

© 1988 ISIJ

技術資料

条用特殊鋼の連鑄技術の進歩

川崎 正蔵*・若杉 勇*²

Development of Continuous Casting Technology for Special Steel Wire Rod and Bar

Shozo KAWASAKI and Isamu WAKASUGI

1. 緒 言

我が国における条用特殊鋼の連鑄化の歴史は、1960年代の後半に始まった。すなわち、1966年以降、条用特殊鋼の連鑄化を目的として、神鋼・神戸、新日鉄・八幡、住金・小倉、川鉄・水島等の各製鉄所においてビレット連鑄機およびブルーム連鑄機が次々と稼動に入った。

しかし、ビレット連鑄では、条用特殊鋼の主体であるAlキルド鋼の鑄造がタンディッシュノズル閉塞の問題から困難であり、その連鑄化を達成するに至らなかった。そして、Al脱酸しない鉄筋棒鋼や異形棒鋼の分野において、分塊工程の省略できるビレット連鑄が多く採用されていった。

一方、ブルーム連鑄においては、Alキルド鋼のノズル閉塞に対し、Arシール技術、耐火物材質の改善によって解決をはかると共にブルーム鑄片の表面品質、内部品質の改善のための連鑄技術の開発努力が続けられた。しかし、条用特殊鋼はその用途として自動車用重要保安部品に代表されるように要求品質が極めて厳格で、かつ多岐にわたるため、その連鑄化は飛躍的に進展するに至らなかった。

Fig. 1¹⁾に我が国の特殊鋼の連鑄比率を示すが、連鑄機導入から10年後の1970年代後半で20~40%の域にすぎなかった。1980年代に入ってから、これまでに蓄積してきた操業技術、健全な品質を得るための製造技術およびそれをささえる設備技術等について順次定量的に解明されることにより各製鉄メーカーは条用特殊鋼の連鑄化に自信が持てるようになった。たとえば取鍋精錬設備^{2)~5)}やRH脱ガス設備⁶⁾⁷⁾による溶鋼の清浄化技術の確立、タンディッシュ内における溶鋼流動の解明や大

気酸化防止技術および堰などを利用した介在物浮上分離技術等の確立、タンディッシュと鑄型内での湯面制御⁸⁾⁹⁾と二次冷却制御¹⁰⁾¹¹⁾等の自動制御技術の確立、鑄型振動および鑄型内パウダーの表面品質に及ぼす影響の明確化^{12)~14)}、凝固機構の解明と凝固殻にかかる種々の応力の定量的把握¹⁵⁾¹⁶⁾による連鑄機設計技術の確立、中心偏析軽減のための電磁攪拌技術の確立^{17)~20)}など種々の技術的知見が確立された。条用特殊鋼の連鑄化に際し、各製鉄メーカーは品質を重視して、より安定した操業が可能となる大断面ブルーム連鑄機を指向した。Table 1に1970年以降の我が国におけるブルーム連鑄機の設置状況を示す。1980年以降続々と大断面ブルー

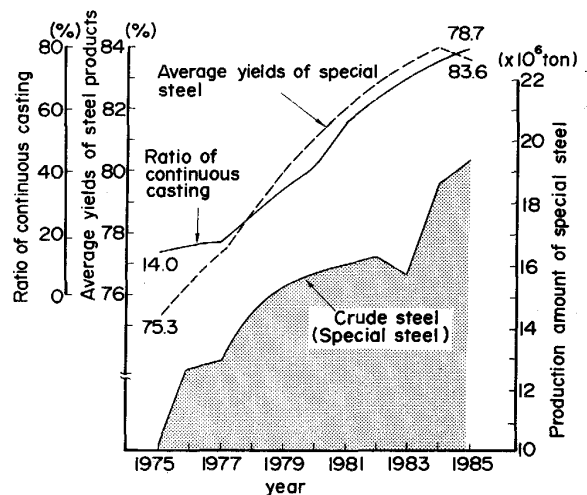


Fig. 1. Change in ratio of continuous casting, average yields and crude steel of special steel in Japan.

昭和 62 年 11 月 10 日受付 (Received Nov. 10, 1987) (依頼技術資料)

* (株)神戸製鋼所 神戸製鉄所製鋼部部长 (Steelmaking Department, Kobe Works, Kobe Steel, Ltd., 2 Nadahamigashi-cho Nada-ku Kobe 657)

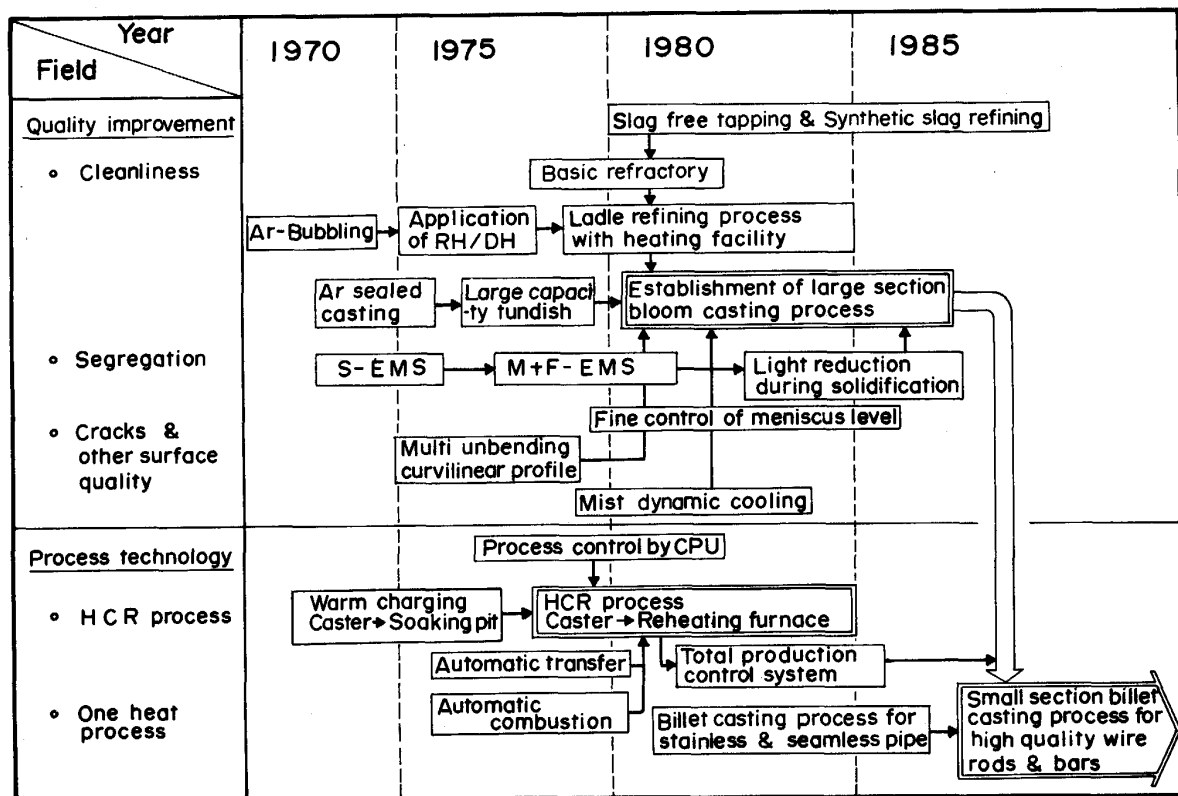
*² (株)神戸製鋼所 鉄鋼生産本部生産技術部主任部員 (Technology Administration Department, Iron & Steel Production Division, Kobe Steel Ltd.)

Key words : special steel ; continuous casting ; bloom ; billet ; quality assurance ; ladle steelmaking ; vacuum degassing ; process control ; clean steel ; shaped steel.

Table 1. Installation of representative bloom caster in Japan since 1970.

Year	Company	Works	Construct year-month	Type	Number of strand	Max. section size of bloom (mm)	Main product
1970~1974	Nippon Steel	Kimizu	1970- 9	Curved	2	300×500	Bar and wire rod
	Nippon Steel	Muroran	1971-10	Curved	4	250×310	Bar and wire rod
	Daido Special Steel	Shibukawa	1972- 3	Curved	1	150×390	Stainless
	Kawasaki Steel	Mizushima	1973-10	Curved	4	400×560	Shape steel, Bar and wire rod
1975~1979	Azuma Steel	Sendai	1975- 1	Curved	4	310×400	Bar and wire rod
	Sumitomo Metal	Kokura	1976- 3	Vertical bending	3	300×400	Bar and wire rod
	Nippon Steel	Yawata	1977- 7	Curved	4	340×340	Pipe
	Sumitomo Metal	Wakayama	1979- 1	Curved	4	400×600	Pipe
	Nippon Kokan	Keihin	1979- 4	Vertical	4	400×520	Pipe
1980~	Sumitomo Metal	Wakayama	1980- 6	Curved	2	400×600	Pipe
	Daido Special Steel	Chita	1980-11	Curved	2	370×480	Bar and wire rod
	Kobe Steel	Kakogawa	1980-12	Curved	4	380×550	Bar and wire rod
	Kobe Steel	Kobe	1981- 1	Vertical bending	2	300×430	Bar and wire rod
	Nippon Kokan	Fukuyama	1981- 5	Curved	4	250×490	Shape steel, Bar and wire rod
	Nippon Steel	Muroran	1981-10	Curved	4	350×560	Bar and wire rod
	Sanyo Special Steel	Himeji	1982-10	Vertical	3	370×470	Bar and wire rod
	Aichi Steel	Chita	1982-11	Curved	2	370×480	Bar and wire rod
	Nippon Steel	Yawata	1982-12	Curved	1	320×450	Pipe, Bar and wire rod

Table 2. Development of casting technology for high quality wire rods and bars.



2. 条用特殊鋼のブルーム連鑄技術の現状

ム連鑄機が出現してきた。

このようにして特殊鋼の連鑄比率は、Fig. 1 に示すように 1985 年で約 80% に達するに至っている。

本稿では、条用特殊鋼の連鑄化において厳格な要求品質を満足させるために築きあげられてきたブルーム連鑄技術の現状を述べると共に、連鑄化本来の目的である省工程をさらに一歩進める条用特殊鋼のビレット連鑄プロセスへの取組状況についても概説する。

条用特殊鋼の連鑄化に際しては、介在物の少ない清浄な内質と健全な表面品質の確保および中心偏析の改善など高度で安定した品質を確保するための広範囲な製造技術が要求される。大断面連鑄ブルームの品質改善のための製造技術は、Table 2 に示すように 1970 年代後半より相次いで改善、開発が進められた。さらに分塊工程との連続化のための HCR 技術が開発されたことにより、

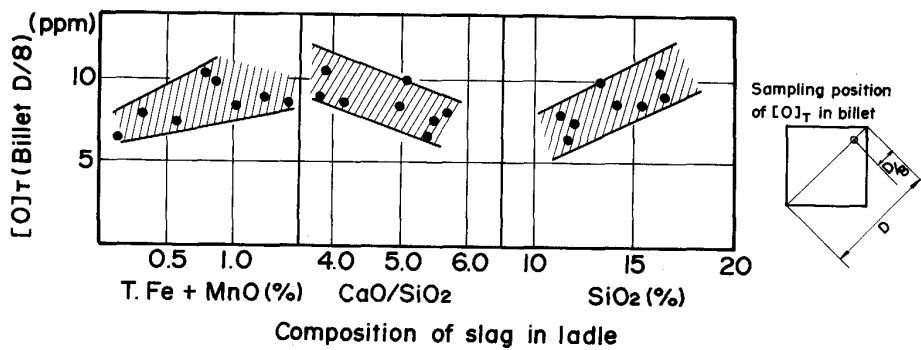


Fig. 2. Relation between compositions of slag in ladle and total oxygen content in billet.

1980年代の初期に大断面ブルーム連铸による条用特殊鋼の製造技術が確立された。

以下に品質改善のための諸技術およびHCR技術について述べる。

2.1 品質改善技術

2.1.1 介在物低減技術

連铸鋼片で認められる介在物は脱酸生成物、溶鋼の再酸化が原因となる内生的なもの、パウダー、耐火物等の巻込みによる外来的なものに二分される。

内生的な脱酸生成物を低減するには、取鍋内溶鋼の徹底した清浄化を図らねばならない。このためには、まず転炉出鋼時に流出する低級酸化物の多いスラグを除去する必要があり、リレードル、真空除滓機(VSC)²¹⁾、スラグドラッガー²²⁾、転炉炉内石灰投射等のスラグカット技術が確立されている。次に、取鍋内に残るスラグ中の低級酸化物を完全無害化するためのスラグの組成コントロールが必要である。そのような条件のもとで取鍋内溶鋼を攪拌することにより積極的に脱酸生成物を浮上分離させることが重要である。

このように溶鋼清浄化を徹底して行う場合、取鍋内溶鋼の温度降下はかなり大きくなり、転炉あるいは電気炉への熱負荷が増大するため、アーク加熱を有する取鍋精錬設備が採用されている^{23)~25)}。Fig. 2は、取鍋精錬にてスラグ組成コントロールをした場合の鋼片中の $[O]_{Tr}$ 値を示しているが、低酸素鋼製造には、Total FeとMnOの低減およびスラグ塩基度の適正化が有効である。一方、他の内生的原因として溶鋼の再酸化があるが、この防止策として取鍋-タンディッシュ(以下、TDと記す)-铸型間におけるシールの強化が行われており、铸造初期の再酸化防止のため、TD内雰囲気Arガスにより置換する方法が工夫されている²⁶⁾。

外来系の介在物低減には、取鍋からTDへのスラグ混入によるスラグのたたきこみを防止する必要があり、さまざまなスラグ検知方法が試みられている²⁷⁾²⁸⁾。また、铸型内でのパウダー巻込みも外来系要因の一つであり、その防止のため浸漬ノズルの形状と铸型内溶鋼流動の関係を調査した例として、Fig. 3にシリコンオイルを用いた水モデル実験の結果を示す²⁹⁾。本実験は、ノ

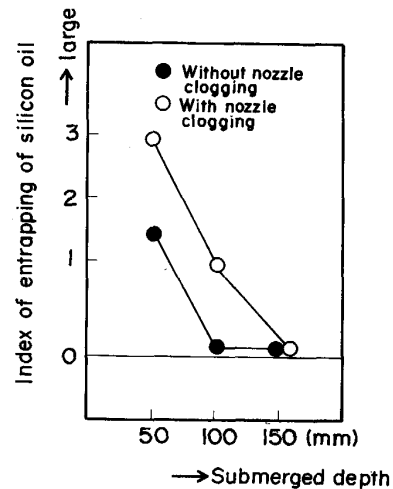


Fig. 3. Influence of submerged nozzle clogging on the entrapping of silicon oil at meniscus of mold.

ズルからの吐出流が铸型壁に衝突した際の反転流によるメニスカスからのオイルの巻込みを調査したものであるが、浸漬深さの増加とともにシリコンオイルの巻込み量は減少している。また多孔ノズルの場合吐出孔が一部閉塞すると偏流が起りシリコンオイルの巻込み量が増加することを示している。パウダー巻込みに関しては、铸型内湯面変動も大きな影響を及ぼし、湯面変動量が大きくなると冷間圧造時にパウダー起因の割れが発生することが知られており、最近では±2~4mmの精密な湯面制御技術が確立されている。

さらに、溶鋼中の介在物を低減するためのタンディッシュメタラジイーが積極的に行われている。TDの大容量化、堰の設置、およびTD内Arバブリング等により介在物浮上促進が行われており、また、TDパウダーの適用による介在物の吸着および大気酸化防止等が図られている³⁰⁾³¹⁾。さらに積極的な手段として、一定な溶鋼過熱度にて铸造することにより部位のばらつきをなくすためのTD内溶鋼加熱技術³²⁾³³⁾、フィルターによる介在物除去技術³⁴⁾等の開発が進められており、今後飛躍的な清浄度の向上が期待されている。

2.1.2 表面品質の改善技術

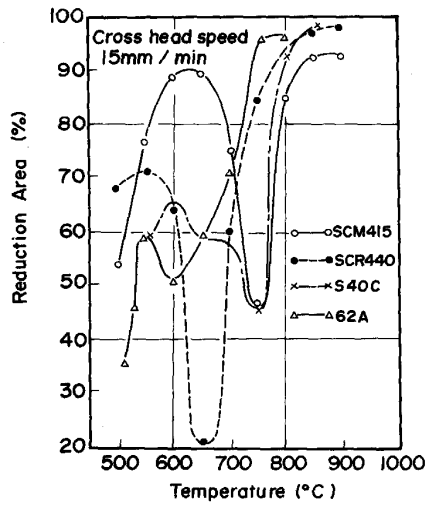


Fig. 4. Hot ductility of steels.

大断面ブルーム連铸の表面疵の主な原因としては、ピンホール、ひび割れ、コーナー横割れが挙げられる。ピンホールについてはノズル接合部からの空気の吸い込み、ノズル詰り防止のために吹き込む Ar ガスが原因となっており、ノズル接合部のシールの強化、Ar ガス流量の制御と铸型内電磁攪拌により大きく減少することができる。

ひび割れについては、铸型内および铸型下二次冷却の緩冷却化が効果があり、熱伝導を低くした铸型内パウダーの使用と頭部弱冷の冷却パターンの採用により改善されている³⁵⁾。

コーナー横割れについては、曲げ型、垂直曲げ型連铸機の場合铸片を矯正する際に曲げ内側のオッシレーションマークの谷部に発生する。これは、600~800°C の温度域における鋼の脆化によるものと、オッシレーションマークの切欠き効果とが合わさって割れる現象である。この脆化温度は、Fig. 4 に示すように鋼の成分により大きく変化する。ブルーム連铸の場合、低炭素鋼から高炭素鋼および低合金鋼と铸造される鋼種が多岐にわたるため、矯正域を通過するブルームの表面温度が鋼種ごとの脆化温度以上となるように、二次冷却をコントロールする必要がある。

この二次冷却は、スプレー冷却法とミスト冷却法とが一般的に使用されている。ミスト冷却は、スプレー冷却の 30~50% の水量で同等の冷却能が得られることにより、ロール端部からの落水量が減少するため、Fig. 5 に示すようにコーナー部の過冷防止が図られ、とくに低速引抜時に著しい効果がある。スプレー冷却に比較してミスト冷却は均一かつ緩冷却性に優れており脆化温度域の回避に有効である。さらにこのミスト冷却と伝熱計算を用いて铸片温度変化を刻々求めつつ二次冷却水量をコントロールするミスト-ダイナミック制御方法が採られ

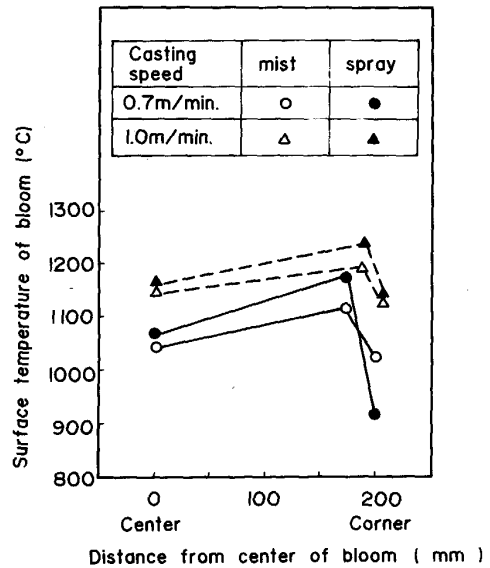


Fig. 5. Distribution of surface temperature of transverse direction of cast bloom.

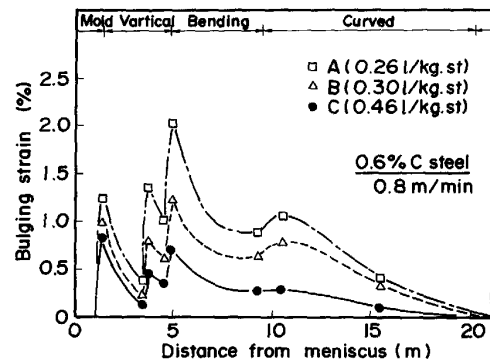


Fig. 6. Effect of secondary cooling on bulging strain.

ている³⁶⁾。この方法により、非定常部の铸片過冷却が防止され铸造全体にわたつての品質安定化に効果がある。一方、オッシレーションマークの深さ軽減のため、铸型振動条件および铸型内湯面レベル制御を確実なものとしていかねばならない。

2.1.3 内部割れの防止

内部割れに関する研究は、スラブ連铸において古くから進んでいたが、内部割れ防止のためには、連铸機内において铸片にかかる全歪み量すなわちバルジング歪み、曲げ歪みおよびロールアライメント不整による歪みなどの総和が铸造される鋼種の割れ発生限界歪み以下に制御されている必要がある。近年においては弾塑性モデルによるバルジング解析や曲げ応力解析技術が進歩し、適正なロールプロフィールが設計されるようになってきている³⁷⁾。

一方、バルジング歪みについては、铸造速度や二次冷

却の操業条件によつても制御することができる。Fig. 6に神鋼・神戸の3号ブルーム連铸機における铸片凝固界面のバルジング歪みをクリープモデルにより計算した結果を示すが、バルジング歪みは比水量の増加とともに減少していることがわかる。この0.6%炭素鋼においては、0.30 l/kg-steelの低比水量では、バルジング歪みのみでも当鋼種の割れ発生限界歪み0.8%³⁸⁾を超えてしまうため内部割れの発生を防止することはできない。比水量を0.46 l/kg-steelまであげて内部割れの発生を抑えることが可能となる。

このように内部割れは比水量の増加により改善することができるが、前述の表面割れとの関係を考慮した二次冷却水量および水冷パターンを設定することが重要である。

2.1.4 中心偏析の改善

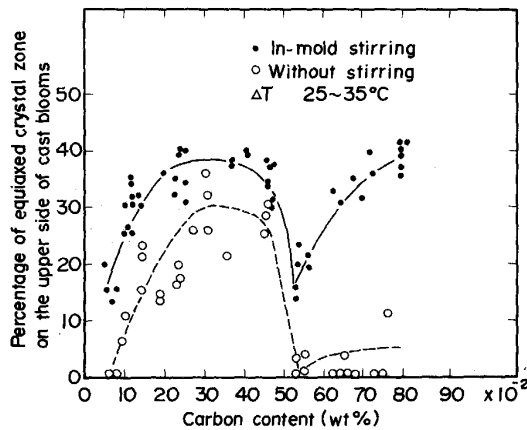


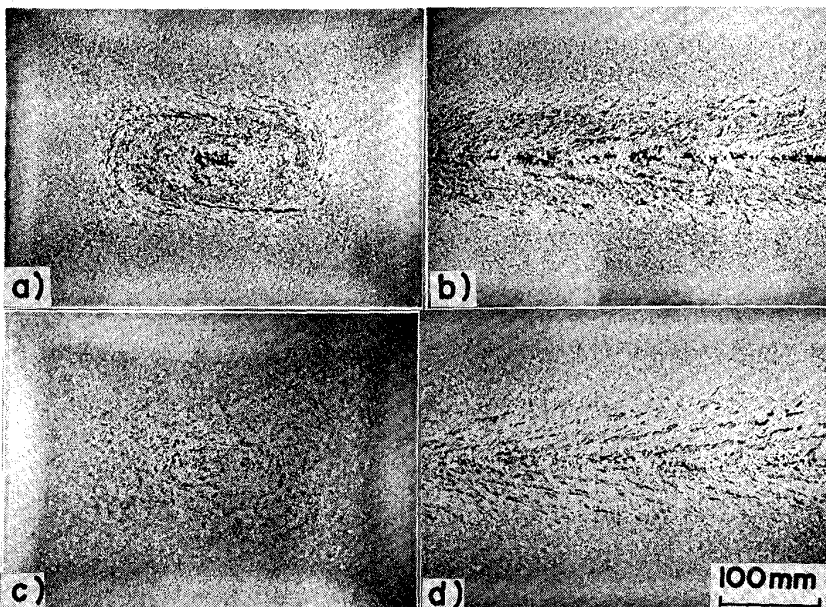
Fig. 7. Relation between carbon content in molten steel and percentage of equiaxed crystal zone on the upper side of cast blooms.

PC硬線、スチールコード、弁ばねおよび軸受鋼など高級高炭素鋼の多い条用特殊鋼では偏析の克服が永年の課題であり、その対応技術として早くから電磁攪拌（以下、EMSと略す）の研究がなされてきた³⁹⁾。とくに1978年以降、铸型内(M)と凝固末期(F)の二段で攪拌するM+F-EMSの開発が積極的になされ¹⁷⁾⁴⁰⁾、今日の条用特殊鋼の铸造の基盤技術として定着するに至っている。

M-EMSを適用するとFig. 7に示すように铸片の中心部に多くの微細な等軸晶が現れ、等軸晶帯が広げられる⁴¹⁾。この微細な等軸晶は、凝固末期に凝固収縮で生じる濃化溶鋼の流動を妨げるため中心偏析が改善されると考えられる。

この効果は等軸晶域が広く得られる0.30~0.40% C鋼でもつとも顕著であり、このような中炭素鋼に対してはM-EMSだけでもかなり大きな効果が得られる。しかし、0.45% C鋼以上の高炭素鋼においては粒状の微細な等軸晶を得るのが困難となること、また、固液共存温度域が広がることにより、V偏析が生成し、M-EMSだけでは中心偏析の改善が十分に得られない。

この等軸晶域を広く確保した後に生じるV偏析の改善に対し凝固末期部での攪拌が行われており、V偏析を生成しやすい高炭素鋼の偏析改善に利用されている。Photo. 1に軸受鋼に適用された場合の macros 組織の改善結果を示す⁴²⁾。F-EMSは攪拌の時期がもつとも重要であり、V偏析の生成開始時期に合わせて行う必要がある。また、攪拌強度、攪拌時の溶鋼プール中の固相率にも最適条件があり、固相率は約0.2程度が最適であると考えられる⁴³⁾。また、このように固相率が高い残溶鋼を攪拌するためには通常の二次冷却帯の攪拌に比較しより強い攪拌強度が必要となる。このF-EMSによ

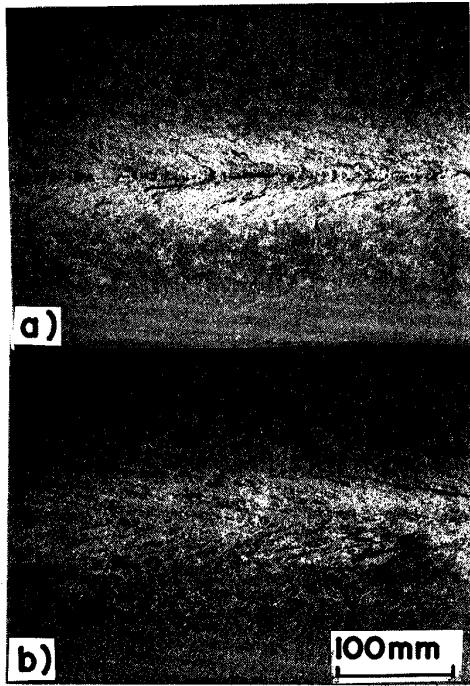


a) b) No optimum condition
a) Cross section
b) Longitudinal section
c) d) Optimum condition
c) Cross section
d) Longitudinal section

Photo. 1. Relation between F-EMS condition and macrostructure of cast blooms.

る中心偏析の改善は凝固末期部での溶鋼プール形状がV型からU型へ変化させられることによると見られ、濃化溶鋼の中心部への移動を生じにくくすると考えられる。

電磁攪拌を加えても等軸晶が得られにくい0.50% C付近の鋼や高炭素鋼の中心偏析のいつそうの改善を目指し、スラブ連鑄で効果が得られている凝固末期部での軽



a) No soft reduction b) Soft reduction

Photo. 2. Improvement of macrostructure by soft reduction at cast bloom.

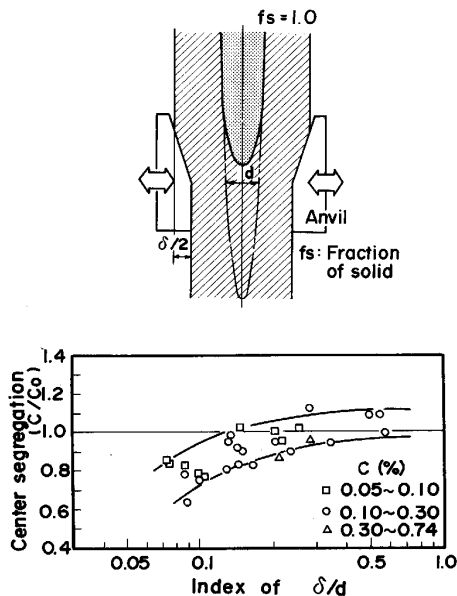


Fig. 8. Effect of continuous forging reduction on the improvement of center segregation.

圧下をブルーム連鑄に適用する試みがなされている⁴⁴⁾。Photo. 2 に神鋼・神戸3号ブルーム連鑄機で実施した軽圧下試験によるS48Cの改善結果を示す。中心偏析線が消滅しており、内部割れの発生も認められない。

さらに、より積極的に未凝固部を圧下し残溶鋼をクレーター上方に絞り出すため、凝固末期部に油圧駆動により連続的に鍛圧加工する試験も行われている⁴⁵⁾。Fig. 8 に鍛圧装置の概念図とテスト結果を示す。未凝固厚さ d に対し、十分な圧下量 δ で圧下することにより、中心部のポロシティ、偏析とも改善されると報告されている。

2.2 HCR 技術

1970年代の前半においては既存の均熱炉を利用した温片装入が主流であったが、1980年前後より建設された新鋭連鑄工場は、分塊工場のブルーム専用加熱炉との間を断熱性高速台車あるいはローラーテーブルで結ぶコンパクトなレイアウト設計がなされ、また、高速鑄造技術や緩冷却による鑄片の高温化が指向され、加熱炉の自動燃焼制御技術の発展もあつてHCRの効率は大幅に向上した。

Fig. 9⁴⁶⁾ はHCR率と加熱エネルギーの関係を示した例であるが、加熱炉装入温度を従来の300°C前後の温片レベルから800°C前後の熱片レベルとすることにより、 100×10^3 kcal/t以上の加熱エネルギー原単位の低減が可能となつている。

加熱炉へのHCRを全量、安定して実施するには、前述した鑄片品質の製造技術の確立が必要である。さらに、鑄込み段階から鑄片切断、搬出までの操業条件を自動的に取り込み、鑄片部位ごとの操業条件を完全にトラッキ

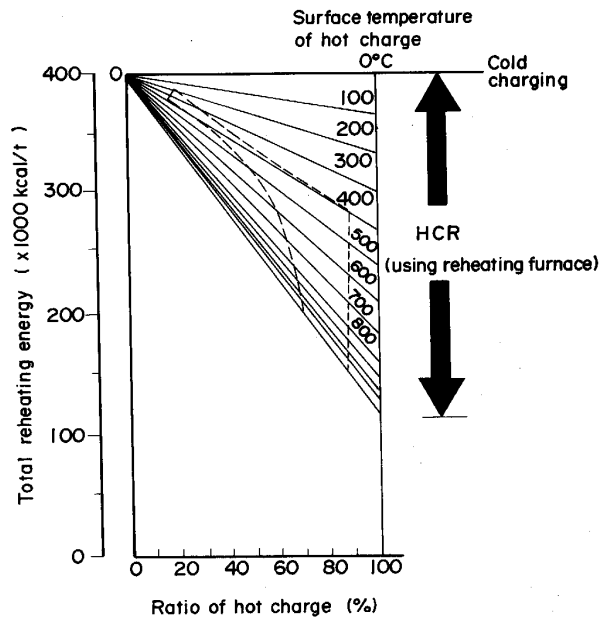


Fig. 9. Relationship between ratio of hot charge and total reheating energy.

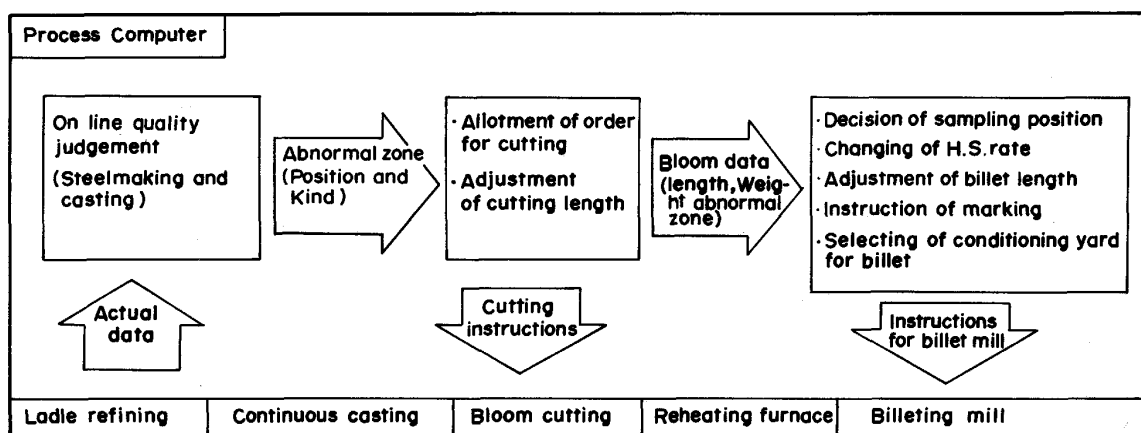


Fig. 10. Example of quality assurance system by process computer.

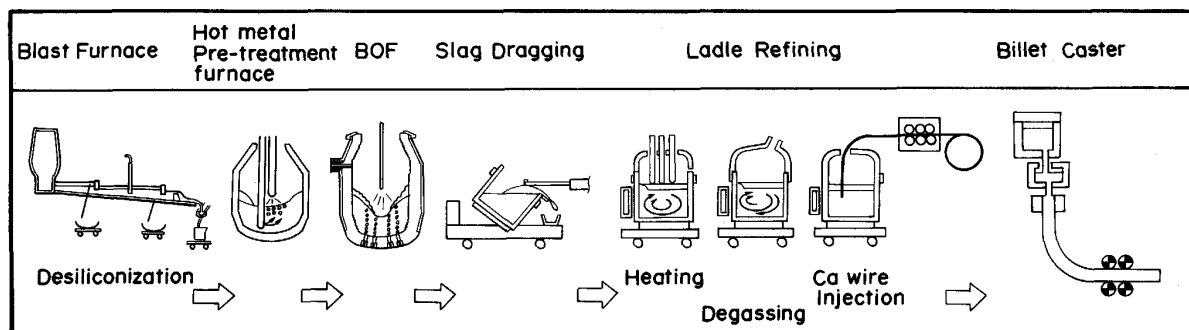


Fig. 11. Process flow of billet continuous casting.

ングすることによって製造段階での品質管理を行うコンピューターシステムが必要となる。このシステムにより、操業異常が発生した場合の鑄片部位を Fig. 10 に示すような異常材の処置フローにより、分塊での切断変更、異常部仕分け等を全自動にて行うことが可能であり、ユーザーへの品質保証を完全なものにすることができるようになっていく。

3. 条用特殊鋼へのビレット連鑄の適用

条用特殊鋼の中でもステンレス鋼については1978年頃からビレット連鑄が適用されてきた⁴⁷⁾。一方、品質要求の非常に厳しい自動車用部品を代表とする構造用炭素鋼、構造用低合金鋼では、品質上の問題からビレット連鑄の適用が難しかったが、前述したブルーム連鑄プロセスで開発された技術をさらに発展させることにより、1987年に神鋼・神戸において155fビレット連鑄プロセスが実現するに至った⁴⁸⁾⁴⁹⁾。このビレット連鑄プロセスでは、溶製から鑄造までの操業条件を厳密にコントロールする必要があり、これをいかに実施していくかが重要なポイントとなる。神鋼・神戸の製造プロセスフローを Fig. 11 に、また連鑄機の主仕様を Table 3 に示すが、以下にそれらの主要技術について述べる。

Table 3. Main specifications of billet caster.

Item	Specifications
Machine type	Curved-Curvilinear
Builder	Kobe Steel, Ltd.
Mold size	155 mm square
Number of strands	4
Interval of strand	1.5 m-1.5 m-1.5 m
Casting speed	Max. 2.4 m/min
Machine length	21.2 m
Radius	8 mR

3.1 ノズル閉塞の防止

Al キルド鋼を主体とする条用特殊鋼を小断面ビレット連鑄にて鑄造する際に問題となるのは、 Al_2O_3 系介在物によるタンディッシュノズル閉塞である。この防止策としてブルーム連鑄にて実施されているノズル内への Ar ガス吹込み方法があるが、ビレット連鑄のような小断面の場合鑄片表面および表層皮下のピンホール欠陥を誘発し、製品で微細な線状疵として残存するため品質保証上問題がある。したがって、溶鋼中の Al_2O_3 系介在物を徹底的に低減するか、あるいは Ca 処理により高融点の Al_2O_3 系介在物を $CaO-Al_2O_3$ 系の低融点介在物へと形態制御することが、ノズル閉塞防止の有効な手段であり、これらによって鑄造の安定化が可能となっている。

3.2 介在物欠陥の防止

ビレット連鑄は、小断面で高速鑄造であるため鑄型内

での介在物浮上分離が十分でない。そのため前段階での溶鋼の清浄化と再酸化防止等を徹底することが重要である。

溶鋼の清浄化は、加熱機能を持ち電磁攪拌にて溶鋼攪拌を行う取鍋精錬設備で行っているが、清浄化を図るための条件として、転炉スラグの除滓、取鍋精錬時のスラグ組成コントロールおよび介在物浮上分離のための電磁攪拌強度、攪拌時間の最適化等が挙げられる。このようにして溶鋼中の Al_2O_3 介在物を徹底的に少なくすることが清浄度を確保するための基本条件である。

一方、連铸段階においては、溶鋼の再酸化防止および TD 内での介在物浮上分離を図り、適正に処理した介在物組成を変化させることなく铸造しなければならない。とくに取鍋と TD 間のシールの徹底、TD パウダーによる大気との接触防止を図り、また TD と铸型間では内挿一体型浸漬ノズルにより空気の吸い込み防止とともに铸型内ではパウダーキャストイングの採用により大気との接触防止を実施することが必要である。

以上のような条件で製造した棒鋼成品での内部超音波探傷成績を Fig. 12 に示すが、既存のブルーム連铸材、造塊材と同等な成績となっている。

3.3 表面欠陥の防止

表面欠陥に関して問題となる表面疵は縦割れ、横割れおよびピンホールである。縦割れ、横割れの防止に対しては、浸漬ノズル、パウダーキャストイングを行う場合、铸型内の凝固シェルを均一にするためのパウダー物性の

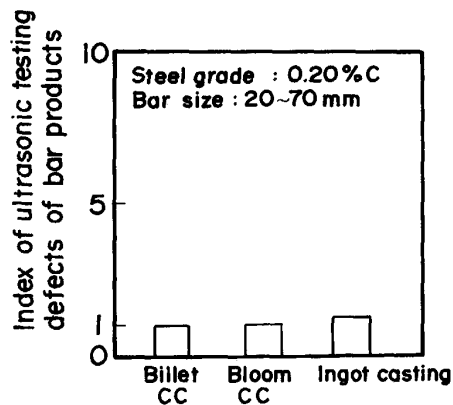
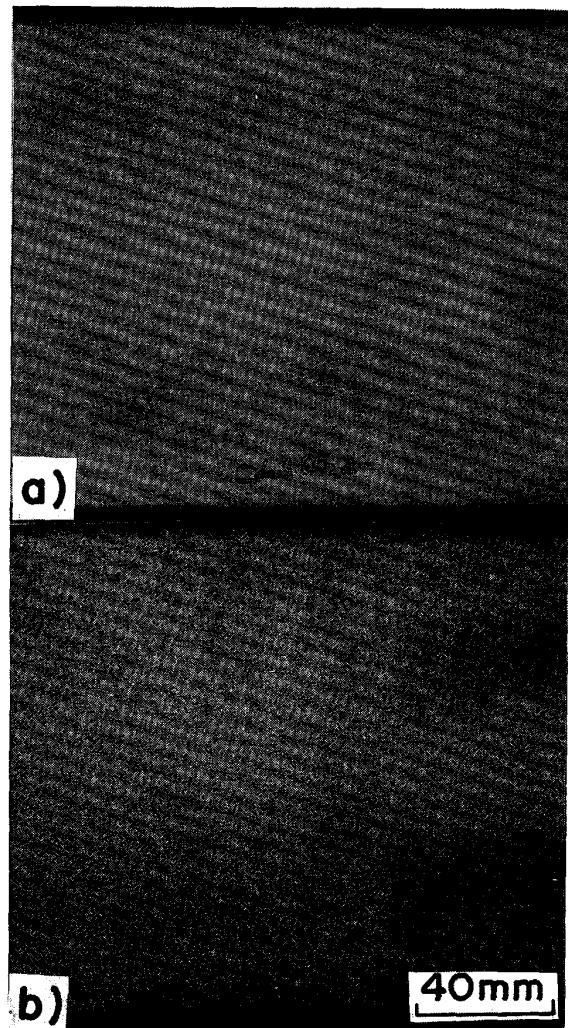


Fig. 12. Result of ultrasonic testing of bar products.

適正化を図つた上で、オッシレーションマーク深さを浅くする必要がある。そのため Fig. 13 に示すような精密な铸型内湯面レベル制御および Fig. 14 に示すようなオッシレーションマーク深さを $150\mu m$ 程度とする 7 Hz のハイサイクル-铸型振動を実施している。Photo. 3 に铸片酸洗後の表面性状を示すが、オッシレーションマークは非常に浅いものになっている。一方、ピンホール欠陥防止に対しては、内挿一体型ノズルの採用による



a) S 20 C, $V_c = 2.1\text{ m/min}$, $\Delta T = 35^\circ\text{C}$
 b) S 45 C, $V_c = 1.8\text{ m/min}$, $\Delta T = 25^\circ\text{C}$

Photo. 3. Surface of as cast billet after pickling.

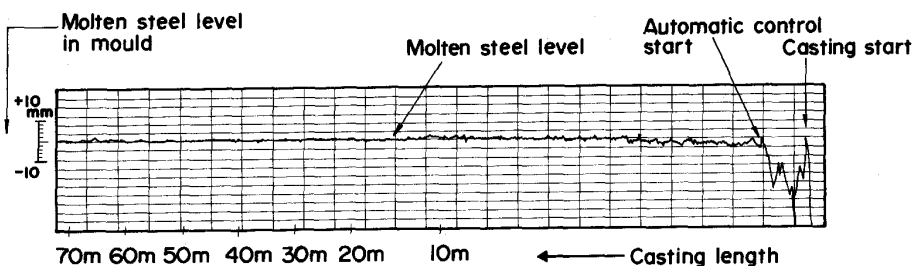


Fig. 13. Example of automatic level control in mould.

空気の吸い込み防止および M-EMS 適用による凝固シェルへのトラップ防止等を図ることが必要である。

以上の対策により、Fig. 15 に示すように、非常に良好な鑄片表面成績となつている。

3.4 中心偏析の軽減

中心偏析の軽減に関しては、適正な溶鋼過熱度 (ΔT) のもとで M + F-EMS の組み合わせ攪拌を実施している。特に F-EMS は鋼種に応じて最適位置が選択可能なように移動式を採用するなどの配慮も必要である。Photo. 4 に S 20 C と S 45 C の鑄片マクロ組織を示すが、良好な成績を得ている。

3.5 品質保証

小断面ピレット連鑄の品質保証に対しては、ブルーム連鑄と同様に製造段階での操業の安定化が基本条件となり、溶製から鑄造までのすべての段階において製造条件の精密なコントロール技術を確立しなければならない。

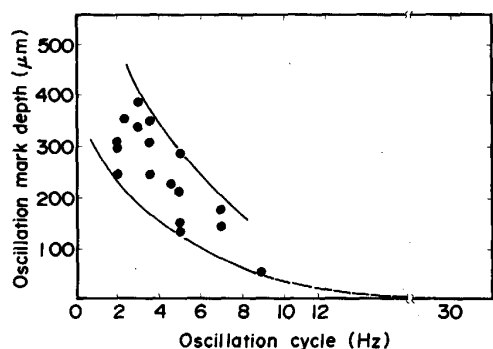


Fig. 14. Relation between oscillation mark depth and oscillation cycle.

またこれらの製造条件をコンピューターシステムにより常に監視し、もし異常が発生した場合でも、その部位を識別し除去できるシステムの構築が必要である。

4. 結 言

条用特殊鋼の連鑄技術につき主として 1980 年以降の技術動向を述べた。

ブルーム連鑄プロセスの基盤技術は今日、ほぼ完成の域に達しつつあるかに見えるが、今後の課題として

- ①より高度な要求品質への対応
- ②さらには無欠陥鑄片の製造技術の追求
- ③高付加価値品種の連鑄化推進

など、操業技術の改善の余地はいまだ少なくない。

最近ピレット連鑄による条用特殊鋼の製造プロセスが出現するに至つたが、今後は、品質の高度化への対応と

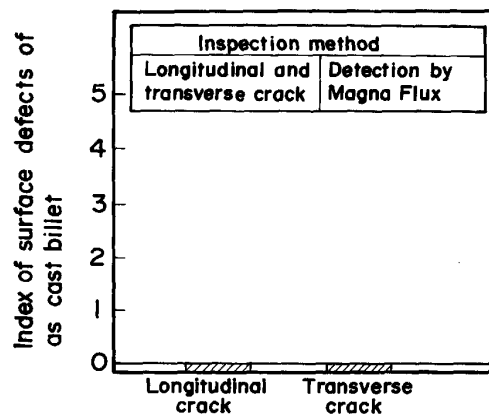
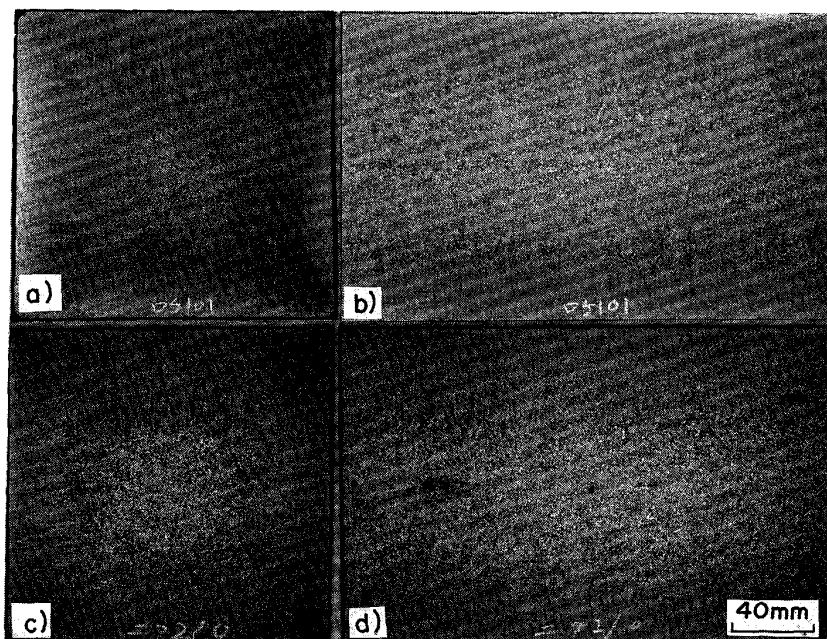


Fig. 15. Result of surface defects of as cast billet.



- a) b) S 20 C, $V_c = 2.1$ m/min,
 $\Delta T = 37^\circ\text{C}$, M+F-EMS
c) d) S 45 C, $V_c = 1.8$ m/min,
 $\Delta T = 25^\circ\text{C}$, M+F-EMS

Photo. 4. Macrostructure of as cast billet.

経済性の追求のバランスの中でおのおののプロセスが両立していくものと思われる。

文 献

- 1) 鉄鋼界報, No. 1393 (1986年7月)
- 2) 菅原英明, 吉井良昌, 菅原 健, 奥山 登: 鉄と鋼, **65** (1979), S 187
- 3) 飯田義治, 山本武美, 宮井直道, 江本寛治, 難波明彦: 鉄と鋼, **64** (1978), S 186
- 4) 阿部泰久, 村上雅昭, 荒木健次郎, 高橋利徳: 鉄と鋼, **64** (1978), S 187
- 5) 碓井 務, 今井寮一郎, 宮下芳雄, 石川 勝, 半明正之, 田口喜代美: 鉄と鋼, **64** (1978), S 637
- 6) 喜多村実, 川崎正蔵, 小山伸二, 伊東修三, 河合信也: 鉄と鋼, **65** (1979), S 662
- 7) 坂本克己, 山本泰五, 馬場恒二, 山本友完: 鉄と鋼, **65** (1979), S 191
- 8) 石黒守幸, 中島廣久, 山田俊郎, 佐野和夫, 安藤静吾: 鉄と鋼, **65** (1979), S 123
- 9) 大西稔泰, 柿原與志人, 塩沢武夫, 鈴木康夫, 横山秀樹, 年楨和義, 仁村嘉孝: 鉄と鋼, **65** (1979), S 657
- 10) 山本利樹, 常岡 聡, 桑原達朗, 河野拓夫, 麻生寿郎, 和氣 誠: 鉄と鋼, **67** (1981), S 173
- 11) 飯田義治, 児玉正範, 鈴木康治, 山崎順一郎, 前田瑞夫, 宮原一昭: 鉄と鋼, **64** (1978), S 657
- 12) 桜谷敏和, 江見俊彦, L. RINGSJO: 鉄と鋼, **65** (1979), S 165
- 13) 桜谷敏和, 江見俊彦, 児玉正範, 中井一吉, 森脇三郎, 越川隆雄, 今井卓雄: 鉄と鋼, **65** (1979), S 238
- 14) 宮原 忍, 武田州平, 鈴木幹雄, 内田繁孝, 山村 稔: 鉄と鋼, **65** (1979), S 240
- 15) 安元邦夫, 友野 宏, 浦 知, 人見康雄, 木村和成: 鉄と鋼, **65** (1979), S 168
- 16) 水上秀昭, 北川 融, 川和高穂, 村上勝彦: 鉄と鋼, **65** (1979), S 169
- 17) 喜多村実, 小島勢一, 大西稔泰, 成田貴一, 森 隆資: 鉄と鋼, **66** (1980), S 789
- 18) 成田貴一, 野崎輝彦, 森 隆資, 綾田研三, 大西稔泰, 鈴木康夫: 鉄と鋼, **66** (1980), S 791
- 19) 大西稔泰, 高木 弥, 江波戸紘一, 柿原與志人, 若杉 勇, 鈴木康夫, 森 隆資, 綾田研三: 鉄と鋼, **66** (1980), S 794
- 20) 大西稔泰, 高木 弥, 柿原與志人, 若杉 勇, 鈴木康夫, 森 隆資, 綾田研三: 鉄と鋼, **66** (1980), S 795
- 21) 宮脇芳治, 半明正之, 白谷勇介, 松田安弘, 小松喜美: 鉄と鋼, **70** (1984), p. 1697
- 22) 川崎正蔵, 石光国男, 蝦名 清, 三枝昌喜, 結城正秀, 花岡弘卓: 鉄と鋼, **73** (1987), S 886
- 23) 上杉年一: 鉄と鋼, **71** (1985), p. 1631
- 24) 大西稔泰, 高木 弥, 若杉 勇, 片桐行雄, 青木松秀, 小川兼広: 鉄と鋼, **68** (1982), S 866
- 25) 副島利行, 片岡国男, 藤本英明, 森 秀夫, 小川兼広, 三村 毅: 鉄と鋼, **72** (1986), S 1097
- 26) 副島利行, 小林潤吉, 河合健治, 金築宏治, 石倉俊之: 鉄と鋼, **73** (1987), S 279
- 27) 妙中隆之, 横井真一, 溝口良平, 伊藤 良, 原田 武, 藤井博務, 縫部 綴: 鉄と鋼, **72** (1986), S 259
- 28) 森 正晃, 伊東昭博, 小林 功, 長谷真二, 大崎眞宏: 鉄と鋼, **72** (1986), S 1020
- 29) 川崎正蔵, 神森章光, 鈴木康夫, 沢田耕造, 蔵本廣志: 鉄と鋼, **73** (1987), S 283
- 30) 喜多村実, 川崎正蔵, 松尾勝良, 小南孝教, 門田克夫, 柴田隆雄: 鉄と鋼, **68** (1982), S 225
- 31) 川崎守夫, 戸崎泰之, 山田和之, 笠井宣文, 佐藤 敦, 中島敬治: 鉄と鋼, **72** (1986), S 201
- 32) 高島 靖, 鈴木功夫, 野口三和人, 石山和雄, 堀江 隆, 前出弘文: 鉄と鋼, **73** (1987), S 252
- 33) 二川哲雄, 柏倉義光, 佐藤雄司, 斎藤 実, 楯野正雄, 川崎道夫: 鉄と鋼, **73** (1987), S 928
- 34) 尾上俊雄, 植村健一郎, 綾田研三, 小川兼広: 鉄と鋼, **73** (1987), A 231
- 35) 安中弘行, 藤本孝彦, 成田貴一, 鈴木康夫, 片桐行雄: 鉄と鋼, **68** (1982), A 165
- 36) 大西稔泰, 高木 弥, 河澄利彦, 尾上善則, 清水孝之, 北村 章: 鉄と鋼, **69** (1983), S 920
- 37) 安中弘行, 横幕俊典, 久米秀樹, 佐々木博史, 蝦名 清, 鈴木康夫: 鉄と鋼, **72** (1986), S 994
- 38) 宮崎 純, 森 隆資, 成田貴一, 大西稔泰: Proc. 2nd Process Tech. Conf., Chicago (1981), p. 35
- 39) 岩田 齐, 山田勝彦, 藤田照夫, 林 享三: 鉄と鋼, **61** (1975), p. 2972
- 40) 綾田研三, 森 隆資, 藤本孝彦, 大西稔泰, 若杉 勇: 鉄と鋼, **69** (1983), A 185
- 41) 喜多村実, 川崎正蔵, 松尾勝良, 朝永満男, 嶋津真一: 神戸製鋼技報, **33** (1983), p. 89
- 42) 大西稔泰, 塩乾 潔, 川崎正蔵, 奥島 敢, 鈴木康夫, 土井健司: 鉄と鋼, **73** (1987), S 513
- 43) 綾田研三, 藤本孝彦, 森 隆資: 神戸製鋼技報, **36** (1986), p. 53
- 44) 荻林成章, 内村光雄, 平居正純, 丸木保雄: 鉄と鋼, **73** (1987), S 207
- 45) 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), S 209
- 46) 鉄鋼界報, No. 1374 (1985年11月)
- 47) 山田桂三, 府川 仁, 渡部十四雄, 福田和郎: 鉄と鋼, **64** (1978), S 623
- 48) 川崎正蔵, 奥島 敢, 蝦名 清, 小南孝教, 尾上善則, 佐藤孝彦: 材料とプロセス, **1** (1988), p. 314
- 49) 川崎正蔵, 奥島 敢, 小南孝教, 菅原宏文, 尾上善則, 滝本豊志: 材料とプロセス, **1** (1988), p. 317