

## 技術報告

UDC 669.15-194.54-426 : 621.785.47 : 621.78.084

## 過共析鋼線の組織と伸線性について\*

高橋 栄治\*\*・荒川寿太郎\*\*・幸岡 強\*\*

## The Relation of Structure to Drawability of Hypereutectoid Steel Wire Rods

Eiji TAKAHASHI, Jutarō ARAKAWA, and Tsuyoshi KOUOKA

## Synopsis:

In order to improve the drawability of hypereutectoid wires used for sewing machine needles and card cloths, suitable structure for them have been studied. The various structures of hypereutectoid steel wires are obtained by various heat treatment processes they are drawn by continuous drawing machine. These processes are lead patenting after usual heating or rapid heating and a combined heat treatment of quenching in oil and lead patenting.

The fittest structure of the hypereutectoid steel wire for drawing is composed of residual granular cementite after austenitizing and fine pearlite. This structure is obtained by the next process; the steel wire is quenched in oil after heating and then patented in a lead bath at 580°C after rapid heating to 900°C.

## 1. 緒 言

ミシン針およびメタリック針布には過共析鋼線が多く用いられている<sup>1)2)</sup>。したがってこれらの過共析鋼線は大部分 2 mm φ 以下の細線に冷間伸線され、使用されるので、熱処理により伸線しやすい組織を得ることが生産上重要である。

亜共析および共析鋼線については一般に空気または鉛パテンティング処理を行ない、伸線性の向上と強度の調整を行なっており、球状化焼鈍は鋼線の伸線性がパテンティング処理に比べ劣るので、普通行なっていない<sup>3)4)</sup>。

一方過共析鋼線を伸線するためには、圧延材に対して球状化焼鈍またはパテンティング処理を行なっている。この後伸線の可能な範囲なるべく小さい線径まで鋼線を伸線し、再び熱処理を行なうといったように熱処理および伸線をくり返し行ない所定の線径にまで伸線するのが現状である。

しかしながらこのような熱処理がどのような条件で行なわれれば伸線性が良好で、熱処理、伸線のくり返し回数が減るのかについて十分には検討されていない。またどのような組織が伸線に適しているかについても明らかにされていない。

最近急速加熱による逆変態の研究がなされており、こ

の逆変態を有効に利用することにより、鋼のオーステナイト結晶粒が微細化することが示されている<sup>5)~7)</sup>。また炭素鋼を急速加熱短時間保持する場合には昇温加熱中の相変態が十分に行なわれず、一部未変態のまま残ることが考えられる。この状態から冷却するとセメンタイトの形状分布が通常のパーライトとは変わるであろう。一方加熱時にセメンタイトの一部を未固溶で残す操作は急速加熱のほうが通常の加熱速度の場合に比べ容易であると考えられる。このような技術を過共析鋼線の熱処理に適用すれば、熱処理組織および鋼線の伸線性が変わると考えられる。

したがって通常の加熱炉による加熱および高周波誘導による急速加熱をいろいろ組み合わせることにより、いろいろの熱処理をし、過共析鋼線の組織と伸線性について調べた。

## 2. 実 験 方 法

本実験に使用した鋼線は線径 5.5 mm, 0.99, 1.11, 1.15% C 鋼熱延材である。これらの供試材の化学成分を Table 1 に示す。Table 1 の B および C 鋼にはそれぞれ Cr が 0.20%, 0.41% 含まれている。

これらの鋼線について 5 つの方法により熱処理した。方法 I はガス加熱炉による加熱保持後鉛中で冷却する工

\* 昭和50年4月本会講演大会にて発表 昭和50年12月2日受付 (Received Dec. 2, 1975)

\*\* (株)神戸製鋼所 (Kobe Steel, Ltd., 3-18, 1-chome Wakinocho Fukiai-ku Kobe 651)

Table 1. Chemical composition of specimens.  
(wt%)

Specimen	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
A	0.99	0.20	0.48	0.009	0.006	0.01	0.01	0.01
B	1.11	0.22	0.50	0.009	0.007	0.01	0.01	0.20
C	1.15	0.20	0.53	0.010	0.007	0.01	0.02	0.41

程, 方法2はガス加熱炉による加熱または加熱保持後油焼入れし, その後高周波誘導加熱による急速加熱, 鉛中冷却する工程, 方法3は急速加熱後保持炉により短時間温度保持し, 油焼入れする. その後再び急速加熱し, 鉛中で冷却する工程, 方法4, 5は急速加熱し, 保持炉による短時間の温度保持後または急速加熱後直ちに鉛中で冷却する工程である.

これらの各熱処理方法の加熱温度, 加熱速度, 保持時間, 鉛温度などの条件を Table 2 に示す. またこのような熱処理は各工程にしたがつてスイフト, ガス加熱炉, 高周波誘導加熱用コイル, 温度保持炉, 焼入れ油槽, 鉛槽, 巻取機などを適宜直列に配置し, 鋼線を直線状にして各装置の中を移動させ, 連続的に行なわれた.

熱処理された試料の組織を二段レプリカ法により電子顕微鏡で観察した.

またこれら熱処理鋼線の伸線性を調べるために, 10% 塩酸での酸洗い, 水洗, りん酸塩被膜処理, 乾燥後 Table 3 に示す伸線条件にしたがい 22'' (560 mm) 連続伸線機により伸線した. なお連続伸線機のダイスの数は5個であるので, 伸線工程1の場合は3回, 2の場合は2回伸

Table 2. Heat treatment condition of specimens.

Process	First heating			Quenching oil temp. °C	Second heating		Cooling in lead bath (temp. °C) × (time sec)
	Temp. °C	Heating rate °C/sec	Holding time sec		Temp. °C	Heating rate °C/sec	
1	900	8	50	—	—	—	550, 580, 610, 640 × 60
2	900	8	50	70	800 850 900	131 139 148	550, 580, 610, 640 × 60
	900	8	0	70	800 850 900	196 209 221	550, 580, 610, 640 × 40
3	900	221	25	70	900	221	580 × 40
	1 000	246	25	70	800 850 900	196 209 221	550, 580, 610, 640 × 40
	1 000	410	15	70	800 850 900	327 348 369	550, 580, 610, 640 × 24
4	900	295	19, 37.5	—	—	—	580 × 30
5	900	295	0	—	—	—	580 × 30
	900	443	0	—	—	—	580 × 20

Heating rate 8 °C/sec : gas furnace heating. Above 130 °C/sec : induction heating. Keeping temperature after induction heating was done by holding gas furnace.

Table 3. Drawing schedule.

Process	Die schedule mm φ	Mean rate of reduction in area (%)	Finished drawing speed (m/min)
1	1 st drawing	5.5→5.3→5.0→4.7→4.4→4.1	14.6
	2 nd drawing	4.1→3.8→3.5→3.2→2.95	14.6
	3 rd drawing	2.95→2.7→2.45→2.2→2.0	14.6
2	1 st drawing	5.5→4.7→4.07→3.7→3.3→2.9	20.5
	2 nd drawing	2.9→2.6→2.4→2.2→2.0	20.5

Pickling : 10% hydrochloric acid. Coating : zink phosphate. Lubricant : calcium stearate. Drawing machine : 22'' (560 mm) capstan. 5 head drawing machine.

線した。伸線工程 1 の各ダイスでの平均減面率は14.6%である。工程 2 では 20.5% と工程 1 に比べ厳しい条件とした。その他、熱処理材の引張試験を行ない、それらの機械的性質も調べた。

### 3. 実験結果と考察

熱処理方法 3 による 1 回目の加熱条件、温度 1000°C 加熱速度 246°C/sec、保持時間 25 sec で加熱保持後 70°C の油に焼入れし、2 回目の加熱条件、温度 800~900°C、加熱速度 196~221°C/sec で加熱後鉛中で冷却した鋼線 A の引張強さ、伸び、絞りを Fig. 1 の左側に、1 回目の加熱条件、温度 1000°C、加熱速度 410°C/sec、保持時間 15 sec で加熱保持後 70°C の油に焼入れし、2 回目の加熱条件、温度 800~900°C、加熱速度 327~369°C/sec で加熱後鉛中で冷却した鋼線 A の引張強さ、伸び、絞りを Fig. 1 の右側に示す。

また鋼線 A について熱処理方法 1 の一般に行なわれている鉛パテンティング処理材の引張強さ、伸び、絞りを Fig. 1 にあわせて示す。

これによると 2 回目の加熱温度が 800°C、850°C、900°C と高くなるにつれて引張強さは高くなり、絞りは低下する。伸びは 800°C 処理のものが 850°C、900°C 処理のものに比べ大きい。

2 回目の加熱速度 196~221°C/sec で処理された試料に関しては、2 回目の加熱温度が 850°C、900°C の場合には鉛温度の低下とともに引張強さ、絞りは上昇の傾向を示し、伸びはわずかに低下する傾向を示している。これは熱処理方法 1 の鉛パテンティングの場合と同じような挙動であり、加熱温度 900°C のものは熱処理方法 1 のものの値に近づく。

これに対し 2 回目の加熱温度が 800°C の場合には引張強さは鉛の温度が 640°C から低下するにつれて上昇

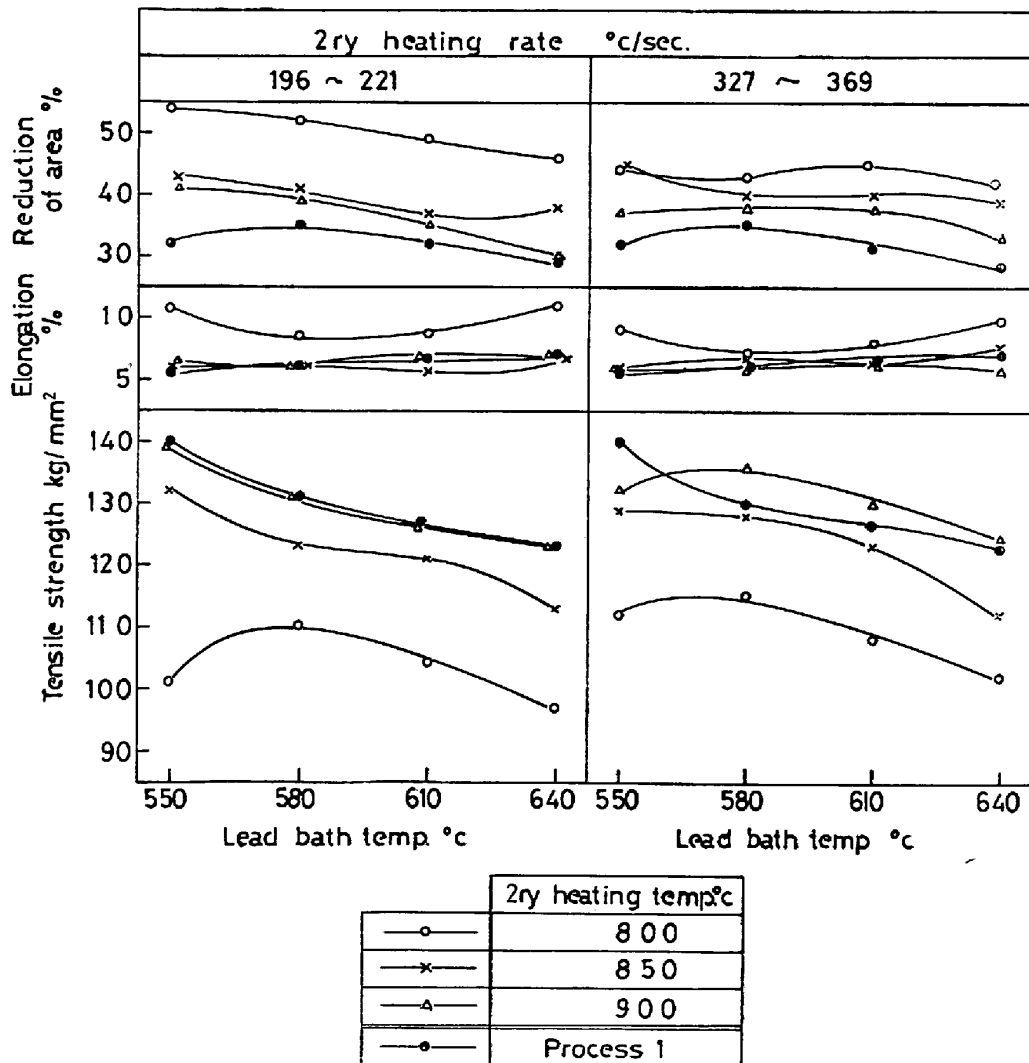


Fig. 1. Mechanical properties of specimen A heat treated in accordance with process 1 and process 3 (1 st heating 1000°C).

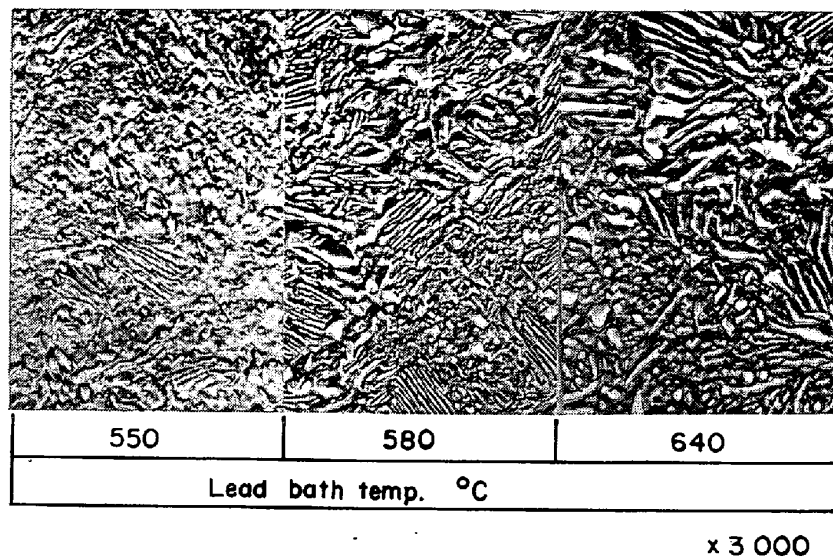


Photo. 1. Structures of specimen A heat treated in accordance with process 3 (1st heating 1000°C, 2ry heating 800°C, 196°C/sec).

し、580°Cで極大値に達する。鉛の温度がさらに低下すると再び引張強さは低下する。伸びは引張強さと反対の傾向を示し、鉛温度が低下するにつれて減少し、580°Cで極小値を示す。さらに温度が低下すると伸びは上昇する。絞り率は鉛の温度の低下につれて大きくなる。

2回目の加熱速度 327~369°C/sec で処理された試料も 196~221°C/sec で処理された試料と同じような傾向を示している。しかしながら2回目の加熱温度が900°Cの場合引張強さが鉛温度 580°Cから 550°Cに低下すると少し低下している。一方伸びは鉛の温度が低下してもほとんど変わらず2回目の加熱温度 800°Cの場合のように鉛温度 580°Cでの伸びの極小値は示していない。

したがって2回目の加熱温度 900°Cの場合の引張強さの鉛温度 550°Cでの低下は 800°Cの場合とは別の原因によるものであろう。

熱処理方法3の1回目の加熱条件、温度 1000°C、加熱速度 246°C/sec、保持時間 25 sec で加熱保持後 70°Cの油に焼入れし、2回目の加熱条件、温度 800°C、加熱速度 196°C/sec で加熱後鉛中で冷却した鋼線Aの組織を Photo. 1 に示す。

これによると組織はフェライト基地中に粒状セメンタイトのある部分とパーライトの部分とからなっている。

鉛温度が 640°Cの場合はパーライトラメラは粗で、粒状セメンタイトも粗に分布している。さらに鉛温度が 610°C、580°Cと低下するにつれてパーライトラメラは微細になり、粒状セメンタイトも密に分布してくる。これに対応して前述の引張強さは上昇している。さらに鉛温度が 550°Cに低下すると、粒状セメンタイトの占め

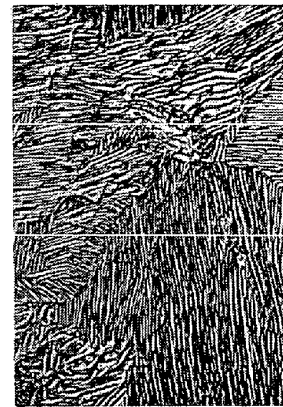


Photo. 2. Structures of specimen A heat treated in accordance with process 3 (1st heating 1000°C, 2ry heating 900°C, 221°C/sec, lead bath temp. 580°C).

る部分が大で、ラメラパーライトの占める部分が小となる。これに対応して前述の引張強さは低下する。

熱処理方法3の1回目の加熱条件、温度 1000°C、加熱速度 246°C/sec、保持時間 25 sec で加熱保持後 70°Cの油に焼入れし、2回目の加熱条件、温度 900°C、加熱速度 221°C/sec で加熱後鉛中で冷却した鋼線Aの組織例を Photo. 2 に示す。

これらの組織はパーライト組織からなっており、鉛温度が低下するにつれてパーライトラメラが微細化する傾向にあり、引張強さの上昇がこれに対応している。

この現象は亜共析および共析鋼のパテンティング処理時の傾向と同じである<sup>3)8)</sup>。しかし過共析鋼に通常現われる網目状セメンタイトは観察されない。

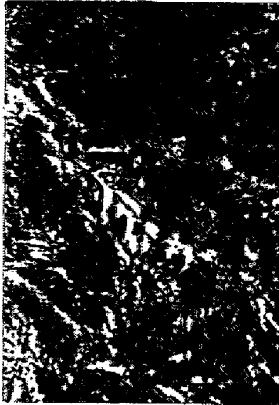


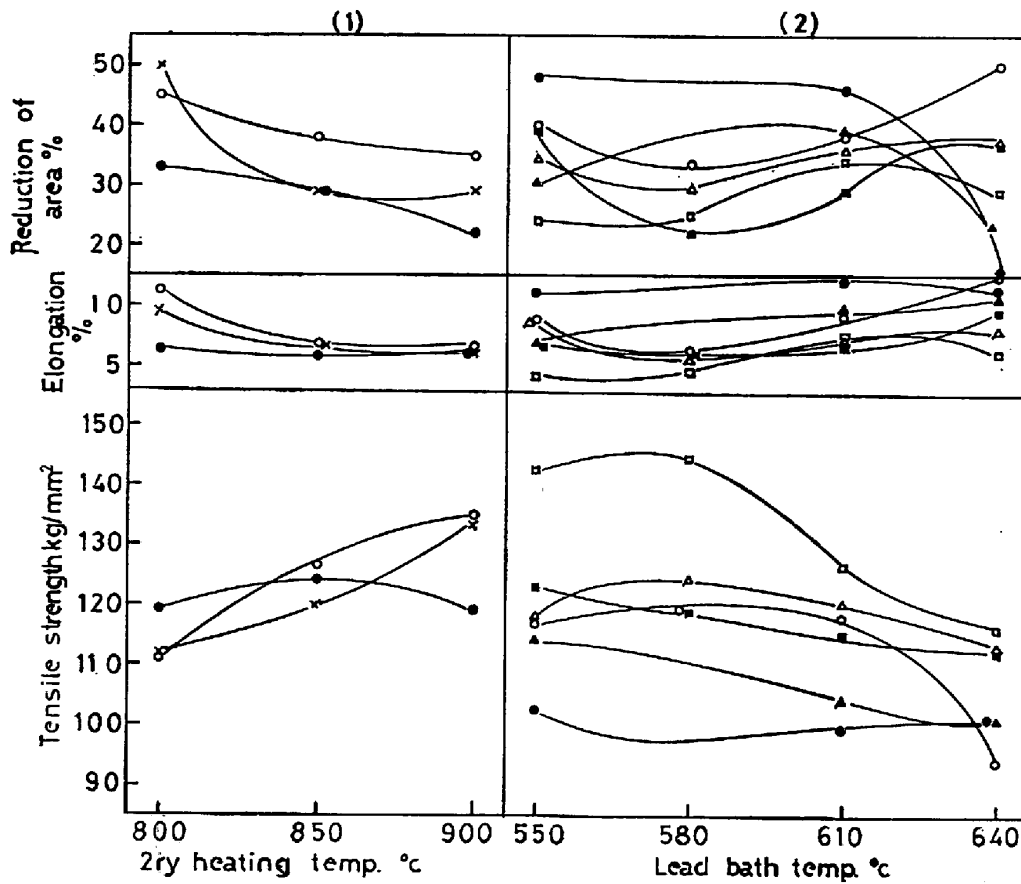
Photo. 3. Residual cementite in structure of specimen A. Quenched at first in oil from 1 000°C and then quenched in oil from 900°C.

Photo. 1 に現われる組織の変化はつぎのように考えられる。1 回目の急速加熱保持でオーステナイト化した鋼は油焼入れによりマルテンサイト組織となる。

2 回目の急速加熱により加熱中にマルテンサイトが焼戻されフェライトになるとともにセメンタイトが析出する。これらセメンタイトが 800°C ではオーステナイトに完全には固溶せず粒状のセメンタイトとして相当に残留する。このような未固溶のセメンタイトの例を Photo. 3 に示す。

Photo. 1 に見られる粒状セメンタイトは普通一般に行なわれている球状化焼鈍時に現われる球状セメンタイト<sup>4)</sup>に比べ粒の大きさは小さい。

熱処理方法 2 の 1 回目の加熱条件、温度 900°C、加熱速度 8°C/sec、保持時間 0sec で加熱後 70°C の油に



(1)	Specimen
○	A
x	B
●	C

2ry heating rate 196~221°C/sec.  
cooling in lead bath 580X40sec.

(2)	2ry heating	
	Temp.°c	Rate°c/sec.
○	800	131
●	800	196
△	850	139
▲	850	209
□	900	148
■	900	221

Specimen C

Fig. 2. Mechanical properties of specimens heat treated in accordance with process 2.

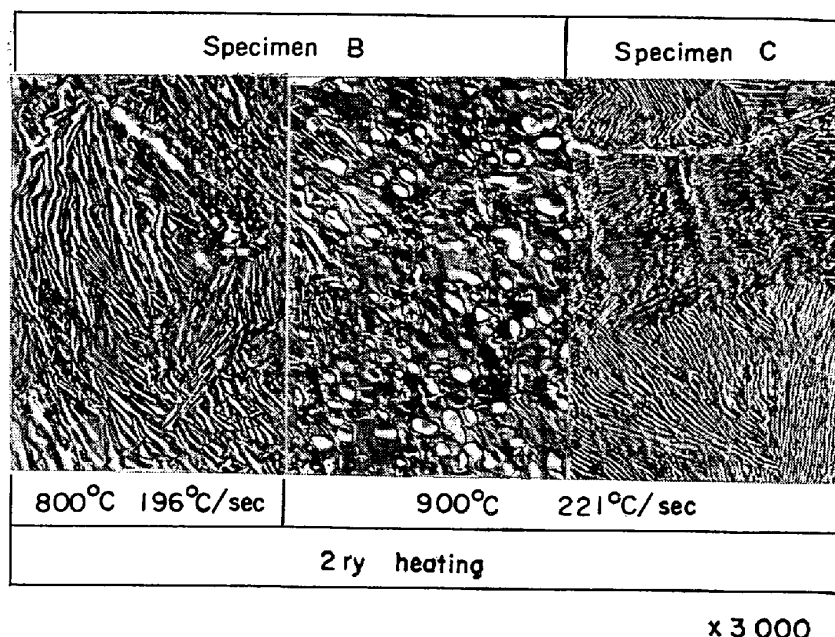


Photo. 4. Structures of specimen B and C heat treated in accordance with process 2 (lead bath temp. 580°C).

焼入れし、2回目の加熱条件 800~900°C, 加熱速度 196~221°C/sec で加熱後 580°C の鉛中で冷却した。このときの鋼線 A, B, C の機械的性質を Fig. 2 の左図に示す。試料 A および B は 2 回目の加熱温度の上昇とともに引張強さは上昇し、伸びおよび絞りは減少の傾向を示す。これに対し試料 C は 2 回目の加熱温度の変化に対する引張強さ、伸びの変化は小さい。なお熱処理方法 2 と 3 との違いは 1 回目の加熱においてガス加熱炉と高周波誘導加熱装置および保持炉との違いであり、これによる加熱速度が異なるためオーステナイトに溶け込むセメンタイト量が異なる点である。また、生産性をあげるために処理鋼線の移動速度を大きくした場合ガス加熱炉の長さが高周波誘導加熱装置に比べ非常に大となり、実用上ではこの点が大切である。

Fig. 2 の左図に示した機械的性質の 2 回目の加熱温度 800°C, 900°C に対応する試料 B と C との組織例を Photo. 4 に示す。試料 B, C とともに 800°C の加熱温度の場合、粒状セメンタイトとパーライト組織からなっている。900°C の加熱温度になると試料 B は過共析にもかかわらず、ほとんど遊離のセメンタイトは見られず微細なパーライト組織を示している。試料 C は Cr の含有量が多いため、パーライトからオーステナイトへの変態温度が高くなるために 1 回目、2 回目の加熱時にセメンタイトが十分には溶け込まず粒状および網目状セメンタイトの一部分が存在し、しかもパーライトのラメラは試料 B に比べ粗である。この網目状セメンタイトの一部分が

加熱時の溶け残りでないとする粒状セメンタイトは存在しないと考えられる。したがって網目状セメンタイトは溶け残りのものである。

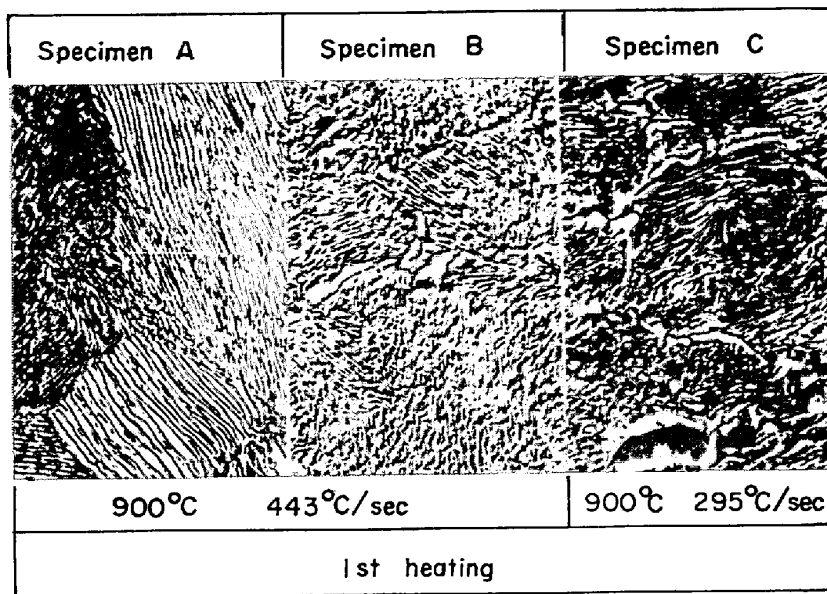
このように 2 回目の加熱温度 900°C で処理した時には試料 B と C との組織の差が引張強さの差となって現われたものと考えられる。しかし 2 回目の加熱温度 800°C と 900°C とで処理した試料 C の引張強さの差が小さくなったのはたまたまなつたものであろう。

熱処理方法 2 の 1 回目の加熱条件、温度 900°C, 加熱速度 8°C/sec, 保持時間 0 と 50 sec で加熱または加熱保持後 70°C の油に焼入れし、2 回目の加熱条件 800~900°C, 加熱速度 131~148 と 196~221°C/sec で加熱後 550~640°C の鉛中で冷却した鋼線 C の機械的性質を Fig. 2 の右図に示す。この図において 2 回目の加熱速度の大きいほうでは 1 回目の加熱で保持時間をとらなかつたために未溶解のセメンタイトが多く残り、2 回目の加熱でもこの加熱速度の差による未溶解のセメンタイトの差がこのまま現われたために引張強さは低くなつたものと考えられる。

伸び、絞りにについては明りような傾向を見いだすことはできなかつた。

熱処理方法 4 と 5 とにおいては熱延材の網目状セメンタイトの加熱時の溶け込み量を変えるために、加熱後の保持時間および加熱速度を変えて実験した。この結果は熱処理方法 1 とあわせて検討した。

熱処理方法 1 と 5 において 900°C に加熱または加熱



x 3 000

Photo. 5. Structures of specimens heat treated in accordance with process 5.

保持後 580°C の鉛中で冷却した鋼線 A, B, C の組織例を Photo. 5 に示す。

試料 A では加熱時の溶け残りのセメンタイトもオーステナイト化後の冷却時の網目状セメンタイトも観察されない。試料 B, C では C 量が試料 A に比べ高く、Cr 含有量も多いため変態温度が高くなるので、溶け残りのセメンタイトが両者ともに見られる。

熱処理方法 1~5 により処理された鋼線 A, B, C の伸線可能限界を Table 4 に示す。

試料 A について熱処理方法 2 の 2 回目の加熱温度 800°C と 900°C とを伸線スケジュール 1 の場合で比べると、前者の伸線限界は 2.7 mm であり、後者は 2.0 mm 以下の細いところまで伸線可能である。これらの試料の組織は熱処理方法 3 の Photo. 1 のおよび 2 の鉛温度 580°C の組織とほぼ同じであり、均一な微細なパーライトのほうが粒状セメンタイトとパーライトから成っている組織よりも伸線性がすぐれている。この熱処理方法 2 の 2 回目の加熱温度 900°C で処理したものは伸線スケジュール 2 で伸線しても 2.0 mm 以下の細いところまで伸線可能である。

熱処理方法 3 の処理材も方法 2 の処理材と同じように 2.0 mm 以下の細線にまで伸線可能である。

熱処理方法 1, 4, 5 の処理材については方法 1 の場合のみ 2.0 mm まで伸線可能であり、方法 4, 5 の場合は 2.0 mm 以下の細線まで伸線可能である。これらの処理材の組織も Photo. 4 に示すように微細パーライトである。

一般に過共析鋼線が完全にオーステナイト化するように高温で十分に保持した後鉛中で冷却すると、初析セメンタイトが現われ伸線性が悪くなると考えられる。このように加熱保持しすぎると過共析鋼線の伸線性が悪くなる傾向にあるので、方法 1 の場合は方法 4, 5 の場合に比べ、加熱保持しすぎたものと考えられる。

試料 B について熱処理方法 2 の 2 回目の加熱温度 800°C の場合で鉛温度 580°C と 640°C とでの処理材について比べると 580°C のものは 2.7 mm まで伸線できるのに対し、640°C のものは 3.5 mm までしか伸線できず、640°C のものが劣っている。

また鉛温度が 580°C、伸線スケジュールが 1 の場合 2 回目の加熱温度 800°C と 900°C との処理材を比べると、前者の伸線限界は 2.7 mm で、後者の伸線限界は 2.0 mm ですぐれている。Photo. 3 に示したように試料 A の場合と同じように伸線性の良い組織は微細パーライトである。900°C 処理材の場合伸線スケジュール 2 でも 2.4 mm まで伸線可能である。

熱処理方法 1, 4, 5 を比較すると、方法 5, 方法 4 の 900°C 加熱, 19 sec 保持および 37.5 sec 保持と加熱保持効果が大きくなるほど伸線限界が 3.5 mm, 2.95 mm, 2.7 mm と向上する。しかし方法 1 のように加熱保持効果がさらに大きくなると再び伸線限界が 2.95 mm と降下する。このように 1 回の加熱保持後鉛中に冷却する場合最適な加熱保持時間が存在し、Photo. 4 に 1 例を示すように粒状セメンタイトを加熱保持に残留させる適当な範囲がある。しかし熱処理方法 2 による粒状セメンタイト

Table 4. Drawability of heat treated wires.

Specimen	Heat treatment process	First heating			Quenching oil temp. °C	Second heating		Cooling in lead bath (temp. °C) × (time sec)	Drawing schedule	Drawable limit mm φ
		Temp. °C	Heating rate °C/sec	Holding time sec		Temp. °C	Heating rate °C/sec			
A	1	900	8	50	—	—	—	580×60	1	2.0
	2	900	8	0	70	800	196	580×40	1	2.7
		900	8	0	70	900	221	580×40	1	drawn over 2.0
	3	900	8	0	70	900	221	580×40	2	drawn over 2.0
		900	221	25	70	900	221	580×40	1	drawn over 2.0
	5	900	295	0	—	—	—	580×30	1	drawn over 2.0
	4	900	295	19	—	—	—	580×30	1	drawn over 2.0
		900	295	37.5	—	—	—	580×30	1	drawn over 2.0
	5	900	443	0	—	—	—	580×20	1	drawn over 2.0
B	1	900	8	50	—	—	—	580×60	1	2.95
	2	900	8	0	70	800	196	580×40	1	2.7
		900	8	0	70	800	196	640×40	1	3.5
	3	900	8	0	70	900	221	580×40	1	2.0
		900	8	0	70	900	221	580×40	2	2.4
	5	900	295	0	—	—	—	580×30	1	3.5
	4	900	295	19	—	—	—	580×30	1	2.95
		900	295	37.5	—	—	—	580×30	1	2.7
C	1	900	8	50	—	—	—	580×60	1	4.1
	2	900	8	0	70	800	196	580×40	1	3.8
		900	8	0	70	900	221	580×40	1	2.95
	5	900	295	0	—	—	—	580×30	1	5.0
	4	900	295	19	—	—	—	580×30	1	4.7
		900	295	37.5	—	—	—	580×30	1	4.1

の調整ほどうまくやれる範囲はつかめない。

試料Cについて熱処理方法2の2回目の加熱温度が800°Cと900°Cとを比べると、800°C処理材は伸線限界が3.8mm、900°Cでは2.95mmであり、その傾向は試料Bの場合と同じである。しかし試料Cは試料Bに比べCr含有量が多いために遊離のセメントイトが多く、伸線限界は劣る。

〔熱処理方法1, 4, 5では、方法5, 方法4, 方法1と加熱保持効果が大になるほど伸線限界は向上する。しか

し方法4の900°C加熱37.5sec保持と方法1とが伸線限界が同じ値であり、この程度の条件が1回加熱処理では適当な条件であろう。

#### 4. 結 び

5つの熱処理方法により過共析鋼線を熱処理し、伸線した結果を要約するとつぎのとおりである。

1回目の加熱保持後焼入れにより鋼線の組織をマルテンサイトにし、その後の再加熱時に生じた粒状セメント



イトを残留させたまま鉛中で鋼線を冷却すると、鉛温度により粒状セメンタイトとパーライトとの組織中での占める割合が変わる。

2 回の加熱冷却により過共析鋼に現われる網状セメンタイトを粒状セメンタイトとしてオーステナイト中に残し、その他の部分を共析鋼の成分組成とし、できるだけ微細なパーライトに変態させると伸線性の良い過共析鋼線が得られる。

1 回の加熱保持においても粒状セメンタイトをオーステナイト中に残すのに適した加熱保持時間があり、この条件でパテンティング処理すると伸線性の良いものが得られる。しかし 2 回の加熱冷却による処理よりは劣る。

以上の結果から 900°C に加熱保持後油焼入れし、その後 900°C に急速加熱し未固溶のセメンタイトを球状のセメンタイトとして残し網目状のセメンタイトをできるだけ生じないように 580°C の鉛中で冷却すると一部粒

状セメンタイトを含む微細なパーライト組織が得られ、過共析鋼線の伸線性のよいものが得られる。これにより熱処理と伸線とのくり返し回数を減らすことができる。また過共析鋼線の伸線性はその組織と密接な関係があり、引張強さとは一定の関係はない。

#### 文 献

- 1) 増島: 金属材料, 4(1955) 6, p. 46
- 2) 線材製品協会編: 線材とその製品, 5(1967) 10, p. 37
- 3) 平野, 高橋: 塑性と加工, 7(1966-1), p. 29
- 4) 岡本, 江口, 富永: 鉄と鋼, 50(1964) 12, p. 2034
- 5) R. A. GRANGE: *Transt. ASM*, 59(1966), p. 26
- 6) J. WYSZKOWSKI: *Iron and Steel* (1970) 4, p. 977
- 7) 松田, 岡村: 鉄と鋼, 60(1974) 2, p. 60
- 8) B. M. ARMSTRONG and G. M. STURGEON: *Wire Industry*, (1965) 1, p. 73