

討8 オーステナイト系ステンレス鋼の小断面連铸について

大平洋金属(株)八戸工場 山田桂三 ○渡部十四雄 福田和郎
藤山 環 田代 時夫

1. 緒言

ステンレス鋼の連铸について、スラブまたは大断面ブルームに関する文献は多く見受けられるが、小断面連铸に関する資料は少ない。当八戸工場は、オーステナイト系ステンレス鋼の原料として自家生産したFe-Ni, Fe-Cr溶湯を直接LD転炉または電気炉に装入し、脱珪後AOD炉で精錬してから連铸するいわゆる鉱石から一貫体制によるステンレス鋼を得るプロセスP.H.A法(PAMCO Hot Alloy法)を確立している。特に連铸においては、AOD炉で精錬した溶鋼を115mm^φから175mm^φビレットを対象に連造し、SUS 303, 310, 321, 347やXM7等の特殊ステンレス鋼を含め、オーステナイト系ステンレス鋼全般を1ヒートによる直接圧延により各々良好な製品を得ている。ここに実操業で得た小断面連铸における経験を紹介したい。

2. 表面性状

2-1. パウダーキャスト

浸漬ノズルを用いたパウダーキャストについては、大気による再酸化防止、メニスカスでの保温と凝固被膜生成防止、非金属介在物の吸着や凝固シェルと铸型間の潤滑等これまで種々報告されている。一般にビレット連铸における浸漬ノズルの使用限界サイズは150mm^φ程度と言われているが、当工場では115mm^φの最小铸片まで採用しており何ら問題なく操業している。勿論メニスカス部における浸漬ノズルの面積占有率には十分配慮し、鑄造初期のブリッジングやパウダーの滓化促進等を阻害せめよう留意している。一方パウダーキャストではパウダー特性が表面性状を左右する要因であることは周知の通りであり、また多く検討されているが、オーステナイト系ステンレス鋼のように表面研削後圧延する場合、その研削歩留に与える影響については余り述べられていない。パウダーの撰択にあたって、表面性状や皮下性状の改善は勿論であるが、同時に研削ロスの軽減も考慮せねばならない。研削ロスを律する要因としてオシレーション深さ、铸型の肌荒れ、凹みや皮下性状であるが铸片の肌荒れや凹みについては铸型の影響も受ける。図-1にオシレーション深さと研削ロスの関係を示す。当然のことながら深さが大になれば研削ロスも大となる。それ故表-1に示すようなパウダーを用いて調査した結果を図-2に示す。図-2からわかるように、研削ロスについて評価するなら、我々の鑄造条件では少なくとも粘性が $\log \eta = 0.9$ at 1300℃までの範囲において、高粘性の方が良い結果を得ている。また铸片の凹みについても、写真-1に示すように、低粘性ではオシレーションマークの形状が改善されるものの、高粘性のAパウダーの方が良い結果を得た。また研削後のノロカミ指数も各パウダーでその差が認められず、更に低粘性パウダーの場合、

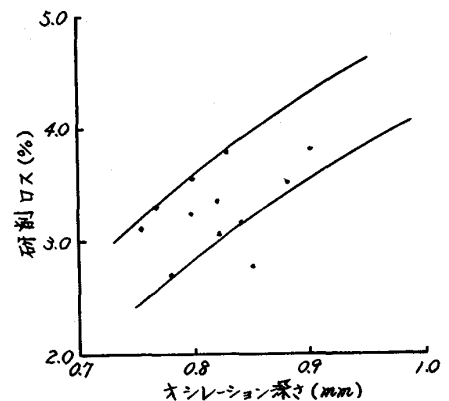


図-1. オシレーション深さと研削ロス(65mm^φ)

表-1. パウダー性状

銘柄	融点(℃)	CaO/SiO ₂	Al ₂ O ₃ (%)	粘性 at 1300℃
A	1240	1.00	2.5	0.87
B	1190	0.95	2.5	0.65
C	1150	0.98	8.0	0.48
D	1100	1.02	10.0	0.38

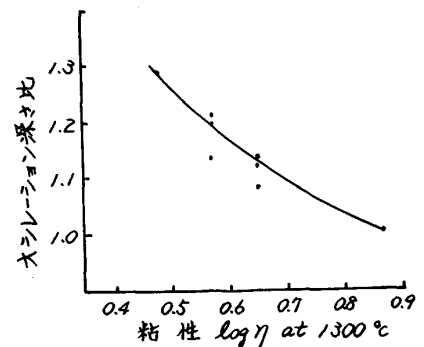


図-2. パウダー粘性とオシレーション深さ

アルカリやフッ化物濃度が高くなり、 Al_2O_3 -Gr系浸漬ノズルのスラグライン溶損が著しい。従って現在では高粘性のAパウダーを用いて歩留向上を計っている。またSUS321等Ti添加鋼や303のようが快削鋼の鑄造にも同一パウダーを用いて何ら支障なく良好な鑄片を得ている。

2-2. 鑄型

連鑄における鑄型は、抜熱による凝固シェルの形成、薄いシェルの保護や鑄片表面性状の改善、生産コスト等に影響を与え、非常に重要である。当工場では115mm ϕ 、130mm ϕ 、165mm ϕ および175mm ϕ 各サイズ共チューブラ鑄型を用いているが、鑄造対象鋼種がオーステナイト系ステンレス鋼であり、低炭素鋼やCr系ステンレス鋼に較べ熱膨張係数が約1.5倍と大きい為、0.6%テーパーを採用している。鑄片の表面性状とテーパーについては、鑄造条件によって異なると考えられるが、比較的低速鑄造を実施しており、この条件下ではテーパーが崩れてくるに従いオシレーションマークが乱れ始め、ついで鑄型内で局部的に破断が起り2重肌が発生し、やがてブレークアウトを誘発する。従ってこのような表面性状劣化を防止する上でテーパー管理が必要であり、現状では経験的に約1/3テーパーを使用限界として、拡間加工法による修正を行うことにより再使用している。従来のD-CuやAg-Cuでは適正な補修サイクルを得ることが出来ず、同時に拡間加工による鑄型寸法の拡大も加味され問題を提起していた。その為より高温強度があり、耐摩耗性の優れたCr-Zr-Cuの採用を検討し、板からの溶接加工によるチューブラ鑄型を採用し良い結果を得ている。図-3に各材質および溶接部の高温特性を、図-4に溶接部の硬さ特性を示す。溶接部の熱伝導度の差が組立鑄型の合せ目不良により発生する欠陥のごとく、鑄片に悪影響をおよぼすのではと懸念されたが、現実に問題なく良好な鑄片を得ている。また鑄型用材質の

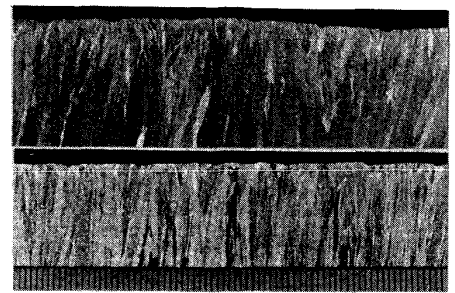


写真-1. パウダー・オシレーションマーク
上: Dパウダー 下: Aパウダー

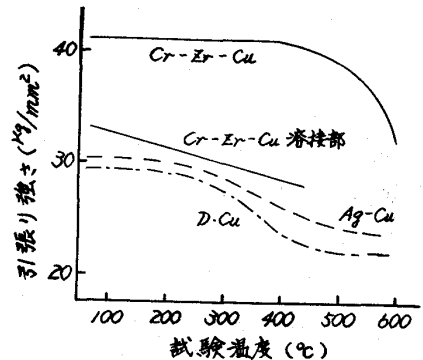


図-3. 各材質および溶接部の高温特性

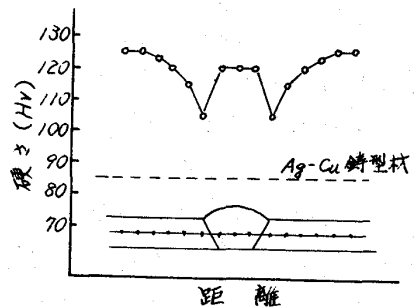


図-4. Cr-Zr-Cu溶接部の硬さ

表-2. 各種材質による鑄型の使用結果

材 質	製 作 法	肉 厚(mm)	補修サイクル(回)	D-Cuとの寿命比
Cr-Zr-Cu	溶 接 法	10	130~150	3 倍
"	ブロック削出し	12	"	"
Ag-Cu	"	12	70~80	1.5 倍
D-Cu	"	12	40~60	-

熱伝導度の差は、パウダーキャストや空隙の生成等の要因により、総抜熱量に対しそれ程大きな影響を与えず殆んどバラツキの範囲内にあると言う報告もある。表-2に各種材質による鑄型の使用結果を示す。このように溶接構造のCr-Zr-Cuを採用することにより鑄型寿命を大巾に改善することが出来、鑄型による表面性状の管理、生産性の向上やコストの低減を計ることが出来た。

3. 内部性状

3-1. ロングノズル鑄造

取鍋・タンディッシュ間のシール法として当初アシール法を採用し効果を上げたが、コスト的に高価であり、現在ではシール効果が更に良好と考えられるロングノズル法を全面的に採用している。図-5

に一例としてSUS309のタンディッシュ内における鋼中のガス量の経時変化を大気鑄造と比較して示す。双方共にタンディッシュ内湯面を人造スラグで被覆しているので大気鑄造の場合、溶鋼流のみの露出で大気汚染され、[N],[O]が夫々25, 20ppm上昇しており、ロングノズル法の効果がわかる。特に[N]の制御を必要とする凡添加鋼の[N]を100ppm以下にすることが望ましく、低レベルの溶鋼鑄造にロングノズル法の効果が大であると考えられる。普通鋼塊法と比較しても清浄度や地疵検査で優れた結果を見出すことが出来、図-6, 7に連鑄材と鋼塊材よりの製品品質を比較して示す。

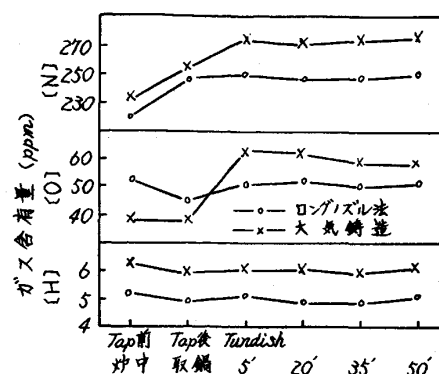


図-5. SUS 309 ガス経時変化

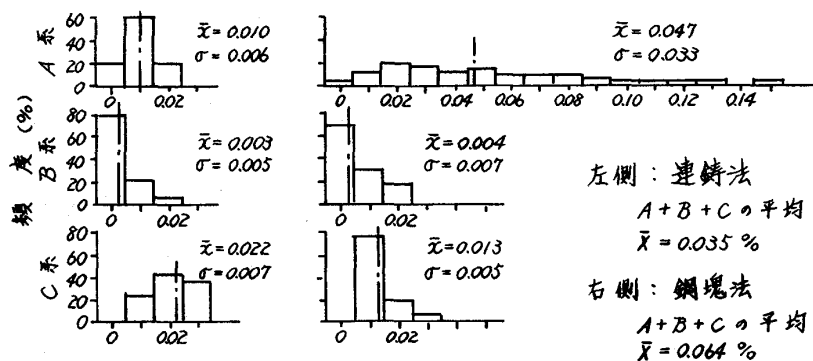


図-7. 製品清浄度の比較(304)

3-2. スターラー

全サイズの鋳片にスターラーを採用し、中心部の等軸晶化、微細化あるいは中心収縮孔の改善を計り効果を上げている。表-3にスターラーの概略諸元を示す。攪拌効果については、鋼種や攪拌強度によって異なり、310等オーステナイト単相鋼では容易に等軸晶化するが、304に関しては中心収縮孔が改善されるものの等軸晶化はやや困難である。同一溶鋼でストランド別にスターラー処理し、マクロ的に目視分類すると図-8のごとくなり、中心収縮孔評点が1~2改善されることがわかる。尚図中評点No. が小さくなる方が良好である。一方等軸晶化については勿論 ΔT による影響を大きく受けるが鋼種により一定の攪拌力を与えれば等軸晶化を促進することが既に報告されており、攪拌強度により更に等軸晶が微細化することを調べた。表-3に示した20, 50, 95 KVAの各スターラーで処理されたSUS310S鋳片の調査結果を図-9に示す。図は20 KVAスターラーの攪拌力および結晶粒度を1として対比した。この結果攪拌強度に比例して微細化が進行することがわかり、現在では95 KVAスターラーにて全サイズ鋳片を処理し、これらの効果により加工比の上でも改善され、従来線材母材として165mm ϕ , 175mm ϕ 鋳片に代り、115mm ϕ や130mm ϕ 鋳片から1ヒートにより5.5~13.5mm ϕ 線材の圧延を可能にした。同時に165mm ϕ , 175mm ϕ 鋳片の加工比軽減も期待したい。

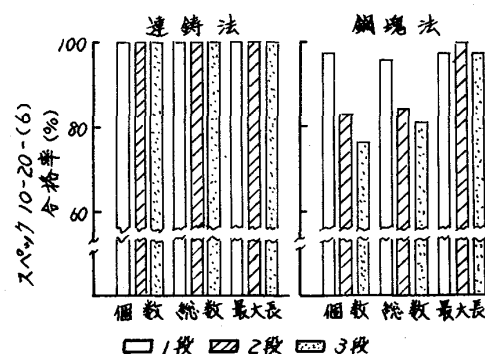


図-6. 製品地疵水準合格率の比較(304)

表-3. スターラー諸元

出力 (KVA)	20	50	95
極数	2	2	2
周波数 (Hz)	50	50	50
電圧 (V)	24	200	400
電流 (A)	420	144	138
磁束密度 (gauss)	500	605	740

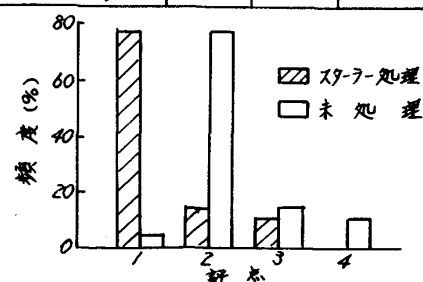


図-8. スターラーによる中心収縮孔の改善

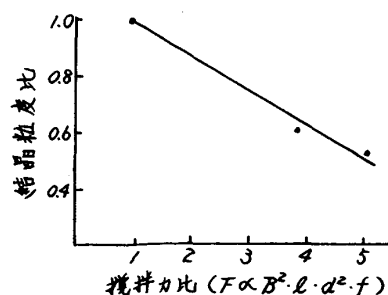


図-9. スターラー攪拌力と組織の微細化

4. 鑄造条件と割れ欠陥

介在物、地疵や圧延比等に関しては以上の鑄造法により改善され得るが、割れ欠陥についてはスターラー効果として中心割れの改善を報告している例はあるが、基本的には鑄造温度、二次冷却率や鑄造速度等の鑄造条件の管理が必要であり、更には同一鋼種であっても鋳片サイズによってその割れ感受性が異なる。そのため、鋳片の割れ管理、鑄造条件の管理法としてシェフラーダイヤグラム上に鑄造経験鋼種を位置づけることにより鑄造条件を選定しており、未経験鋼種の鑄造にも役立っている。図-10に鑄造経験鋼種を位置づけてこのダイヤグラムを示す。310、316や305等のオーステナイト単相鋼では鑄造時の割れ感受性が高く、特に115mm^φや130mm^φのより小断面鋳片では冷却速度が大となるため、大サイズと比べ割れ感受性に与える相乗効果が大きく、低温、低速および徐冷が要求される。S快削鋼の303についてもオーステナイト単相鋼同様である。またδフェライトが8%以上の309、347等に関しては割れと同時に熱間加工性におよぼす影響を考慮せねばならない。更に321やDIN 4571等Ti添加鋼では、Ti酸化物や窒化物の生成防止が重要であり、より小断面の場合注意を要する。このように対象鋼種がオーステナイト系ステンレス全般に亘り、鑄造条件も4T 20~70℃、二次冷却比水量0.50~1.0ℓ/kg、鑄造率も160~260 kg/min-stの広範囲の条件から鋼種によって選択している。

5. 結 言

以上のように、オーステナイト系ステンレス鋼の小断面連鑄に関して

- 1) 115mm^φまでの全サイズに浸漬ノズルを用いたパウダーキャストの採用
- 2) 溶接加工法によるCr-Zr-Cu製チューブラー鑄型の採用
- 3) 全チャージロングノズル法による無酸化鑄造の実施
- 4) ビレット全サイズにスターラーの採用
- 5) シェフラーダイヤグラムによる鑄造条件の管理

等の改善により、普通鋼塊法に優れる連鑄片を生産することが出来た。今後更に内質改善を進め、連鑄片の品質を向上させるとともに、鋳片の無手入れ圧延や加工比の軽減を計りたい。

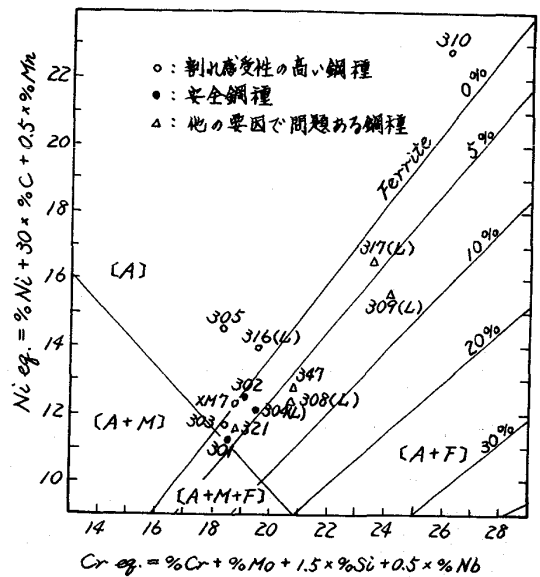


図-10. Schaeffler Diagram 上での当社経験鋼種

- 参考文献
- 1) 竹内、池原、柳井、松村 鉄と鋼 63(1977) 8. P1287
 - 2) K. Wünnenberg. Mannesmann Conference Oct. 1974
 - 3) 細田、森川、吉田 伸鋼技術研究会誌 18(1979) 1. P115
 - 4) 山田、渡部、福田 鉄と鋼 62(1976) 4. S133
 - 5) 山田、府川、渡部、福田 鉄と鋼 64(1978) 11. S623
 - 6) 山田、渡部、福田、田代 鉄と鋼 64(1978) 11. S624
 - 7) 太平洋金属ハナ 第58回特殊鋼部会
 - 8) ステンレス鋼便覧 1973年版 P104 他