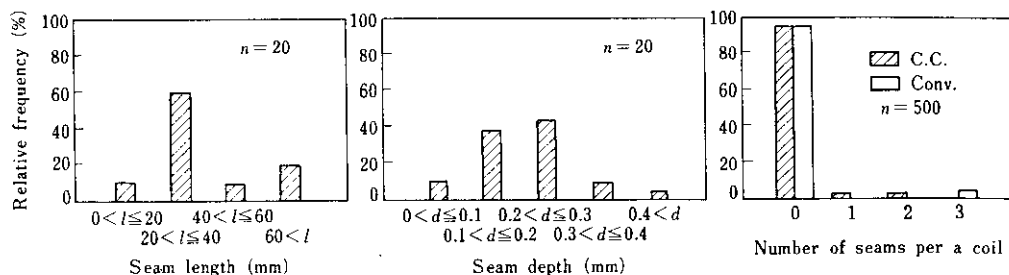


Fig. 13 Surface quality of 11mmφ wire rod for PC wire tested by magnetic inspection

3・3・4 表面欠陥

前述した連鑄ブルームの表面对策の結果、それ以降の各製造工程での表面性状も良好となっている。

Fig. 13にPC鋼棒用線材の11mmφ製品表面性状を示す。連鑄材、造塊材とも同一のピレット手入れを行った場合の製品の表面きず無し率は96%であり、きず深さ、長さとも浅くて短いものである。また造塊材と比べて差はない。

なお、ピアノ線材、タイヤコード用線材も同様の傾向であった。

3・4 需要家での品質調査結果

以下に川鉄鋼線工業(株)で実施した高級線材の品質調査結果を示す。

3・4・1 PC鋼棒用線材

Table 8に示す化学組成の供試材を用い、素材(11mmφ)→中間伸線(9.5mmφ)→異形加工(9.28mmφ→9.15mmφ)→高周波加熱(900°C±5°C)→水焼入れ→焼戻し(310°C~420°C)の工程でPC鋼棒を製造し、造塊材と比較調査を行った。製品母材、点溶接部、ヘッド部の引張試験の結果をTable 9に示す。連鑄材は造塊材に比べ同等以上の引張特性を示している。また、ヘッド部の引張試験での破断部を調査した結果、すべてヘッダー加工に影

Table 8 Chemical composition of 11mmφ bars used for the production test of 9.15mmφ PC rod (wt%)

Casting	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Al	Ti
C.C.	0.25	0.54	1.41	0.014	0.008	0.06	0.08	—	0.017
Conv.	0.25	0.53	1.44	0.017	0.009	0.06	0.08	0.052	—

Table 9 Tensile properties of PC rods indicated in Table 8

Casting	Base metal		Spot weld metal		Metal after heading
	T.S. (kg/mm ²)	El. in 200mm(%)	T.S. (kg/mm ²)	El. in 200mm(%)	T.S. (kg/mm ²)
C.C.	79.3	9.5	79.3	9.4	79.3
Conv.	78.9	8.9	78.7	8.9	79.0

響されない母材部の破断であった。

PCパイルなどオートクレーブ養生する場合、鋼棒が受ける熱履歴と同様な条件のもとで行ったリラクセーション試験結果をTable 10に示す。この結果についても連鑄材と造塊材の差は認められない。

また、上記試験以外に電解により水素処理を実

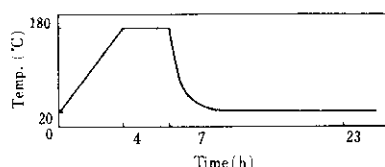
Table 10 Relaxation test results* of the same rods as in Table 9 (wt%)

Casting	RT**	HT***
C.C.	0.49	15.0
Conv.	0.48	15.2

* Initial load : 6 640kg

** RT : Room temperature at 20°C±2°C

*** HT : Higher temperature as follows



施した後の遅れ破壊試験および引張疲労試験を行った。いずれの試験においても連鑄材はバラツキが少なく安定している。

3・4・2 ピアノ線材

Table 11 に示す化学組成の供試材を用い、素材(9.5mm ϕ)→鉛パテンティング(500°C~550°C)→酸洗→8ゲイス連続伸線(4.22mm ϕ)→より線→ブルーイング(370°C $\pm$ 5°C)工程でPC鋼より線を製造し、造塊材と比較試験を行った。

各製造工程での機械的性質を調査したが、その例として Table 12 にブルーイング後のストランドより線における結果を示す。連鑄材は鋼塊材と同等であり、規格値も十分満足している。

Table 11 Chemical composition of 9.5mm ϕ bars used for the production test of 4.22mm ϕ piano wires (wt%)

Casting	C	Si	Mn	P	S	Al
C.C.	0.81	0.26	0.79	0.020	0.012	0.019
Conv.	0.82	0.32	0.84	0.016	0.019	0.026

3・4・3 タイヤコード用線材

Table 13 に示す化学成分の供試材を用い、素材(5.5mm ϕ)→酸洗→表面処理→1次伸線(5.5mm ϕ)→3.0mm ϕ)→鉛パテンティング(950°C)→酸洗→

表面処理→2次伸線(3.0mm ϕ →0.8mm ϕ)→鉛パテンティング(950°C)→酸洗→ブラスメッキ(Cu:Zn=7:3)→3次伸線(0.8mm ϕ →0.15mm ϕ)の製造工程および製造条件でタイヤコードを製造し、造塊材と比較試験を行った。

Table 14, 15 に伸線後の引張試験および屈曲試験結果を示す。この結果では連鑄材、造塊材とも良好であった。屈曲値は、材料が破壊するまでの歪量あるいは破壊応力に依存するが、その延性破壊歪は介在物が多いほど少なくなり、破壊応力は介在物の幅が大きいほど低くなると Tetelman⁶⁾は述べている。またペナルティポイントは、前述のように介在物の個数、大きさを評点化している。したがって、Fig. 12 で示したように連鑄材、造塊材ともペナルティポイントが良好であったことが屈曲値の良さにつながったものと言えよう。

なお、上記試験のほかに伸線後の捻回試験、伸線時の断線回数を調査したが、いずれの試験においても連鑄材と造塊材は同等であった。

以上により、連鑄材のPC鋼棒用線材、ピアノ線材およびタイヤコード用線材は、それぞれに要求される諸品質特性について造塊材と同等もしくは優れていることがわかった。

4. 継目無鋼管

継目無鋼管の用途は一般配管用、機械構造用、

Table 12 Tensile properties of strands from piano wires indicated in Table 11

Casting	n	Tensile load (kg)	Elongation in 610mm (%)	1.0% offset load (kg)	Modulus of elasticity (kg/mm ³)
C.C.	10	18 800	6.9	16 650	20 800
Conv.	10	18 800	6.7	16 650	—
Standard value		$\geq 18 734$	≥ 3.5	$\geq 15 922$	—

Table 13 Chemical composition of 5.5mm ϕ wires used for the production test of 0.15mm ϕ tire cord (wt%)

Casting	C	Si	Mn	P	S	Al		N (ppm)	O (ppm)
						Sol.	Insol.		
C.C.	0.73	0.25	0.59	0.020	0.012	0.001	0.001	40	60
Conv.	0.73	0.26	0.63	0.014	0.013	0.001	0.001	46	15

Table 14 Tensile properties of tire cords indicated in Table 13 (grade : KTC70, $n=10$)

Specimen	Casting	0.2% offset strength (kg/mm ²)	T.S. (kg/mm ²)	El. in 100mm (%)
5.5mm ϕ as-patented	C.C.	66.0	109.6	9.8
	Conv.	65.2	106.3	9.7
3.0mm ϕ as-drawn	C.C.	127.3	155.9	3.9
	Conv.	117.4	154.5	3.9
0.8mm ϕ as-drawn	C.C.	223.2	233.9	1.0
	Conv.	209.6	229.5	1.0
0.15mm ϕ as-drawn	C.C.	—	291.8	—
	Conv.	—	291.5	—

Table 15 Bending test results* of the same tire cords as in Table 14 (grade : KTC70, $n=50$)

Specimen	Casting	Number of bendings**
5.5mm ϕ as-patented	C.C.	43.3
	Conv.	43.0
3.0mm ϕ as-drawn	C.C.	159.1
	Conv.	158.7
0.8mm ϕ as-drawn	C.C.	62.0
	Conv.	62.0
0.5mm ϕ as-drawn	C.C.	110.9
	Conv.	110.7

- * Piece length : 150mm
 Bending speed : 264rpm
 Bending dia. : 10.4mm ϕ
 ** 90° per a time

ボイラー用、油井用などに加えて、近年はラインパイプ用、原子力用にも利用され、その生産量の拡大および大径化には著しいものがある。これにそなえ、生産能力の向上、品質の均一化、省エネルギーなどを主目的として、当社知多工場のMannesmann 式マンドレルミル用素材ビレットへの連鑄法の適用を図ってきた。その結果、一般配管用、機械構造物の大部分および油井用の一部を連鑄ブルームより供給するに至っている。Mannesmann 穿孔法では管材がロールとプラグの間で複雑なメタルフローを呈するため、ビレットの表面欠陥、内部欠陥が鋼管内外面の欠陥として残存しやすい。

これら連鑄製ブルームより製造された管材の諸特性を以下に述べる。

4・1 所要圧延比

穿孔時のきず発生を左右する素材の熱間加工性に及ぼす圧延比の影響を調べた。連鑄製ブルームから鍛造した試験片について熱間ねじり試験を実施した結果を Fig. 14 に示す。試験結果はその時の試験条件により異なるので単純な比較はできないが、当社における従来の結果から破断回転数がほぼ 80 回以上なら穿孔上問題ないと考えられる。鍛造比

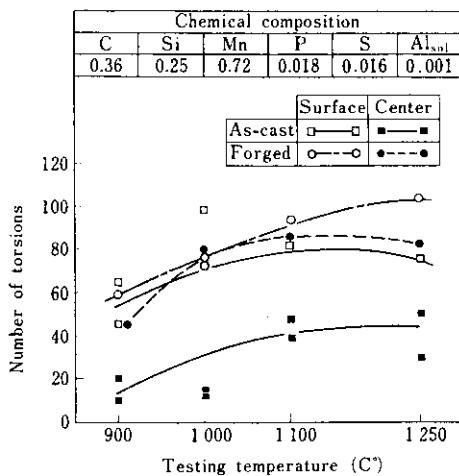


Fig. 14 Comparison of hot torsion property between as continuously cast bloom and forged specimens from continuously cast and rolled 110mm ϕ billet with forging ratio of 2.0

2.0 で加熱温度が高いものはこの条件を満足しているが、鑄造組織のままでは穿孔時に内面欠陥が発生する可能性が大きい。実機での造管試験においても鑄造組織のものでは管内面欠陥が発生し、この試験結果が裏づけられた。なおこの造管試験において鑄造組織の素材でも穿孔温度を高めることにより管内面欠陥を軽減させうるとの結果を得た⁷⁾が、やはりまだ軽度の欠陥が残存しており満足すべきものではなかった。これらの結果から、素材ピレットの圧延比は 2.0 以上が望ましいと判断される。

4.2 管内外面の欠陥

管内面および外面欠陥として多く検出されるのはヘゲ状欠陥である。とくに外面ヘゲきずは素材欠陥に起因することが多く、連鑄ブルームのひび割れ、気泡欠陥を解消することにより著しく改善される。

内面ヘゲきずの起点となるものとしては、素材中心部の MnS など非金属介在物および未圧着のポロシティーなど微小欠陥をあげることができるが、前項に述べたように必要な圧延比を与えられたピレットではその影響がほとんどなく良好な管材が得られている。Fig. 15 に構造用および油井用継目無鋼管の管内外面ヘゲきず発生状況を造塊材と比較して示す。連鑄材は造塊材と同等以上の成績を示している。

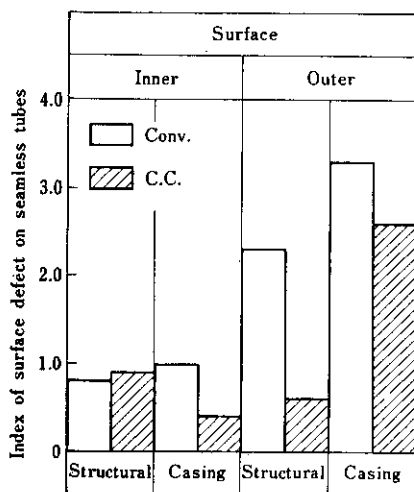


Fig. 15 Comparison of surface defects on seamless structural and casing tubes

4.3 管材の内部清浄性

Fig. 16 に構造用継目無鋼管の3段削り地きず試験結果を示す。JIS の規定に準じた判定法で造塊材よりかなり良い成績が得られた。連鑄材で発見された欠陥はすべて微小なものである。

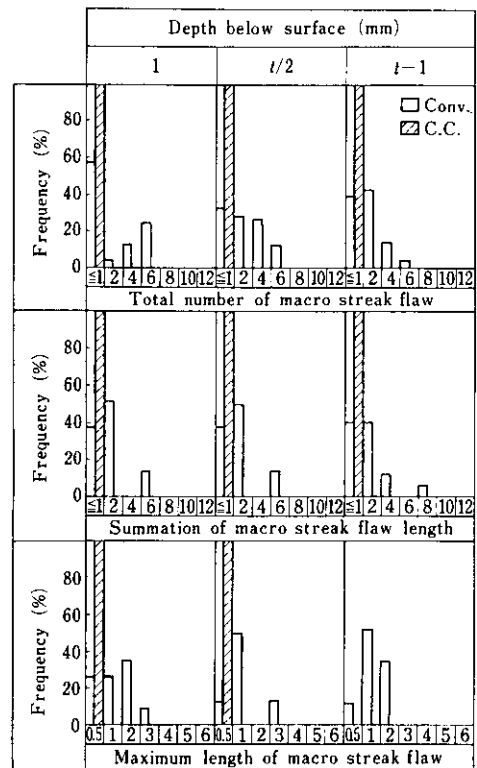


Fig. 16 Step machining test results of machine structural seamless tubes

4.4 連鑄製継目無鋼管の均一性

連鑄製ブルームは鑄造時に連続的かつ均一に冷却されるため、インゴット材でしばしばみられるようなトップ部の濃厚偏析帯およびボトム部の負偏析帯の存在しないことが特徴である。

Fig. 17 に連鑄ブルームより製造した炭素鋼継目無鋼管の引張試験結果を示す。試験片を鑄込初期、中期および終期より採取しているが、造塊材にみられる鋼塊位置による差はなく、連鑄材の均一性は良好である。

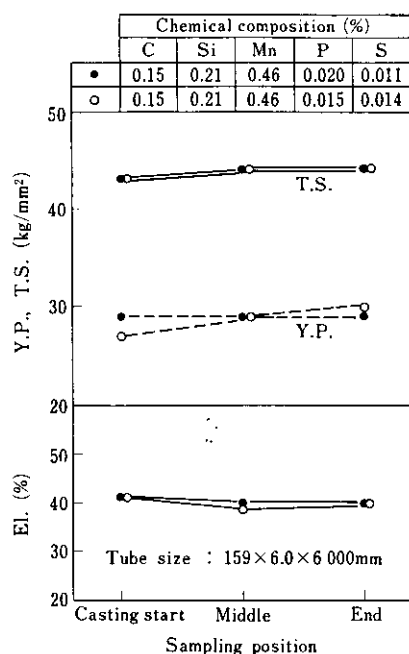


Fig. 17 Mechanical properties of STS38 seamless carbon steel tube rolled from C.C. bloom

5. 結 言

当社水島製鉄所に設置した連続铸造設備で高級品種である機械構造用炭素鋼棒鋼、PC 鋼棒用線材、ピアノ線材、タイヤコード用線材および継目無鋼管を製造し、その製品品質特性を調査した。この結果、従来の造塊材と同等もしくはそれ以上であることが確認できた。

本報では品質面からのみの調査結果を述べたが、連铸法のもう一つの大きな特徴は製造工程における歩留りの大幅な向上である。高級条鋼製品の連铸による製造が一般化し生産量が増大した際には、分塊圧延工程の省略とあいまって製造コストの大幅な改善が期待できる。

おわりに、連铸材の最終製品の品質特性把握に対し御協力いただいた川鉄鋼線工業㈱に厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 川崎製鉄㈱水島製鉄所：日本鉄鋼協会共同研究会第41回製鋼部会 41-22, (1968)
- 2) 児玉, 千野, 小出：川崎製鉄技報, 7 (1975)2, 15
- 3) 江本, 児玉ほか：川崎製鉄技報, 9 (1977)3-4, 22
- 4) 河合, 木村：鉄と鋼, 44 (1958)6, 650
- 5) 岡本, 仕幸：製鉄研究, (1967)261, 35
- 6) A.S.Tetelman, A.J.Macevily：構造材料の強度と破壊1, (1970), 65 and 234, [培風館]
- 7) 辻, 平野, 佐山：川崎製鉄技報, 7(1975)2, 77