

技術資料

UDC 621.746.27.047 : 669.14-194.3

高合金鋼の連続铸造\*

星 記 男\*\*・青山 芳 正\*\*\*

Continuous Casting of High Alloy Steels

Fumio HOSHI and Yoshimasa AOYAMA

1. はじめに

鋼の連続铸造が工業化されてから、もう 20 年にもなるうとしているが、ステンレス鋼を主体とする高合金鋼の連続铸造もその歴史は古く、連続铸造の工業化はむしろステンレス鋼に始まるとさえいえることができよう<sup>1)~5)</sup>。これはまだ連続铸造が少量生産設備と考えられていた時代に、当時のステンレス鋼の製造規模に合致したこと、高価な鋼であり連続铸造による歩留向上によつて著しいメリットが期待できたこと、市場の主流であるオーステナイト系ステンレス鋼は過酷な冷却に耐え、比較的連続铸造しやすいことなどによるものであつた。

高合金鋼の連続铸造技術の発達は、他の鋼種と同じく、多くの経験に基づくノウハウの蓄積および設備改良の集積によるものであるが、この分野ではとくに欧州の

Böhler および SCHOELLER-BLECKMANN<sup>6)~13)</sup>、北米の Atlas Steel<sup>14)~30)</sup>、日本の新日本製鉄<sup>31)~44)</sup>、の研究と経験およびその成功が大規模な工業化への原動力になつたといえよう。

現在世界における高合金鋼の連続铸造設備は 40 基を超え、とくに日本におけるステンレス鋼の連続铸造は著しく、すでに全生産量の 50% を超えている。さらに加圧铸造によるものを合わせ考えると、日本におけるステンレス鋼スラブの製造方式は、従来の普通造塊-分塊方式から脱皮したといえよう。

2. 現 況

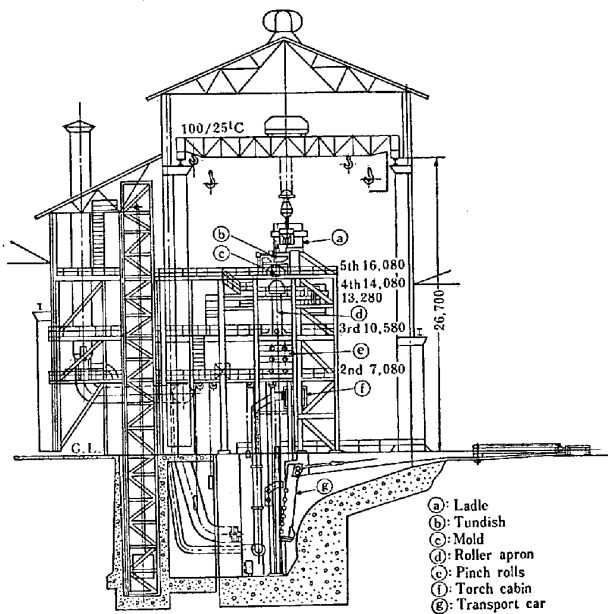
2.1 世界の現況

世界における高合金鋼の铸造設備については十分な資料がないので、その全貌は明らかでないが、表 1 からいくつかの特徴を拾つてみる。

(1) 鋼種としてはステンレス鋼が多いが、一部では耐熱鋼、高速度鋼、合金工具鋼、電熱材および超合金に至るほとんどの鋼種が铸造されている。このうちステンレス鋼はオーステナイト系、フェライト系、マルテンサイト系のほとんど全範囲にわたっているが、Sus 304 に代表されるオーステナイト系が多く、ソ連では Ti 安定化オーステナイト系も多いようである。SUS 200 シリーズの Cr-Ni-Mn 系、および SUS600 シリーズの析出硬化型高温高強度用合金系、快削鋼系統の铸造は行なわれていないようである。

(2) おもなステンレス鋼生産国はほとんど網羅されているが、西独には高合金鋼主体の設備が見当たらない。設置数が多いのは日本と米国である。

(3) 铸片断面別に見ると、ブルーム・ビレット型と



(新日本製鉄・光製鉄所)

図 1 広幅スラブ用連続铸造設備<sup>39)</sup>

\* 昭和49年 1 月 5 日受付

\*\* 日新製鋼(株)周南製鋼所

\*\*\* 日新製鋼(株)技術開発部

表 1 世界における高合金鋼の連続鑄造<sup>1)4)180)</sup>

Nation	Company	Location	Start up dates	Numbers of strands	Type of steel making furnaces	Ladle capacity (Tons)	Shapes and sizes cast m/m	Designer	Type of mold	Steel alloys cast
Austria	BOEHLER BROTHERS Ltd.	Kapfenberg	1948/1952	2	EF	10	100~220φ 90~140□ 175×50~ 1 000×165	Oesig Boehler	V	C, HA, HS, S
			1964	1	EF	10	—	Demag	Low	C, A, S
"	SCHOELLER BLECKMANN STAHLWERKE AG.	Ternitz	1957	1	EF	18	100, 165, 205□ 180×500	Concast	V	C, A, T, S
Czechoslovakia	NATIONAL CORPORATION OF THE UNITED STEEL WORKS SONP	Klando	1969	3	FF	40	120□ 300×220	Olsson	V	C, HA S
Canada	ATLAS STEEL Co. Ltd.	Tracy (Quebec) Welland (Ontario)	1964	1	EF	60	1 270, 1 065, 990×125	Concast	C	S
			1954	1 or 2	EF	50, 25, 12	140~215□ 520×165	Koppers	V	S, HA, SS
England	BRITISH STEEL Co.	Panteg Works Griffithstown  Barrow-in-Furnace	1962	1	EF	15 35	865×115 1 525×150	Concast Mesta	V	S exp.
			1952/1958	2	EF	8	50, 100□ 150×75 180×75	Concast (Rossi)	V	C, S, LA
			1961	2	EF	20	50, 100, 150□ 105×50	Concast	Re-cipro Casting	
"	ROUND OAK STEEL Co.	Brierley Hill	1963	1	EF	5	100, 140 154, 200φ	Concast	V	S exp.
"	LOW MOOR ALLOY STEEL WORKS	Badford	1946	1	—	2.5	140φ 85~125□	Low Moor	V	S
"	RICHARD THOMAS & BOLDWIN Ltd.	—	1962	1	—	18	115×865, 115×965, 105×1 050, 125×1 520, 150×1 270	Concast	V	C, S exp.
France	CAFL-CIE, DES ATELIERS ET FORGES DE LA LOIRE	Unieux	1953	1 or 2	EF	1.5	50×85 105×80 OVAL 80×60 75□	Junghans	V	exp. HS, HA, S
			1968	1	—	—	127×1 290	Hazelett	H	S
Finland	OY VUOKSEN-NISKA, AB	Imatra	1965	3	EF	40	100□	Concast	C	C, S
Italy	TERNI-SOCIETA PER L'ELETTRICITA	Terni	1958/1967	8 2	EF OH	30 80	110, 140□ Slab	Demag USSR	V V	S Si
			1968	1	EF	3	80□ 80×130	Danieli	—	S
"	SOCIETA PER L'INDUSTRIA L'ELETTRICITA		1968	2	EF	80 40	145×500 145×950~ 1 100 145×1 300	USSR	V	C, A, S
Japan	NIPPON STEEL Co.	Hikari	1960	1	EF	60, 50	Max 1 300×120	Concast	V	S, LA
			1968	1	EF	60, 50	80, 250□	Concast	V	S, LA

"	NIPPON METAL INDUSTRIES Co. Ltd.	Kinuura	1972	1	EF	80	960, 1 045 1 270×130 1 270, 1 585 ×165	Concast	C	S
		Sagamihara	1969	1	EF	60	960, 1 300 ×130	Olsson	V	S
"	NIPPON YAKIN KOGYO Co. Ltd.	Kawasaki	1965	1	EF	60, 30	Max 1 270×140 Max 1 600×142	Concast	V	S
			1970	1				Concast	V	S
"	SUMITOMO METAL INDUSTRIES Ltd.	Wakayama	1969	1	EF	50~100	800~1 300 ×115/180	Concast	V	S
"	NISSHIN STEEL Co. Ltd.	Shunan	1970	1	BOF	40	850~1 300 ×130/155	Demag	C	S
"	PACIFIC METALS Co. Ltd.	Hachinohe	1964	1 or 2	EF	15	115□ 150×750	Demag	C	C, S
Norway	STAVANGER STAAL AS.	Jørpeland	1959	1	EF	12	165□	Concast	V	S, C
Poland	BAILDON STEEL WORKS	Katowice	1962	1	EF	1.5	100□	—	V	HA, C, exp.
Spain	UNION CERRAJERA S. A	Vergara	1965	2	EF	25	130×420 150□	Olsson	V	C, S
Sweden	NYBY BRUK AB.	Haimstad	1954	1	EF	15	65×250	Concast	V	S
"	STORAKOP-PARBERGS AB. DOMNARFVERTS JERNVERK	Domnarvet	1966	1	EF×2 Kaldo ×2	100	1 300×180, 1 600 ×150/225 1 700 ×140/300	Concast	C	S
"	GRÄNGESBERGSGSOLEGET OXELÖSUNDS JÄRNVERK	Oxelösund	1967	2	Kaldo	140	900~1 550 ×150/250	Concast	C	S, C, LA
United States of America	REPUBLIC STEEL	Canton (Ohio)	1969	2	EF	200	153~306□ 103~153× 635~1 270	Babcock & Wilcox "	V	S A, C, S
			1969	4					V	
"	ARMCO STEELS	Butler (Pa.)	(1966) 1970	(1) 2	(EF) EF	(70) 165	(152×660~ 1 280) 203×660~ 1 370	(Demag) Demag	(C) C	(S) Si, LC, S
"	COLT INDUSTRIES CRUCIBLE INC.	Midland (Pa.)	1969	2	BOF 2 EF 5 VAC 11	100	152×1 270 203×635	Demag	C	C, S A
"	ETIWANDA STEEL PRODUCERS INC.	Etiwanda (Calif.)	1967	2	EF	14	89~115□	United Engineering	V	S, C

"	M CLOUTH STEEL	Trenton (Mich.)	1964	1	EF×2 BOF×5	60	139×1 270, 245×1 680, 203×915 202~304× 915×1 525	Concast	V-B	C, A, S
			1968	4		110		Concast	C	
"	PHOENIX STEEL	Claymont (Del.)	1968	2	EF	150	152×1 520, 254×1 520, 305×2 020	Concast	C	C, A, S
USSR	GORKY IRON AND STEEL WORKS	—	1963	2	EF OH	16.5 55	150×400 180×500	USSR	V	C, A, S
"	"RED OCTO- BER" STEEL WORKS	Gorky	1960	4	EF	12	175×300 150×500	USSR	V	S
			1959	2	—	—	185×800 175×600	USSR	V	S

Note : C 炭素鋼, HS 高速度鋼, Si 珪素鋼, LC 低炭素鋼, HA 高合金鋼, S ステンレス鋼  
LA 低合金鋼, T 工具鋼, SS 特殊鋼, A 合金鋼

スラブ型とがほぼ相半ばし、断面寸法は普通鋼に比べて小さい。

(4) 型式としては垂直型が多いが、垂直曲げ型、湾曲型もあり、湾曲型は比較的最近設備されたものが多い。また水平型も見られる。

## 2.2 日本の現況

高合金鋼の分野でもつとも連続鋳造化が進んでいるのは日本ではなかろうか。これは設備数についても生産量についても操業技術についてもいえるように思う。

表2はとくに本資料のために、国内の関連各社からいただいたアンケート結果によるもので、その特徴は次のごとくである。

(1) 鋼種の範囲は海外とほぼ同じであるが、SUS200シリーズのCr-Ni-Mn系、SやCuを含むステンレス鋼の鋳造も行なわれている。ただしステンレス鋼以外は少ない。

(2) ステンレス鋼の連鋳化比率は大きく、およそ55%と推定され、加圧鋳造分を加えると60%に達すると思われる。

(3) 設備数は10基で、その内訳はスラブ7基、ピレット2基、兼用1基で、スラブ型が多い。ほとんどがステンレス鋼鋳造の専用機である。

(4) 型式としては垂直型が多いが、最近設置されたものはいずれも湾曲型であり、ステンレス鋼の鋳造に対しても、湾曲型が十分適用できることを示している。

(5) 溶解はすべて電炉で行なわれているが、精錬はVOD, AOD, 通常法など種々の方法で行なわれていること、なんらかの脱ガス装置を備えているところが多いこと、取鍋にすべてスライディングノズルを使っている

こと、取鍋・タンディッシュ間およびタンディッシュ・鋳型間の雰囲気調節を行なっているなどの特徴が見られる。

## 3. 高合金鋼の特性

設備、操業の詳細に入る前に、まず本資料ではどの範囲の鋼種を対象にしたか、またこれら高合金鋼の諸性質のうち連続鋳造に関係のある特性について若干触れておきたい。

### 3.1 高合金鋼の範囲

JIS規格にはとくに高合金鋼という定めはなく、また各国の規格でも必ずしも、その定義は一定していない<sup>45)46)</sup>。そこで本資料では「合金の総含有量が5%以上である鋼」を対象とし<sup>47)</sup>、その他に電熱材料およびある種の超合金をも含めたが<sup>48)</sup>、珪素鋼は除外した。しかし実際に鋳造されている量はステンレス鋼が圧倒的に多いので、記述もステンレス鋼に偏らざるをえなかつた。

### 3.2 鋼の特性

通常の鋼塊製造法に比べて鋳型断面が小さく、一次および二次冷却水によつて急冷される連続鋳造法は、鋼の溶融時、凝固中、凝固後の諸特性による影響を受けやすい。これらは必ずしも十分明確にはなっていないが、以下その若干について述べておこう。

#### 3.2.1 溶鋼の特性

溶鋼の特性については、溶鋼の酸素量、脱酸、酸化されやすさ、粘性、流動性、表面張力、比熱、比重、液相線および固相線の温度、両者に挟まれる温度範囲すなわち固液温度範囲、溶融潜熱およびこれらに対する成分元素、過熱の影響などが重要な因子となる<sup>49)50)</sup>。これらは

表 2 日本における高合金鋼の連続鑄造 (各社の御好意によるアンケート調査結果より作成)

製鋼設備	製鋼法	神戸製鋼(岩屋工場)	新日本製鉄(光製鉄所)	日本冶金(川崎工場)	太平洋金属(入戸工場)	住友金属(和歌山製鉄所)	日本金属工業		日新製鋼(周南製鋼所)	大同製鋼(渋川工場)	三菱重工(広島造船所)	川崎製鉄(西宮工場)
							相模原製造所	衣浦製造所				
製鋼設備	高周波誘導炉	高周波誘導炉	EF	EF, Elo-Vac	EF, EF-VD	EF	EF-AOD	EF-LD-Vac	EF	EF	EF	EF, EF-LRF
製鋼炉基数	—	EF 2	EF 60t×2, 20t×1, Elo-Vac 1	EF 1, ASEA-SKF 1	EF 1	EF 50t×1, 80t×1	EF 2, AOD 1	EF 4, LD 2, VD 2	EF 2, 取鍋脱ガス 1	—	—	EF 2, LRF 1, VD 1
容量(炉/取鍋)	0.5t / 0.5t	50t, 60t	60t / 30t / 30t	20t / 20t	50t / 50t, 80t / 80t	50t / 50t, 80t / 80t	70t / 80t	45t / 45t	15t / 15t	7t / 7t	40t / 40t	1968.12
稼動開始	1959	1960.12	1965.3	1964.2	1969.1	1969.1	1972.3	1971.2	1972.3	1965.9	1968.12	1968.12
機数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ストランド数	1	1 (スラブ)	1 (スラブ)	2(ピレット) 1(スラブ) 兼用	1 (スラブ)	1 (スラブ)	1 (スラブ)	1 (スラブ)	1 (ピレット)	1	4 (スラブ, 型数)	4 (スラブ, 型数)
型式高さ/長さ m	垂直型	垂直型 11.4/23.4	垂直型 16.0/30.5	垂直型 13/22	垂直型 32.2/32.2	垂直型 11.5/24.1	彎曲型 11.4/26.1	円弧マルチロール型 10.9/33.5	円弧型 10.35/23.81	垂直曲げ, 垂直など各種	垂直型	タンク移動 鑄型固定
設計	神戸製鋼	Concast	Concast	Demag	Concast	Olsson	Concast	DST	DST	Olsson	Amsted & UE	UE & IHI
製作	神戸製鋼	住友重工	住友重工	Demag	住友重工	三菱重工	住友重工	日立造船	日立造船	三菱重工	三菱重工	UE & IHI
鑄型型式	垂直型	垂直型	垂直型	垂直型	垂直幅可変型	垂直幅可変型	垂直幅可変型	垂直幅可変型	円弧組立型	垂直型	垂直型	黒鉛組立式
鑄片寸法	厚さ mm	80	145	150	156	130	130	130, 155	110 165φ	max 220	120	100~200
	幅 mm	165φ, 110φ, 150	950~1300	750	955, 1040	950~1280	960, 1270, 1270, 1585	800~1300	150×230, 230×320	φ 420	420	610~1300
	長さ mm	3000, 5000	4000~8500	—	4000~9800	4000~7000	4100, 9200	4500~10000	—	—	—	4100~6150
二次冷却, 長さ	800 mm, スプレー水	4.5m, スプレー水	スプレー水	10m, スプレー水	7.3m, スプレー水	6.43m, スプレー水	5.9m, スプレー水	12m, スプレー水	7.5m	スプレー水	—	—
鑄片切断法	—	パウダー, プロパンガス	パウダー, プロパンガス	パウダー, プロパンガス	パウダー, プロパンガス	パウダー, プロパンガス	パウダー, プロパンガス	パウダー, プロパンガス	パウダー, プロパンガス	パウダー, プロパンガス	—	押湯パウダー, カット, プロパンガス
批取方法	グラインダー	グラインダー	グラインダー	グラインダー	プレーナー, グラインダー	プレーナー, グラインダー	グラインダー	グラインダー	グラインダー	グラインダー	—	グラインダー

能	引抜速度 m/分	0.3~1.5	0.2~1.5	0.2~2.0	0.2~1.4	0.1~5.0	0~2.0	0.3~1.5	max 2.0	0.2~2.0	0.3~3.5	—	
	標準鑄造速度 m/分	0.6~1.4	0.8~1.1	0.8~1.3	0.7~1.2	1.2 2.0	0.5~1.0	0.6~1.0	0.6~1.4	0.7~1.3	0.5~2.5	—	
力	t/時/ストランド	—	33~72	10~30	50~90	12 15	35~70	35~80	35~100	35~90	10~20	—	
	標準能力 t/月	—	10 000	4 500	17 260	4 000	9 000	10 000	—	12 000	3 000	3 500	
連	実績最高 t/月	—	11 200	3 500	18 250	3 000	—	12 000	—	16 800	1 400	5 500	
	ステンレス鋼 %	試験鑄造	70%	20%	ステンレス鋼	ステンレス鋼 80%	ステンレス鋼 100%	ステンレス鋼 93%	ステンレス鋼 100%	ステンレス鋼 65%	ステンレス鋼 50%	ステンレス鋼 25%	
造	その他の高合金鋼 %	—	—	—	—	その他 0%	その他 0%	その他 0%	—	その他 0%	その他 2%	試験製造	
	JIS, AISI などの規格鋼種	SUS304, 304L, 316, 316L, 310, S, 410, 430, 434A (AISI B160-61工業用純 Ni)	SUS201, 202, 301, 302, 304, 305, 316, 321, 410, 430	SUS410, 430, 302, 304, 305, 308, 316	SUS 301, 302, 304, 316, 321, 430	SUS301, 302, 304, 305, 308, 309S, 310 S, 316, 321, 410, 420, 430	SUS302, 304, 316, 321, 430, 410	SUS301, 304, 304L, 316, 316L, 321, 347, 430	SUS301, 304, 304L, 316, 316L, 321, 347, 430	SUS301, 302, 304, 316, 321, 403, 410, 420 J1, 430	SUS302, 303, 304, 305, 316, 403, 410, 420 J1, 420 J2, 430, 430B, 440C	SUS304, 316, 410, 430	試験製造
鋼	その他 (社内規格) の鋼種	—	YUS 120 (9Mn-16Cr-2Ni) YUS 270 (17Cr-6Ni-2Cu)	—	—	—	—	NTK 304S (C≤0.06) NTK 316S (C≤0.06) NTK 316T (Ti≥5×C) NTK R-4	—	NSS 21-1 (11CrTi) NSS 24-5 (0.3C) (16Cr) NHS 104 (11Mn) (15Cr)	DSR 10U (0.04C, 13.5Cr), DSNO SU (0.04C, 12.5Ni, 17.5Cr), DSNO 3FA (0.6C, 9.3Ni, 17.5Cr, 0.275S)	—	—
	取鍋注入方式	—	スライディング	スライディングノズル	スライディングノズル	スライディングノズル	スライディングノズル	スライディングノズル	スライディング	スライディングノズル	スライディングノズル	—	スライディングノズル
種	取鍋・タンディッシュ間	—	浸漬チューブ	—	ガスシール浸漬チューブオーブン	オーブン	ガスシール	浸漬チューブ	—	ガスシール	オーブン, 浸漬ノズル, ガスシールを鋼種によって使い分けている	—	Ar パージ
	標準容量 t	—	1.2	1.5	5	1	3.4	4	6	6	1.5	—	—
タ	人工スラグ, ガスシール	—	ガスシール	ガスシール	ガスシール	—	—	—	—	—	—	—	—



(1) 膨 脹 SUS631(17-7 pH) など若干の例を除けば温度に対する熱膨脹率の勾配は変わらないが、その絶対値そのものは鋼種によつてかなり差がある<sup>58)59)</sup>。

SUS 430, SUS 410 では  $400^{\circ}\text{C}$  で  $11.0 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ,  $1300^{\circ}\text{C}$  で  $14.5 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  程度であるのに対して, SUS 304 では  $400^{\circ}\text{C}$  で  $17.5 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ,  $1300^{\circ}\text{C}$  で  $20.0 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  程度で, かなりの差がある<sup>58)</sup>. SUS 430, 410 の方が炭素鋼に近い。

(2) 比 熱 変態に伴う比熱の変化は炭素鋼に比べて, SUS 304 では遙かに小さく, 連続鑄造しやすい原因の一つになっている。SUS 430, 410 では変化は小さいが, SUS 304 よりも炭素鋼に近い。

(3) 熱伝導度 一般にステンレス鋼の熱伝導度は炭素鋼に比べて著しく小さいが, その差は高温域の方が小さい<sup>58)59)</sup>。またSUS 430, 410 よりも SUS 304 の方が熱伝導度は低い。ただし凝固との関係では, 熱伝導率よりもむしろ温度伝導率で考えるべきだという指摘もある<sup>61)</sup>。

(4) 機械的性質 この特性については低温部から圧延温度付近までは測定値があるが, 連続鑄造にもつとも必要な圧延温度から固相線温度までの高温域における測定値はほとんどない。一例によると, SUS 304 と延性が比較的よい 0.25% C 鋼とを比較すると, 図 2 のように, 凝固し始めてから延性が始まるまでの温度差は SUS 304 の方が小さく, かつ溶融点近くの温度範囲での引張強さは SUS 304 の方が大きい。

またSUS 430は液相線および固相線温度がSUS 304 より高いにもかかわらず,  $1300^{\circ}\text{C}$  における引張り強さ(連続鑄片の柱状晶方向)はSUS 304 の  $1.23 \text{ kg/mm}^2$  に対して,  $1/5$  程度の  $0.25 \text{ kg/mm}^2$  にすぎない<sup>63)</sup>。さらにまたSUS 304 の延性は  $1300^{\circ}\text{C}$  より低温側の温度変化に対しても鈍感であるが, SUS 430 の延性は 2 相組織を示す温度領域では著しく低下することが知られている<sup>60)67)</sup>。

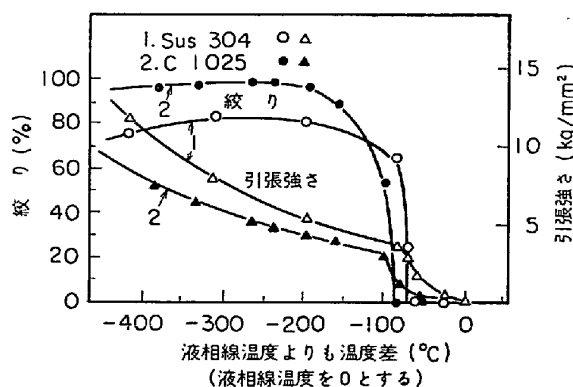


図 2 液相線温度付近の高温特性<sup>62)</sup>

SUS 410 のこれらの特性は SUS 430 よりも良好であるが, 室温ではマルテンサイト変態によつて脆化している。この鋼種は比較的 C の高い炭素鋼に似ている。

以上の特性からステンレス鋼の連続鑄造については次のように考えられる。SUS 304 に代表されるオーステナイト系は炭素鋼に比べて割れが出にくいこと, 熱伝導が悪く熱膨張が大きいので, SUS 430, 410 に比べて凹みが生じやすいことが推論される。SUS 430 に代表されるフェライト系は割れやすい<sup>13)42)64)65)</sup>。この鋼は高温強度が小さいので, 急冷による歪, 凝固殻の不均一さに基づく歪, 溶鋼の静圧による歪みなどによつて, 鑄型内で未発達薄い凝固殻が破断して表面割れになるものと考えられている。この場合, 二次冷却が不均一であると, 冷却による歪と 2 相組織を示す温度範囲での脆化とによつて, 生成された割れは拡大する。鑄片断面内に不規則に現われる内部割れは, 溶鋼の静圧による凝固殻のバルジング, 凝固殻の不均一さによる歪に対して, SUS 430 固有の低い高温強度が耐ええなかつたことを示すものである。割れの点を別にすれば, スラブの形状, 凹みなどの点では, SUS 304 よりも美しい鑄片が得られる<sup>67)</sup>。割れのあるこの鋼種の鑄片は手入れが難しい。とくに鑄型の潤滑油を使うオイルキャストリングでは, 鑄片表面に浸炭が起こり衝撃値が低下しているため, グラインダーによるヒートクラックが出やすい<sup>35)59)60)65)</sup>。SUS 410 に代表されるマルテンサイト系は SUS 430 に近いが, マルテンサイト変態による残留歪もあつて, 室温での取り扱いにはいつそうの注意が必要であるが, SUS 410 そのものはそれほど問題ではない。

熱間圧延時の変形抵抗はステンレス鋼, とくにオーステナイト系では普通鋼に比べて大きいことがよく知られている<sup>66)</sup>。このため鑄片の大きさが制約され, 浸漬ノズルを用いるパウダーキャストリングを難しいものになっている。

### 3.2.3 凝固上の特性

連続鑄造の特徴は冷却速度にあるが, 高合金鋼分野では合金元素を多量に含むので, 炭素鋼や低合金鋼とは自から異なつた特徴がある。従来凝固現象については, 定性的には把握されていたが, 鋼種あるいは冷却速度によつて鑄造組織がどのように変わるかという点についての定量的な取り扱いはほとんどなかつた<sup>61)</sup>。最近になつて鑄造組織のミクロ的な観察と測定とによつて, 凝固組織とその生成条件がかなり明らかになつてきた<sup>70)~75)</sup>。

鑄片のミクロおよびマクロ偏析は多くの高合金鋼の鑄造に対して非常に重要であること, ある鋼種では鑄片組織を等軸晶にすることによつて熱間加工性が向上するこ



と、オーステナイトステンレス鋼鑄片の $\delta$ フェライトは熱間加工性を低下させることなどはよく知られている現象である<sup>(61)(67)(68)(73)(75)</sup>。その若干の特性について述べれば次のごとくである。

(1) マクロ組織と偏析 SUS 430 などの Cr 系よりも SUS 304 などの Cr-Ni 系の方が柱状晶が生成しやすいことはよく知られている<sup>(76)(77)</sup>。この傾向は鋼塊材でも連鑄材でも、加圧鑄造材でも同じで<sup>(40)(56)(78)(79)</sup>、柱状晶組織は凝固進行面の先端で核生成が起こらないような臨界過冷によつて生じ<sup>(61)(67)</sup>、等軸晶組織は柱状晶の成長を停めるに足る十分な核生成あるいは結晶の増殖などが必要であるとされている<sup>(74)(80)</sup>。したがつて柱状晶の等軸晶化、微細化を計る方法としては、人工核の添加、鑄型あるいは溶鋼の振動、機械的な攪拌、超音波振動攪拌、電磁攪拌、低い鑄造温度、成分の調整などがあり<sup>(40)(61)(67)(68)(81)~(93)</sup>、そのうち若干は高合金鋼の分野でも使われている。オーステナイト系ステンレス鋼の電磁攪拌を用いた例によると、鑄片の加工性を向上させ、鑄片の割れが減少するので強い冷却が可能となり、高速鑄造ができるようになることと報告されている<sup>(75)(93)</sup>。マクロ偏析は溶質の移動によるものと考えられるが<sup>(69)</sup>、ステンレス鋼の連鑄片は均質で、マクロ偏析はほとんどなく<sup>(20)(38)(56)(65)(84)(94)</sup>、塊塊材に比べて良好である<sup>(7)(9)(24)(31)(40)(68)</sup>。

(2) ミクロ組織と偏析 高合金鋼の場合にも、ミクロ組織の観察、測定によつて凝固条件を知ることができる<sup>(71)(95)</sup>。樹枝状晶の2次アーム間隔の測定によつて冷却速度を知ることができるが、この2次アーム間隔はオーステナイト鋼では Ni, Cr 量の影響を受け<sup>(96)(97)</sup>、高 Cr 鋼では Cr 量の影響を受け、鋼種による差が認められる<sup>(95)</sup>。しかし、これらの溶質元素の影響が完全に解明さ

れるまでには至っていない。樹枝状晶は固液共存域に保持される時間が長いと、2次アーム間隔は大きくなり<sup>(71)</sup>、溶質元素のミクロ偏析は大となる<sup>(80)</sup>。なお、オーステナイトステンレス鋼の熱間加工性は $\delta$ フェライトの量と形態によつて変わるが、連鑄片の $\delta$ フェライトは量としてはやや多いが、形としては比較的小さい。連鑄片を加熱した場合の $\delta$ フェライトの減少速度は同じ断面の鋼塊材よりも早い、これは $\delta$ フェライトの厚みが薄く、マトリックスへ溶けこみやすいと推論されている<sup>(37)(40)</sup>。また柱状 dendrait の主軸は熱流の方向に平行で、反対の方向に進行するので<sup>(74)</sup>、成長方向を観察すれば、冷却過程における熱流の方向、融体の流れの方向を知ることができる。連続鑄造の進歩には、これらの現象のいつそうの解明が必要であらう。

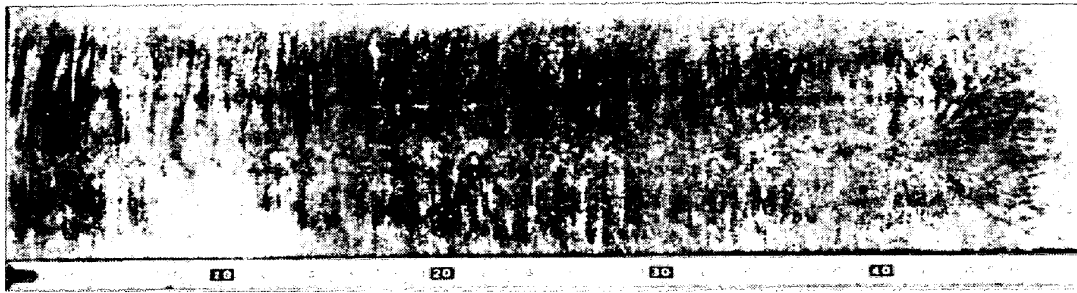
(3) 凝固速度 連鑄片の凝固速度は鋼塊に比べて著しく大きい<sup>(78)(95)</sup>。加圧鑄造の凝固速度は黒鉛鑄型に塗布するアルミナの厚さによつて変化するが、一般には鋼塊よりも遅い<sup>(71)</sup>。また連続鑄造でよく使われる凝固定数  $k$  の値を高合金鋼、低合金鋼、炭素鋼について比較すると、表3のごとく高合金鋼の方が小さい<sup>(96)(97)</sup>。しかし、 $k$  が大きくても必ずしも高速鑄造が可能なのではなく、鋼の高温強度、生成凝固殻の均一性などによつても変わる<sup>(97)</sup>。固液温度範囲の広い Mo 入りあるいは高 Ni オーステナイト鋼では完全凝固部の生長はかなり遅い<sup>(78)</sup>。

#### 4. 設 備

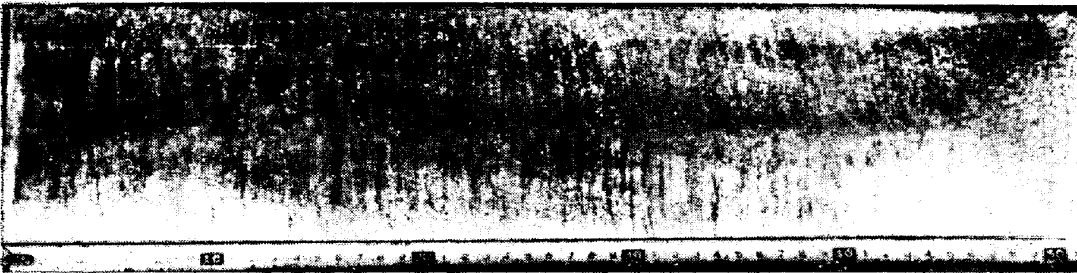
高合金鋼用の設備も基本的には炭素鋼、低合金鋼のものほとんど変わるところはない<sup>(15)(25)(26)(39)(65)(98)~(100)</sup>。型式としては垂直型が多いが、最近では湾曲型もかなり動いている。これは開発の経時的変化に対応するもので、特

表3 凝固係数 K の比較

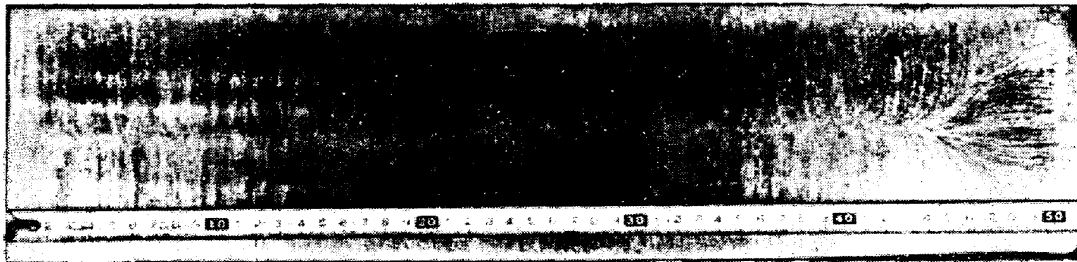
冷却帯	K 値	鋼 種	測 定 法	測 定 条 件	文 献
一次冷却	22 20 18 12	Cr 鋼 (13Cr) Cr-Ni 鋼 (15Cr-5Ni) Cr-Ni-Mn 鋼 (26Cr-16Ni-6Mn) Ni 基合金 (9Cr-10Mo)	溶鋼排出法	鑄型長さ 900 mm 鑄片寸法 120~140 mm $\phi$	97)
	27.0 28.0 25.5	低炭素鋼 珪素鋼 18Cr-8Ni	熱分析法	90 kg の溶鋼使用した実験装置.	96)
二次冷却	49.5 54.0 42.0	低炭素鋼 珪素鋼 18Cr-8Ni			
一次, 二次	25.7	オーステナイト系ステンレス鋼	FeS, Pb 添加法	110 mm $\phi$	137)
	27.0	SUS 304	デンドライトアーム測定計算法	厚 156 mm スラブ	95)



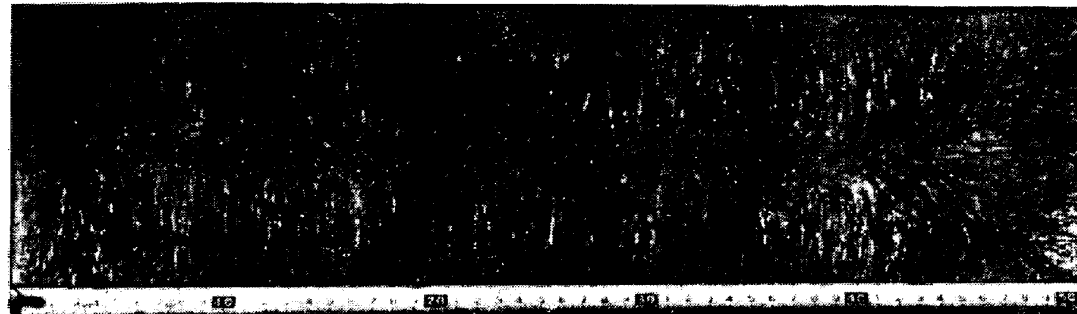
SUS 304  
Ni-Cr 系  
155×1050 mm



SUS 316  
Ni-Cr-Ti 系  
130×1050 mm



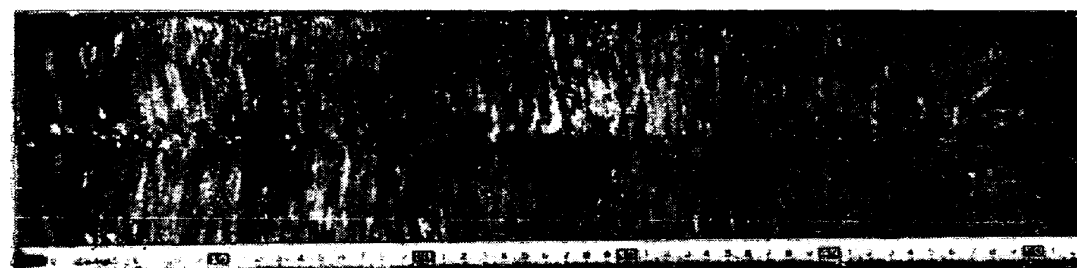
SUS 321  
Ni-Cr-Mo 系  
130×1050 mm



NHS 104  
Mn-Cr-Cu 系  
155×1050 mm



SUS 430  
18Cr 系  
130×1260 mm



SUS 410  
13Cr 系  
130×1050 mm

写真 1 ステンレス鋼連铸片のmacro組織

別の意味はない。ただし、一部にはまだ湾曲型による高合金鋼の铸造を疑問視する向きもあるが<sup>65)84)101)</sup>、操業上の経験からはほとんど問題はなく、むしろ安定しているときえいえる<sup>102)103)</sup>。型式よりはむしろ設備の信頼性の向上と铸造技術の向上とが重要であろう。設備の一般的傾向は次のごとくである。

4.1 製鋼設備

溶解はほとんど電炉で、精錬は通常の電炉法のほか、VOD, AOD 法などで行なわれている。製造工程中になんらかの脱ガス設備-取鋼脱ガス, DH または RH 脱ガス, 出鋼脱ガスが組み入れられている例が多い<sup>24)30)44)61)65)100)102)104)~106)</sup>。また温度の均一化をはかるため、通常の電炉精錬法の場合には、電炉に電磁誘導攪拌装置、取鋼での Ar 攪拌装置を単独または併用している<sup>24)28)84)105)107)</sup>。すなわち製鋼設備としては、铸造中の溶鋼温度の均一化を計り、溶鋼の水素を除去しうるプロセスになっていることが望ましい。

4.2 铸型および一次冷却装置

铸型材料の銅が铸片表面に浸透して起こる欠陥はステンレス鋼の場合にも報告されており<sup>108)</sup>、この対策としては铸型内面を Cr, Mo などで被覆することが行なわれているが、前者は効果がないと言われている<sup>24)109)</sup>。しかし、この種の欠陥は人工スラグを使うパウダーキャストングではほとんど見られない。

一次冷却の表面割れに対する影響はとくに大きいと考

えられるが、設備としては、18Cr 鋼用として広幅面の中央部と端部とを分けて調節することができる铸型が報告されている程度である<sup>44)</sup>。一次冷却を緩やかに行ない铸片の割れを防ぐ目的で、銅板の水路側に特殊な加工を施した铸型が使われたこともあったが、その必要のないことがわかり、現在では使われていない<sup>65)98)</sup>。

表面割れに対しては垂直铸型がよいという見意もあるが、曲率 10m の湾曲型铸型では表面割れはほとんど発生していない<sup>57)</sup>。最近のスラブ型連続铸機では幅が調節できる铸型が採用されている<sup>65)98)</sup>。

4.3 铸片の支持および二次冷却装置

一般に連続铸造では、バルジングを含めてできるだけ铸片に歪みを与えず、かつ均一な二次冷却を行なうことが必要であるが、高合金鋼では種々の異なった特性の鋼を铸造しなければならないので、とくに均一冷却の重要性が古くから強調されている。従つてスプレーノズルの配置スプレーパターン、スプレーゾーンの組み合わせ、制御方法、スプレーゾーンの長さ、水量の安定などが考慮されている<sup>11)20)24)38)65)98)101)105)</sup>。また高合金鋼の铸片は形状寸法の種類が多いので、冷却のパターンもこの点を考慮に入れ、とくにスラブの場合には幅方向のスプレーパターンに工夫がこらされている。なお 18Cr 系の割れに対して、二次冷却水の温度調節を行なつた例もあるが、その必要のないことがわかっている<sup>65)</sup>。スプレーノズルの閉塞を防ぐため、配管類には Zn メッキまたはステン

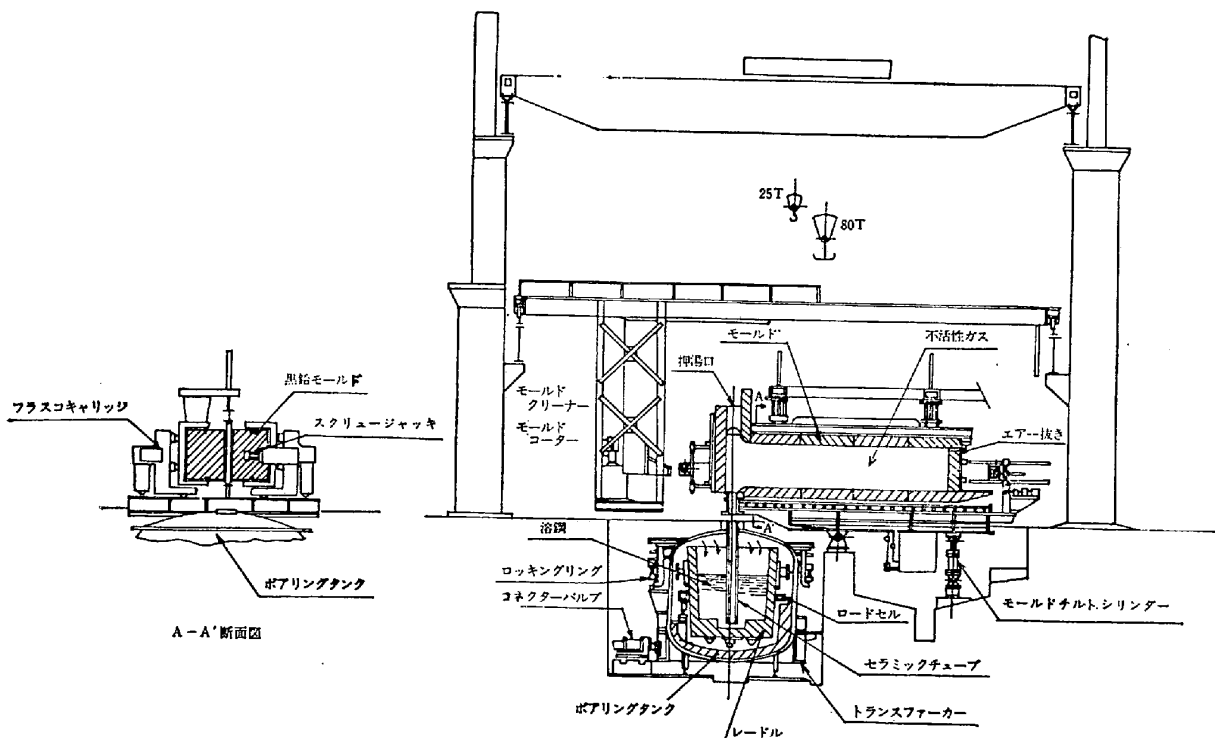


図 3 加圧铸造設備<sup>129)</sup>

レス鋼が使われている<sup>9)24)44)98)100)</sup>.

垂直曲げ型では曲げ反力が鑄型、フットロールに掛からない程度に垂直部分を長くするとともに、曲げによる鑄片の歪みが固液相境界の引張り強さを超えない程度に大きい曲率  $R$  を採用する必要がある<sup>110)</sup>. これらは経験的に処理されているが、とくに問題は起こっていない.

#### 4.4 引抜装置

ピンチロールの引抜ロール圧は凝固断面が十分な強度を持つ段階に達していれば余り問題にならないが<sup>20)</sup>, 高合金鋼では変形抵抗の大きい鋼種が含まれていることおよび鑄片の変形を防ぐために、湾曲型では鑄片断面のわりには大きな引抜力、矯正力を持たせた設備もある<sup>98)</sup><sup>111)</sup>. なお湾曲型における鑄片の矯正温度は変形に対して安全な温度範囲にあるので、矯正による欠陥は報告されていない.

#### 4.5 タンディッシュおよび耐火物

連続鑄造では一般にタンディッシュを通して溶鋼量が制御されること、鑄片断面が小さいこと、凝固速度が大きいことなどのために、介在物の浮上が妨げられやすいという特徴がある. さらに高合金鋼の分野では比較的 Mn 量の高い鋼種が多く、耐火物を溶損しやすい<sup>112)113)</sup>. また流動性の悪い鋼種もあつて、介在物浮上に関する問題は普通鋼よりも大きい.

鋼種や鑄造条件によつて影響度は異なるが、タンディッシュの形状、溶鋼ヘッド、容量、ストッパーの位置などは、スラッグなどの外来系介在物の巻きこみに影響する<sup>18)84)114)115)</sup>. タンディッシュノズルとしてはジルコン系、タンディッシュ内張耐火物としては中、高アルミナ系の使用例が多い<sup>9)24)105)113)</sup>. 浸漬ノズルとしては耐スポーリング性に富み、溶損の少ない熔融石英質が多く使われているが、比較的 Mn 量の多いオーステナイトステンレス鋼では溶損が著しく、長時間の鑄造には耐えられない. ラバープレス成形によるアルミナグラファイト質のものがよい結果を示している<sup>102)117)118)</sup>.

#### 4.6 関連設備

高合金鋼に固有の設備としては鑄片の切断および鑄片の手入れに関するものがある. 切断には通常プロパン、酸素、鉄粉を用いるパウダーカットといわれる方法が用いられるが、非常な発煙煙を伴うので、集塵装置を持つ必要がある<sup>98)100)</sup>. 手入れ設備には通常砥石によるグラインダーが用いられるが、割れやすい鋼種や Sus 430 の局所的なヒートクラックを考慮してプレーナーを用いているところもある<sup>40)42)65)</sup>. なお鋼塊材に比べて手入れ量ははるかに少なく、また表面スケールがないので手入れが容易である<sup>19)</sup>.



アルミナグラファイト  
(使用時間 95分)



溶融石英  
(使用時間 95分)

写真 2 浸漬ノズルの溶損状況(SUS 304)

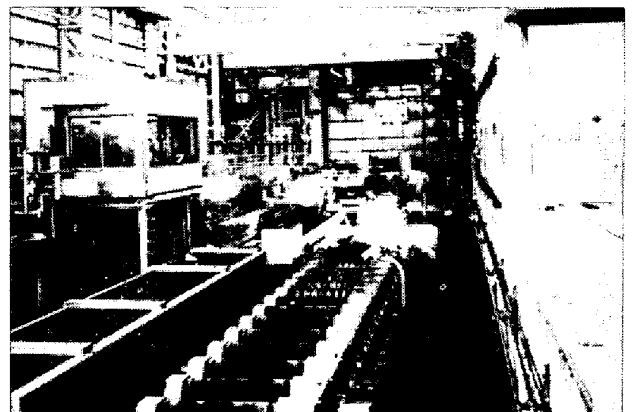


写真 3 ステンレス鋼連鑄片の切断

#### 4.8 特殊連続鑄造

本資料では Junghans-Rossi あるいはソ連に起源を持つ振動鑄型による連続鑄造を取り扱っているが、他の設備についても若干触れておきたい.

水平型連続铸造機は初期の頃、ソ連のゴールドピン型機として研究された<sup>3)120)</sup>。これとは構造を異にするが、同じソ連でエレクトロスラグおよび真空溶解用の消耗電極の製造に水平型連続機が使われている<sup>121)</sup>。ヘズレット型連铸機は傾斜型でステンレス鋼の铸造も行なわれている<sup>122)123)</sup>。従来は铸片上面に介在物の著しい偏析があつたが、最近タンディッシュの代りに Ar ガスによる加圧注入炉を持つた設備の稼動が伝えられている<sup>122)</sup>。またエレクトロスラグと組合せた連続铸造設備もあり、高合金鋼の分野での新しい設備として注目されている<sup>124)</sup>。

なお振動铸型を用いる連続铸造の分野でやや特殊なものとしては、2m の曲率半径を持ち、55×275 mm の铸片に Fe-Ni 合金を铸込む設備<sup>125)</sup>、ウエイブリッジ型 (63.5 mm φ × 3 本) によるステンレス鋼の連铸機<sup>104)</sup>、ステンレス鋼の中空丸ビレットの連铸機などがある<sup>93)126)</sup>。

#### 4.9 加圧铸造

加圧铸造は元来貨車用車輪の製造方法であつたが、肌の美しい铸物が得られるためステンレス鋼の铸造にも応用されている<sup>127)~129)</sup>。基本的にはバッチ操業で、機械化された下注ぎ造塊法で、そのおもな特徴は次のごとくである。

(1) 铸型は黒鉛板で組立てられ、内壁にはアルミナを塗布する。凝固速度は普通造塊より遅いため、表皮直下への介在物の捕捉が少ないと言われている。

(2) 注入に先立ち铸型内は Ar ガスで置換され、溶鋼は加熱された特殊な長尺耐火物管を通して、加圧空気によつて取鍋底部より铸型へ静かに押し上げられる。このため溶鋼の空気酸化がなく、铸肌は美麗で内質の清浄度も鋼塊材に比べてよい。

(3) 主要設備としては加圧タンク、铸型、移動装置、また付帯設備としては塗装清掃装置、注湯管加熱器、铸型黒鉛板用のミーリングマシン、スラブに付着したコーティング材を除去するショットブラストなどがある。

(4) 铸片の表面欠陥はガスホール疵、毛ワレ、スラグ疵などがある。これらは铸型の水濡れ、不均一な塗装、

乾燥不十分、铸型の内面不良、スラグの混入などに起因するが、それぞれの防止対策が採られている。

## 5. 操 業

高合金鋼は前述のように種々の方法で製造されているが、溶鋼の精錬方法、脱酸、脱ガス、成分、温度などが連続铸造の作業や品質を左右する。連続铸造は普通造塊に比べて作業環境の改善や機械化によつてバラツキの少ないものになつてきているが、それでもなお作業の習熟程度によつてかなりのバラツキが出ることもまた事実である。

### 5.1 铸造温度

铸造温度の標準値は一般的には液相線温度 + 50°C 程度と考えられているが、温度の測定はほとんどの場合タンディッシュで行なわれるので、タンディッシュ内における溶鋼の滞留時間、温度の測定位置、鋼種、铸片の大きさ、铸造速度などによつても最適温度は変わり、報告されている値も液相線温度 + 20°C から + 85°C までかなり広い範囲にバラツキしている<sup>9)24)84)</sup>。定性的に言えば、温度が高いと一般に铸肌はよくなるが、铸片表面には縦割れ、铸片断面には二枚割れが生じやすく、高すぎるとブレイクアウトの原因となる。温度が低いと铸片断面中心部の収縮孔は小さくなり、割れは減少するが、铸片表面や表皮直下に非金属介在物を捕捉しやすく、低すぎるとノズル閉塞を起こして铸造が不可能になる。またオーステナイト系ステンレス鋼に比べてフェライト系ステンレス鋼は相対的に高目に、凝固温度範囲が広い鋼は比較的低温が適正温度であると言われているが<sup>56)</sup>、Ti 安定化鋼のようにそうは言えない場合もある。結局、液相線温度、固相線温度を正確に決定し、これに铸造経験に基づく補正を加えて最適値を得ている。なお比較的長い铸造時間中、温度を均一に保つことも、品質の安定に対して非常に重要である<sup>20)84)139)</sup>。

### 5.2 铸造速度

高合金鋼スラブの铸造は 0.7~1.3 m/min 程度で行なわれており、普通鋼と異なり高速铸造は行なわれていないようである。铸片内部の収縮孔、多孔性などの欠陥に対しては、铸造速度の遅い方がよいという結果<sup>18)89)110)140)</sup>、早い方がよいという結果<sup>24)</sup>、変わらないという結果<sup>127)</sup>があり、設備の特性、操業条件などによつて異なるようであるが、一般的に言えば、铸造速度が速いと割れは起こりやすくなるが、スカムやスラグの噛みこみは減り、オッシーレーションマークは浅くなつて良好な铸肌が得られる<sup>18)31)65)127)140)</sup>。ただし速すぎると铸型内で凝固殻が一時的に破断して二重肌が生じ、著しい場合に

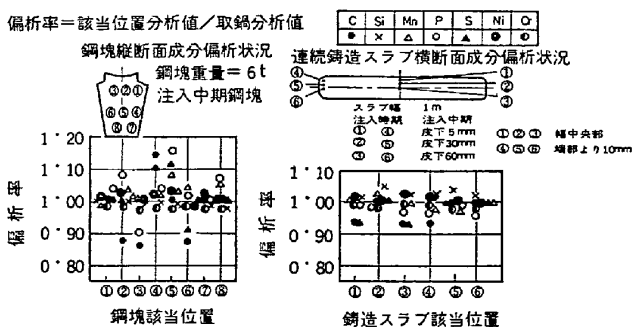


図 4 SUS 304 の鋼塊と連铸スラブの偏析比較<sup>31)</sup>

はブレイクアウトとなる<sup>24)</sup>。

鑄造速度が遅いとこの逆で、オイルキャストの場合にはピンホールの発生が著しくなり<sup>18)</sup>、また浸漬ノズルを用いるパウダーキャストの場合には鑄型と浸漬ノズルとの間に凝固した鋼のブリッジがかかり鑄造不能となる。なお鋼種による差は鑄造温度の場合に似ており<sup>56)89)</sup>、また内部品質に対する影響は注入方法によつて異なり、いちがいにはいえない。

### 5.3 一次冷却

一次冷却によつて過度に冷却されると、収縮によつて急激な熱歪みが生ずる。また凝固殻が注入流で洗われたり、凝固に伴つて鑄型と鑄片との間にギャップができると、冷却速度が変わつたり、冷却が不均一になつたりして、鑄片に割れや変形を生ずることもある<sup>20)101)</sup>。冷却水量が一定であつても、鑄造速度、鑄型の摩耗程度、鑄型のテーパなどによつても鑄片の冷却は変わってくるが<sup>140)</sup>、浸漬ノズルを用いるパウダーキャストはすべてによい影響を与えると言われている<sup>141)142)148)</sup>。そのほか浸漬ノズルの形状も重要である。割れやすい SUS 430 などでは、一次冷却の厳密な管理を必要とするが<sup>100)110)</sup>、SUS 304 などのオーステナイト系ステンレス鋼では

形状に対する影響は比較的大きいが、割れに対する影響は比較的小さい。

### 5.4 二次冷却

二次冷却は鑄片内外の割れと鑄造組織に関係するが、高合金鋼ではとくにこの影響を受けやすいうえに、その程度も大きい。その影響の程度は鑄造の温度や速度によつて異なるが、一般に冷却を強くすれば鑄片の内外に割れが発生しやすくなり、鑄片軸心部の収縮孔や粗鬆部は拡大される傾向にある<sup>18)20)24)56)81)137)</sup>。この傾向は SUS 430 ではとくに著しく、少ない水量による均一冷却が必要とされている<sup>18)19)37)56)65)84)</sup>。しかし水量が少ないとゴーストラインが現われるという報告もある<sup>19)57)81)</sup>。また鑄片四面の冷却水のバランスを取るとともに、スプレーゾーンの縦方向の配列も重要で<sup>20)143)</sup>、不均一な冷却やスプレーノズルの閉塞による冷却水不足は鑄片を変形させたり、ブレイクアウトを惹き起こしたりする<sup>24)100)</sup>。

### 5.5 鑄造雰囲気

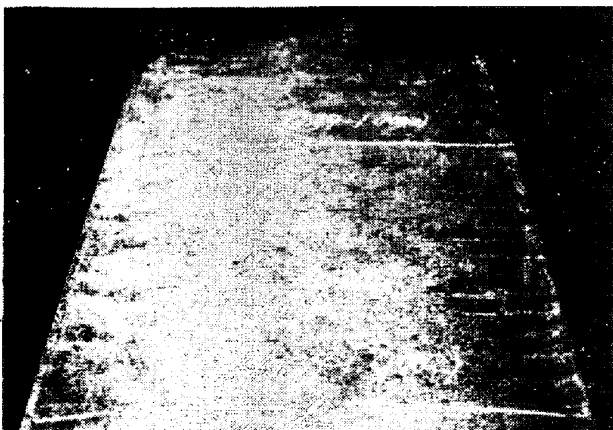
ステンレス鋼では製品の表面性状に対する要求が厳しく、最終製品が冷延鋼板の場合にはとくにこの傾向が強い。表面性状をそこなうおもなものとしてはストリーク、シーム、ラミネーション、スリバーなどの疵があり、

表 4 鑄片の欠陥と対策

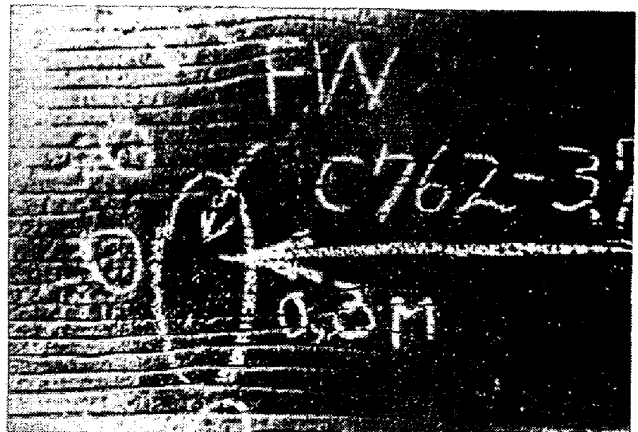
欠陥名	鋼種	発生状況	発生原因	対策	文献
タテワレ	SUS 430	スラブ表面に数～数10 mm の長さで、中央よりに現われ易い。	鑄型内凝固殻に生ずる局部的応力。(高温鑄造)	取鍋内 Ar 攪拌による高温鑄造の防止。適正な人工スラグの使用。	65, 141)
ヨコワレ	SUS 321	主としてスラブの短辺にオキシレーションマークの谷に沿つて現われる。	(高温鑄造)	適正温度による鑄造。	57)
ノロ噛み	SUS 430	直径 1～5 mm、深さ 3 mm 程度のピット状のものと、深さ 10 mm におよぶ井戸型のものがある。後者の分布は局部的。	浮上スカムのスラブ表面への付着。湯面の乱れによる人工スラグの巻きこみ。	適正な人工スラグの使用。定速、定湯面操業。作業者の習熟。	65, 141)
センターワレ	SUS 304 SUS 430	スラブ厚さの中心に、幅の 1/4～3/4 におよぶ。最終凝固部のマイクロピットを縫つて現われる。	鑄型内凝固偏析。局部的な冷却遅れ。(高温高速鑄造)	スラブ長短辺の冷却バランス。スプレーパターンの改善。定速鑄造および鑄造速度の規制。	140) 13, 24)
	ステンレス鋼	スラブ厚さの中心に、幅方向のワレが出る。分布は不規則。	局部的に熱バランスの崩れ。二次冷却の不足による再加熱。	スプレーノズルの詰り防止。冷却水の鑄片上への流れこみ防止。縦方向のスプレーパターンの改善。	143)
	高 Mn-Cr ステンレス鋼	スラブ厚さの中心に出る。長さ不定。	凝固温度範囲が広いという特性。パウダーカッティング時の割れ。	二次冷却水の強化。鑄造速度の制限。	57)
中間ワレ (ゴーストライン)	SUS 430	スラブ厚さの 1/6～2/6 部分に現われ、硫化物の濃化部分が存在し、エッチングによつて顕出する。	凝固過程中的の鑄片に与えられた歪。	適正な鑄造温度。二次冷却の調整。	57) 84, 20)
ヘコミ	SUS 304	鑄造初期、数 m のところまで、とくに長辺端部のオキシレーションマークに沿つて周期的に現われる。	鑄造初期の人工スラグの不均一な流れこみ。	適正な人工スラグと操業。	57)

これらは線状に現われるので線状キズと呼ばれているが、この欠陥に対しては casting 雰囲気の影響が大きい<sup>18)19)24)65)106)144)145)148)149)151)</sup>。 casting にさいして溶鋼が大気と接触する箇所は取鍋・タンディッシュ間、溶鋼流、タンディッシュ内の湯面、タンディッシュ・鑄型間の溶鋼流および鑄型内の湯面である。大気による溶鋼の酸化を防ぐには次のような方法が採られている。取鍋・タンディッシュ間およびタンディッシュ湯面はプロパンや天然ガスの燃焼による還元ガスあるいは Ar ガスによつて保護し

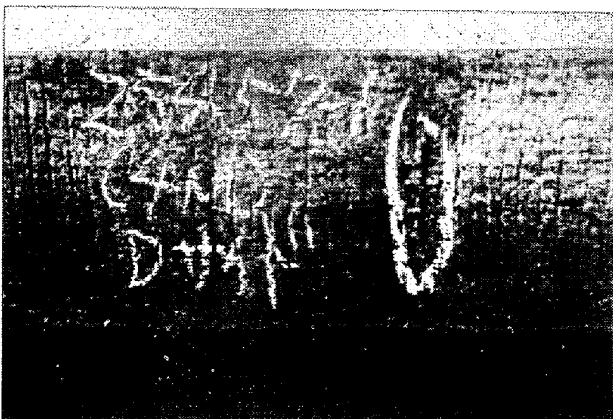
たり、人工スラグで覆つたり、浸漬ロングチューブを使つたりしている<sup>9)18)19)106)144)146)~148)150)~152)156)157)</sup>。またタンディッシュ・鑄型間および鑄型内湯面に対しては現在のところ浸漬ノズルを用いるパウダーキャストイングが最も一般的である<sup>103)106)149)150)153)</sup>。鑄片断面が小さく浸漬ノズルが使えない場合には、還元性ガスまたは Ar ガスによる保護が行なわれ、その効果を増すためにシーリング用の治具も考案されている<sup>144)154)</sup>。とくに酸化されやすい Ti, Al などを含む鋼種の casting では、上記の諸



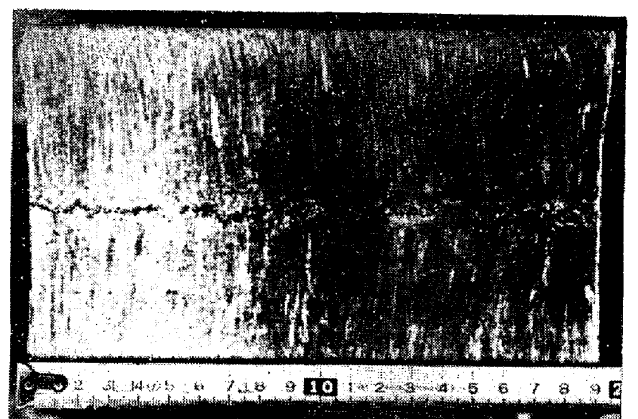
ヘコミ (SUS 304)



ノロ噛み (SUS 321)



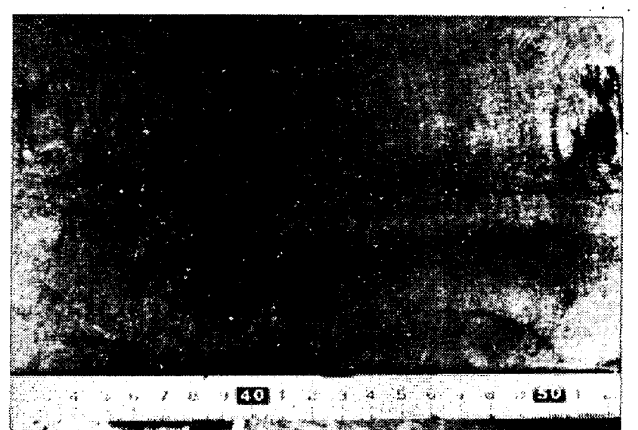
短辺のヨコワレ (SUS 316)



鑄造初期の中心ワレ (SUS 304)



長辺のタテワレ (SUS 430)



中間ワレ (ゴーストライン) (SUS 430)

写真 4 ステンレス鋼連鑄片の欠陥



対策はきわめて重要である<sup>141)151)152)155)</sup>。

### 5.6 パウダーキャスティング

高合金鋼の連鑄片に対する信頼性を現在の地位まで高めたのは、浸漬ノズルを用いるパウダーキャスティングであると言つても過言ではない。人工スラグは大気による酸化から湯面を保護するだけでなく、保温効果によつて湯面における凝固膜生成を防ぎ、溶鋼中の介在物の吸収あるいは湯面に生ずる硬いスカムの溶解、鑄型・凝固殻間の潤滑など多くの作用があり、オイルキャスティングよりもはるかに優れた方法である。介在物、ノロカミ、ブローホール、浸炭、割れの防止から最終製品の欠陥防止に至るまで数多くの効果が報告されている<sup>65)106)141)142)148)150)158)~160)</sup>。人工スラグとしては低融点、低粘度のものがよいという報告もあるが、鑄造速度、鋼種などによつても異なり、現在のところまだ定説はない<sup>150)155)158)160)161)</sup>。また逆に人工スラグがノロカミになつたり、割れの原因になることもある<sup>65)141)148)153)155)162)164)</sup>。人工スラグは単独で使つても効果はなく通常は浸漬ノズルを併用する。浸漬ノズルは溶鋼流の酸化やスラグの巻きこみを防ぐだけでなく、鑄片の未凝固部における溶鋼の動きを調整する。ノズルの形状寸法によつて溶鋼の運動が変わり、したがつて鑄片内部の介在物の分布も変わつてくるので、種々の形状のものが試みられているが、すべてに適するものはなく、それぞれの使用条件に適したものを決定する必要がある<sup>84)101)148)161)163)</sup>。

### 5.7 ノズルの閉塞

アルミキルド鋼のノズル閉塞現象はよく知られているが<sup>4)164)~166)</sup>、高合金鋼においても同じ現象がみられ、と

くに Ti, Al を含有した鋼種ではこの現象が起こりやすい。原因は凝固鋼および、 $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$  などを含む析出物で<sup>167)</sup>、これを防止するにはタンディッシュの加熱が有効であるが、その他脱酸、浸漬ノズルの材質なども影響する。なお不活性ガスを吹きこむことによつて附着物を取除く方法も考案されている<sup>168)</sup>。

### 5.8 水素の影響

炭素鋼に比べるととくにフェライト系ステンレス鋼は水素の溶解度が低いうえに、Cr 含有量が増すにつれて水素の拡散係数が低下し溶解度が下がる<sup>69)</sup>。このため鋼塊材でもヘアクラックなどの欠陥を起こしやすいが、連鑄材はさらに敏感である<sup>37)</sup>。Cr 系ステンレス鋼では 6 ppm 以上、Ni 系ステンレス鋼では 7 ppm 以上あるいは 8~10 ppm 以上で欠陥があらわれるとされ、天候あるいは大気中の水蒸気分圧との関係が見られる<sup>18)19)24)37)164)</sup>。鑄片断面の水素偏析に関する最近の調査によれば、中心部に著しい偏析がみられる<sup>169)</sup>。したがつて中心部の割れを防ぐには、上記の数値をさらに下回る必要がある。鋼中に含まれる水素は鑄型潤滑油からの分解水素、水蒸気などと相まつて、表皮直下のピンホール、ブローホール、中心多孔質、内部割れなどの原因となるほか、融点の低下によつてブレイクアウトの原因になるとも言われている<sup>18)19)</sup>。また製品ではラミネーション、スリバーなどの疵になる<sup>20)164)</sup>。

この対策としては真空脱ガスまたはこれに代わる脱ガスが必要であるが、これらが無い場合には操業上の徹底した水素管理が必要である。なお二次冷却水によつて白点の出方が異なるという報告もある<sup>170)</sup>。

表 5 鋼板の欠陥と対策

欠陥名	鋼種	発生状況	発生原因	対策	文献
シーム スリバー 山形へげ	SUS 304	冷延鋼板に現われる白色および黒色の線状疵。冷延鋼板に現われる山形のへげ状疵。	二次脱酸生成物およびスカム。スラブ微小ワレ部への網目状炭化物の偏析。(オイルキャスティング)	溶鋼の空気酸化の防止。取鍋への Ar ガス吹込みによる温度の均一化。浸漬ノズルを用いたパウダーキャスティング。	149)
スリバー	SUS 430	冷延鋼板に現われる白色の線状疵。	スカム。	(同上)。	149)
線状疵	SUS 304	冷延鋼板に現われる線状疵。焼鈍酸洗条件により、疵の出方が異なる。	二次脱酸生成物。ピンホール疵の一部。	取鍋・タンディッシュ間、タンディッシュ・鑄型間の浸漬ノズルの使用。脱酸法、Mn/Si 比の改善。	153)
スリバー ラミネーション	ステンレス鋼	熱延鋼板にあらわれる各種の線状疵。	表皮直下に捕捉されたスカム、スラグ、二次脱酸生成物。Pb による赤熱脆性、高温表面スケール。	取鍋・タンディッシュ間の Ar シール、タンディッシュ・鑄型間の浸漬ノズルの使用。	20, 28)
紡錘型疵	SUS 304	熱延鋼板に現われる幅 1 mm, 長さ 30 mm 程度の比較的深い紡錘状の欠陥。鑄造の初期, 末期に相当する部分に多い。	水素に起因するピンホール, 人工スラグの噛みこみおよび巨大介在物。	均一に溶ける人工スラグの使用。溶鋼レベルの安定。水素の管理。	164)



## 6. 品質上の欠陥の対策

## 6.1 鋳片の欠陥と対策

高合金鋼の連続鋳造の分野では、上述のように種々の欠陥が生ずるが、これらは技術の進歩によつて、すでに過去のものとなつているものも多い。とくに浸漬ノズルと人工スラグを用いるパウダーキャストは品質を著しく向上した。

表4は比較的最近報告された欠陥と対策を示したものである。営業生産されている高合金鋼の多くがステンレ

ス鋼であるので、表4もステンレス鋼に関するもので、この分野での連続鋳造の特色と現状をよく示している。すなわち鋼の特性に従つて適切な操業条件を設定し、あるいは操業上に制約を設けて欠陥の解決を計っている。また浸漬ノズルと人工スラグの役割は大きい、その影響はかなり複雑で、条件によつては逆に欠陥発生の原因になる場合もある。

## 6.2 製品の欠陥と対策

連鋳片は鋼塊よりも製品に近い形状で製造されるので、製品に対する欠陥の影響は大きい。とくにステンレ

表6. 連鋳片の加工性と加工による鋳造組織の変化

鋳片寸法	鋼種	調査の対象	調査結果	文献
110φ ピレット	ステンレス鋼 オーステナイト系	収縮孔の圧着	75φで圧着せず。52φで圧着。圧延比約5で完全に圧着。	56)
		鋳造組織の変化	75φで柱状晶残存。52φで消失。圧延比約5で粒状晶となる。	137)
		熱間加工性	小鋼塊の柱状晶部と高温捻回試験、高温引張試験の比較を行ない、鋼塊材より優れていることを確認。実際の圧延においても確認されている。	
	高速度鋼	収縮孔の圧着	75φ, 56φで圧着せず。45φで完全に圧着。圧延比約6で完全に圧着。	
		鋳造組織	鋼塊材よりカーバイド粒、結晶粒が微細で優れている。	
115φ ピレット	SUS 304	収縮孔の圧着	圧延比 50(16φ) 程度まで加工する必要がある。	159)
155φ ピレット	SUS 304	収縮孔, ピット	収縮孔, ピットは見られない。	38)
		鋳造組織の変化	70φで柱状晶はほとんど消失して微細化。11φ(加工比185), 5.5φ(加工比1000)で均一組織。なお鋼塊材では70φ(加工比51)で均一となる。	41)
		熱間加工性	熱間捻回試験では加工比10で鋼塊材との差なく、熱間シャルピー衝撃試験では加工比2.8で鋼塊材との差なし。線材圧延上問題なし。	
φ ピレット	SUS 304	熱間押出	発達した柱状晶により肌荒れを生ずる。ピレット外周を加工すると軽減するが、圧延ピレット材に比べて劣る。	177)
165φ ピレット		収縮孔の圧着	圧延比 50(22φ) 程度まで加工する必要あり。	159)
		鋳造組織の変化	鍛造の場合, 50φ, 40φで、ほぼ樹枝状晶消失, 30φで完全に消失。圧延の場合, 25φまで残存, 22φで消失。	176)
150×750 スラブ	SUS 304, 430	収縮孔の圧着	圧延比 10 で完全に圧着。ピレットの場合よりも圧着容易。	
厚 120 スラブ	SUS 304	鋳造組織の変化	圧延比4で鋳造組織はほとんど消失, 残存しない。	22)
		熱間加工性	鋼塊材に比べ低温側の捻回値は低いが、同一圧延条件で同程度のホットコイルが得られる。	37)
		(δフェライト)	(鋼塊材の0.5~2%に比べて4%と高いが、ホットコイルでの差は見られない。δフェライトの影響を受け難い。)	40) 42)
厚 130 スラブ	SUS 430	鋳造組織	基質のフェライトにオーステナイトが粒界に分布し、一部はマルテンサイト変態している。鋼塊材は不規則に分布。	
		熱間加工性	熱間捻回試験では鋼塊材よりむしろ良い。	
厚 145 スラブ	SUS 304, 316L	圧延負荷	プラネタリイミルの圧延負荷は2~5% 低い。	119)

ス鋼板では一般的な特性に加えて表面品質が重要視されるので、操業は難しい。表5には必ずしも連続铸造によるものとは言えない欠陥や、鋼塊材にもよく見られる欠陥も含まれているが、現在のステンレス鋼铸造の焦点になつている点がなんらかの形で現われている。また、その多くはここに示されていない鋼種に対しても敷衍できるであろう。

## 7. 普通造塊との比較

### 7-1 鑄片の加工性と加工による鑄造組織の変化

連鑄片は組織が均一で偏析が少ないことはよく知られているし、またステンレス鋼で代表される高合金鋼では、一部の鋼種を除けば鋼塊材でも大きな偏析は現われないので、連鑄片の均一性は非常によく、偏析は非常に少ないと言えよう。

Cr系ステンレス鋼ではCが高くなると偏析が現われるという報告はあるが、鋼塊材との差異は明確ではない<sup>40)</sup>。組織的には普通造塊・分塊方式による鋼片はすでに熱間加工を受けているので、連鑄片の組織と異なるのは当然で直接的な比較はできない。表6は国内の調査結果に基づき、連鑄片の加工性と加工による鑄造組織の変化をまとめたものである。スラブ型鑄片ではピレット型鑄片よりも中心多孔質が現われ難いようであるが、比較的小さい圧延比で健全な組織になつている。ピレット型鑄片の場合には、製造方法、鑄片寸法、加工方法などによつて差はあるが表<sup>6)9)13)94)171)</sup>、製品では健全な組織を示すので、使用上の問題はなく、鋼塊材と同等で、熱間加工性も一般的には鋼塊材より、むしろよいと言われている。

る。

### 7-2 最終製品の品質

最終製品の非金属介在物および表面性状は脱酸法によつても影響を受けるが、一般には鋼塊材に比べて安定しており、その水準も同等以上である<sup>9)18)20)24)28)40)57)119)172)~174)</sup>。

表7は最終製品の特性について、国内の調査結果をまとめたものである。スラブ型鑄片の場合には、機械的性質、成形性、異方性を含めて、鋼塊材と同等で、均一性についてはむしろ優れている。ピレット型鑄片の場合には、鑄造組織が完全には消えないような低い加工比で、鋼塊材と同等の機械的性質が得られている。

### 7-3 歩留と原価

連鑄片の歩留がよいことは早くから認識されており、鋼塊材との歩留の差はおおよそ10%と言われていた<sup>9)18)19)32)41)175)</sup>。最近の国内状況は表3のごとく、スラブ型鑄片の場合、最終製品の歩留は鋼塊材より11~14%よい値を示している。連続铸造の固定費負担は比較的大きいが、比例費は鋼塊材に比べてかなり低いので、両者を加えた原価では、鋼塊材より6~9%(スラブ型の場合)安くなつている。また鑄片の割れさえ防げば、SUS 304よりもSUS 430の方が連続铸造によるメリットは大きいという報告もある<sup>103)</sup>。

### 7-4 現状と今後の課題

高合金鋼、とくにステンレス鋼の連続铸造はすでに大量生産の実用期に入つているが、製品、設備、操業のいずれにもまだ問題が残つているし、また高合金鋼の分野では特徴のある鋼種が多く、鑄造することはできても、

表 7. 製 品 の 特 性

鑄片寸法	鋼 種	製品または加工比	調 査 結 果	文献
110φ ピレット	AISI 304 AISI 434A	38φ, 7φ 38φ, 7φ	3t 鋼塊からの製品と比較して、引張試験、捻回試験の結果、差は認められない。	56)
115φ ピレット	SUS 304	圧延比 5.5~470	機械的性質、非金属介在物、地疵試験で鋼塊材との差はない。	159)
155φ ピレット	SUS 304	5.5φ → 伸線	引張試験の結果、鋼塊材との差は認められない。 非金属介在物は鑄片全体に均一に分布。加工とともに清浄度向上。	38) 41)
165φ ピレット	SUS 304	圧延比 5.5~470	機械的性質、非金属介在物、地疵試験で鋼塊材との差はない。	159)
150×750 スラブ	SUS 304, 430	圧延比 6.7	機械的性質、非金属介在物、地疵試験で鋼塊材との差はない。	159)
厚 120 スラブ	SUS 304	冷延鋼板	7t 鋼塊からの製品と比較して、機械的性質などの差は認められない。非金属介在物は均一微細に分布しており鋼塊材より良い。	33)
厚 130 スラブ	SUS 430	冷延鋼板	鋼塊材との比較で、曲げ、伸びは良い。降伏点、引張り強さ、均一伸び、破断伸び、ランクフォード値、CCV、エリクセン値、リッジング性とも良好。集合組織の差も認められない。	40) 42)
厚 145 スラブ	SUS 304	6~8 厚板	機械的性質で鋼塊材との差はない。	119)

表 8. 製品特性値の比較 (Sus 304)<sup>40)</sup> 0.8 mm, 2B 仕上

鑄造法	引張試験				成形試験		硬さ (H <sub>v</sub> )	結晶粒度 (JIS)	介在物 <sup>(3)</sup> (%)	表面光沢 <sup>(4)</sup>
	方向	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	エリクセン値 <sup>(1)</sup> (mm)	コニカルカップ <sup>(2)</sup> (mm)				
鋼塊よりの 鋼板	平行方向 直角方向	30.7 30.8	65.4 63.3	57.5 63.0	12.5	37.7	149	7.1	0.034	30~35
連鑄片よりの 鋼板	平行方向 直角方向	30.9 30.5	65.6 63.3	57.3 62.5	12.5	37.8	150	7.2	0.026	30~35

注: (1) JIS B 7777 (2) JIS Z 2249  $CCV = (D_{max} + D_{min})/2$  D: 絞り後の試験片直径  
(3) JIS 0555 60d×400 (4) 理想鏡面=100

まだ十分とは言えない鋼種や、鑄造困難とされている鋼種もある。これらを解決する努力は引き続き行なわれると思うが、この点については、とくに溶融点近くの高温特性、凝固現象の解明が必要であろう。

この分野での連続鑄造は普通鋼に比べて生産性がかなり低い。4-5 チャージの連々鑄を告めて月間 450 チャージ以上の鑄造を行なっている例もあるが、普通鋼に比べればかなり劣っている。今後生産性の追求に伴い、高速鑄造が要求され、新しい技術の開発が必要となろうし、また電磁攪拌などもこの分野に新しい発展をもたらすことであろう。

## 8. おわりに

高合金鋼の連続鑄造について公表されている報告類を要約したが、不十分な点も多いので、普通鋼に関する多くの文献類も参照して載きたい。なお表 3 のアンケートに対して貴重なデータを提供して戴いた関係各社には厚くお礼を申し上げたい。

### 文 献

- 1) Continuous Casting: (1962), Interscience, NY.
- 2) Handbuch des Stranggiessens: (1958), A-V GmbH, Düsseldorf
- 3) ソ連における連続鑄造: (1961), 冶金出版社, モスコウ。(日ソ通信社)
- 4) 連続鑄造法: (1969), 日刊工業新聞社
- 5) 下川: 鉄と鋼, 55(1969) 4, p. 298
- 6) B. MATUSCHKA, M. PETZ, and F. WILLM: Met. Ital., 52(1960) 12, p. 765
- 7) H. TRENKLER: Berg- u. Hüttenmänn. Monatsh., 107(1962) 4, p. 73
- 8) B. MATUSCHKA: JISI, 197(1961) 3, p. 189
- 9) M. PETZ: Berg- u. Hüttenmänn. Monatsh., 107(1962) 4, p. 73
- 10) H. KRAINER and B. TARMANN: Stahl u Eisen., 70(1950) 24, p. 1098
- 11) B. TARMANN: Stahl u Eisen, 82(1962) 23, p. 1647
- 12) B. TARMANN and E. PLÖCKINGER: Berg- u. Hüttenmänn. Monatsh., 107(1962), p. 134
- 13) B. TARMANN and W. POPPMEIER: Radex Rundschau, (1965) 5, p. 647
- 14) T. H. ADAIR: Trans. Can. Min. Met., 57(1954), p. 478
- 15) H. G. DE YOUNG: Yearbook of AISI, 22(1955), p. 201
- 16) W. W. YACOB: Iron Steel Eng., 39(1956) 12, p. 92
- 17) L. F. BARNHARDT, G. E. STOCK, and W. U. PORTER: J. Metals, 9(1957) 8, p. 1050
- 18) G. C. OLSON: JISI, 190(1958) 9, p. 40
- 19) G. C. OLSON: Rev. universelle Mines, 14(1958) 12, p. 671
- 20) L. NEMETHY, L. STOCK, and W. F. B. MAEKEY: 1), p. 119
- 21) R. CLARK and W. A. THOMAS: Regional Tech. Meeting of AISI, (1958), p. 471
- 22) A. C. RAC: Yearbook of AISI, 30(1963), p. 556
- 23) B. M. HAMILTON: Iron Steel Eng., 41(1964), p. 85
- 24) R. S. WAGSTAFF and G. E. STOCK: Brit. Iron Steel Res. Assoc., Spec. Rep., 89(1965), p. 116
- 25) R. READ and H. L. BREIN: Yearbook of AISI, 32(1965), p. 187; Iron Steel Eng., 42(1965) 7, p. 147; Blast Furn. Steel Pl., 53(1965) 8, p. 689; Indust. Heat., 32(1965) 9, p. 1646
- 26) R. S. WAGSTAFF, G. E. STOCK, and G. N. LAYNE: Iron Steel Eng., 43(1966) 7, p. 71
- 27) Iron Steel Eng., 45(1968) 7, p. 114
- 28) G. A. GRAHAM, R. C. GRAHAM, and R. H. READ: Met. Conf. British Columbia Univ., (1968)
- 29) C. J. ALLEN: Can. Metalworking Machine Prod., 32(1969) 4, p. 29
- 30) T. OHTA et al.: Iron Steel, 37(1964) 14, p. 626
- 31) 西郷: 鉄と鋼, 49(1963) 7, p. 1022
- 32) K. SAIGO: Iron Steel Eng., 41(1964) 4, p. 71
- 33) 太田, 金井, 堀尾, 森: 鉄と鋼, 51(1965) 4, p. 873

- 34) T. OHTA: *Iron Steel Eng.*, 42(1965) 9, p. 169  
 35) *Indust. Heat.*, 31(1964) 9, p. 1650  
 36) *Indust. Heat.*, 31(1964) 10, p. 1862  
 37) T. OHTA: *I. S. I. Spec. Rep.*, 89(1965) p. 124  
 38) 太田, 岡本, 江口, 吉村: 鉄と鋼, 51(1965) 11, p. 2101  
 39) 渡辺, 今田, 原淵, 小管: 製鉄研究, 261(1967), p. 3  
 40) 金井, 大岡, 佐々木, 竹村, 森: 製鉄研究, 261(1967), p. 16  
 41) 岡本, 江口, 吉村: 製鉄研究, 261(1967), p. 43  
 42) K. SAIGO: *Steel Times*, 196(1968) 3, p. 162  
 43) 三浦: 金属材料, 9(1969) 6, p. 23  
 44) 堀口, 藤井: 製鉄研究, 272(1971), p. 102  
 45) 世界鉄鋼規格集, (1972), アグネ  
 46) 鉄鋼関係 JIS 要覧, 新日本法規  
 47) DIN, 17006  
 48) JIS, G4303-4312, JIS, G4403-4404, JIS C 2520  
 49) *Basic Open Hearth Steelmaking*, (1964), AIMME, N. Y.  
 50) 理論鉄冶金学, (1962) 丸善  
 51) *Thermochemistry for Steelmaking*, (1960) AISI, Reading  
 52) F. D. RICHARDSON and W. E. DENNIS: *JISI*, 175(1953) 11, p. 257  
 53) J. CHIPMAN: *JISI*, 179(1955) 6, p. 47  
 54) D. C. HILTY, H. P. RASSBACH, and W. CRAFT: *JISI*, (1955) 7, p. 116  
 55) 製鋼反応の推奨平衡値, (1968) 学振製鋼 19 委, 日刊工業新聞社  
 56) 鈴木, 中野, 高田, 鈴木: 鉄と鋼, 150(1964) 3, p. 447  
 57) 野口, 星, 川合, 村中: 鉄と鋼, 159(1973) 11, p. 357  
 58) *Metals Handbook*, (1968) ASM, Cleveland  
 59) *Thermophysical Properties of High Temperature Solid Materials*, 3(1967) Mac. Co. N. Y.  
 60) *The Mechanical and Physical Properties of the British Standard EN Steels*, 3(1969), Pergman Press, Oxford  
 61) F. C. LANGENBERG, F. K. McCAULEY, and M. DIAS: *J. Metals*, 15(1963) 4, p. 311, *Steel-making Chipman Conf.*, (1965) p. 252, MIT Press, N. Y.  
 62) C. J. ADAMS: *Proc. AIMME Nat. OH Baic Oxy. Steel Conf.*, 54(1971), p. 290  
 63) 前田, 広瀬: 未発表  
 64) 森: 鉄と鋼, 58(1972) 10, p. 1511  
 65) M. KURITA, H. ICHIKAWA, and T. KISHIDA: *Proc. ICSTIS*, (1971) p. 266  
 66) 佐々木: 鉄と鋼, 57(1973) 13, p. 143  
 67) ステンレス鋼便覧, (1972) 日刊工業新聞社  
 68) F. C. LANGENBERG, J. K. McCAULEY, and P. W. DIEHL: *Blast Furn. Steel Pl.*, 53(1965) 10, p. 938  
 70) 鈴木, 長岡: 日本金属学会誌, 33(1969) 6, p. 658  
 71) 鈴木, 鈴木, 野崎: 鉄と鋼, 55(1969) 3, S 110  
 72) K. A. JACKSON, J. A. HUNT, and D. R. UHLMANN: *Trans AIME*, 236(1966) 2, p. 149  
 73) H. FREDRIKSSON: *Met. Transactions*, 3(1973) 11, p. 2989  
 74) 鈴木: 鉄と鋼, 55(1969) 11, S 720  
 75) 鈴木, 鈴木, 長岡, 岩田: 日本金属学会誌, 32(1968) 12, p. 1301  
 76) J. C. FULTON and R. H. HENKE: *Elect. Furn. Proc.*, 14(1956), p. 99  
 77) D. C. CARNEY and B. R. QUENEAU: *The Phy. Chem. of Steelmaking*, (1958) p. 207, MIT Press N. Y.  
 78) 加藤, 磯江: 学振 19 委, 3 分科会, 9372(1972)  
 79) 三本木: 学振 19 委, 3 分科会, 9524(1973)  
 80) G. S. COLE and G. F. BOLLING: *Trans AIME*, 239(1967) p. 1824  
 81) V. S. RUTES and A. V. LEITES: *Litteinoe Proizvod Stvo*, 9(1958) 12, p. 12  
 82) 前川: 学振 19 委, 凝固現象協議会資料, 19 委-9109(1970)  
 83) 丸橋, 長谷川: 鉄と鋼, 59(1973) 11, p. 433  
 84) C. I. MILLER, Jr.: *Proc. AIMME. Nat. OH Oxy. Steel Conf.*, 54(1971), p. 316  
 85) 沢, 洪沢, 坂本: 鉄と鋼, 55(1969) 3, S 84  
 86) W. KURZ and B. LUX: *Berg- u. Hüttenmänn. Monatsch.*, 14(1969) 5, p. 123  
 87) H. J. SEEMANN, H. S. STAATS, and K. G. PRETER: *Arch. Eisenhüttenw.*, 38(1967) 4, p. 257  
 88) F. C. LANGENBERG, G. PESTEL, and C. R. HONEYCUTT: *Trans AIME*, 221(1961) 10, p. 993  
 89) F. C. LANGENBERG, G. PESTEL, and C. R. HONEYCUTT: *J. Metals*, 13(1961) 12, p. 898  
 90) F. C. LANGENBERG, C. R. HONEYCUTT, and G. PESTEL: *Iron Age*, 189(1962) 5, p. 36  
 91) A. M. OREHOSKI: *J. Metals*, 21(1969) 5, p. 41  
 92) I. I. TEUMIN, I. S. LUPAKOV, and V. I. LOMAKIN: *Stal in Eng.*, (1966) 9, p. 734  
 93) 回転磁場内の連続铸造, (1971) 冶金出版所, モスクワ. (日ソ通信社)  
 94) A. BARGONE and G. LIBONDI: *Fonderia*, 18(1969) 12, p. 484  
 A. BARGONE and G. LIBONDI: *Giessereie Praxis*, (1970) 6, p. 81  
 95) 住友金属, 和歌山: 学振 19 委, 19 委-9240(1971)  
 96) 渡辺, 山口, 藤井: 鉄と鋼, 59(1973) 11, S 358  
 97) V. S. RUTES and A. V. LEITES: *Nepriyvnaya Razlivka Stali*, (1970) p. 121  
 98) 水上, 古賀, 星: 日新製鋼技報, 26(1972) p. 18  
 99) *Blast Furn. Steel Pl.*, 59(1971) 3, p. 178  
 100) D. TODD: *Iron Steel Eng.*, 59(1971) 10, p. 48, *Proc. AIMME Elect. Steel Furn. Conf.*, 28(1971), p. 125, *Iron Steel Eng.*, 48(1971) 3,

- p. 110
- 101) B. TARMANN: Radex Rundschau, (1971) 5, p. 591
- 102) 中野, 荒木, 野口, 星: 鉄と鋼, 59(1973) 11, S 355
- 103) 野口, 荒木, 星, 村中: 鉄と鋼, 59(1973) 11, S 356
- 104) D. HALL and A. MET: Steel Times Ann. Rev., (1967) p. 110
- 105) 栗田, 市川, 足立, 岸田: 鉄と鋼, 56(1970) 4, S 62
- 106) 新日鉄, 光: 特殊鋼部会資料, 特 45-15-共 9 (1972)
- 107) Blast Furn. Steel Pl., 58(1970) 1, p. 60
- 108) K. G. SPEITH and A. BUNGEROTH: Stahl u. Eisen, 84(1964) 21, p. 1297
- 109) K. RELANDER: Jernkont. Ann., 155(1971) 9, p. 565
- 110) B. TARMANN: Radex Rundschau (1970) 4, p. 276
- 111) 鶺鴒: 電気製鋼, 43(1972) 4, p. 289
- 112) D. E. HUMPHREYS: Refractories J., 45(1969) 5, p. 128
- 113) P. SCHROTH and R. J. BAYS: Indust. Heat., 35 (1968) 2, p. 320
- 114) M. G. CHIGRINOV and V. A. ALYADIN: Metallurg, 13(1968) 3, p. 17
- 115) V. S. RUTES and M. G. CHIGRINOV: Stal in Eng., (1970) 10, p. 778
- 116) R. THOMAS, P. A. TROCME, and F. FOULON: L'industrie Céramique, 612(1963), p. 844
- 117) 丹羽, 酒見, 渡辺: 耐火物, 21(1969) 134, p. 118
- 118) 冲, 永田, 石井, 桑原: 造塊耐火物専門委員会資料, 38(1971)
- 119) 日本冶金, 川崎: 特殊鋼部会資料, 特 38-19-共 1(1969)
- 120) 青木: 鉄鋼界, 18(1968) 7, p. 42
- 121) V. T. SLADKOSHEEV and O. A. SHATAGIN: Metallurgizdat, (1967) p. 475, Moscow. Iron Steel Eng., 48(1971) 10, p. 48
- 123) J. F. B. WOOD and P. C. ROGAN: Iron Steel Eng., 48(1971) 12, p. 48
- 124) Iron Age Metalworking Intern., 7(1968) 3, p. 32
- 125) V. M. SHPITSBERG and V. S. NICOLSKII: Steel USSR, 2(1972) 8, p. 624  
R. E. ASEEV, V. N. ZHUCHIN, and V. M. KONDRASKIN: Steel USSR, 2(1972) 4, p. 284
- 126) B. TARMANN and W. POPPMEIER: J. Metals, 18 (1966) 4, p. 453
- 127) A. G. KOTIN and V. G. LITVINENKO: Metallurg, 14(1969) 7, p. 23
- 128) J. WOODBURN, G. R. LOHMAN, and E. A. CARLSON: Proc. of Elect. Furn. Conf., (1963), p. 193
- 129) 製鉄機械設備総覧, (1971), p. 323
- 130) J. R. DREVER, G. R. LOHMAN, and J. WOODBURN: Iron Steel Eng., 40(1963) 12, p. 123
- 131) 川崎製鉄, 西宮: 特殊鋼部会資料, 特 46-12-共 11(1972)
- 132) J. A. RASSENFOSS and R. K. KATUSCHKEVITZ: Proc. of Elect. Furn. Conf., (1965), p. 69
- 133) 中西, 大井, 宮崎, 岩岡: 鉄と鋼, 58(1972) 11, S 350
- 134) 大谷, 三原, 岩岡: 鉄と鋼, 58(1972) 11, S 351
- 135) Indust. Heat., 31(1964) 7, p. 1298
- 136) Indust. Heat., 39(1972) 1, p. 74
- 137) 鈴木, 中野, 高田, 中島, 鈴木: 鉄と鋼, 50(1964) 11, p. 1702
- 138) 鈴木, 高田, 鈴木, 中島: 鉄と鋼, 51(1965) 10, p. 1901
- 139) 新日本製鉄, 光: 特殊鋼部会資料, 特 43-15-共 12(1971)
- 140) 牛島: 鉄と鋼, 47(1961) 3, p. 390; 鉄と鋼, 47 (1971) 3, p. 393
- 141) 市川, 岸田, 南村: 鉄と鋼, 57(1971) 11, S 457  
住友金属, 和歌山: 特殊鋼部会資料, 特 44-10-共 7(1971)
- 142) E. I. ASTROV: Nepreryvnaya Razlivka Stali, (1970) p. 100
- 143) 日本金属工業, 相模原: 特殊鋼部会資料, 特 46-18-共 10(1972)
- 144) M. P. KENNEY: J. Metals, 20(1968) 3, p. 88
- 145) A. MCLEAN: J. Metals, 20(1968) 3, p. 96
- 146) D. I. BROWN and G. HARRY: Proc. AIMME Nat. OH Basic Oxy. Steel Conf., 52(1969), p. 137
- 147) A. Ay. GLAZKOV and M. G. CHLGRINOV: Metallurg, 9(1971) 9, p. 16
- 148) D. HALL and A. MET: Brit. Foundryman, 56 (1963) 5, p. 226
- 149) 新日本製鉄, 光: 特殊鋼部会資料, 特 44-15-共 8(1971)
- 150) 栗田, 池田, 丸川: 鉄と鋼, 56(1970) 4, S 56;  
鉄と鋼, 56(1970) 14, p. 1819
- 151) E. I. ASTROV: Nepreryvnaya Razlivka Stali, (1970) p. 219
- 152) M. G. CHIGRINOV and A. L. LIBERMAN; Metallurg, 13(1968) 7, p. 15
- 153) 日本金属工業, 相模原: 特殊鋼部会資料, 特 44-18-共 9(1971)
- 154) M. P. KENNEY: Proc. of Elect. Furn. Steel Conf., (1967) p. 45
- 155) B. Z. KONONOV, A. I. KOTPAKOV, and G. D. SHURYGIN: Stal, 22(1962) 4, p. 265
- 156) A. R. GLAZKOV: Metallurg, 16(1971) 9, p. 16
- 157) V. S. RUTES and M. S. CHIGRINOV: Stal in Eng., (1970) 10, p. 778
- 158) 小池, 日景, 渡辺: 鉄と鋼, 53(1967) 10, S 270
- 159) 小池, 日景, 渡辺: 鉄と鋼, 55(1969) 3, S 115

- 160) A. D. KLIPOV and A. I. KOLPAKOV: *Steel USSR*, 1(1971) 2, p. 107
- 161) N. T. MILLS and L. F. BARNHARDT: *Proc. AIMME. Nat. OH Basic Oxy. Steel Conf.*, 54 (1971), p. 303
- 162) V. S. RUTES and B. V. FITILEV: *Stal in Eng.*, (1966), p. 104
- 163) *Mines et Metallurgie*, 153(1969) 5, p. 151
- 164) G. C. DUDERSTADT and R. K. IYENGAR: *Proc. AIME Elect. Steel Furn. Conf.*, 25(1968), p. 61
- 165) R. K. IYENGAR and J. M. METESA: *J. Metals*, 20(1968) 4, p. 9
- 166) A. MCLEAN: *J. Metals*, 20(1968) 3, p. 96
- 167) 杉田, 野村: *鉄と鋼*, 56(1970) 11, S. 434
- 168) T. R. MEADOWCRAFT and R. J. MILBOURN: *J. Metals*, (1971) 6, p. 11
- 169) 高石, 村田, 小舞, 関原: *鉄と鋼*, 59(1973) 11, S. 311
- 170) I. A. NENALZDNIKOV, A. P. SUCHKOV, and N. G. VERGAZOV: *Stal*, 27(1967) 2, p. 123
- 171) D. HALL and T. MCHUGH: *JISI*, (1965) 2, p. 665; *ISI Spec. Rep.*, 89(1965) p. 105
- 172) *Iron Steel*, 35(1962) 8, p. 340; *Iron Steel*, 31 (1958) 12, p. 610
- 173) 牛島: *金属材料*, 11(1971) 5, p. 18
- 174) M. WAHLSTER, A. CHOUDHURY, and L. RHODE: *Proc. ICSTIS*, (1971), p. 601
- 175) M. CABANE: *Rev. Met.*, 58(1961) 8, p. 661
- 176) 小池, 山田, 府川, 渡辺: *鉄と鋼*, 57(1971) 11, S. 644
- 177) 岡本, 仕幸: *塑性と加工*, 79(1967-8) 8, p. 395
- 178) B. PACZULA and J. LABAS: *Prace Inst. Hutniczych*, 17(1965) 2/4, p. 129
- 179) *Metallurg*, (1968) 12, p. 46
- 180) *33/Magazine*, (1970) 5, 7, 10, 11, 12