

Table 2. Difference of cooling rate and heat transfer coefficient by sample temperature.

Temp. at the center of sample(°C)	n	930 →700	930 →600	930 →500	930 →400	930 →300	
Item							
Mean cooling rate of sample center	79	0.86	0.93	1.00	1.04	1.05	
Mean heat transfer coefficient	A①	79	1.01	0.95	1.00③	1.14	1.28
	B②	79	0.77	0.86	1.00④	1.17	1.40

①: Using the thermal properties of sample shown Table 1.

②: Using constant thermal properties of sample, specific heat 0.16 cal/g·deg, thermal conductivity 0.10 cal/sec·cm·deg, density 7.7 g/cm<sup>3</sup>, thermal diffusivity 0.081 cm<sup>2</sup>/sec

③: Mean heat transfer coefficient 3235 kcal/m<sup>2</sup>·hr·deg

④: " 2038 "

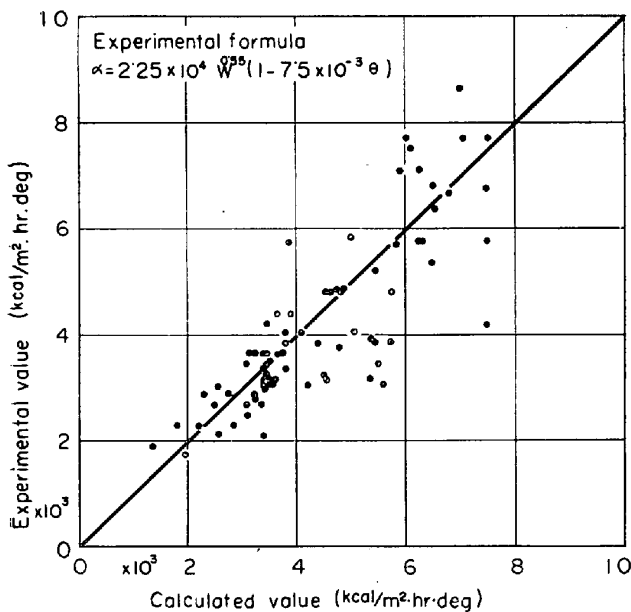


Fig. 5. Comparison between experimental values and calculated values from experimental formula.

[θ]: °C

(4) 式から計算した値と実測値との関係を Fig. 5 に示す。(4) 式を使用すると、水量、水温から熱伝達率が概算できる。

3.2 試料温度と平均熱伝達率の関係

試料の温度と熱伝達率の関係を調べるに際しては、異なる条件のデータを用いるため、930→500°C (試料中央) の値に対する比を用いた。結果を Table 2 に示す。

炭素鋼は高温になると、熱伝導率が小さく、比熱が大きくなるから、冷却速度が減少するのは容易にうなずける。一方、温度に対して補正した物性値を使用したにもかかわらず、高温になるにつれて、熱伝達率 (Table 2 の A) が減少するのは、温度によつて試料表面の伝熱特性が相異なること (膜沸騰、核沸騰などの現象) や試料の物性値の温度補正が正確に行なわれていないことによるものと思われる。

Table 2 の熱伝達率 B は、試料の物性値が温度によつて変化しないものと仮定して算出した値である。このように、物性値に対する温度補正を行なわないと、熱伝達

率は試料温度によつて相異なる。

また、Table 2 の熱伝達率の絶対値において、A が B より大きいのは、B の計算に使用した比熱が実際より小さく、熱伝導率が大きいためである。このように、熱伝達率を算出する場合には、試料の物性値の選び方が重要である。以上のような理由から、熱伝達率を用いて計算する場合には、熱伝達率の算出に用いた物性値を用いるのが望ましいことがわかる。

4. 結 言

これまでの結果をまとめると、

(i) 水量、水温と熱伝達率の間には、

$$\alpha = 2.25 \times 10^4 W^{0.55} (1 - 7.5 \times 10^{-3} \theta)$$

[α]: kcal/m<sup>2</sup>·hr·deg

[W]: l/cm<sup>2</sup>·min

[θ]: °C

(ii) 試料の“時間-温度”曲線から熱伝達率を算出する場合、試料の熱的物性値の選び方が、得られる値に影響することなどがわかった。

(263) 温間伸線された鋼線の電子顕微鏡組織について

神戸製鋼所, 中央研究所

○高橋栄治・近藤亘生・平野 坦

On Microstructure of Warm Drawn Steel Wires.

Eiji TAKAHASHI, Nobuo KONDO and Hiroshi HIRANO.

1. 結 言

一般に鋼を伸線加工すると、伸線加工中に発熱し、試料の温度が上昇する。この発熱が伸線加工後の成品の伸び、巻き解き値などの点に悪影響をおよぼすことが知られている<sup>1)2)</sup>。したがって現在は、伸線加工中試料の温度上昇をできるだけ防ぐために、水冷されたダイを使つて伸線している。一方温間伸線をおこなうと鋼の引張り強さ、耐力などが高くなるので、この性質を利用して、じん性をいくぶん犠牲にしても、より強度の高い線材を得るための実験が五弓<sup>3)</sup>らによつておこなわれている。

この実験においては直径 5.5 mm の熱延材を減面率約 20%で 3 回伸線し、伸線後の試料の諸性質について調べている。

本実験においては、パテンティング処理材の温間伸線やさらに温間伸線回数をふやした場合などについて、実験し、温間伸線材の機械的性質およびその電子顕微鏡組織について調べ、それらの関連性について検討した。

2. 実験方法

供試材としては線径 5.5 mm のパテンティング処理された 0.4, 0.6, 0.8%炭素鋼および熱延のままの 0.1%炭素鋼を使用した。伸線には単頭伸線機を用い、伸線速度 15 m/min, 各回の減面率約 20%で 7 回伸線し、線径 2.5 mm にすることを目標とした。伸線温度はダイ入口にて室温, 200, 300, 400°Cである。温間伸線をおこなうために、2 組の銅の電極を使用し、試料に直接電流を流して、伸線中連続的に抵抗加熱をおこなった。なお伸線温度の測定にはテンピルスタックを使用した。各伸線段階での試料について引張り試験および試料の 1 部について薄膜法による透過電子顕微鏡観察をおこなった。

3. 実験結果および考察

各線径における伸線材の機械的性質の 1 例を Table 1 に示す。0.4%炭素鋼では 300°C で温間伸線した場合最高の引張り強さを示した。また 0.1, 0.6, 0.8%炭素鋼ではそれぞれ 400, 300, 200°C で温間伸線した場合に最高の引張り強さを示した。このように炭素量がふえるにしたがって、引張り強さが最高を示す温度が低くなる。

炭素含有量の多い鋼ほどパテンティング処理後にフェライト中に固溶している炭素量も多いと考えられる。また炭素の固溶濃度の高いほうが時効による析出は早いと考えられるので、より低い温度で、析出物が転位の働き

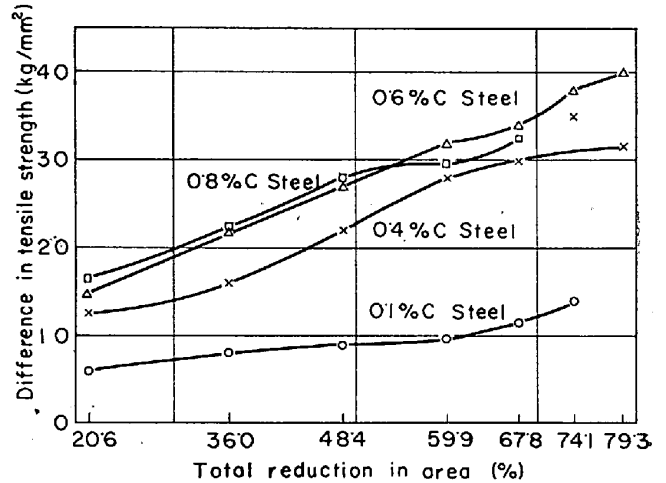


Fig. 1. Difference in tensile strength between cold-drawn wires and warm-drawn wires, tensile strength of which is maximum in each carbon steel and each diameter. Warm drawing temperature is 400, 300, 300 and 200°C in the case of 0.1, 0.4, 0.6 and 0.8 %C steel respectively.

Table 1. Mechanical properties of specimens.

Specimen	Drawing* temp. (°C)		Diameter of specimen (mm)								
	5.5	5.37	4.89	4.40	3.95	3.52	3.15	2.79	2.49		
0.1% C steel	T. S	R. T	34.8	36.7	47.0	52.6	54.9	58.2	64.0	62.5	65.4
	R. A	R. T	74.6	73.0	68.0	60.5	58.4	53.8	51.7	46.8	47.0
	T. S	300	34.8	36.7	52.9	59.4	61.8	63.4	67.0	68.9	69.9
	R. A	300	74.6	73.0	65.2	60.4	55.9	49.0	48.5	43.6	31.8
0.4% C steel	T. S	R. T	70.8	75.9	85.0	92.3	98.1	101.7	106.7	111.0	115.4
	R. A	R. T	58.1	55.2	51.3	49.8	46.8	40.5	48.5	46.4	43.1
	T. S	200	70.8	75.9	92.3	101.9	108.6	116.7	125.8	137.4	141.2
	R. A	200	58.1	55.2	46.9	42.8	41.3	41.0	34.0	30.3	35.7
	T. S	300	70.8	75.9	97.9	109.2	120.1	129.7	137.2	146.1	147.6
	R. A	300	58.1	55.2	42.7	37.7	30.4	26.8	27.5	28.1	28.0
	T. S	400	70.8	75.9	91.9	101.2	108.2	114.9	115.1	118.7	—
	R. A	400	58.1	55.2	49.3	46.3	43.1	40.3	40.1	41.1	—
0.6% C steel	Y. S	R. T	64.6	86.9	96.5	102.5	108.3	110.6	114.5	123.9	121.9
	T. S	R. T	99.8	102.0	113.9	120.2	126.3	132.1	137.2	143.1	148.4
	R. A	R. T	49.2	49.2	46.5	48.4	47.5	47.1	56.1	56.4	52.3
	Y. S	300	64.6	86.9	115.4	131.8	142.5	155.5	161.1	172.4	185.6
	T. S	300	99.8	102.0	128.6	141.8	152.6	164.0	170.8	181.0	188.0
	R. A	300	49.2	49.2	36.5	33.1	32.1	30.9	34.1	35.1	26.5
0.8% C steel	T. S	R. T	124.1	130.9	140.3	148.4	156.8	164.9	173.1	179.5	189.0
	R. A	R. T	38.6	33.5	39.8	40.1	41.2	45.6	41.8	48.9	49.3
	T. S	300	124.1	130.9	156.6	169.8	182.8	190.7	199.8	210.1	214.6
	R. A	300	38.6	38.5	26.5	20.4	22.6	32.4	25.6	27.1	30.9

T. S : Tensile strength(kg/mm<sup>2</sup>)    R. A : Reduction of area(%)    Y. S : 0.2% proof strength(kg/mm<sup>2</sup>)  
 R. T : Room temperature

\* Drawing temperature in drawing of wires from 5.5 mm φ to 5.37 mm φ is always room temperature

を止め得るある大きさよりも大きくなるために、このような現象が現われたのであろう。

最高の引張り強さを示した温間伸線材と冷間伸線材との引張り強さの差を Fig. 1 に示す。これによると温間伸線による引張り強さの増加は炭素量がふえるにしたがつて大きくなる。これも固溶炭素量の違いによるものと考えられる。0.2% 耐力についても引張り強さの場合と同様の傾向を示した。Table 1 の 0.6% 炭素鋼の例からもわかるように降伏比は温間伸線材のほうが冷間伸線材よりも高い値を示している。

絞りはいずれの炭素量の場合でも冷間伸線材が温間伸線材よりも大きな値を示し、Table 1 の例からもわかるように、同一炭素量では引張り強さのもつとも大きい温間伸線材がもつとも小さい絞りを示す傾向にある。

つぎに試験材について薄膜法による電子顕微鏡観察をおこなった。0.1% 炭素鋼についての観察例を Photo. 1~3 に示す。伸線加工前の試料には転位はわずかしか存在しない。これらの試料を線径 2.80 mm に強伸線加工するとフェライト中にセル構造が現われる。しかも伸線温度が室温、200, 300°C と上昇するにしたがつてセルの大きさが小さくなり、その境界の幅が細く鮮明になる。またセル内部の転位密度はより低くなる。さらに伸

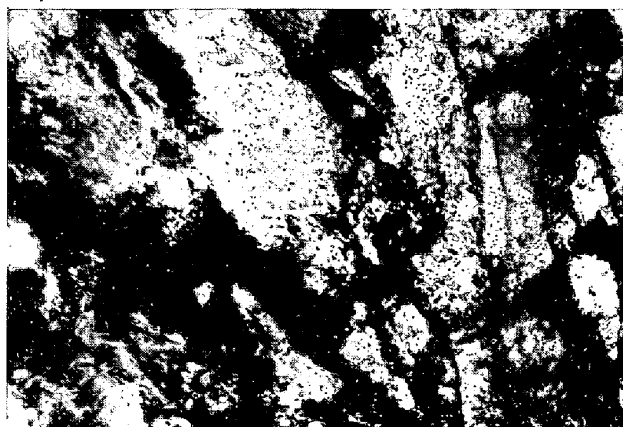


Photo. 1. Microstructure of 0.1% C steel wire drawn at room temperature. Diameter of specimen is 2.79 mm.  $\times 30000$  (1/2)

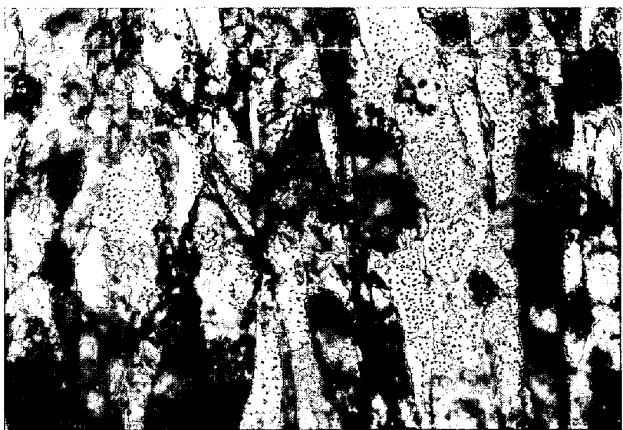


Photo. 2. Microstructure of 0.1% C steel wire drawn at 300°C. Diameter of specimen is 2.79 mm.  $\times 30000$  (1/2)

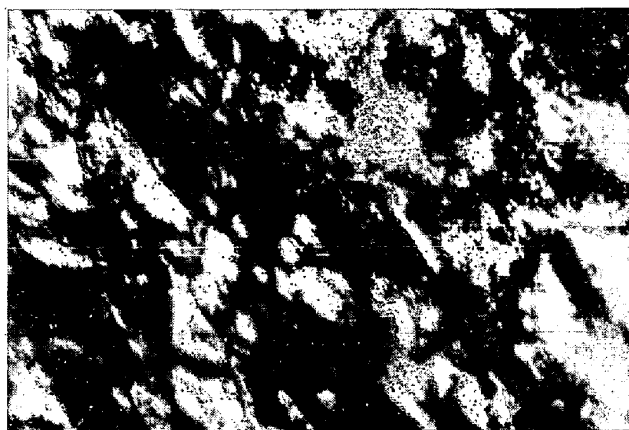


Photo. 3. Microstructure of 0.1% C steel wire drawn at 400°C. Diameter of specimen is 2.79 mm.  $\times 30000$  (1/2)

Table 2. Size of cell structure appeared during drawing of 0.1% C steel wire. ( $\mu^2$ )

Dia. of specimen	Drawing temp. (°C)			
	R. T	200	300	400
3.95 mm	0.86	0.67	0.54	1.05
2.79 mm	0.71	0.58	0.56	0.75

R. T : Room temperature

線温度が上昇し 400°C になるとふたたび室温での伸線材のようにセル境界の幅も広くなり、セル内部の転位密度も高くなる。

線径 3.95 および 2.80 mm について観察した結果によると、伸線加工度の大きいほうが伸線加工度の小さいものに比べ、セル境界の幅はより細く、セル構造の大きさはより小さくなる。このセルの大きさをそれぞれ 35 枚以上の電子顕微鏡写真から測定した。この結果を Table 2 に示す。

また同一素材の 0.1% 炭素鋼を圧延温度 500 ないし 600°C、圧延率 50% で 1 バスで温間圧延した。このように加工温度が再結晶温度まで上昇した場合でも大きなセル構造を示し、セル境界の幅も広い。

伸線加工中に試料が加熱されると、時効現象がおり炭素、窒素などが転位に集まり微細な析出物を形成したため、基地中の炭素、窒素の濃度は低下し、基地中を移動する転位はより抵抗を受けなくなる。また微細な炭化物などが生じたところでは、転位が局部的に堆積すると考えられる。したがって Photo. 2 のように転位が分布したものと思われる。

一方伸線温度が 400°C と上昇すると、原子空孔の助けをかりて転位が上昇運動することにより、転位が極端には局部的に集まらず、Photo. 3 のようなセル構造を示したものと思われる。さらに変形加工温度が 500, 600°C と再結晶のおこる温度になつてもセル境界の幅の広いセル構造を示すので、200, 300°C 温間伸線材に見られる転位分布状態は回復、再結晶によるものとは本質的に異なると考えられる。

この実験のような場合には、試料が同一量変形するた

めには同一量の転位が移動しなければならないので、温間伸線中に転位が微細な析出物により動きが止められると、それだけ多くの転位が発生しなければならない。しかるに Photo. 1~3 では温間伸線材のものよりもむしろ冷間伸線材のほうが転位がより多く存在しているかのように見える。したがって転位はより巾のせまいセル境界および結晶粒界に多く堆積するかまたは結晶粒界の一部となつていふと考えられ、これが温間伸線材が冷間伸線材よりも、もろい原因になつていふと考えられる。また温間伸線材においてはこのように転位の tangle やセルの wall における転位密度が冷間伸線材に比べてより高いと考えられ、このために温間伸線材のほうが冷間伸線材に比べ強度が大となつたと思われる。

4. 結 言

鋼線を強伸線加工すると、冷間伸線材と温間伸線材との間に転位の分布状態に差が現われ、200, 300°C 温間伸線材中にはセル境界の巾の細いセル構造が形成され、その大きさも冷間伸線材のものよりも小さい。これが機械的性質の諸変化と関連していふと考えられる。

文 献

- 1) A. POMP: *Stahldraht*, (1952), p. 101 [Düsseldorf]
- 2) 西岡: *日本金属学会誌*, 22 (1958) 5, p. 225
- 3) 五弓, 橋本: *塑性と加工*, 5 (1964) 10, p. 643

(266) 連続铸造により製造した高炭素帯鋼の材質について

(連続铸造により製造した鋼の材質について—Ⅲ)

大同製鋼, 平井工場 山口 素一  
北日本特殊鋼, 八戸工場 工博○小池 伸吉  
On the Quality of High Carbon Steel Hoop from Continuously Cast Billet.

(On the quality of steel from continuously cast billet—Ⅲ)

Motoichi YAMAGUCHI and Shinkichi KOIKE.

1. 緒 言

連続铸造により製造した鋼の材質についてはすでに硬鋼線材用鋼およびバネ鋼について報告し<sup>1)2)</sup>, これら鋼種は鋼塊法により製造した生産材と比較して差がないことを示した。本報は高炭素鋼片を帯鋼に圧延し冷間圧延工程を経てゼンマイとして試作した場合の調査結果で、各工程で鋼塊法より製造した生産材との比較を行なつたものである。

2. 試 料

製造工程はつぎのとおりである。すなわち、10 t 電気

Table 1. Chemical composition of specimen (ladle).

Steel quality	C %	Si %	Mn %	P %	S %
SK 5	0.82	0.30	0.40	0.014	0.012

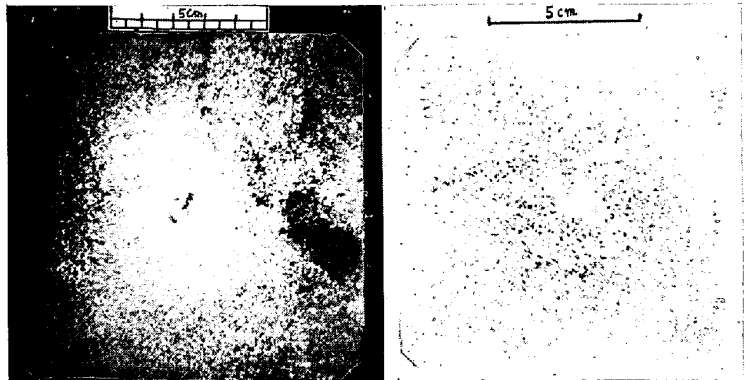


Photo. 1. Macro-etched structure (left) and sulphur print (right) of continuously cast billet.

弧光炉→連続铸造 (115 mm 角)→熱間圧延 (3 mm×136 mm)→冷間圧延 (0.37 mm×136 mm)→ゼンマイ製品で、連続铸造鋼片、各圧延工程およびゼンマイ製品で試料を採取した。Table 1 に試料の化学成分を示した。

3. 調査結果

3.1 铸造鋼片

Photo. 1 に铸造鋼片の横断面のマクロ組織を示した。中心部の2次収縮孔は鋼片各部に認められ、大部分はV状に軸心部に集中して長く連続または断続して現われている。またサルファープリントの結果、中心部の2次収縮孔の周辺に多少の偏析が認められるが顕著なものではない。鋼片横断面について化学成分の偏析は認められなかつた。

鋼片は圧延前に全面グラインダー研削後、部分疵取を実施した。この表面処理歩留は 97~98% である。

3.2 熱間圧延帯鋼

熱間圧延帯鋼の外観品質は良好であり一般生産材と比較して全く問題ないものであつた。

3.2.1 マクロ組織およびミクロ組織

帯鋼横断面を切断、研磨した状態では欠陥は全く認められず鋼片時の中心収縮孔などの欠陥は完全に圧着していることがわかるが、マクロ腐食した場合 Photo. 2 に示すように中心部に黒い線状の腐食跡が明瞭に認められた。しかしこの部分は Photo. 3 に示すミクロ組織より鋼片時の中心収縮孔が圧着したあとの偏析であり、偏析部は周辺の正常部に比較して炭素濃度がやや高く、また結晶粒が若干細いことがわかる。なおこの横断面のミクロ組織からみても鋼片時の中心収縮孔は完全に圧着していることが明らかである。

3.2.2 機械的性質

Table 2 に帯鋼の位置、方向別の引張試験結果を、そ

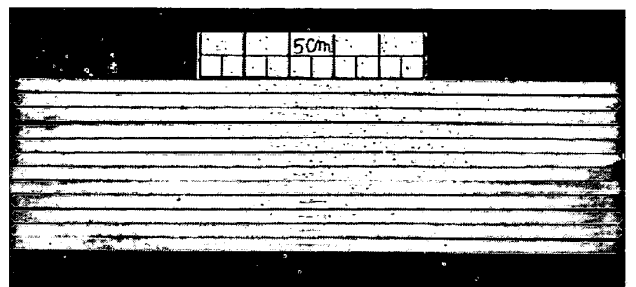


Photo. 2. Macro-etched structure of hot coil.