

特別講演

マンネスマン・プラグミル方式による継目無 ステンレス鋼々管製造上の諸問題*

中 島 省 一**

SOME PROBLEMS ON THE MANUFACTURE OF SEAMLESS STAINLESS STEEL TUBINGS BY THE MANNESMANN-PLUG MILL PROCESS

Shoichi Nakajima

Synopsis:

Among various manufacturing methods of seamless stainless steel tubes from billet of stainless steel, there is the Mannesmann-plug mill process by which a comparatively good tube-making efficiency is ordinarily to be expected.

However, stainless steel tube-making by this method involves pretty difficult problems from its technical view-point, and it was of a quite recent date that the mass-production by this method was enabled to be carried out.

The author discussed with particular reference to the points at issue including those of the past and the future, for the manufacture of stainless steel tubes by this Mannesmann-plug mill process.

Throughout all the processes from billet-heating to final finish, the most difficult problem from the technical point of view mainly lies in the piercing process on which the author discussed rather in details, dealing with the other points according to priority.

I. 緒 言

われわれがマンネスマン・プラグミル方式によるステンレス鋼々管の製造を試みたのは、終戦後間もなくのことであった。ところが当初は穿孔機での疵の発生率が多くほとんど見込みがないものと思われた。その後穿孔機の改良、圧延機の再新等と相俟つて本格的試験に着手し、昭和27年に至り漸くフェライト系ステンレス鋼々管の生産が可能となり、さらに昭和29年にはオーステナイト系ステンレス鋼々管の市販が可能となる域にまで達した。

引続きここ二、三年間にステンレス鋼々管製造を目的として、改善、新設等を行い、漸く今日量産が可能となるに至つた。

この方式によるステンレス鋼々管の製造には技術的に困難な問題が多く今なお未解決のままのものが二、三あるが、過去数年間においてわれわれが改造を行つた点を御参考までに述べて見たい。

II. 概 説

当社におけるステンレス鋼々管の生産高は Fig. 1 に示したように、昭和31年後半において一時的な現象として若干の低落を示しているが、その他は急激な増加の一途を辿っている。図中にはステンレス鋼々管製造に関する主な設備改善、新設の時期を記入してあるが、穿孔機工具の改良に始

まりバレル型焼鈍炉新設に至り、漸く完全な量産態勢下に入つたと言える。量産と同時に生産能率もいちじるしく増大し、設備改善、新設の効果が Fig. 2 に見られる。

もちろん昭和31年末には、量産に入つた初期と比較して約3倍に近い能率を示しているが、後述するように能率向上に対しても未解決の問題を残しており、普通鋼

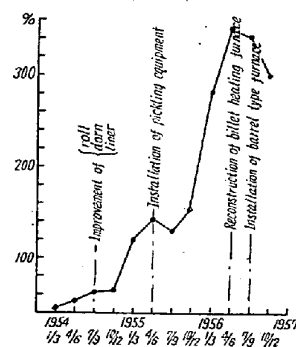


Fig. 1. Output trend (%) of stainless steel tubes (1955, 100%)

* 昭和32年4月本会講演大会にて発表

** 日本特殊鋼管株式会社

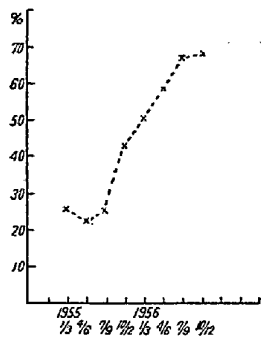


Fig. 2. Rolled tonnage (%) per hr. of stainless steel tubes (1955, 100%)

の能率の6~7割程度であるので、今後ますます上昇することが期待される。ステンレス鋼々管の製造工程はFig. 3のごとくであり普通鋼製造工程とほとんど同じであるが、疵取り、焼鈍、酸洗の諸工程が異なっている。図中に示したように、各工程中で問題のある点は

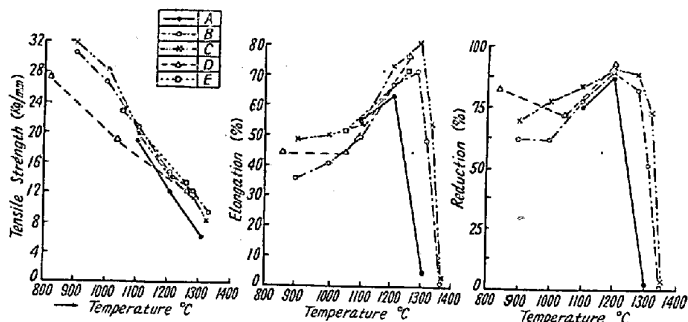
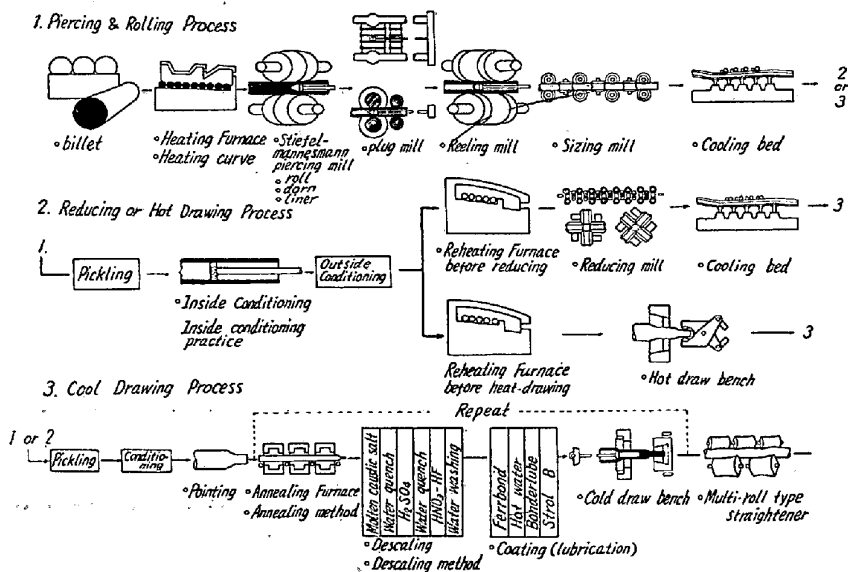


Fig. 4. Tensile test results of 25-20 at high temp. and high-speed.

この図より製管成績の悪いものは1200°C近辺で伸び絞りへの少いことが判る。



正誤 図左 3. Cool drawing とあるは Cold drawing の誤り
" 中央 heat drawing とあるは hot drawing の誤り

Fig. 3. Schematic diagram of stainless steel tube-making

- (1) 加熱曲線
- (2) 穿孔加工およびその工具寿命
- (3) 内面疵取り
- (4) 焼鈍方法
- (5) スケール除去方法

等の5点にあると言えよう。

一方材質的に見て問題のあるのは、オーステナイト系が主であり、当社において現在まで製造を行つた主なものの化学成分を Table 1 に掲げた。これらのものは若干の問題もあるが、そのほとんどが大略満足すべき製造結果が得られている。新鋼種の穿孔作業、あるいは Table 1 のような各種鋼種の穿孔作業の検討を行い得るように、それら鋼種の高温高速度加工を受ける場合の機械的性質をおさえておいてこれらの結果と穿孔作業とを併用しているが、25~20 についての一例を Table 2 および Fig. 4 に示した。

III. 各 論

以上概説した問題点について、以下順を追って説明する。

(1) 熱間加工部門

熱間部門においては、ビレットの加熱穿孔、圧延、磨管、定型、絞り、熱牽の各工程があるが、この中で最も問題なのが加熱と穿孔であつて、この2工程でほとんど成績が決定されてしまうとつても過言ではない。

i) 管材加熱炉

管材加熱の重要性については、早くより着目し、加熱炉は当初 Fig. 5 に示したように、側壁の窓から人力で管材を転送していたものをプッシャー式に改造した。

これはもちろん人件費の節減が最大の狙いであつたが改造の結果は炉況安定化のため、温度制御が精度良く行

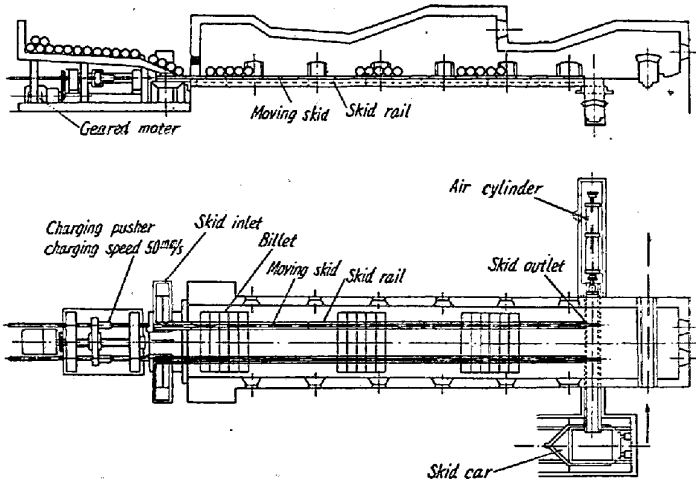


Fig. 5. Billet-heating furnace.

Table 1. Composition of stainless steel tubes.

		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	
18-8L	304L	≤0.03 0.028	≤0.75 0.56	≤2.00 1.59	≤0.030 —	≤0.030 —	8~12 11.16	18~20 18.72	— —	— —	— —
18-8	304	≤0.06 0.06	≤0.75 0.74	≤2.00 1.60	≤0.030 0.030	≤0.030 0.009	8~11 10.42	18~20 18.35	— —	— —	— —
18-8 MoL	316L	≤0.03 0.026	≤0.75 0.53	≤2.00 1.50	≤0.030 —	≤0.030 —	11~15 13.55	16~18 17.70	2~3 2.36	— —	— —
18-8 Mo	316	≤0.06 0.05	≤0.75 0.62	≤2.00 1.84	≤0.030 0.022	≤0.030 0.007	11~14 13.65	16~18 16.96	2~3 2.48	— —	— —
18-8 Cb	347	≤0.06 0.049	≤0.75 0.50	≤2.00 1.20	≤0.030 —	≤0.030 —	9~13 11.08	17~20 18.70	— 0.15	— —	Cb 10×C%~1.00 Cb 0.77
18-8 Ti	321	≤0.06 0.05	≤0.75 0.64	≤2.00 1.94	≤0.030 —	≤0.030 0.012	9~13 11.96	17~20 17.88	— —	— —	Ti 5×C%~0.60 Ti 0.70
18-8 MoCu	—	≤0.06 0.05	≤0.75 0.61	≤2.00 1.50	≤0.030 —	≤0.030 —	11~14 13.04	17~19 17.91	2~3 2.21	1~2 1.27	— —
22-15	309	≤0.20 0.126	≤0.75 0.46	≤2.00 1.61	≤0.030 0.043	≤0.030 0.006	12~15 14.05	22~24 22.71	— 0.27	— —	— —
25-20L	310S	≤0.08 0.07	≤0.75 0.70	≤2.00 2.00	≤0.030 0.010	≤0.030 0.007	19~22 20.25	24~26 24.55	— —	— —	— —
25-20H	310	≤0.25 0.15	≤0.75 0.75	≤2.00 1.63	≤0.030 —	≤0.030 —	19~22 20.83	24~26 25.03	— —	— —	— —

Table 2. Mechanical properties of 25~20 at high-temp. & high-speed.

Composition (%)										Heat treatment	Room temp. low speed				Results
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Tensile strength		Elongation	Reduction	Hardness		
A	0.14	1.49	1.50	0.017	0.012	20.72	24.59			1150°C	67.9	52.2	67.1	86	Bad
B	0.15	0.75	1.63		0.018	20.83	25.03	0.21		wq	66.6	46.0	58.2	84	Slightly good
C	0.15	0.61	1.53	0.015	0.012	20.84	24.87	0.10	0.14		66.4	49.6	69.5	83	Mostly good
D	0.07					20.48	24.43				57.8	60.8	73.0	75	Good
E	0.10					20.12	24.86				65.4	61.8	74.0	89	—

われるようになった。

加熱炉で重要なのは、その加熱曲線である。Fig. 6は加熱曲線の変遷を示すものである。始めは約1時間で

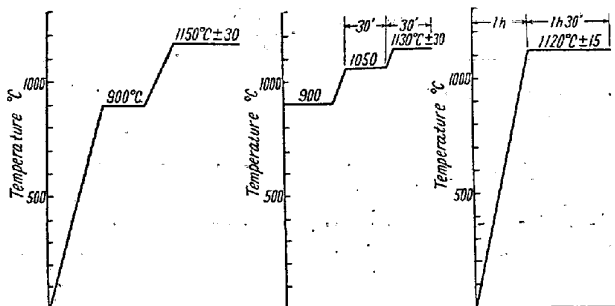


Fig. 6. Developments of heating curves before rolling operations.

900°C にあげ、ここで一時均熱を行い、加工温度 1150°C を目標に加熱後抽出穿孔を行っていたが、900°Cでの均熱の不必要、900°C→1150°C 急速加熱の困難、1150°C 抽出では穿孔温度が高過ぎる等から最終曲線が得られた。穿孔時には穿孔温度上昇が見られ、穿孔後 80°C~100°C の上昇が普通であり、抽出温度はこれによつて制限を受ける訳である。

最終曲線についても均熱時間、抽出温度の比較試験を行い、曲線の縦軸、横軸共に決定し、加熱曲線に関しては大略問題が解決したと思われる。

ii) 穿孔機

穿孔機は製管に最も重要な工程であつて、製品々質及び製造能率はほとんどここで決定されると考えてよい。

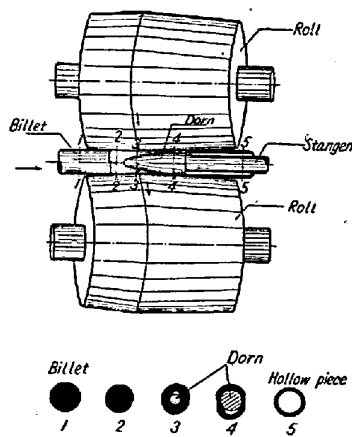


Fig. 7. Diagram of piercing operation.

それぞれに影響を持つのは、加工の仕方、つまり加工速度と加工度の問題および工具寿命の問題とであつて、前者が不適当な場合には穿孔後疵を発生し、後者が悪いと作業能率を阻害することになる。Fig. 7は穿孔変形過程を示す図であるが、穿孔速度はロール傾斜角およびロール径ではば決定され、加工度はロール間隔、芯金径およびその位置によつて決定されるが、それぞれ 0.5m/s. 穿孔機出口速度 65% 断面減少率程度が可能となり、概ね普通鋼と変りのない程度となり、加工のやり方に起因する穿孔疵の問題はほとんど解決された。現在ステンレス鋼々管能率を上げるためにどうしても問題となつているものに、穿孔用工具の問題があるが、それはつぎのごときものである。

ii-1) 穿孔機ロール

穿孔機ロールの寿命は、それがつきると組替えを必要とするので、そのロールの生産予定中に製管可能なステンレス鋼々管の総本数を決定することになる。

Kind	Prevention Method of Slippage	Type of Steel	Duration Life
Roll for Stainless Steel Tube	500% 200%	SAE 1030 SAE 1035 Cast Steel Welded roll for reclamation	2 shifts
Roll for Ordinary Steel Tube	Knurling p=0.2 R/R	Ditto	14 shifts

Fig. 8. Test results of piercer rolls.

普通鋼用には Fig. 8 に示すごときスリップ止めのローレット・マークをロール表面に刻んであるが、ステンレス鋼穿孔に際しては、このようなローレットが穿孔後の管にプリントされて、その後の加工中に表面疵となつてあらわれるので、ローレットなしのロールで穿孔する。各種形状のローレットをつけて穿孔テストを行つた

が、いずれも不成功に終つたので、作業中随時ロール表面を酸洗し、酸当な肌荒れを生ぜしめて使用している。ここでは、ローレットなしで穿孔中適当な肌荒れを生ずるようなロール材質の発見が問題である。Fig. 8は現在までの使用結果を普通鋼の場合と対比させて示したものである。

ii-2) リニヤル

穿孔用リニヤルは穿孔機パス、センターに対し上、下に位置し、穿孔圧延によつて材料が上下に膨出するのを抑える板である。したがつてその表面では材料がスリップするわけであり、磨耗および破損ももちろん問題ではあるが、主に材料が焼付いて穿孔後の管表面に所謂リニヤル・マークと称するスパイラル状の鋭い疵を残すことが問題である。この疵が発生するとただちに取替えを行わなければならないので、リニヤルの寿命は連続穿孔可能な作業本数を決定するといえる。

上記理由により、焼付を生じないしかも耐摩耗性のあるリニヤル材質が強く要求され、これにもとずき各種のテストが行われた。その結果を Table 3 に示してあるが、まだ満足すべき結果はえられていない。現在ノジュラ型が最もよい結果を示しているが、30~40回使用が大体の限度となつている。したがつてリニヤル材質の決定も今後に残された問題であるといえる。

ii-3) ドルン

ドルン(芯金)はあらかじめロール入口で回転鍛造を受けたピレットの内面を穿孔し、ロールとの間で圧延を行う工具であるが(Fig. 7参照)、とくにその先端に強い推力と高温を受けるので、はなはだしい磨耗を起す。ステンレス鋼々管の場合にはほとんど1本の穿孔に1個のドルンを消費し、はなはだしい時は穿孔途中において磨損して穿孔尻詰りを起すことがある。したがつてドルンの良否は穿孔ピレット1本の長さの最大限を決定することになる。普通鋼に使用する場合、数本の穿孔でドルン先端に瘤状の酸化被膜が発生しこれが耐摩耗性と断熱性とを有するため、この被膜発生後はかなりの回数使用できることが知られているが、ステンレス鋼穿孔に際してはあらかじめ普通鋼を穿孔して先端にこの被膜をつけたドルンを使用する。

Table 4はこの瘤状被膜の生成状況と各種材質との関係について試験を行つた結果を示したものである。結局Aの普通鋼用のものが最も良好な結果を示しているのだが、したがつてこれに瘤状被膜をつけて使用している現状である。穿孔前ピレットの最大安全長さは1,200mmである。

Table 3. Results of guide shoes tested.

	Composition								Remarks	Results
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mg		
A	1.5 ~1.6	0.8 ~1.6	0.3 ~0.6	<0.045	<0.045	22.00 ~24.00	2.00 ~4.00	—	Ordinary steel used	Guid shoe mark due to sticking, rejected
Nodular type (pearlite)	3.5	2.5	0.50	<0.05	<0.05	—	—	0.07		30~40 piercings (in current use)
I	3.65	0.85	0.70	0.124	0.046	0.91	0.81	—		Slightly worse than II
II	3.45	0.78	0.56	0.187	0.032	0.74	0.78	—		Slightly worse than III
III	3.63	0.92	0.41	0.124	0.244	1.14	2.51	—		Almost the same as nodular type
C	3.24	0.71	0.54	0.146	0.207	—	—	—		Slightly worse than II
B	4.0	1.06	0.64		0.092	0.72	0.74	—		10 piercings ~

Table 4. Results of dorn tested (1955. May, June)

Mark	Composition						Result	
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nos. used	Nos. good
(Our spec.)	0.25~0.35	0.20~0.60	0.20~0.60	2.50~3.50	0.50~1.50	—	9	3
A	0.32	0.35	0.34	3.24	0.85	—	10	0
B	0.30	0.16	0.14	2.84	2.35	1.21	10	0
C	0.49	0.26	0.42	2.96	0.72	—	9	3
D	0.32	0.24	0.42	4.58	0.84	—	8	0
E	0.46	0.29	0.46	6.19	1.60	—		

iii) その他

熱間加工部門において、その他問題のあるのは、プラグミルにおいて発生する内面プラグマークの問題である。これは中間工程において研磨除去を必要とするので、プラグミルでの発生を最小限にすべく工具、潤滑剤の両面より鋭意研究中である。

(2) 冷間加工部門

熱間加工によつて穿孔・圧延を受け適当な寸法になつたステンレス鋼々管は一般にその後冷間加工を受けて仕上がるが、冷間加工の主力は冷間引抜によつて外径肉厚を減少せしめる方法によつている。冷間加工工程には内面および外面の疵取り、引抜用口付、焼鈍、酸洗、表面処理、冷牽の各工程であるが、主に疵取り、焼鈍、酸洗が問題となる。

i) 焼鈍

従来バッチ型の重油炉を使用して焼鈍を行つてきたが、量産が進むにつれて、能率、歩留、品質に対する要

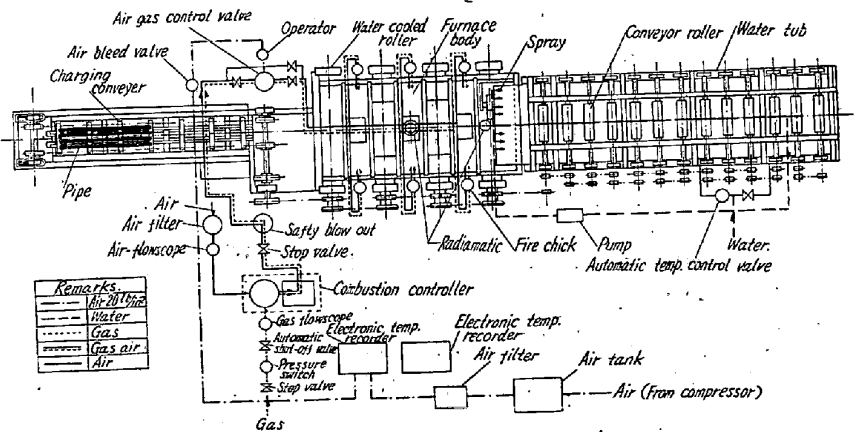


Fig. 9. Annealing furnace for stainless steel tubes.

求が高まってきた結果、今回新たに米国 Selas 社よりバレル型の連続焼鈍炉を輸入してこれに応ずることになった。

その概略図は Fig. 9 であり、この炉はローラースで三つのバレル型燃焼室を有し、あらかじめ所定の割合にガス(都市ガス)と空気を混合して燃焼させ、1150°C 程度の加熱、均熱、水冷を一連の流れ作業で行うのが特徴である。

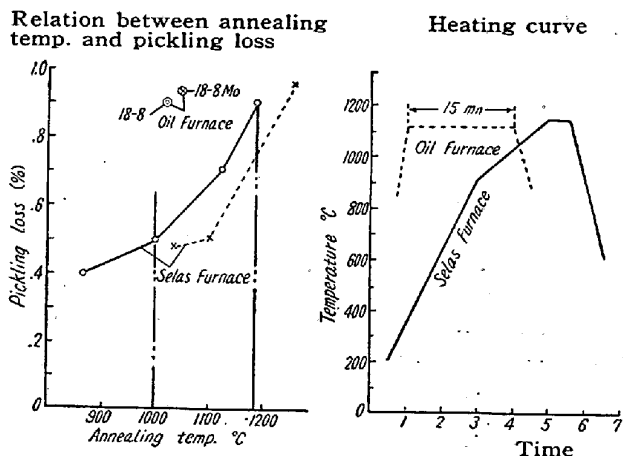


Fig. 10. Comparison of Selas furnace and heavy oil furnace.

この結果、加熱曲線は Fig. 10 に示すようになり、従来の重油炉に比較して温度の精度(均一加熱)が向上し、さらに焼減りもかなりの改善をみることになった。

ステンレス鋼々管は、普通鋼に比較し一般に焼鈍中に可能な断面減少率が小さく、かつ引抜回数も多いので、従来の重油炉による一回の焼鈍の焼減り 1%程度に比較し、0.6~0.7% 程度に減じたことはかなり大きな効果であると考えている。

ii) 酸洗

脱スケールの方法は、ステンレス鋼々管の場合品質上かなり重要な問題で、従来は王水処理を行つておつたが、つぎに示すごとくアルカリ溶融塩処理法がすぐれていることがわかり現在この方法によつている。

王水法の欠点は

- ii-1) 溶液組成の変化が激しく、操作管理に熟練を要する。
- ii-2) 粒間腐蝕の傾向がある。
- ii-3) 孔蝕(ピッチィング)を発生することがある。
- ii-4) 18-8 では酸洗による損失が多い。

等の諸点があげられるが、アルカリ法により、これらの欠点がほとんど是正されることになった。もちろんこのアルカリ法といへども、能率およびコスト面からいえばまだ完全なものではなく、今後さらに研究の必要がある。最近ではアルカリを使用しない酸洗方法も諸外国にみられるようになってきている。

iii) 冷牽

品質上はほとんど問題はなく、一応安定した工程では

あるが、以下にのべるごとく能率上若干の問題を残している。

iii-1) 焼鈍間減面率が少ない。パス当りの減面率は普通鋼と変わらないが、折返し冷牽が一般に行えないので、焼鈍間減面率 20% 程度が限度である

iii-2) 引抜速度が遅い。最大 10m/mn 程度であつて、普通鋼に比較しては、なほだしく遅い。これは主に内面プラグ・マークによつて制限される。

iv その他

製品化するまでに中間工程で比較的工程を阻害するものに疵取り工程がある。外面疵取はセンターレスグラインダー、アングル・グラインダー、その他やすり等で比較的安易に行えるが、管内面疵取りには適当な方法が諸外国にも見当たらないため、生産速度のいちじるしい阻害原因となつている。現在は、フレキシブル・シャフトにモーターを直結し、その先端にはば管内径より若干小径の砥石をつけた内面研磨機を使用している。また管曲り直し工程も、ロール曲直機では管表面にスパイラル状の浅い疵をつけるため、酸洗肌仕上の管に対してはロール曲直機を使用できず、生産速度上に問題を残している。

IV. 結 論

これを要するに、マンネスマン・ブラップミル方式によるステンレス鋼々管の製管にはつぎのごとき得失があると考えられる。

- (1) 一般に需要の多い鋼種に対しては、この方式によつて充分製造可能と思う。
 - (2) 製管能率は普通鋼の場合と比較し現在 60~70%位であり、今後工具の改善(主として穿孔機のリニアル)によりさらに上昇が期待される。
 - (3) 穿孔機のドルン、圧延機のストップペン等の工具消耗がはなほだしい点、なお改善の余地がある。
 - (4) ストップペンマークをさらに軽度にすることは考慮の余地があるが、素材の内面手入を省くことは困難でありこれがこの方式の欠点となつていると思われる。
- さらに焼鈍、酸洗、冷間加工等は、ステンレス鋼々管製造上の重要な問題であると同時に、充分の検討の余地があるので将来の課題であると考えている。

(昭和 32 年 5 月寄稿)