
ビームブランクの連続 casting

Continuous Casting of Beam Blanks

大西 正之(Masayuki Onishi) 上田 徹雄(Tetsuo Ueda) 新庄 豊(Yutaka Shinjo)
溝田 久和(Hisakazu Mizota) 八百 升(Minoru Yao) 藤村 俊生(Toshio Fujimura)

要旨：

当社水島製鉄所の第 3 連铸機は世界最初の大断面ブルームとビームブランクの兼用機では昭和 48 年 10 月稼動以来、順調な操業を続けている。ビームブランクの連続 casting ではその形状の複雑さから各種欠陥が発生しやすいが冷却条件の改善、最適パウダーの選択および設備管理の強化などにより、現在ではほぼ全量無手入れで次工程へ発送している。また铸片支持方式と凝固シェル内の応力分布状態を検討し、ビームブランクのフランジ部の変形を防止するような铸片支持条件を採用することにより铸片品質を損うことなく casting 速度の増大が可能となった。ビームブランクの操業実績は、(1) casting 時間率：90.6%、(2) ブレイクアウト発生率：0.02%、(3) 良品歩溜り：99.6%、(4) 無手入れ率：99%以上等安定した結果を得ている。

Synopsis：

No.3 continuous casting machine at No.1 steel-making shop in Mizushima Works of Kawasaki Steel Corp., has a dual-role capability, the first in the world, of casting both large section blooms and beam blanks and has been successfully operating since October, 1973. In continuous casting of beam blanks, various kinds of defects were liable to occur because of its complicated form, but nowadays improvement in cooling conditions, adoption of suitable mold powder and complete maintenance of machine have made it possible to send almost all cast blanks to the next process without any surface conditioning. Casting speed has also been increased without quality change by adopting supporting conditions for preventing flange deformation of cast blanks, after calculation of stress distribution of solidified shell and studying new way of cast blank support. Operational results are as follows: (1) Casting time ratio: 90.6% (2) Frequency of break-out: 0.02% (3) Yield of cast blanks: 99.6% (4) No surface conditioning: 99% or higher

(c)JFE Steel Corporation, 2003

ビームブランクの連続 casting

Continuous Casting of Beam Blanks

大 西 正 之*
Masayuki Onishi

上 田 徹 雄**
Tetsuo Ueda

新 庄 豊***
Yutaka Shinjo

溝 田 久 和****
Hisakazu Mizota

八 百 升*****
Minoru Yao

藤 村 俊 生*****
Toshio Fujimura

Synopsis:

No. 3 continuous casting machine at No. 1 steel-making shop in Mizushima Works of Kawasaki Steel Corp., has a dual-role capability, the first in the world, of casting both large section blooms and beam blanks and has been successfully operating since October, 1973.

In continuous casting of beam blanks, various kinds of defects were liable to occur because of its complicated form, but nowadays improvement in cooling conditions, adoption of suitable mold powder and complete maintenance of machine have made it possible to send almost all cast blanks to the next process without any surface conditioning.

Casting speed has also been increased without quality change by adopting supporting conditions for preventing flange deformation of cast blanks, after calculation of stress distribution of solidified shell and studying new way of cast blank support.

Operational results are as follows:

- (1) Casting time ratio: 90.6%
- (2) Frequency of break-out: 0.02%
- (3) Yield of cast blanks: 99.6%
- (4) No surface conditioning ratio: 99% or higher

1. 緒 言

鋼の連続 casting に関する最近の進歩は、連铸比率の著しい向上に見られるように、目覚ましいものがあり、高能率・高品質を指向して、各種の開発がなされている。

その一つに、「より最終製品に近い形状を有する異形断面の連続 casting」があり、ビームブラン

クの連続 casting は、その代表的な一例である。

水島第3連铸機は、世界最初の大形ブルーム、ビームブランク兼用機として、昭和48年10月に稼動して以来、品質の改善による casting 鋼種の拡大、ならびに、連々指数の向上と casting 速度の増大による casting 能力の拡大を図り、順調な操業を続け今日に至っている¹⁻⁴⁾。

その形状から類推されるように、ビームブランクの凝固形態や冷却時の铸片内部応力は、スラブ

* 水島製鉄所製鋼部第1製鋼課課長
*** 技術研究所水島研究室
***** 水島製鉄所動力部動力技術室
〔昭和55年4月23日原稿受付〕

** 水島製鉄所製鋼部第1製鋼課掛長
**** 水島製鉄所企画部設計室
***** 水島製鉄所製鋼部製鋼技術室

やブルームに比べると複雑であり、作業条件が、不適切な場合には、種々の内部欠陥、表面欠陥が生じやすい。

冷却条件の改善・最適パウダーの選定、およびマシン管理の強化などにより、現在では、ほぼ全量無手入れで次工程へ発送し、多種の形鋼に圧延されている。また、ロールチャンスが一致する限り熱片直送を行っており、省エネルギーの一翼をになっている。

本報告は、ビームブランク連続鋳造における設備と作業、および高速鋳造に伴う品質上の欠陥とその防止策について述べる。

2. ビームブランクの連続鋳造設備

当所第3連鋳機の概略仕様を Table 1 に、ビームブランクの形状と各部の名称を、Fig. 1 に示す。

第3連鋳機は、大断面ブルームによる高級鋼の

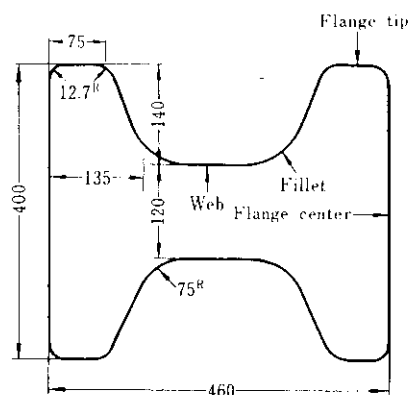


Fig. 1 Nomenclature and size of continuously cast beam blank

鋳造を目的とし、未凝固鋳片の矯正割れを防止するために、2点曲げ矯正を採用していること、およびブルームとビームブランクの兼用機であることがその特徴である。以下にビームブランク連鋳機としての主な仕様を述べる。

2.1 タンディッシュ

タンディッシュは、Fig. 2 に示すように4ストランドノ1タンディッシュで、トランニオン間隔が、9500mmと長い。

鋳造位置における支持方式は、タンディッシュの変形防止を目的とし、両端のほかに中央部を油圧シリンダーにより支持する3点支持方式である。

タンディッシュには、ストップパ・スライディングゲート等の流量制御装置はなく、ノズル口径の選定により、流量を調整している。

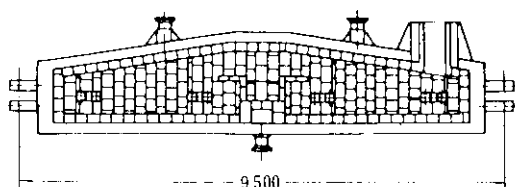


Fig. 2 Tundish

2.2 鋳型

Fig. 3 は、鋳型の概念図を示すが、フランジ面中央で接合する2分割鋳型である。

モールドには、Co⁶⁰によるγ線レベル計を設置し、鋳型内溶鋼面の自動制御を実施している。

Table 1 General specifications of the continuous casting machine for beam blanks and blooms

Steel furnace	3 LD converter units
Furnace capacity	180t (max.200t)
Type of steel to be cast	C≤0.80%, Mn≤1.50%
Type	All upper ground curved type
Number of strands	4
Strand center distance	2.2m/2.4m/2.2m
Beam blank sizes	400mm×460mm×120mm, 287mm×560mm×120mm*
Bloom dimensions	240mm×400mm, 300mm×400mm, 400mm×560mm
Bending radius	12 500mm, 22 000mm
Pinch roll	Multi-type, 2 point unbending type
Length from meniscus to torch cutter	41 636mm
Cutting length	4 000mm-12 000mm
Total height of facilities	Casting floor: FL+13 500mm Pass line: FL+1 150mm
Casting time	Approximately one hour /heat
Cutter	Messer type gas cutter, 2/strand

*Future operations

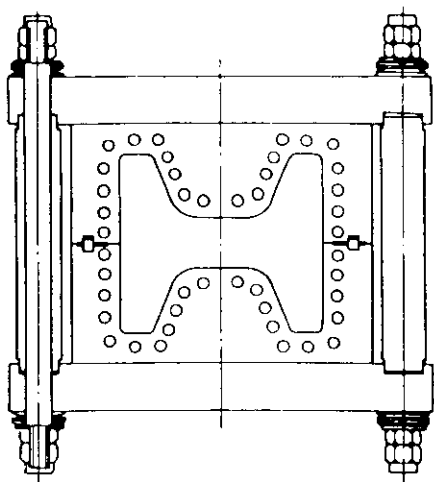
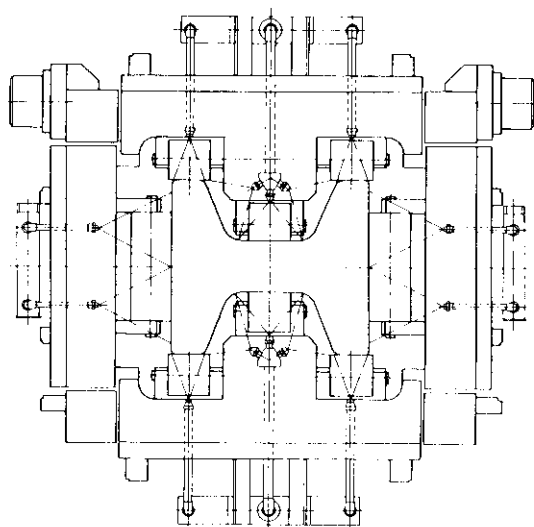


Fig.3 Schematic drawing of the mold for beam blank

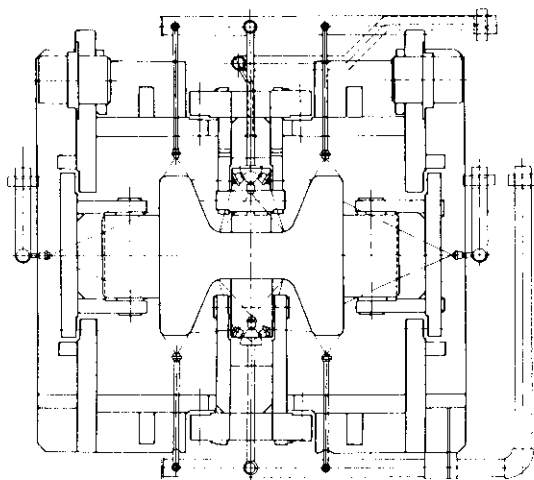
2-3 ローラーエプロン

ローラーエプロンの模式図を、Fig. 4 に示す。バルジングを防止する目的から、各々フランジ、フランジチップ、ウェブにロールを配置する複雑な構造となっている。

鋳型内溶鋼液面から 8m までのローラーエプロンは、3 セグメントに分割され、8m 以降のローラーエプロンは、ブルームと共用であり、厚み調整は遠隔操作が可能である。



(a) Cross-section of No.1 roller apron



(b) Cross-section of No.2 and No.3 roller apron

Fig.4 Cross-section of roller apron

2-4 ダミーバーおよびダミーバーヘッド

鋳型内溶鋼液面下 8m までのローラーエプロンは、Fig. 4 に示すように、ウェブ部にロールを有しているため、ダミーバーは、ヘッドを含めて 8370mm が、ビームブランク専用である。ダミーバーヘッドと鋳片との結合には、レールを使用している。

3. 鋳造鋼種と鋳込仕様

鋳造鋼種と鋳込仕様を、Table 2 に示す。代表的鋳造鋼種である 40kg/mm² クラスの鋳造仕様模式図を、Fig. 5 に示すが、取鍋～タンディッシュ間、タンディッシュ～モールド間は、オープン鋳造である。

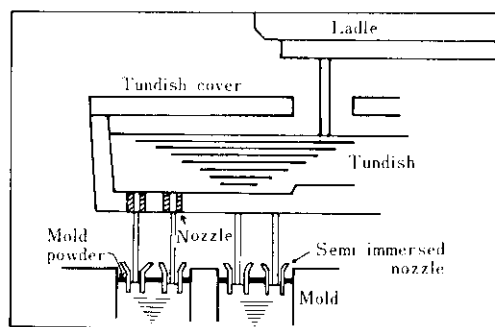


Fig.5 Schematic representation of casting

Table 2 Type of materials cast by B.B. caster and casting condition

Type of material	Steel grade	Shield		Casting speed (m/min)	Spray cooling rate (t/kg)
		Ladle ~ tundish	Tundish ~ mold		
General structure	40kg/mm ²	Open	Open +	1.0 ~ 1.2	1.25
Welded structure	50kg/mm ²		Semi-immersed nozzle	0.85	0.92
Atmospheric corrosion resistant steel for welded structure	40kg/mm ²	Open or Shrouding nozzle	Open + Semi-immersed nozzle or immersed nozzle	1.0 ~ 1.2	1.25
	50kg/mm ²			0.85	0.92
Marine environments	Steels as designated in ASTM A690			0.75	1.27
Sheet pile of flat type	SY30, SY40 as designated in JIS	Open	Open + Semi-immersed nozzle	0.85	0.92

表面品質改善を目的として、モールドパウダーを使用しているが、パウダーの巻込みを防止するため、パウダー部のみ浸漬ノズル（セミイマージョン）を採用している。

ビームブランクの連続鋳造においては、非金属介在物に起因する欠陥が問題になることは少ないが、細粒鋼を含む一部高級鋼では、取鍋～タンディッシュ間の無酸化注入、ガス吹込みノズルを内装したアルミナグラファイト質浸漬ノズル⁵⁾を用いて連々鋳込を実施している。

大型介在物の発生に及ぼすセミイマージョンノズルの形状を調査した結果を Fig. 6 に示す。

Fig. 6 は、大型介在物指数を铸片表面からの距

離をパラメータとして示したものである。同図にセミイマージョンノズルの形状概略図を併記した。

単孔ノズルに比較して、2 孔ノズル、3 孔ノズルは、介在物低減に有効であることがわかる。

2 孔ノズルは、フランジチップ部への溶鋼供給を、3 孔ノズルは、フランジチップとウェブ部への溶鋼供給を目的として使用したノズルであるが、大型介在物の低減効果に両者の差は認められない。Table 3 にビームブランク铸片に発生する一般的な欠陥とその防止策を示す³⁾。

ビームブランクの表面欠陥として問題になるのは、ウェブ表面に発生する縦割れである。

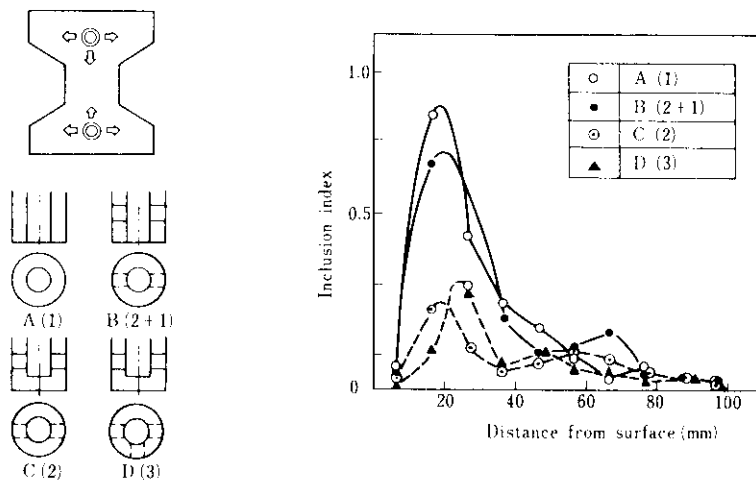
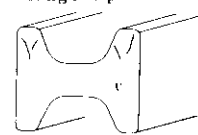
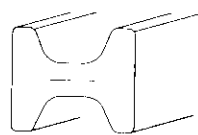
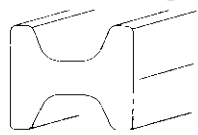
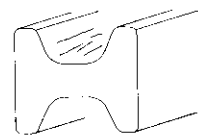


Fig. 6 Effect of the shape of immersed nozzle on the distribution of large inclusions in beam blank casting

Table 3 Typical defects of beam blanks and their preventions

Longitudinal facial cracks in web	Decreasing sulphur content in steel Adoption of appropriate mold powder Minimizing the deviation of mold oscillation Appropriate cooling in a mold Mild cooling in upper secondary spray cooling zone Appropriate spray distribution in cross section
Longitudinal facial cracks in flange	Minimizing the gap at the seam of mold copper Uniform cooling in the seam portion Powder casting
Internal cracks in web	Intensive spray cooling in web portion Strict maintenance of roll gap
Internal cracks in flange tip	Intensive spray cooling in web portion Decreasing sulphur content in steel Strict maintenance of roll gap



ウェブ縦割れは検鏡結果によると、割れ部には内部酸化や脱炭組織が認められ、スラブやブルームの縦割れと同様に、モールド内で、生成した割れ欠陥と推定され、既に、本誌で報告したように³⁾、溶鋼成分、パウダー物性、オキシレーション横振れ、モールド冷却水量とスリット形状・2次冷却水量の影響が大きく、これらの管理が重要である。さらに、モールド冷却水温度もウェブ縦割れに影響を及ぼしており、モールド冷却水温度とウェブ縦割れの関係を、Fig. 7 に示すが、モールド冷却水温度が、31℃以下でウェブ縦割れは多発傾向にある。

冷却水温度が高いほど、モールド内で銑片は、緩冷却されることになり、凝固シェルの生成が均

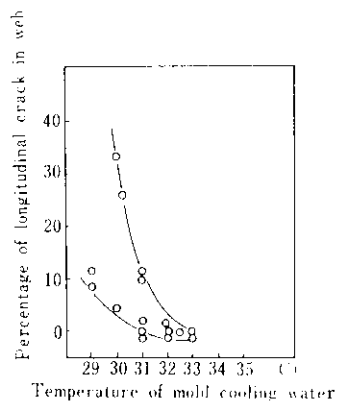


Fig. 7 Relation between temperature of mold cooling water and percentage of longitudinal crack in web

一に行われる結果、ウェブ縦割れ発生率が低下すると考えられる。

Table 4 に、モールドテーパの有無とウェブ縦割れ発生率を鋼種別に示す。

Table 4 Effect of mold taper on longitudinal facial cracks

Mold taper	Bloom with longitudinal facial cracks in web (%)	
	40kg/mm ² -steel	High Mn steel with Nb and Cu
Without	0.02	1.33
With	0.01	0.51

モールドテーパ無の場合は、有の場合に比べて、いずれの鋼種においても、ウェブ縦割れ発生率は倍増する。

この場合のテーパ量は、0.9%/m である。適正テーパにより、シェル生成が均一化される結果、ウェブ縦割れが減少すると推察される。

4. 高速鑄造に伴う品質上の欠陥とその防止策

ビームブランクの銑片支持方式は、Fig. 4 に示したように、ウェブ、フランジの支持が銑型内溶鋼面下 8m までであり、鑄造速度の上昇により、銑片の形状不良およびそれに伴う断面欠陥が発

生^{4,6)}する。

4・1 断面欠陥

断面欠陥の認められるヒームブランク鋳片のC断面マクロ写真を **Photo. 1** に示す。ウェブ中央で板厚 1/2 に発生する割れ（断面割れ）がその主なものである。その他フランジチップ部、ウェブ部に小さな内部割れが観察される。**Fig. 8** に溶鋼 S 濃度と鋳造速度の断面割れに及ぼす影響を示したが、溶鋼 S 濃度が高いほど、また鋳造速度が速いほど、断面割れは発生しやすい。**Photo. 2** に、断面割れ破面の電子顕微鏡写真を示すが、デンドライト状の凝固面を呈しており、割れは凝固先端部で封じ込められた溶鋼の凝固収縮孔であると判断される。スラブ C 断面にみられる同様の欠陥については、凝固先端近傍で、封じ込められた溶鋼が凝固する際に生じた収縮孔であり、鋳造速度によって、中心割れの発生しやすい危険領域の存在することが知られており⁷⁾、ヒームブランクの断面割れも同様の欠陥であると推察される。

ヒームブランクの場合は、後述するように、鋳片支持方式により **Photo. 3** に示す異常バルジングの発生する限界鋳造速度が変化する。ヒームブランクはその型状が複雑であり凝固過程や凝固完了後の冷却過程で、鋳片変形を伴い、ウェブは断面割れの発生しやすい応力状態となり、凝固収縮孔が、冷却過程で開口し、断面割れになると考えられる。したがって、鋳片支持方式の適正化により鋳片の変形を防止することが、異常バルジングや断面割れ防止に有効であると考えられる。最適鋳片支持方式を検討するため、ヒームブランク鋳片の凝固、およびシェル内応力分布について以下

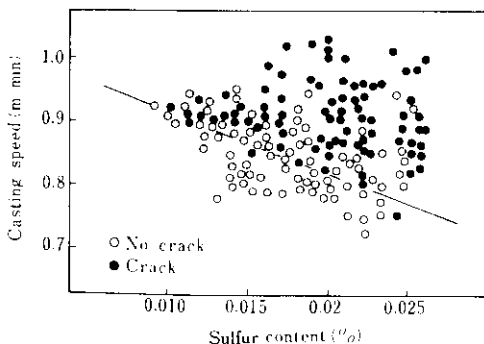


Fig. 8 Effect of casting speed and sulfur content on internal crack in web

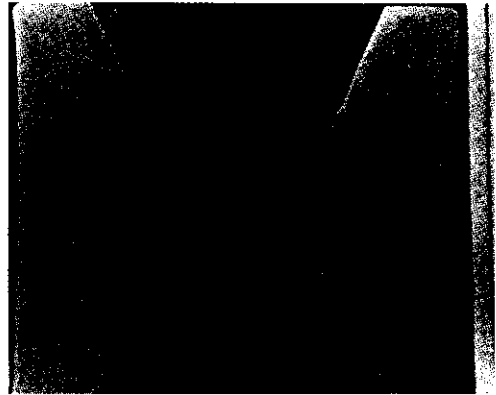


Photo. 1 Internal crack in web

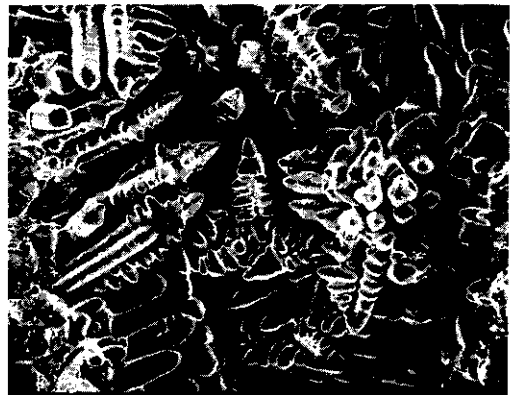


Photo. 2 Electron microscope picture of internal crack surface

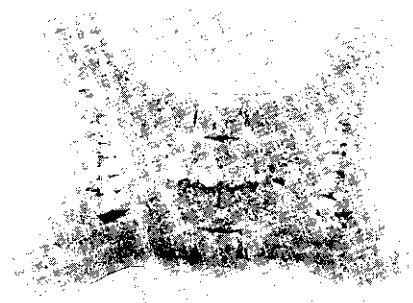


Photo. 3 Sulfur print of a bulging defect caused by ferrostatic pressure at the fillet of a blank due to excessive casting speed

に解析を行った。

4・2 ヒームブランク鋳片の凝固

ヒームブランク鋳片の凝固を解析するために、**Fig. 9** に示すような、鋳片方向に垂直な 1/4 断面

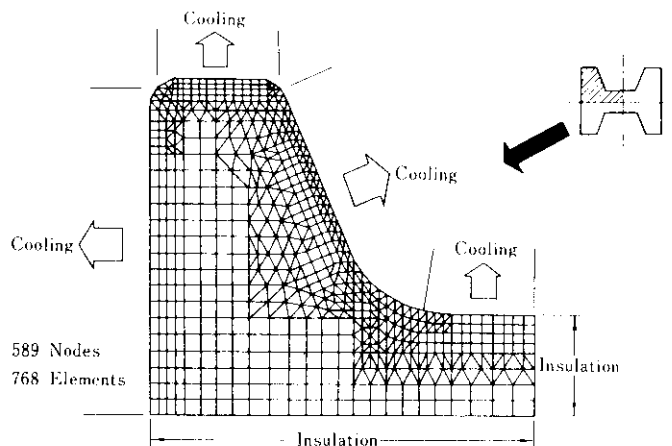


Fig. 9 Modelling for heat transfer analysis

についての2次元伝熱計算を直接差分法⁸⁾により計算した。このモデルにおいては、溶鋼の流動は考慮していない。境界条件を Fig. 10 に示すが、冷却帯をスプレー帯、流水帯、放熱帯の三つの領域に分割し、熱伝達を各面についてパターン化して計算した。凝固シェル厚みの変化を Fig. 11 に、表面温度の推移を Fig. 12 に実測値と併せて示すが、計算結果は、実測値とよく一致し、このモデルの妥当性を立証している。

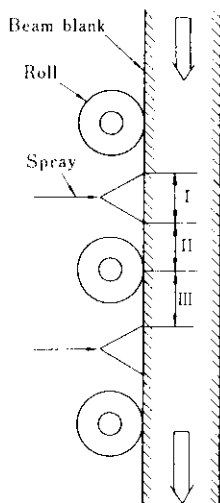
Fig. 13 に、このモデルを用いて計算した凝固シェルの生成状況を示す。またこれらの計算結果から得られた、ウェブ、フィレット部の最終凝固位置を、Fig. 14 に示す。

これらの結果から次のことが明らかとなった。

- (1) フランジチップ部が、早期に凝固する。
- (2) 最終凝固位置はフィレット部であり、フランジ表面中央より約 100mm 中心に寄った地点である。
- (3) ウェブの凝固が進むに従い、未凝固プールの形状は、鋭角三角形から楕円と変化する。
- (4) 凝固末期には、加速凝固が認められ凝固完了位置は、前報³⁾に比し鋳型側に寄っている。

4.3 ビームブランクのシェル内応力分布

ビームブランクは複雑な形状をしており凝固冷却時のシェル内応力は鋳片支持方式に大きく影響されると考えられる。鋳片支持方式の最適化を目的として、凝固シェル内の応力分布を調査するため、有限要素法による平面、および立体シェル弾



I. Spray cooling

$$\text{Heat flux: } Q = h \cdot (\theta_s - \theta_a) \text{ (kcal} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h)} \\ h = 2.83 \cdot 10^4 \cdot W^{0.75} \cdot \theta_s^{-1.2} \cdot 100 \text{ (kcal} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C)} \\ \theta_s, \theta_a: \text{Temperature (Surface, Atmosphere)} \\ W: \text{Flow rate per spray area (l/m}^2 \cdot \text{min)}$$

II. Cooling by splashing and flowing water

$$Q = h \cdot (\theta_s - \theta_a) \\ h = 513 \cdot (k_1 \cdot \gamma)^{1/3} \\ k_1 = 0.06 \text{ (const.)} \\ \gamma: \text{Flow rate per unit width (l/m} \cdot \text{min)}$$

III. Natural cooling

$$Q = 4.88 \cdot \epsilon \cdot \left(\frac{\theta_s + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\theta_a + 273}{100} \right)^4 \\ + 2.2 \cdot \theta_s \cdot \theta_a^{-1/4} \cdot (\theta_s - \theta_a) \\ \epsilon: \text{Emissivity}$$

Fig. 10 Heat transfer for beam blank strand

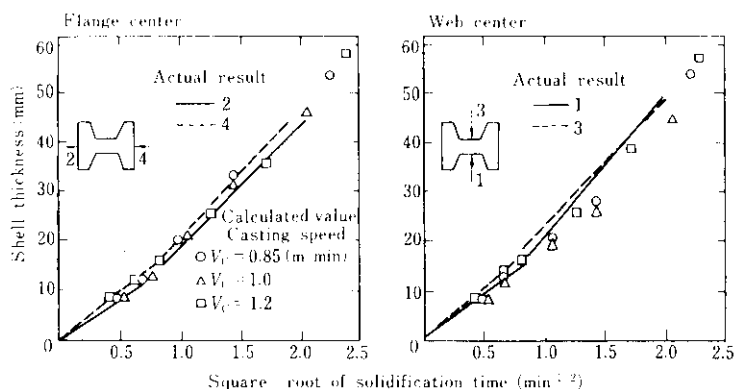


Fig. 11 Comparison of shell thickness between calculated value and actual result

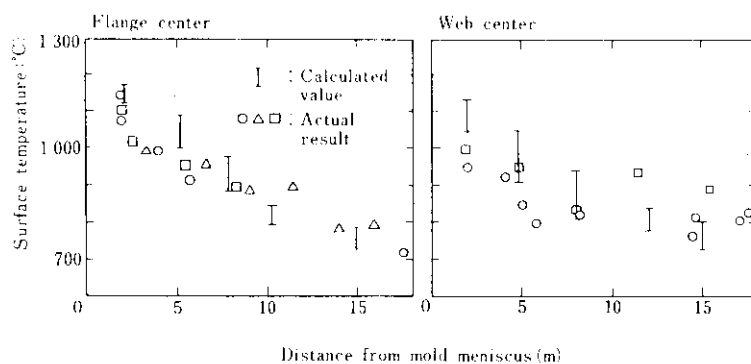


Fig. 12 Comparison of surface temperature between calculated value and actual result

$V_c = 1.0$ m/min

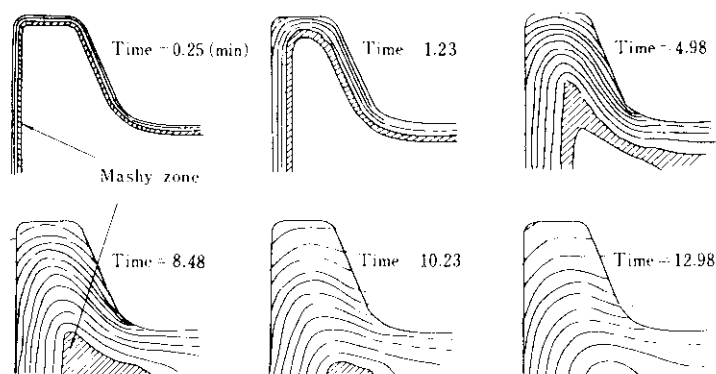


Fig. 13 Progress of solidification of C.C. beam blank by calculation

性応力解析を行った。凝固シェル内に発生する応力は、塑性域に入るため厳密には、弾塑性解析をする必要がある。しかし平面シェルについて、弾性および弾塑性解析を行った結果、両者の間に、ひずみ変化などの全体的な傾向には、大きな差が認められず、相対的な尺度としては、弾性解析で十分であると考えられた。

なお、本解析では、溶鋼の静圧による凝固シェルへの応力を中心に検討した。解析方法を Fig. 15 に示す。チップなどの局所的な点は、平面解析を行い、溶鋼の静圧に伴うバルジングによるひずみ、および変位量は、立体シェルで評価した。

計算に用いた主な条件を以下に示す。

(1) 鋳片支持条件

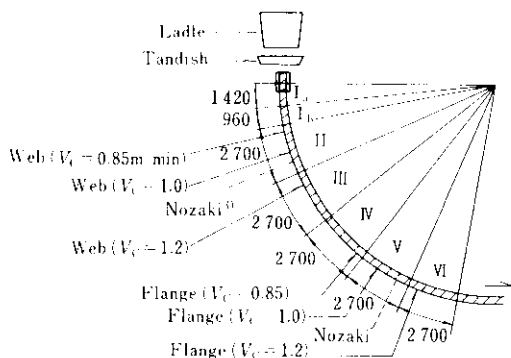
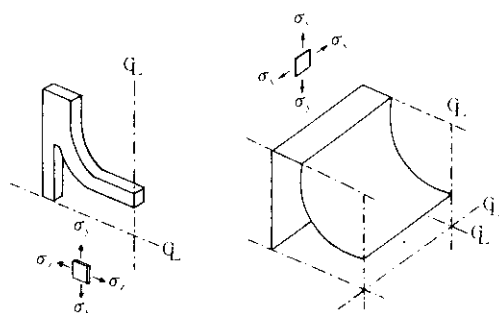


Fig. 14 Calculated value of crater end



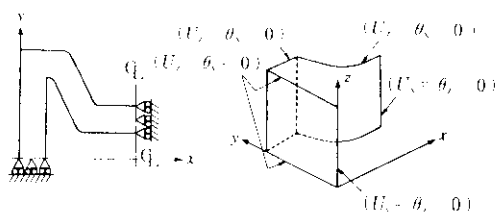
(a) 2 dimensional analysis (b) 3 dimensional shell model analysis

Fig. 15 Method of F.E.M. structural analysis

モデルは鋳片方向に垂直な 1/4 断面を取り出し、対称条件を満たすよう支持条件を与えた。支持条件の 1 例を Fig. 16 に示す。

(2) 鋳片温度

シェル内の温度分布は直線と仮定し、表面温度



(a) 2 dimensional analysis (b) 3 dimensional analysis

U: Displacement, θ : Revolution angle

Fig. 16 Boundary condition of finite element model

は Fig. 17 に示す実測値を採用した。

(3) 凝固シェル厚

凝固シェル厚 (mm) は次式により算出した。

$$\text{フランジ中央: } d_1 = 25.0 \sqrt{t} - 5.5$$

$$\text{ウェブ中央: } d_2 = 27.5 \sqrt{t} - 4.8$$

(t : 鋳造時間 min)

(4) 物性定数

ポアソン比, ヤング率, 変形抵抗は K. A. Fekete⁹⁾, 他の資料を参考にし Fig. 18 に示す値を用いた。以下に計算結果を示す。

Fig. 4 に示した鋳片支持方法の場合について、凝固界面における内部ひずみ最大値のストランド方向推移を Fig. 19 に示す。最大ひずみは、チップのコーナー (B 部), フランジ中央 (A 部), ウェブ (D 部) の順に小さく、また凝固の進行に伴い減少する。従来経験では、内部割れは B 部で発生し、A 部では認められず、鋳造速度が 0.9m/min を超えると Photo. 3 に示した異常バルジングが発生することがある。内部割れを各部の内部ひずみ

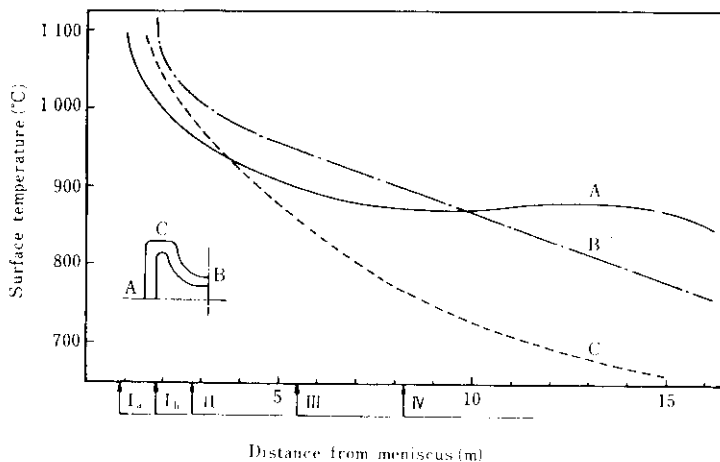


Fig. 17 Surface temperature of cast steel

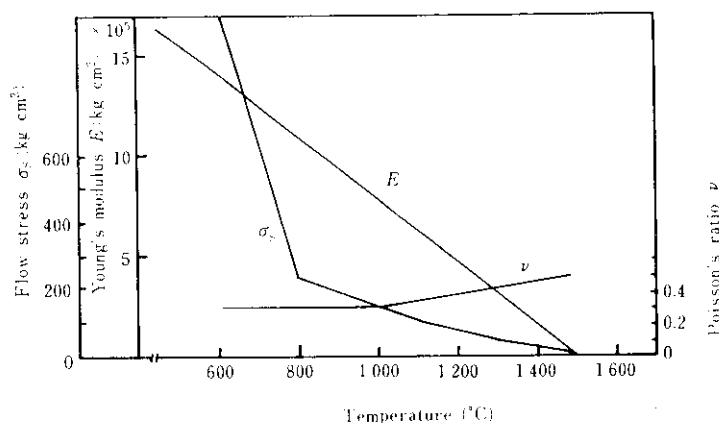


Fig. 18 Mechanical properties of cast steel

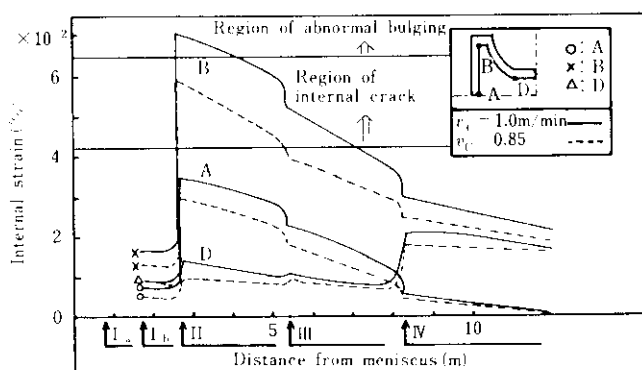


Fig. 19 Internal strain distribution in strand direction in the case of supporting way of cast blanks shown in Fig. 4

で、異常バルジングをB部の内部ひずみで評価し、各種操業条件にもとづく操業実績からそれぞれの内部ひずみ許容値を推定し Fig. 19 に併記した。フランジ全面を鋳型内溶鋼面下 8m まで支持した場合の計算結果を、Fig. 20 に示すが内部ひずみは軽減され、いずれの点においても異常バルジングの発生する限界ひずみ内にあることがわかる。鋳型内液面下 8m 以降（共用体）の応力分布を Fig. 21 に示す (a) は Fig. 4 に示した現行支持方式、(b) はフランジの反りを防止する目的からフランジ面からのチップ支持方式を採用した場合で、支持方式の変更により、フィレット部、ウェブ部の圧縮応力域が拡大し、バルジング防止に有効であることを示唆している。

4・4 鋳片支持方式と鋳造速度

これまでの検討結果から適切な鋳片支持方式の

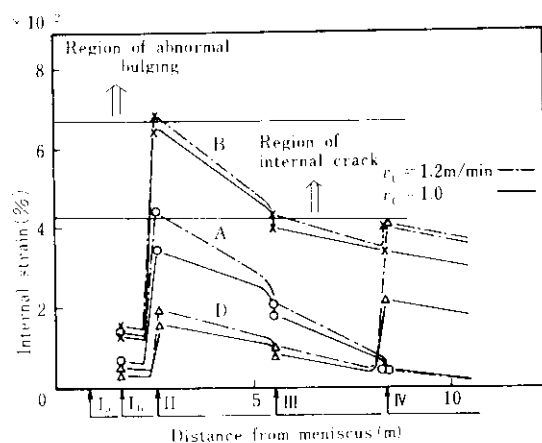


Fig. 20 Internal strain distribution in strand direction in the case of supporting flange parts until 8m from meniscus

採用により異常バルジングを防止し、鋳造速度を増大しうることが明らかとなった。

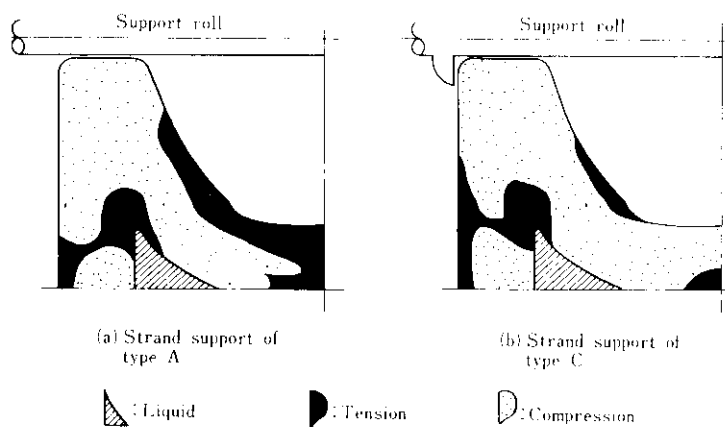


Fig. 21 Stress distribution of beam blank at No.4 segment

Fig. 22 に示すような鑄片支持方式を採用し、高速鑄造実験を行った結果を Fig. 23 に示すが、タイプ B のように鑄型内溶鋼面下 8m までフランジ全面を支持することにより鑄片変形量 (a)~(b) が従来の 1/5 程度になり、異常バルジングもなく鑄造速度を 0.85m/min から 1.0m/min に増速することが可能である。次にタイプ C に示す特殊ロールにより短辺支持をさらに 2.7m 延長した場合には鑄片の品質、形状を損うことなく鑄造速度 1.2m/min が可能である。以上のように鑄片支持方式により、バルジング原因で鑄片が変形に至る限界鑄造速度に差のあることが明らかとなった。これは支持方式の改善でさらに高速化の可能なことを示唆している。

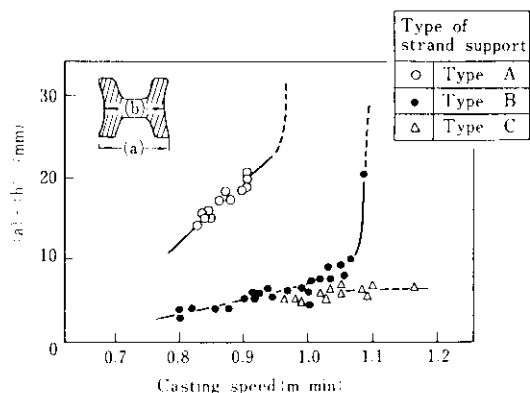


Fig. 23 Relation between casting speed and deformation of B.B.

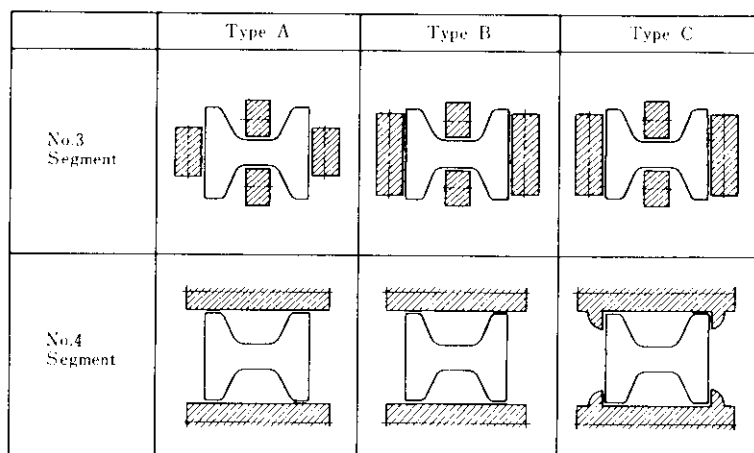


Fig. 22 Type of strand support

5. ビームブランク連鋳機の操業

5-1 操業実績

ビームブランク連鋳機の操業実績を Table 5 に示す。鋳造時間率は 90.4% に達しており、良片歩留りは 40kg/mm² 鋼の場合で 99.6% と非常に高い。これは、ブレークアウト発生率が低く取鍋完鋳率が高いことから明らかなように、操業が安定しているためである。さらにタンディッシュあたりの連々指数が 10.9、ダミーバーあたりの連々指数が 36.4 と高いことも鋳造時間率の向上、良片歩留りの向上に寄与している。前述したようにタンディッシュには溶鋼流量制御装置がなく、鋳造速度はタンディッシュノズル径とタンディッシュ溶鋼高さで決定され、タンディッシュあたりの連々鋳の阻害要因はノズル径の変化であり材質、形状の選定が重要である。当ビームブランク連鋳機では、ジルコニアノズルの採用により、タンディッシュあたりの連々指数は飛躍的に向上し、16~17 連々鋳が可能となった。Table 6 にタンディッシュノズルの物性値を従来品と比較して示す。

ビームブランク連鋳機における異鋼種連々鋳は、タンディッシュ交換による、モールド内溶鋼混合法を採用している。Fig. 24 にこの方法における成分変化を示すが、混合域は約 1m である。これらタンディッシュ交換による同鋼種、および異鋼種の連々鋳を実施することによりダミーバーあたりの連々数は、大幅に増大し、最高連々数 142 連

Table 5 Operational results

Item	Results
Ratio of casting time (%)	90.4
Yield (%)	99.6*
Frequency of break out (%)	0.02
Ratio of completed heats (%)	100
Number of heats in sequence per tundish	10.9
Number of heats in sequence per dummy bar	36.4

(*79 July~Dec.)

*40kg/mm² grade

Table 6 Typical properties of tundish nozzle

Classification	Present type	Conventional type
Properties		
Apparent porosity (%)	14.6	12.6
Water absorption (%)	3.0	3.2
Apparent density	5.63	4.52
Bulk density	4.81	3.94
Crushing strength (kgf/cm ²)	1150	1373
Refractoriness under load T ₂ (°C)	>1700	>1700
Thermal expansion (%)	0.64 at 1500°C	0.35 at 1000°C 0.75 at 1500°C
Permanent linear change at 1500°C×2h (%)	0	0
Chemical composition (%)	SiO ₂	0.6
	Al ₂ O ₃	0.5
	Fe ₂ O ₃	0.5
	ZrO ₂	94.0
	CaO	4.0

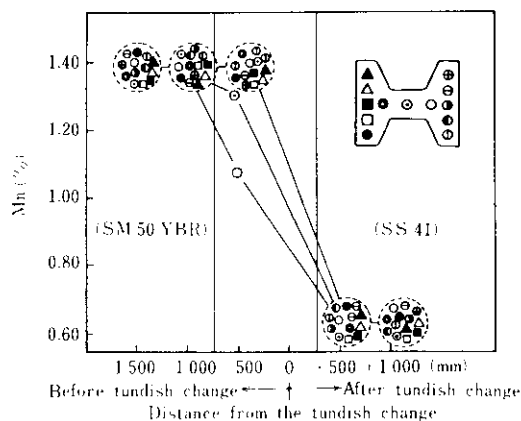


Fig. 24 Change of chemical composition at tundish change

を達成している。

5-2 H 形鋼素材の連鋳化状況

水島製鉄所における、H 形鋼用素材の連鋳についてその現状を以下に述べる。当所では「単一サイズビームブランクからの多サイズ H 形鋼圧延技

術」¹⁰⁾や、「スラブからの大形H形鋼圧延技術」¹¹⁾の開発に成功し、H形鋼用素材の連铸化は、ほぼ完了した。H形鋼用素材の連铸率は54年12月には98.2%に達した。H形鋼の製造プロセス別製品サイズを、Fig. 25に示す。これらH形鋼素材の圧延技術の開発は、連铸適用鋼種を大幅に拡大し、以下に示すような利益をもたらす、製品コストの低減に大きく貢献している。

- (1) 分塊歩留り、大形製品合格率、命令歩留りの向上による粗鋼対製品通算歩留り10%弱向上
- (2) 品質、形状、重量のバラツキが減少することによる注文1級歩留りの向上
- (3) セミキルド鋼の脱酸に起因する慢性不良解消による製品々質の向上と安定
- (4) 素材の互換性、共用性の拡大による素材の単純化、合理化
- (5) ホットチャージの実施による加熱炉原単位の、大幅な削減

これらH形鋼用素材の構成比は連铸製ビームブランクが64%と過半を占め、残りは連铸製ブルームおよび連铸製スラブである。

単一サイズビームブランクからの圧延サイズの拡大に伴い、圧延条件は素材にとってさらに苛酷なものとなり、ビームブランクの品質に対する要求は、より厳しいものとなっているが、前述したように、無手入直送率が99%以上、ホットチャージ率が80%に達しており、十分満足できる、品質レベルを維持している。

6. 結 言

ビームブランク連铸機的能力増強のため、铸造速度増大を目的として、高速铸造時の铸片の変形と最適铸片支持方式について検討し、以下の結果を得た。

- (1) 凝固計算に用いたモデルでは、表面温度推移、シェル厚変化等実測値とよい一致を示した。
- (2) ウェブの凝固が進むに従い、未凝固プールの形状は、鋭角三角形から楕円へと変化する。
- (3) 弾性解析によるウェブ部の応力状況は、フランジの反りを防止する铸片支持方式の採用により改善される。
- (4) フランジの反りを防止する铸片支持方式の採用により、铸片品質を損うことなく、铸造速度を0.85m/minから、1.2m/minまで、増大させることが可能となった。また、表面・内部品質については、冷却条件、モールドパウダーの選択、マシン管理の強化等、操業条件を管理することが重要であり、現在、素材の無手入率は、99%以上を維持している。さらに、ブレイクアウト発生率は低く、取鍋完铸率は100%で、連々指数の向上と相まって、铸造時間率は90.4%に達し、安定した操業成績を得ている。

また当所では、「単一サイズビームブランクからの多サイズH形鋼圧延技術」や「スラブからの大形H形鋼圧延技術」の開発に成功し、連铸適用

Notes

Metric series are shown on this figure, excluding inch series.

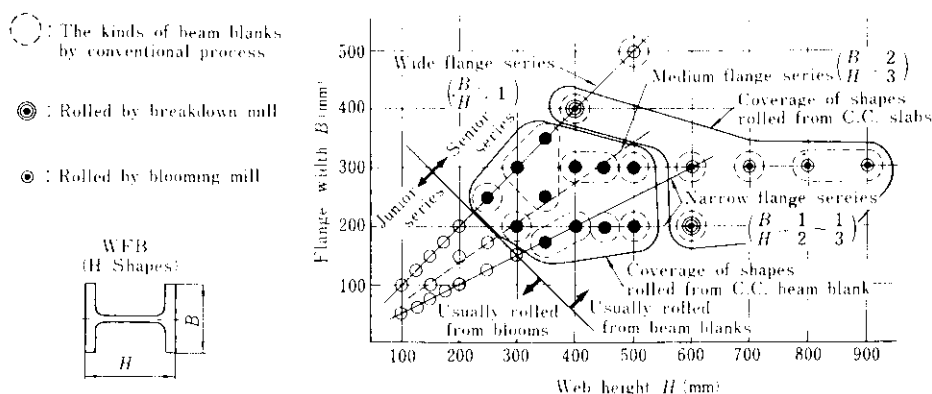


Fig. 25 Relation between wide flange beam sizes and materials

鋼種が大幅に拡大され、H形鋼用素材の連铸比率は、ほぼ100%に達した。

参 考 文 献

- 1) 児玉, 千野, 小出: 川崎製鉄技報, 7 (1975) 2, 15
- 2) 野崎, 村田, 大井, 児玉: 鉄と鋼, 60 (1974) 11, S 462
- 3) 野崎, 伊丹, 村田, 松野, 深井, 児玉: 川崎製鉄技報, 9 (1977) 3・4, 110
- 4) 飯田, 守脇, 上田, 藤村, 有吉, 溝田: 鉄と鋼, 65 (1979) 11, S 759
- 5) 江本, 児玉, 深井, 野崎, 吉門: 川崎製鉄技報, 9 (1977) 3, 121
- 6) T. Saito, M. Kodama and K. Komoda: Iron Steel Intern., 48 (1975) 5, 391
- 7) 原田, 草野, 三隅: 製鉄研究, 294 (1978), 72
- 8) 八百: 鉄鋼協会第24回中四国大会, 3 (1974), 135
- 9) K. A. Fekete: Radex Rundschau (1974) 3, 135
- 10) 田中, 山下, 阿久根, 永広, 人見, 草場: 川崎製鉄技報, 10 (1974) 4, 69
- 11) 田中, 山下, 佐藤, 山中, 永広, 栗山: 鉄と鋼, 66 (1980) 4, S 273