

特殊線材の製造技術の推移について*

菅 浦 正 俊**

On the Manufacture Method of High Carbon Wire Rod.

Masatoshi SHŌBU

I. 緒 言

当社鉄鋼事業部は線材、棒鋼を主製品としているが、今日まで幾多の変遷を重ねて需要家各位の御要望に多少とも御応えして来た。

この間戦時中の輸入杜絶による原料難、軍需の緊急要請、戦時中、戦後の原料悪化、需要の不足、さらには景気好転による需要急増とそれに対する増産態勢、一方においては急激な品質向上の要求、そしてこれに順応した生産設備の必要など幾多の難問に遭遇して来た。

昭和 34 年待望の銑鋼一貫態勢を確立してから、この態勢を特殊線材生産工程に十二分に活用することにもわれわれの苦心は払われて来た。

われわれは常にその踏み来つた経過を反省し、さらに今後の発展への基盤とすることが必要であることを痛感しわれわれの特殊線材生産過程を述べて大方の御批判を戴きたいと考えるしだいである。

II. 酸性平炉による特殊線材の製造

ピアノ線材は戦時中輸入品が杜絶し、これの国産化が急務として要請されたので当社においても品質目標をスエーデン線材においてその生産を行なつて来た。

いろいろの経緯はあつたが当面最高品質の生産を目標にしたので、本溪湖低磷低銅銑を主原料として 50 t 酸性平炉による溶製が計画され実施された。もちろんこの狙いはスエーデンの木炭銑使用と同様、使用原料の優秀性を十二分に生かすとともに、酸性平炉独特の平衡論的精錬過程を考慮し鋼滓調節を十分行なわしめ不純ガス成分、不純物成分を除去し清浄度の高い鋼を得ることを目指したものである。

さらにこの精錬機構を完璧ならしめるために鋼滓調節法を実操業において研究し、従来の住友の Mn 法、呉海軍工廠、日本製鋼、神戸製鋼の石灰法の長所を併用した Mn-石灰法を確立した。

一方その他の精錬技術、温度管理、炉体構造などもいろいろの研究を加えて酸性平炉による特殊線材の製造に適合したものへと逐次改善を重ねていつたのである。

とくに酸性平炉の採用により輸入線材に劣らぬ成分調整が行ない得ることとなり、このため 2 次製品加工時のパテンティング処理による機械的性質のバラツキを十分需要者の要求範囲に抑えることができた。

第 1 表、第 2 表には酸性平炉、塩基性電気炉および後述する塩基性平炉鋼の成分バラツキとスエーデンおよび米国の輸入線材の成分バラツキを 70C および 80C の 2 鋼種において例示する。この第 1 表からも判明するごとく、成分バラツキにおいては酸性平炉のそれはきわめて少なく、外国成品に比してまったく遜色が見られない。

また、一方において特殊線材にはその 2 次加工における伸線後の捻回値、韌性値などが重要視される。これらの性質をよくするためには、線材の結晶粒度を粗かつ均一にして、伸線後良好なせい組織（ファイバーストラクチャー）にしなければならない。

また線材のパテンティングにおける焼入性をよくしてフェライトの残留しない均一なソルバイト組織を得るためにも結晶粒度は粗かつ均一にしなければならない。

一般に粗粒化は混粒を伴うのであるが、酸性平炉における精錬はきわめて安定平穩に行なわれるため、鋼滓中の酸素が少なくブロッキングも完全であつて不純物も少なく、取鍋中の強制脱酸剤の添加はきわめて少量で済むものである。これらの影響により粗かつ均一なオーステナイト結晶粒度の成品が得られた。スエーデン線材との結晶粒度の比較を第 3 表に示す。

第 3 表に見るごとく酸性平炉の結晶粒度は 3.0~4.0 できわめて安定しており、また混粒もほとんど認められていない。

非金属介在物も高級な用途、とくに繰返し荷重を受けるバルブスプリングなどにはしばしば問題とされる特性値であるが、これも上記のごとき静的精錬を経、而も強制脱酸剤の少ない原料の厳選された酸性平炉鋼ではきわめて少ないのはむしろ当然といわなくてはならない。そ

* 昭和 36 年 4 月、本会第 46 回通常総会における香村賞受賞記念特別講演

** 株式会社神戸製鋼所取締役鉄鋼事業部長

第1表 70C線材の化学分析の比較 (wt%)
(JIS G 3502 SWRS 1A)

鋼種	成分 (%)	統計量	スエーデン		当 社		
			A	B	酸性平炉鋼 (ピアノ線材)	塩基性電炉鋼 (ピアノ線材)	塩基性平炉鋼 (普通70C)
70C	C	\bar{x} σ Range	0.703 ~ 0.69/0.72	0.732 ~ 0.39/0.76	0.719 0.0096 0.70/0.74	0.731 0.0107 0.72/0.75	0.722 0.0144 0.70/0.75
	Mn	\bar{x} σ Range	0.308 ~ 0.28/0.35	0.438 ~ 0.39/0.51	0.465 0.0293 0.42/0.48	0.508 0.0172 0.48/0.54	0.467 0.0323 0.42/0.52
	Si	\bar{x} σ Range	0.273 ~ 0.21/0.35	0.270 ~ 0.19/0.31	0.223 0.0174 0.18/0.21	0.219 0.0182 0.18/0.25	0.275 0.0188 0.21/0.30
	P	\bar{x} σ Range	0.0198 ~ 0.014/0.023	0.0158 ~ 0.013/0.025	0.0172 0.0017 0.012/0.020	0.0153 0.0029 0.011/0.020	0.0172 0.0036 0.010/0.021
	S	\bar{x} σ Range	0.0151 ~ 0.013/0.017	0.0228 ~ 0.020/0.025	0.0167 0.020 0.011/0.022	0.0076 0.008 0.006/0.009	0.0192 0.0018 0.017/0.023
	Cu	\bar{x} σ Range	0.013 ~ 0.01/0.02	0.016 ~ 0.01/0.03	0.015 0.0050 0.01/0.02	0.014 0.0049 0.01/0.02	0.072 0.025 0.03/0.12
	Ni	\bar{x} σ Range	tr ~ tr	tr ~ tr	0.009 0.0171 tr/0.04	tr tr tr	0.046 0.0057 0.04/0.06
	Cr	\bar{x} σ Range	0.063 ~ 0.03/0.07	0.040 ~ 0.02/0.08	0.023 0.0111 tr/0.04	0.040 0.0100 0.02/0.07	0.055 0.0070 0.04/0.07

第2表 80C線材の化学分析の比較 (wt%)
(JIS G 3502 SWRS 2A)

鋼種	成分 (%)	統計量	スエーデン		アメリカ	当 社		
			A	B	C	酸性平炉鋼 (ピアノ線材)	塩基性電炉鋼 (ピアノ線材)	塩基性平炉鋼 (普通80C線材)
80C	C	\bar{x} σ Range	0.803 ~ 0.76/0.84	0.790 ~ 0.77/0.81	0.853 ~ 0.84/0.89	0.831 0.0094 0.81/0.84	0.828 0.0098 0.81/0.85	0.835 0.0107 0.81/0.85
	Mn	\bar{x} σ Range	0.343 ~ 0.31/0.43	0.400 ~ 0.33/0.47	0.750 ~ 0.72/0.80	0.466 0.0301 0.40/0.52	0.499 0.0208 0.46/0.53	0.503 0.0330 0.43/0.55
	Si	\bar{x} σ Range	0.265 ~ 0.24/0.32	0.230 ~ 0.23	0.203 ~ 0.20/0.21	0.226 0.0150 0.20/0.25	0.216 0.0194 0.19/0.25	0.278 0.0202 0.23/0.30
	P	\bar{x} σ Range	0.0183 ~ 0.015/0.021	0.0160 ~ 0.015/0.017	0.0130 ~ 0.012/0.015	0.0183 0.0019 0.013/0.019	0.0152 0.0022 0.010/0.019	0.0126 0.0021 0.008/0.018
	S	\bar{x} σ Range	0.0170 ~ 0.011/0.021	0.0100 ~ 0.004/0.016	0.0200 ~ 0.018/0.023	0.0166 0.0013 0.014/0.018	0.0081 0.0013 0.006/0.011	0.0202 0.0021 0.014/0.022

鋼種	成分 (%)	統計量	スエーデン		アメリカ	当 社		
			A	B	C	酸性平炉鋼 (ピアノ線材)	塩基性電炉鋼 (ピアノ線材)	塩基性平炉鋼 普通80C線材
80C	Cu	\bar{x}	0.015	0.020	0.160	0.015	0.016	0.060
		σ	~	~	~	0.0050	0.0050	0.0147
		Range	0.01/0.03	0.02	0.15/0.17	0.01/0.02	0.01/0.02	0.02/0.11
Ni	\bar{x}	tr	0.045	0.063	0.013	tr	0.039	
	σ	~	~	~	0.0134	tr	0.0083	
	Range	tr	tr/0.09	0.06/0.07	tr/0.03	tr	0.02/0.05	
Cr	\bar{x}	0.059	tr	0.08	0.021	0.037	0.051	
	σ	~	~	~	0.0122	0.0075	0.0124	
	Range	0.03/0.13	tr	0.07/0.09	tr/0.04	0.02/0.05	0.03/0.07	

第 3 表 酸性平炉とスエーデン線材の結晶粒度

国 名	種 別	結 晶 粒 度 番 号		
		Gc	最小値	最大値
スエーデン	A 社 線 材	5.18	2.7	6.8
	B 社 線 材	4.51	2.9	5.5
当 社	酸性平炉鋼線材	3.50	3.2	3.9
	塩基性電炉鋼線材	4.24	3.0	6.9

の例を第 4 表に示す。

第 4 表に見るごとくその清浄度は酸性平炉においては卓絶しているといつて過言でない。

つぎに鋼中のガス成分を第 5 表に示す。酸性平炉材の酸素量はいちじるしく減少し輸入材に比しまつたく遜色ないものであることが判る。

このようにして製鋼過程における苦心の結果われわれは十分外国成品にまつたく遜色のない特殊線材製造法を酸性平炉において確立したのである。

III. 塩基性平炉による特殊線材の製造

特殊溶接棒用線材はその溶接性およびその溶接後の材質要求によつて材質上、低P、低S而も Cu, Ni, Cr Sn, As などのいわゆる微量成分の少ないことをとくに要求される。このためわれわれはその原料厳選に努力したのであるが然し戦後の悪環境下においては低質炭使用

の発生炉ガスからのSの鋼浴滲入は如何ともし難かつた。この悪状況下において低Sの特殊溶接棒製造に必要な低Sの燃料の必要から遂に溶滓式ガス発生炉を完成せしめた。然もこれは低質炭の使用を可能ならしめ当時高級炭の入手に苦しんでいたわれわれの苦心を一時払拭したのである。これも良質重油の輸入可能となつた現在となれば問題とならぬが当時の状況では誠に苦慮したことであつた。

また、この優良燃料の入手難は単に溶接棒用線材の製造を困難ならしめたのみならず一方において高炭素特殊線材の製造にも影響を与えたのである。

そもそも高炭素特殊鋼線材の製造の眼目となる粗粒鋼の精錬に当つては、その粒度調整のためにつぎの点がまず達成されなくてはならない。

- すなわち、1. 溶落C% = 目標成分 + (0.60~0.80)
- 2. 鉍石終りC% = 目標成分 + (0.30~0.40)

また、精錬期中のMn%は常に0.20以上に保持することが必要である。

戦前、戦後を通じて材料、燃料事情はいろいろ変遷をし、酸素製鋼の導入もあつたのであるが、何れの場合もこれらの条件を調整して上記の精錬条件を確保高級線材の溶製に成功して来た。

われわれは戦時中低P銑不足により塩基性平炉による低合金鋼の製造、特殊線材の溶製を行なつた経験を持つ

第 4 表 輸入材と平炉材の非金属介在物 (旧学振法による)

国 名	種 別	A				B			
		清 浄 度		厚 μ		清 浄 度		厚 μ	
		\bar{x}	最大値	\bar{x}	最大値	\bar{x}	最大値	\bar{x}	最大値
スエーデン	A 社 線 材	1.69	3.3	2.54	3.6	2.94	4.0	3.50	4.2
	B 社 線 材	1.23	3.8	2.00	4.2	1.93	3.0	3.79	4.4
当 社	酸性平炉鋼線材	0.35	0.8	0.70	1.9	1.42	1.8	3.21	4.0
	塩基性電炉鋼線材	0.37	0.8	0.82	2.2	1.92	2.7	3.63	4.4

第5表 線材のガス分析結果 (wt%)

国名	種別	H ₂	O ₂	N ₂
当社	酸性平炉材	0.00036 ~0.00065	0.0015 ~0.0019	0.0046 ~0.0053
	塩基性平炉材	0.00045 ~0.00065	0.0021 ~0.0027	0.0056 ~0.0065
スウェーデン	A社製	—	0.0015 ~0.0017	0.0045 ~0.0050
	B社製	—	—	—

ている。そこで戦後塩基性平炉の利用に着目し、酸性平炉に劣らぬ品質の特殊線材の生産に着手した。

昭和26年頃資源庁の塩基性平炉による優良高炭素鋼の製造という研究会において発表を行なった。

この間の過程について若干詳しく述べて見よう。

まず第一に低塩基度精錬を目途してこれに着手した。平均目標塩基度は仕上り2.5であった。このためには酸性平炉の精錬状況を参考にして鉍石添加昇温、石灰、螢石の使用などにつき綿密に計画するとともに作業員の指導養成に当った。

とくに鋼滓サンプルの炉前判定の習熟、蓄熱室の改造による昇熱作業能率向上、ブロッキングの確立、など幾多の改善を重ねていった。

また技術部門の協力もこの間に行なわれ鋼滓の迅速分析法の採用とその実用化が行なわれ塩基度分析は試料採取後20分以内に実施されることになり大いに塩基性平炉による特殊線材の生産に寄与したのである。またイメージンパイロメーターの導入実用化も行なわれたがこれら一連の技術導入は現場責任者間の個人差、技倆差をなくした。

しかし何といつても酸素製鋼法の導入は従来の精錬技術の考え方を一変せしめるのにきわめて大きな力があつたものと思われる。

すなわち当社は酸素発生装置のメーカーでもあり、国内では酸素の製鋼作業への導入をきわめて早期に行なつた。もちろん当初は酸素の大量使用の目的は燃料原単位の節減と塩基性平炉の生産性向上にあつたのは確かである。然しながらわれわれは酸素の精錬作業における積極使用を目的として溶鋼の直接酸化、いわゆるベッセマライジングを検討試行したのであるが、その結果従来の鉍石による間接酸化に比し鋼中の酸素量を低減せしめうることを確認し全面的に高級特殊線材への酸素使用を断行するにいたつた。

この間技術部門は試作材の各種試験を行ない、需要家での使用状況および最終製品の品質調査にも全力を挙げて努力したのである。その結果われわれは塩基性平炉に

おける高温沸騰精錬とくに酸素製鋼による不純物成分の直接酸化除去によつて従来の鋼滓—鋼浴平衡による精錬に十分匹敵する成品を得ることに確信を得たのである。

而も幸いにして当時この目的に合致した全塩基性平炉が生れたのでわれわれはこれを特殊線材の製造に使用すべく他社にさきがけて逸早く採択し改造を行なつた。

全塩基性平炉の新設により酸素の大量使用はさらに容易となつて直接酸化高温沸騰精錬をさらに活発に行ないうることとなつた。かくてまったく酸性平炉の精錬技術と異なつた精錬技術を適用した全塩基性平炉によつて酸性平炉材品質に匹敵する特殊線材を製造したのである。

一方原料面においては灘浜600t高炉を完成して、低Cu溶銑を社内的に確保しこれを脇浜平炉に溶銑輸送し特殊線材にも溶銑を使用している。

しかも社内溶銑の確保により銑配合率を高めることができ原材料のヴァージニティーを高め品質向上に資する所大いなるものがあつた。

以上の経過を経て得られた特殊線材品質については、すでに第1表～第4表に示した通りである。

つぎに、製鋼面上より要求される品質の概略をまとめると

1. 化学成分の均一なること
2. 内部組織が均一なること
3. 非金属成分の少ないこと
4. 含有ガス量の少ないこと
5. 不純成分の少ないこと
6. 焼入性および2次加工後のファイバーストラクチャー良化のため結晶粒度が粗くかつ整粒であることであり、これらの諸品質が塩基性平炉溶製鋼により達成された。

IV. 圧延設備の改善による特殊線材品質の向上

材質的には前記のごとく製鋼技術により決定される多くの特性があるが、この他特殊線材として要求される品質特性としては

1. 断面形状が真円に近いこと
2. 表面疵の少ないこと、肌荒の少ないこと
3. 単位重量の大であること
4. 脱炭の少ないこと

である。これらは何れも線材圧延機、加熱炉およびその技術によつて左右されるものである。これらの要求を満足するためにわれわれは製鋼技術の改善とともに圧延設備の改善に努力した。

すなわち、まず材質の均一化、造塊作業の単純化によ

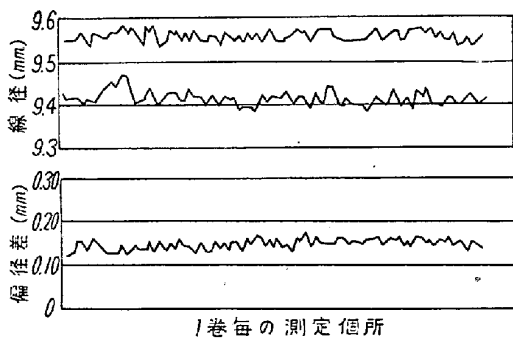
る品質安定を目途して 3~5t 鋼塊の分塊圧延を行ない得る第2分塊工場を昭和 30 年春に完成させた。ついでモルガシャーマー社より 5~25mm 線材用連続圧延機を購入設置した。これが第3線材工場である。加熱炉は輻射式テルモ社製のものを採用した。

当工場の特徴は

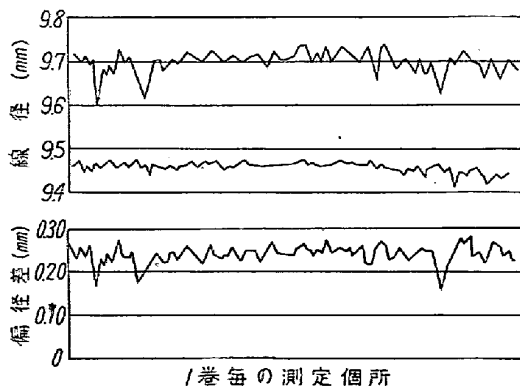
1. 加熱炉は輻射式で均熱が十分に一樣に行なわれ脱炭の少ないこと。
 2. 圧延機はすべて1本通しであり圧延速度早くしたがつて1束内の径のむらのないこと。
 2. 特殊なローラーフェールングを使用し嚙込良好にて疵発生の少ないこと。
 4. 仕上スタンドは別途に組立て設置するだけであつて組替時間少なくなかつ調整を確実にこなせること。
 5. 全連続式であること。
- などである。今この工場において圧延された寸法品質の例を第1図に示す。

第2図にはスウェーデン某社の 9.5mm φ 線材の形状を比較のために示す。

また、第3線材圧延工場成品の疵発生は、中間鋼片手入れによつても左右されるのであるが現在当社で行なっている標準工程により製造された塩基性平炉鋼線材成品の表面疵の状況を第6表に示す。



第1図 第3線材工場圧延の 9.5mm φ 特殊線材の線径



第2図 スウェーデン某社 9.5mm φ 特殊線材形状

第6表 線材表面疵深さ

国名	社名	試料数	表面疵深さ		
			0.1mm以上	0.05~0.1mm	0.05mm以下
スウェーデン	A	70	1.3%	6.3%	92.4%
	B	10	0	20.0%	80.0%
第3線材工場		237	0.4%	1.0%	98.6%

第7表 線材の脱炭

種別	脱炭平均深さ(mm)	最大深さ(mm)
スウェーデン線材	0.045	0.09
第3線材	0.044	0.08

また、前述のごとく脱炭量もきわめて少ないのであるが、これに関する例を日常検査の結果よりまとめて第7表に示す。

このようにして各圧延設備も完成し、この間造塊技術の向上、鋼片手入の改善、圧延機の部分的な改善など遂次その品質向上に努力し昭和 34 年その成果として酸性平炉による鋼片とこの圧延機の使用により若戸橋ワイヤロープ用特殊線材を完成したのである。

V. 大型電気炉溶銑使用による特殊線材の製造

最後に昨 35 年 8 月本邦最初の大型電気炉として建設された 60t 電炉の溶銑操作による特殊線材の生産について報告致したい。従来電炉は本邦では大凡 20t 程度の小型炉が多く小ロット生産しか行なわれなかつたのであるが、今回デマーク社および大同レクトロメルトの2基の 60t 電炉が当社の高砂および神戸の両工場に建設された。これは関係各工業の大型化と特殊鋼生産の大量化という要請、原価の低減、圧延設備の大型化などいろいろの条件に伴つたものである。然しわれわれは高級特殊線材生産の過去の経緯より考えて品質の向上、原価の低減には是非とも電炉への溶銑使用を行なうべきだと考えた。そしてこの試行実験を行なつたのである。結論から申し上げれば

1. 現在の炉体構造、付帯設備の点も考慮して生産性の最適点は溶銑 30% 配合であつて、冷銑使用時の生産性の 12% up を期待し得る。
2. 溶銑使用により原単位を低減することができる。原単位に関する実験結果を第8表に示す。
3. 然し作業性の点から溶銑配合率を 50% 以上に上げるためには現在の炉殻構造、除塵設備、吹酸設備など

第8表 溶銑使用 70C 材の原単位諸元

溶銑使用率	溶解期 (通電より第1試料まで)				精錬期 (第1試料より除滓まで)			
	時間 (分)	電力 kWh	電力 kWh/T	酸素 Nm ³	時間 (分)	電力 kWh	電力 kWh/T	酸素 Nm ³
0%	155	29,200	423	0	48	4500	65	150
30%	135	23,000	334	400	59	5000	72	260
100%	120	7,000	101	1100	150	5500	88	900

の改造を要する。

以上のごとき結論は 70C 特殊線材の試験溶製を 0, 10, 20, 30, 40, 50 および 100% 溶銑配合率で逐次行なつた結果より得たのである。

現在行なつている 70C (30% 溶銑配合) の溶製は大概つぎのごとき要領で行なつている。

70C 溶製 (30% 溶銑) 作業標準

1. スクラップ装入後定格電流で迅速溶解に努める。
2. 通電後 40 分で注銑実施。
3. 溶落 C の目標は出鋼目標成分 + 30C とする。
4. 出鋼差物前の C の目標は出鋼目標成分 - 0.05C とする。
5. 出鋼温度目標は 1590°C とする。
6. Al 取鍋投入量は 150 g/t とする。

冷銑、溶銑配合別不純元素分析結果を第9表に示す。

第10表には 70C 全溶銑材の非金属介在物と結晶粒度を参考までに示しておく。また第11表には 70C 全溶銑材および全冷銑材のガス含有量を示す。

今後の問題として品質向上、原単位低下のためさらに高銑配合の溶製に努力してゆきたいと考えている。

第9表 冷材、溶銑配合別不純元素 (%)

		Cu	Ni	Cr	Sn	As
冷材配合	\bar{x}	0.15	0.11	0.13	0.013	0.022
	σ	0.05	0.08	0.08	0.010	0.008
30% 溶銑配合	\bar{x}	0.11	0.07	0.08	0.005	0.020
	σ	0.04	0.07	0.06	0.006	0.009

第10表 介在物および結晶粒度 (全溶銑70C)

サンプル No.	非金属介在物				結晶粒度
	A	B	C	D	
1	0.04	0	0.03	0.07	4.1 (5)
2	0.07	0	0.02	0.09	4.8 (5)
3	0.05	0	0.02	0.07	4.5 (5)
4	0.04	0	0.01	0.05	4.0 (5)
5	0.06	0	0.01	0.07	4.6 (5)

第11表 全溶銑全冷銑および70C材のガス含有量全 (%)

	H ₂	O ₂	N ₂
全冷銑	3.8 × 10 ⁻⁴	0.008	0.00080
全溶銑	3.3 × 10 ⁻⁴	0.006	0.00063

VI. 結 言

以上酸性平炉より溶銑使用電炉にいたるまでの特殊線材製造の経過を述べて来たのであるが、われわれはそれぞれの時代に即して特殊線材製造の合理化のため一歩一歩踏み来たつもりである。

今当社においても、灘浜地区において第2号高炉、上吹 60t 転炉の建設に邁進しつつあり、転炉による特殊線材の製造も決して遠くないものと確信している。

われわれは微力ながら今後とも特殊線材製造の技術革新に一路努力を傾注して行く所存である。

終りに臨み今後とも御鞭撻、御指導下さるよう強く御願ひ申し上げるしだいである。(昭和36年4月寄稿)