

---

ステルモア処理硬鋼線材の諸性質について

Some Properties of High Carbon Steel Rod Treated by STELMOR Process

萩原 伊助(Isuke Hagiwara) 中尾 俊朗(Toshiro Nakao) 浅川 貞夫(Sadao Asakawa)  
藤田 利夫(Toshiro Fujita)

---

要旨：

硬鋼線材のコイル内あるいはコイル間における機械的性質および組織を均一にし、また線材の表面スケール量を減少させるため、最終仕上圧延機の直後にステルモア処理装置（調節冷却装置）を設置した。機械的性質、組織および伸線性の面からステルモアプロセスの効果を調べた結果、次の諸点が明らかとなった。(1)組織的に初析フェライトの析出が非常に少ない。(2)コイル内あるいはコイル間の引張性質は均一である。たとえば 5.5mmφ のロッドの場合コイル内およびコイル間の引張強さのバラツキは約 7 kg/mm<sup>2</sup> 以内である。(3)5.5mmφ の SWRH-2 および SWRH-4A のステルモア処理線材を、一例として、単頭伸線機を用いて最終速度 400m/min で伸線した場合の伸線限界はそれぞれ約 0.8mmφ および 1.3mmφ である。(4)酸洗所要時間は通常巻取材に比較すると大幅に短縮される。

---

Synopsis：

To obtain the uniform mechanical properties and structures and to reduce the scale formation on rod surface, STELMOR process was adopted in our rod rolling plant. Examination was performed as to the effects of this process on mechanical properties, structures and drawability. The results were as follows (1) The precipitation of surplus ferrite was prevented. (2) The tensile properties were uniform not only within one coil but also from coil to coil. (3) STELMOR rods, SWRH-2 5.5mm dia and SWRH-4A 5.5mm dia, could be drawn to 0.8mm dia and 1.3mm dia respectively at the drawing speed of 400m/min by single head wire drawing machine. (4) Cleaning time was considerably short in comparison with the case of regular rods.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

## ステルモア処理硬鋼線材の諸性質について

Some Properties of High Carbon Steel Rod Treated by STELMOR Process

萩原 伊 助\*

Isuke Hagiwara

中 尾 俊 朗\*\*

Toshiro Nakao

浅 川 貞 夫\*\*\*

Sadao Asakawa

藤 田 利 夫\*\*\*

Toshiro Fujita

### Synopsis :

To obtain the uniform mechanical properties and structures and to reduce the scale formation on rod surface, STELMOR process was adopted in our rod rolling plant.

Examination was performed as to the effects of this process on mechanical properties, structures and drawability. The results were as follows

- (1) The precipitation of surplus ferrite was prevented.
- (2) The tensile properties were uniform not only within one coil but also from coil to coil.
- (3) STELMOR rods, SWRH-2 5.5mm dia and SWRH-4A 5.5mm dia, could be drawn to 0.8mm dia and 1.3mm dia respectively at the drawing speed of 400m/min by single head wire drawing machine.
- (4) Cleaning time was considerably short in comparison with the case of regular rods.

### 1. 緒 言

従来、高炭素鋼線材は冷間伸線加工の前に伸線性および伸線後の鋼線の機械的性質を改善するためバテンティング処理を行なっていたが、最近の二次加工メーカーでは作業の能率化、二次製品のコストダウンあるいは設備投資の低減などをはかるため、この処理を省略する傾向にある。したがって、二次加工メーカーから、受入れ線材の機械的性質や伸線性向上に対する要求が増大し、線材メーカーもこれらの要望にこたえるため、つぎの

諸性質をそなえた鋼材製造のため種々の対策を講じている。

- (1) 伸線性に良好な金属組織を有すること
- (2) 線材の全長にわたって組織および機械的性質が均一であること
- (3) 線材表面のスケール量が少なく、また酸洗時の脱スケール性が良好なこと

当社水島製鉄所でもこれらの要望に答えるため線材ミル稼動当初よりこの研究に取り組み、既存の設備に対して熱間圧延終了温度、水冷あるいは空冷方法および巻取温度などの検討を行ない、あるていどの成果を得たが、バテンティング線材に

\* 水島製鉄所第一圧延部線材課課長

\*\*\* 技術研究所水島研究室

\*\* 水島製鉄所第一圧延部技術管理掛長

比較するとまだ劣る点が多かった。

そこで当製鉄所においては種々検討の結果、線材の性質にもっとも大きい影響をおよぼす冷却条件を管理するために最終仕上げ延機の直後に調節冷却装置を設置するにいたった。調節冷却装置には大別すると Demag 方式、Morgan 方式あるいは Schloemann 方式などがあり、それぞれ一長一短があるが、当所では線材の材質および生産性の両面からみてもっともすぐれた Morgan 方式いわゆる Stelmor 装置を採用した。この装置は Steel Company of Canada と Morgan Construction Company の共同開発によるものである。

この報告ではステルモアプロセスの概要とステルモア処理材の諸特質について簡単に紹介する。

## 2. ステルモアプロセスの概要

一般に硬鋼線材を二次加工メーカーにおいて、断線などのトラブルがなくスムーズに伸線するためには、線材の引張強さが大きく、冷間加工性が良好でなければならない。このため線材の組織には非常に密なパーライトでしかもパーライト粒があまりこまかすぎないこと、および遊離フェライトの析出ができるだけ少ないことなどが要求される。

このような金属組織を得るためにはすでに述べた方法のほか多数の特許<sup>(1)~(5)</sup>がある。これらはいずれも仕上げ延直後の高温の線材を不活性ガス、非酸化性ガス、空気あるいは水を媒体として調節冷却するものであり、ただ線材をループ状で冷却するかまたはストランド状で冷却するかの差異があるにすぎないが、基本的には仕上げ延直後のオーステナイト域のものを調節冷却によりできるだけ低温変態の組織に近い ( $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ) 組織を得ようとするものである。ステルモア装置もこの例外ではなく、最終延後の線材を高圧水で  $A_3$  点直上まで急冷後、さらに衝風により一定の冷却速度で

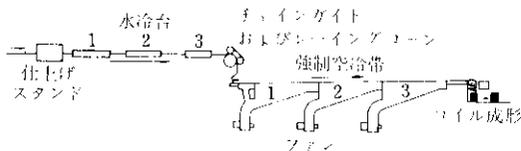


図1 ステルモア設備の概略

空冷するものである。

ステルモア設備の概略を図1に、この設備における線材の T.T.T. 曲線を図2に示す。954~1,066°C の高温範囲で最終ロールを出た線材はまず水冷セクションの No. 1, 2 および 3 水冷パイプからの高圧水にてストランドの状態ですべて予備冷却される。ついで線材はレーインゴーンによりチェーンコンベヤー上にループ状に載置された線材を空気冷却帯においてファンからの衝風により一定冷却速度(線径あるいは鋼種によって異なる)でさらに冷却すると、所要の金属組織と機械的性質を示すようになる。この装置の大きな利点は最高圧延速度40m/sec のミルに対しても追従が可能であり、また空気冷却帯が長いので冷却速度を自由に調節できるので、広範囲の鋼種のもを適当に処理しうることにある。

## 3. ステルモア処理線材の諸性質について

ステルモア装置が稼動して1年を経過したが、この間線材ミル自体は鋼種、サイズの異なる多品種の直棒、線材あるいはパーインコイルなどを圧延しているため、線材の占める割合が小さく、ステルモア線材のデータ数もそれほど多くはないが、現在まで処理した線材の確性試験結果をここで紹介する。

### 3.1 ステルモア処理線材のコイル外観

ステルモア処理線材および通常巻取コイルの外

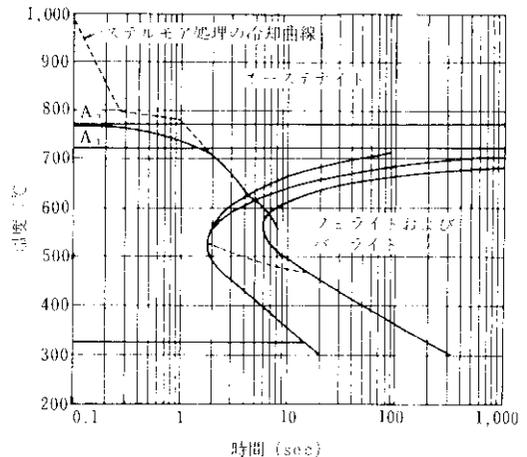


図2 ステルモア処理の T.T.T. 曲線

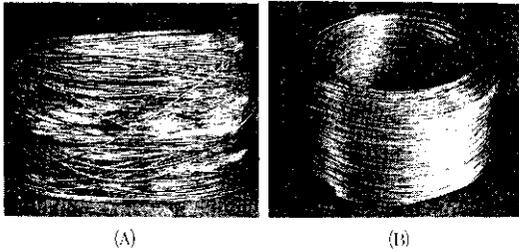


写真 1 通常巻取コイル(A)とステルモアコイル(B)の外観

観を写真 1 に示す。コイルはいずれも単重 550kg のものである。ステルモア処理線材の場合、ループ状で冷却後、コイルに成形するため、通常巻取コイルのうちでとくに単重の大きなコイルにしばしばみられる“あやまき”がないので、伸線時

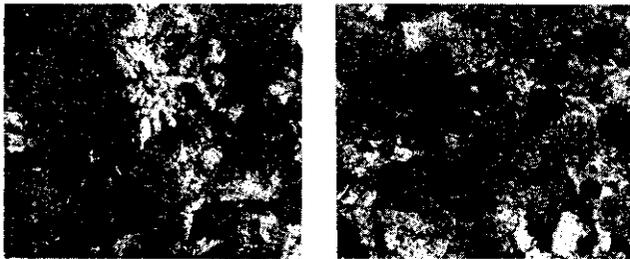
にロードリッパを使用する場合、ベイオフ性が非常によく伸線作業の能率が大幅に向上する。また通常巻取コイルと異なり、線がタイトに巻かれないため、酸洗時に酸が内部までよいに浸透し、スケール落ちが良好である。

### 3・2 代表鋼種のステルモア処理後の顕微鏡組織

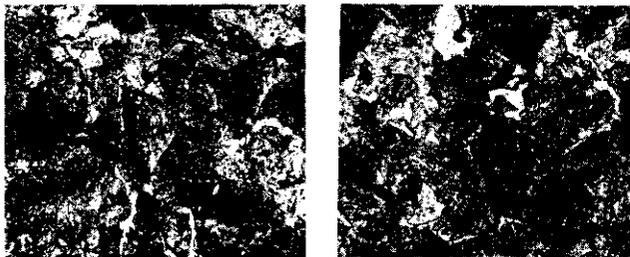
伸線性と金属組織との関係についてはすでに多くの研究が発表されており、ステルモア処理材の伸線性についても組織の面から検討を行なうべきであるが、線材は二次加工メーカーによってそれぞれ独自の条件、方法（連続伸線機か単頭伸線機の機差、鋼線の線径と使用ダイス枚数の関係、伸線速度、表面処理方法など）で加工されるので、同一線材でも二次加工メーカーにより伸線性の評価に差を生ずる。しかし一般に空気パテンティングあるいは鉛パテンティングを行なった線材の伸線性はすぐれているのでステルモア処理条件をさめるにあたり、その顕微鏡組織が空気パテンティング材と同じか、それに近いものをうることを目標とした。

現在、水島製鉄所において生産する線材のうち、その量が多い SWRH-4A (C=0.55~0.65%, Mn=0.30~0.60%) の 5.5mmφ、6.35mmφ および 9.5mmφ のステルモア処理材の顕微鏡組織を写真 2 に示す。また 5.5mmφ SWRH-2 (C=0.35~0.45%, Mn≤0.60%) SWRH-4A および SWRH-4B (C=0.55~0.65%, Mn=0.60~0.90%) のステルモア処理材と、空気パテンティングあるいは通常巻取材の顕微鏡組織の比較を写真 3 に示す。SWRH 4BよりC当量の高いものについても比較を行なったが、C当量が高いと初析フェライトの量が少ないので組織に対する処理の効果は明瞭ではなかった。

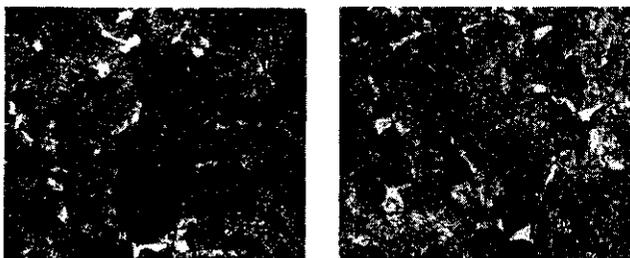
チェーンコンベヤー上に載置された線材は図 3 に示すごとく線の重なりぐあい粗な部分（中央部）と密な部分（端部）があり、この両部分の冷却速度には差が



(A) 中央 (B) 端  
5.5mmφ(C/0.62%, Si/0.25%, Mn/0.57%, P/0.016%, S/0.015%)



(A) 中央 (B) 端  
6.35mmφ(C/0.61%, Si/0.26%, Mn/0.57%, P/0.015%, S/0.024%)

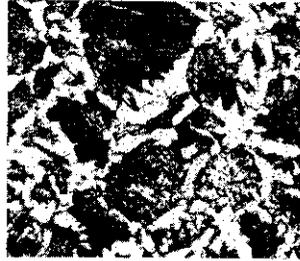


(A) 中央 (B) 端  
9.5mmφ(C/0.62%, Si/0.24%, Mn/0.55%, P/0.017%, S/0.020%)

写真 2 ステルモア処理材 (SWRH-4A) の顕微鏡組織 (×500)



(A) ステルモア処理材

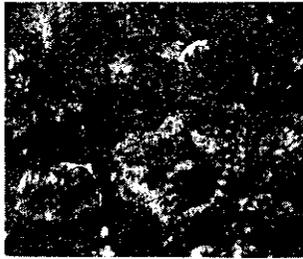


(B) 通常巻取材



(C) 空気パテンティング材

SWRH-2 5.5mmφ (C/0.45%, Si/0.25%, Mn/0.50%, P/0.015%, S/0.020%)



(A) ステルモア処理材

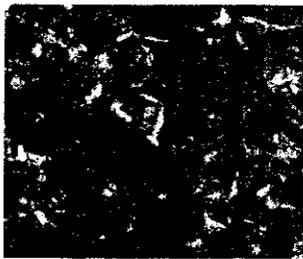


(B) 通常巻取材



(C) 空気パテンティング材

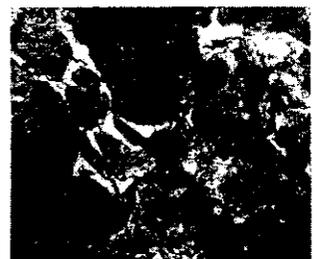
SWRH-4A 5.5mmφ (C/0.62%, Si/0.25%, Mn/0.57%, P/0.016%, S/0.015%)



(A) ステルモア処理材



(B) 通常巻取材



(C) 空気パテンティング材

SWRH-4B 5.5mmφ (C/0.63%, Si/0.26%, Mn/0.81%, P/0.016%, S/0.016%)

写真 3 ステルモア処理材の顕微鏡組織と通常巻取材および空気パテンティング材の各顕微鏡組織の比較

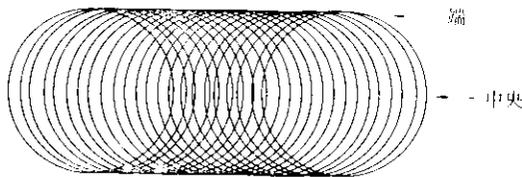


図 3 線材のチェーン・コンベヤ上における載置状態

あると考えられるのでこの両者を常に区別して脆性試験を行なった。写真 2 においても中央部と端部を区別して示したが、光学顕微鏡で見るとこの両者の差はとくに認められていない。また線材の表面の組織と中心の組織にも差が認められな

かった。

SWRH-4A の場合 (写真 2), 5.5mmφ では初析フェライトはほとんど認められないが線径が大きくなるにしたがってフェライト量がやや増す傾向がある。しかし線径が太いものは二次加工メーカーにおいて 5.5mmφ の場合ほど大きい加工を行なわないので実使用上問題ないと考えられる。一方 SWRH-2 は組成の面からフェライトが析出しやすいが反面冷間加工性がよいのでまた二次加工メーカーにおける伸線時の減面率 (ダイスピッチ) あるいは総減面率が大きいなど使用条件が非常にきびしいので、操業条件の決定には慎重検討を行

表 1 引張性質のコイル間変動

鋼種	線径 (mm)	化学成分 (%)		抗 張 力 (kg/mm <sup>2</sup> )									絞 り (%)								
		C	Mn	中 央			端			$\bar{x}$	$\sigma$	R	中 央			端					
				$\bar{x}_c$	$\sigma_c$	Rc	$\bar{x}_e$	$\sigma_e$	Re				$\bar{x}_c$	$\sigma_c$	Rc	$\bar{x}_e$	$\sigma_e$	Re			
SWRH-4A	5.5	0.62	0.57	99.4	1.31	4.2	96.0	1.88	7.0	97.7	2.28	7.1	54.3	1.20	3.2	52.3	2.37	8.5	53.2	1.96	8.5
	6.35	0.61	0.57	97.5	1.82	6.3	94.2	1.82	7.0	95.9	2.49	8.3	47.1	1.84	5.8	45.7	2.18	8.0	46.6	2.01	8.0
SWRH-4B	9.5	0.62	0.48	88.9	1.51	4.7	85.7	1.05	4.3	87.8	1.78	7.2	45.7	2.08	8.8	45.0	1.93	8.1	45.4	2.05	10.5
	5.5	0.63	0.81	108.5	1.65	5.0	105.1	2.13	6.8	106.8	1.87	7.3	54.2	2.01	6.9	52.6	2.61	7.6	53.4	2.31	7.8
SWRH-2	5.5	0.45	0.49	76.1	1.19	4.3	75.3	1.72	6.6	75.5	1.54	6.6	54.0	2.09	6.2	55.2	1.84	6.5	54.7	1.98	6.8

注) n=20

なったが、さらに今後の管理にも十分注意を払う必要がある。

SWRH-4B 5.5mmφステルモア処理材はSWRH-4Aの場合と同様フェライトはほとんど認められない。

### 3.3 ステルモア処理材のコイル間およびコイル内のバラツキ

代表鋼種につきステルモア処理材の引張試験結果およびそのバラツキを表1に示す。3.2に述べ

たように、中央部と端部の光学顕微鏡組織に差は認められないが冷却速度の小さい端部の引張強さは中央部に比較してやや低い傾向が認められる。さらに、コイル内のバラツキを調べるために5.5mmφのSWRH-2およびSWRH-4A各1コイル(単重550kg)より約20ターン毎に1本の割合で約50本の試験片を採取し、引張試験を行ない、ステルモア処理材と通常巻取材との比較を行なった。その結果を図4に示す。通常巻取材は、一般に、圧延直後水冷パイプにより一定温度(A<sub>3</sub>点以

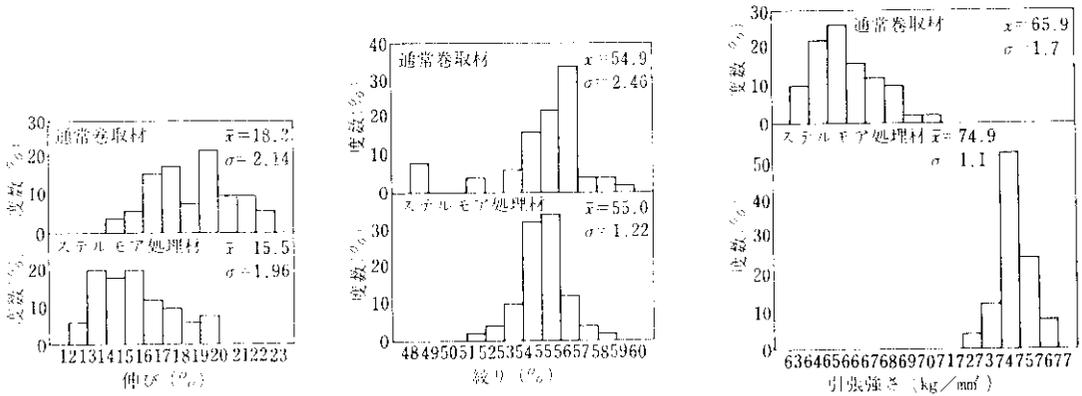


図 4-1 引張性質のコイル内変動 (SWRH-2 5.5mmφ 550kg コイル n=50)

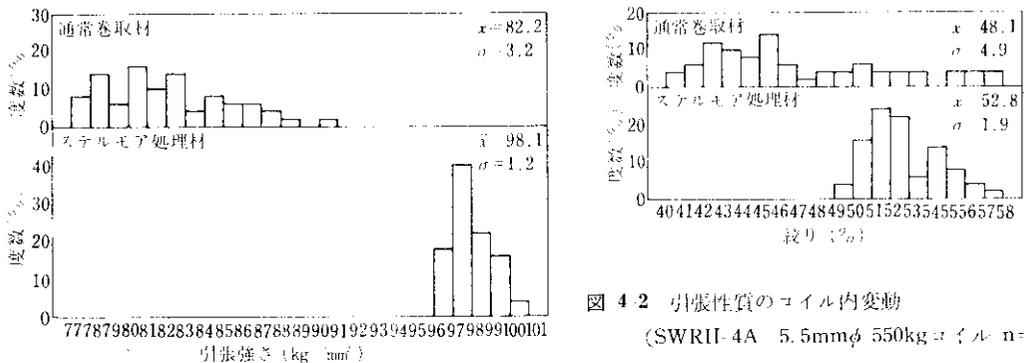


図 4-2 引張性質のコイル内変動 (SWRH-4A 5.5mmφ 550kg コイル n=50)

上)まで予備冷却された後レーイングロールによるコイル成形と同時に強制空冷されるが、いったんコイルに巻かれてしまうと、コイル外周など直接空気に触れる部分は冷却速度が非常に大きいため、引張強さが高く、逆にコイル内部など徐冷される部分の引張強さは低くなるので、図4に示すように製品の性質のバラツキは大きく、SWRH-4A 5.5mmφ材の引張強さのバラツキは13kg/mm<sup>2</sup>をこえることがある。一方ステルモア処理材は、すでに述べたようにループ状ではぼ200~300°Cまで空冷された後、コイル成形されるので引張強さは比較的均一化され、SWRH-2 5.5mmφおよびSWRH-4A 5.5mmφともコイル内バラツキは約5kg/mm<sup>2</sup>に入っている。

3.4 C当量と引張強さの関係

CおよびMn含有量の異なる種々の鋼材を一定操業条件(現在の作業標準)で5.5mmφに圧延しステルモア処理を行なった場合の引張強さとC当量との関係を図5に示す。引張強さσ<sub>B</sub>(kg/mm<sup>2</sup>)は±4kg/mm<sup>2</sup>の誤差範囲ではぼ鋼種に無関係に

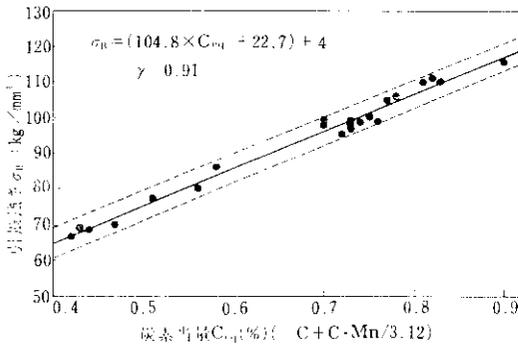


図5 ステルモア処理材(5.5mmφ)の引張強さとC当量の関係

$$\sigma_B = 104.8 \times C_{eq} + 27$$

$$\text{ただし } C_{eq} = C + \frac{C \times Mn}{3.12}$$

なる式で表わされる。この範囲はコイル間変動あるいはコイル内変動(主として中央部と端部での空冷速度のちがいによって発生すると考えられる)などによるものと思われる。なおC当量としてC+C×Mn/3.12なる値を用いたが、これはMorgan Const. Co.の推奨によるものである。また±4kg/mm<sup>2</sup>の変動は空気がテンション材に比較してやや大きいので、現在この範囲を狭めるために処理条件あるいは設備の面から検討中である。

3.5 ステルモア線材の表面スケールについて

ステルモア線材の表面スケール量は処理条件によってもちろん異なるが、一例として5.5mmφのSWRH-2についてステルモア処理材と通常巻取材の酸洗所要時間を比較した結果を図6に示す。

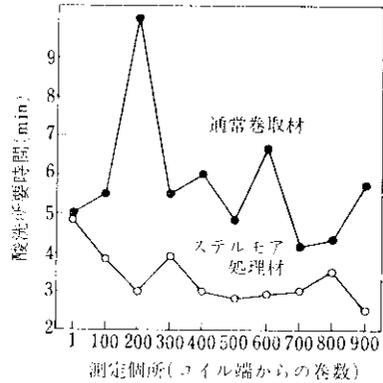


図6 ステルモア処理材と通常巻取材の酸洗所要時間の比較(SWRH-2 5.5mmφ)

この場合コイル内部10ヵ所より長さ約150mmのテストピースを採取し、ビーカー内で常温30%塩酸で酸洗し、酸洗開始後泡発生が急に強くなるま

表2 ステルモア処理材および通常巻取材の表面スケールのX線回折結果

試料	強 度						
	(1) 最強線	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
ステルモア処理材	FeO (d=2.153Å)	FeO (d=1.523Å)	FeO (d=2.486Å)	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (d=2.530Å)	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (d=2.966Å)	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (d=2.096Å)	—
通常巻取材	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (d=2.530Å)	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (d=2.966Å)	α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (d=2.690Å)	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (d=2.096Å)	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (d=1.614Å)	α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (d=2.510Å)	α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (d=3.660Å)

での時間を酸洗所要時間とした。通常巻取材では酸洗に4~10minを要し、しかも、位置による差が大きいが、ステルモア処理材の酸洗所要時間は5min以内であり、そのバラツキも小さい。したがってステルモア処理材では通常巻取コイルにしばしば見られるような部分的なスケールの残存によるover pickling現象はほとんど見られないので酸洗能率を向上することができる。なおC含有量0.35~0.65%のSWRH-2, SWRH-4Aおよび4Bの5.5mmφ材ではスケール量はほぼ0.3~0.6wt% (ピーカーテストによる)である。

これらのスケール組織のX線回折を行なった結果を表2に示すが、通常巻取材のスケールの主成分は酸に難溶なFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>で少量のFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を含むのに対し、ステルモア処理を行なうと主成分はFeOで少量のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>を含んでいる。このようにスケールの成分の相違によって酸洗時間に差があるものと考えられる。

3.6 ステルモア線材の伸線性について

線材の伸線性を評価する一般的な方法は現在のところ確立されていないが、引張試験、捻回試験あるいは顕微鏡組織観察などによってある程度伸線性を予測することはできる。また伸線性は二次加工メーカーにおける伸線方法、条件によっても異なるので明確な伸線限界を決定することは不可能である。ステルモア処理材は機械的性質、顕微鏡組織の面から、その伸線性の良いことが容易に推定できるが、この評価は伸線実績にたよるざるをえない。そこで伸線メーカーで一般にもっとも多く使用され、また、細くまで伸線される5.5mmφのSWRH-2およびSWRH-4Aの通常巻取材、ステルモア処理材について、研究用伸線機で

伸線試験を行なった。まず5.5mmφ線材を常温塩酸(30%)で酸洗後ポンダライト処理を施し、ロッドから2.82mmφまでは700/550mmφのブロック、また2.52mmφ以下では305/255mmφのブロックの単頭伸線機を用いて2ダイス掛けて断線するまで伸線した。各ダイスのピッチは約20%と

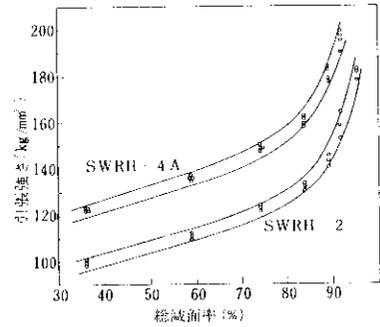


図7 SWRH-2 および SWRH-4A 5.5mmφ ステルモア処理材の抗張力に対する総減面率の影響

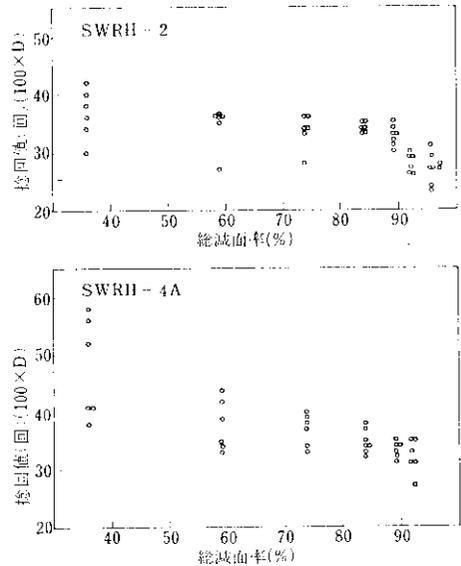


図8 捻回値におよぼす総減面率の影響 (SWRH 2 およびSWRH 4A 5.5mmφステルモア処理材)

表3 ステルモア処理材と通常巻取材の伸線性の比較

伸線速度 (m/min)	50				100				200				400							
	ダイス径 (mm)	4.92	4.40	3.94	3.52	3.15	2.82	2.52	2.25	2.01	1.80	1.61	1.44	1.30	1.14	1.03	0.92	0.84	0.73	
総減面率 (%)		20.0	36.0	48.6	59.1	67.2	73.7	79.0	83.3	86.6	89.3	91.4	93.1	94.4	95.7	96.5	97.2	97.7	98.3	
SWRH 2	ステルモア材	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×
	通常巻取材	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×									
SWRH-4A	ステルモア材	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×						
	通常巻取材	○	○	○	○	○	○	×												

し、また連続伸線機を使用した場合を想定して伸線速度は1.61mmφ以下はすべて400m/minとし、これより太い線径の場合には、伸線速度を小さく設定した。また2.52mmφ以下は1ダイスおきにストレーナー（のし取りローラー）を使用した。また伸線に供した試料は単重550kgのコイルより両端を含め、均等に5個所よりそれぞれ約20kg採取したもので、合計100kgである。以上のような条件で行なわれた伸線試験の結果を表3に示す。なお伸線後の引張強さおよび捻回値を図7、8に示す。表3に示したように、ステルモア処理を行なうと、SWRH-4Aについては1.30mmφまで、またSWRH-2については0.84mmφまで伸線が可能であるという好結果が得られた。したがって二次加工メーカーにおいても伸線速度の増大あるいはダイス枚数の減少（場合によっては伸線機台数の減少）など従来よりも伸線作業を大幅に改善できるものと考えられる。

#### 4. まとめ

当社水島製鉄所線材工場において製造する硬鋼

線材の機械的性質および組織の均一性を得るためまた線材の表面スケール量を減少させるためにステルモア装置を設置し、この操業条件の検討ならびにステルモア処理材と通常巻取材との比較を行なった。SWRH-2およびSWRH-4Aのそれぞれ5.5mmφについての結果を要約すると次のとおりである。

- (1) ステルモア処理を行なうと初析フェライトは抑制され、伸線性に良好な組織となる。
- (2) 引張性質がコイル内あるいはコイル間で均一となり、そのバラツキは約8kg/mm<sup>2</sup>程度である。
- (3) 最終伸線速度400m/minで伸線した場合、5.5mmφのSWRH-2およびSWRH-4Aの伸線限界はそれぞれ0.8mmφおよび1.3mmφである。
- (4) 酸洗時間は通常巻取材に比してかなり短縮され、たとえばSWRH-2 5.5mmφのピーカーテストの結果では酸洗時間は約5min以内であり、またスケールも均一に付着している。

#### 参 考 文 献

- 1) U. S. Pat. 1232014 (1917)
- 2) U. S. Pat. 1901514 (1933)
- 3) U. S. Pat. 2516248 (1950)
- 4) U. S. Pat. 2756169 (1956)
- 5) U. S. Pat. 3011928 (1960)