

マルテンサイト鋼線*

西岡多三郎**

MARTENSIT-DRAHT

Tasaburo Nishioka

Zusammenfassung:

Über das Verfahren zur Herstellung von Draht mit hoher Festigkeit aus kohlenstoffarmem Stahldraht und seine mechanischen Eigenschaften ist bisher eine vollendete Forschung nicht veröffentlicht worden. Vor einigen Jahren richtete der Verfasser Augenmerk auf der Zähigkeit des Martensitgefüges von kohlenstoffarmem Stahl und es ist ihm gelungen, herzustellen kohlenstoffarmen Stahldraht mit hoher Festigkeit und guter Zähigkeit. Nämlich wird kohlenstoffarmer Stahldraht einmal in vorständiges Martensitgefüge in der Weise übergeführt, dass der Draht unter Schutzgas auf 950°C erhitzt und unmittelbar anschliessend in 5% NaOH Lösung abgeschreckt wird, und dann bis zur Zugfestigkeit von 95 bis 105 kg/mm² wird es auf Temperatur über 350°C angelassen, ferner zur Erziehung einer noch höheren Zugfestigkeit einigemal kaltgezogen. Den durch diese Behandlung erzeugten Draht haben wir "Martensit-Draht" genannt. Martensit-Draht hat gute Zähigkeit und hohe Zugfestigkeit von 100 bis 200 kg/mm², und kommt in den Eigenschaften kohlenstoffreichem Stahldraht gleich. Ausserdem ist es rostverhütend und säurefest, und hat gute Schweissbarkeit und Bearbeitbarkeit, ferner wird auch nicht spröde durch örtliche Martensitbildung. Und der Verfasser erfand den industriellen Verfahren zur Herstellung von Martensit-Draht.

I. 緒 言

従来低炭素鋼を用いて高抗張力鋼線を製造する方法、およびその性質についてはまとまった研究はほとんど見当らない。焼入により低炭素鋼の抗張力を上げることについては従来も発表はされているが、その抗張力が均一で焼鈍線の2倍を越える低炭素鋼線は得ておらず¹⁾²⁾³⁾⁴⁾、これを伸線しても良好な機械的性質は得られていない。著者⁵⁾は数年前低炭素鋼のマルテンサイト組織の靱性に着目し、鋼線を焼入により一旦完全なマルテンサイト組織とし、さらに適当な焼戻をすることによりこの目的に適った強靱な組織を得られることを見出し、さらにこれを伸線して高抗張力と靱性をもつた線を造りこれをマルテンサイト鋼線と名付けた。その後 R. H. Aborn⁶⁾も低炭素鋼を焼入して靱性のあるマルテンサイト材料の得られることを裏書きしている。本研究は 0.25% C 以下の低炭素鋼線を熱処理、伸線してマルテンサイト鋼線を得る方法とその特性とについてのべる。

II. 実験試料および実験方法

実験試料としては 0.05~0.25% C の種々の低炭素鋼線を用いた。熱処理は最初実験室的方法で行い、最後に工業的方法で連続的に熱処理する方法を考案した。実験室的熱処理方法は試料を長さ約 80cm の横型管状電気

炉にて加熱後ただちに冷却液中に浸漬焼入した。なお酸化防止のため試料は酸化防止ガス中で加熱し、また焼戻は鉛浴中で行った。また伸線は焼結合金ダイスを用いて毎回 25% の落し率で行い潤滑剤として石灰、石鹼を使用した。

III. 実験結果

1. 焼入冷却剤の影響

種々の径の 0.08% C の低炭素鋼線を酸化防止ガス中で 950°C に加熱後、各種の冷却剤中へ浸漬焼入れし、焼入線の抗張力におよぼす冷却剤の影響をしらべた。

Abb. 1 はこの結果を示すもので、たとえば 5.5 mm 径の線は焼鈍すると 31 kg/mm²、空気パテティングすると 35 kg/mm² の抗張力であるが、これを水中に焼入すると 50 kg/mm² に上昇する。しかし水は冷却中水蒸気を発生するため冷却に不同を生じ抗張力にも不同が多い。さらに 5% NaOH、10% KOH、5% NaCl 等のアルカリ金属化合物の水溶液は非常によい冷却能をもち、とくに 5% NaOH 中へ焼入すると 95 kg/mm² の高く均一な抗張力を得ることができる。しかしこの場合でも酸化防止ガスを使用せず空气中で加熱すると酸化膜

* 昭和 32 年 4 月本会講演大会にて発表

** 帝国産業株式会社

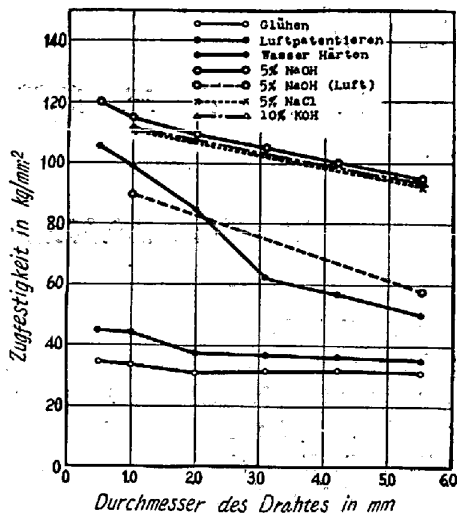


Abb. 1. Einfluss des Abschreckmittels auf die Zugfestigkeit des gehärteten Stahldrahtes mit 0.08%C.

を生ずるため冷却能が悪くなり抗張力は 58kg/mm^2 に下り、かつ不同を生ずる。なお焼入抗張力に対する線径の影響も大きく線径が細くなるほど抗張力は大となる。たとえば 5% NaOH へ焼入する場合 5.5 mm で 95kg/mm^2 に対し、1.0 mm では 113kg/mm^2 となる。

またこの鋼線を常温の NaOH 溶液中へ焼入れた場合 NaOH の濃度と抗張力との関係を示すと Abb. 2 のごとくで 5% までは濃度の増加とともに抗張力は急激に高くなり 5% で最高となり、10% 以上になると次第に抗張力は減少する。したがって低炭素鋼は無酸化ガスで加熱後常温の 5% NaOH 中へ焼入した場合が一番抗張力は高くなる。

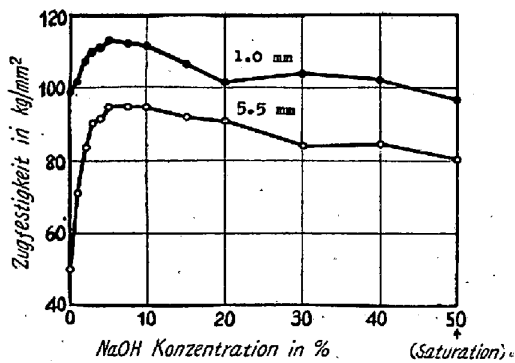


Abb. 2. Einfluss der Konzentration von NaOH auf die Zugfestigkeit des gehärteten Stahldrahtes mit 0.08%C.

2. 原線抗張力の影響

低炭素鋼線を 5% NaOH 中に焼入したときの抗張力と空気パテティングした時の抗張力との比を γ とし、5.5 mm 径の各種鋼線について空気パテティングした

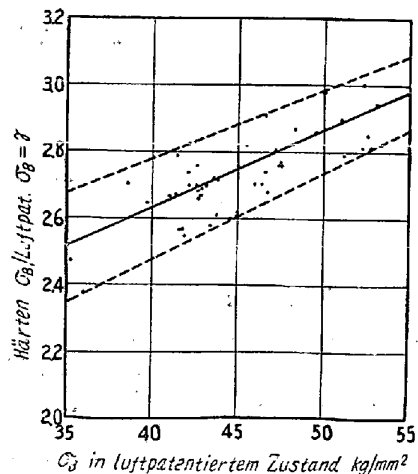


Abb. 3. Beziehungen zwischen Zugfestigkeit in luftpatentiertem Zustand und γ in verschiedenen Stahldrähten von 5.5 mm Dmr.

ときの抗張力と γ との関係を示すと Abb. 3 のごとくで中央の実線は標準の場合を示し、その両側の点線は最大最小値の範囲を示すものである。すなわち γ は空気パテティングの抗張力が大きくなるほど大となる。たとえば空気パテティングの抗張力 45kg/mm^2 の鋼線を焼入すると γ は標準で 2.76 で、成分などの相違により 2.61~2.88 の範囲内に入り、したがって抗張力は標準で 124kg/mm^2 、その範囲は $118\text{kg/mm}^2 \sim 129\text{kg/mm}^2$ となる。

3. 焼入温度の影響

炭素含有量 0.14% の 5.5 mm 炭素鋼線を種々の加熱温度から 5% NaOH 中へ焼入れた場合、焼入温度と焼入抗張力との関係を示すと Abb. 4 のごとくで、860°C までは焼入温度が高くなるとともに抗張力は急激に増加するが、860°C ~ 1000°C ではほぼ一定の値を示し 1000°C を越えると徐々に減少する。また Tafel 1 は各温度から焼入れた線の性質を示す表で焼入温度 860

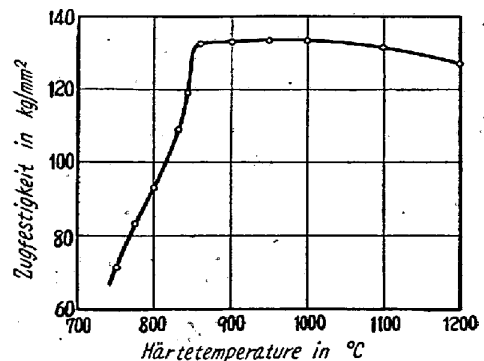


Abb. 4. Einfluss der Härtetemperatur auf die Zugfestigkeit des in 5% NaOH gehärteten Stahldrahtes mit 0.14%C.

Tafel 1. Einfluss der Härtetemperatur (0.14%C)

Härte- tempera- tur °C	Martensit %	Zugfestig- keit kg/mm ²	Mögliche Züge	3. Zug				
				Zugfestig- keit kg/mm ²	Zugfestig- keitzunahme kg/mm ²	Dehnung (100mm) %	Verwinde- zahl (100δ)	Beigeprobe (1.5δ)
950	100	133	3	183	50	1.5	12×R	gebrochen
840	85	119	3	164	45	1.8	18×R	〃
830	80	109	6	157	48	1.7	20×R	〃
800	65	93	4	144	51	0.9	12×R	〃
775	50	83	4	130	47	0.5	4×	〃
750	30	71	4	111	40	0.5	4×	〃
Luftpat.	0	49	>15	83	34	2.7	6	gut

°C 以下ではフェライトとマルテンサイトとの混合した組織をもち、かつ温度が高くなるほどマルテンサイトの量が多くなり、したがって抗張力は大きくなる。そして860°C以上では100%マルテンサイトとなり、抗張力もほぼ一定になる。

次にこれら焼入れしたまゝの線を毎回25%の落し率で伸線する場合830°C焼入線は6回伸線できるが他の線は3~4回だけしか伸線できず、いずれも空気パテントリングした線に較べ非常に加工性がおどつていることがわかる。また25%落しで3回伸線した線についてその性質を比較すると抗張力は焼入温度の高いほど大きくまた抗張力の増加は950°C, 800°Cが最も大きく、750°Cが一番小さいが空気パテントリングした線に較べるといずれも大きな増加を示している。また伸びはパテントリング線に較べ非常に少く、かつ焼入温度が低いほど少くなる。捻り回数は800°C以上では比較的多いがいずれも異常破面(X)を呈しヒビ(R)を発生している。これに対しパテントリングした線は回数は少いが正常な破面を示す。また線径(δ)の1.5倍の径の円の周りに曲げた場合は、パテントリング以外の線は全部折れる。

すなわち焼入れしたまゝではどの焼入温度の場合も伸線能悪く、また伸線しても抗張力は高いが脆い線しかできない。

4. 炭素含有量の影響

Tafel 2. は種々の炭素含有量の5.5mm低炭素鋼線

Tafel 2. Einfluss des C-Gehaltes.

C-Gehalt %	Luftpat. σ _B kg/mm ²	Härten σ _B kg/mm ²	Mögliche züge	3. Zug				
				Zugfestig- keit kg/mm ²	Zugfestig- keitzunahme kg/mm ²	Dehnung (100mm) %	Verwinde- zahl (100δ)	Biegeprobe (1.5δ)
0.06	36.0	85	8	126	41	1.8	4	gebrochen
0.08	36.0	94	6	134	40	1.6	5	〃
0.10	38.6	100	5	143	43	1.6	4	〃
0.13	41.4	115	3	161	46	1.5	4	〃
0.16	47.4	130	3	180	50	1.5	7×	〃
0.22	52.3	157	1	—	—	—	—	—

を5%NaOH中へ焼入したときの性質、および焼入後毎回25%の落し率で伸線したときの機械的性質を示す表である。これらの鋼線を空気パテントリングした場合その抗張力は36.0~52.3kg/mm²であるが、これを焼入すると85~149kg/mm²となりC%の多い線ほど高くなる。つぎにこれら焼入れしたまゝの鋼線を伸線するとC%の多い線ほど伸線可能回数は少くなり0.06%Cの8回に対し、0.22%Cではわずか1回しか伸線できない。また3回伸線した線についてその機械的性質を比較すると抗張力はC%の多い線ほど高く、また抗張力の増加もC%が多くなるほど大きくなるが、伸はC%が多くなるほど小さくなる。また捻り試験ではいずれも回数は非常に少く、曲げ試験しても全部折れる。

すなわちC%がどのように少い線でも焼入れしたまゝの線は抗張力は高いが靱性に欠け、また伸線しても靱性に富む線は得られない。

5. 熱処理の影響

Tafel 3は0.14%Cの低炭素鋼線を空気パテントリングした線、830°Cで焼入れしマルテンサイトとフェライトとの混合組織をもつた線、950°Cで焼入れした全部マルテンサイトの線、および焼入後350°Cで焼戻した線について毎回25%落しで伸線し2.04mmで抗張力155kg/mm²級の線を造つた時の機械的性質を比較したもので155kg/mm²の抗張力を出すには空気パテントリング線では13回伸線せねばならないが、焼入焼戻

Tafel 3. Einfluss der Wärmebehandlung (0.14%C).

Wärmebehandlung	Gefüge	Zugfestigkeit kg/mm ²	Zugfestigkeit 155 kg/mm ² (2.04 mm)					Biegeprobe (1.5δ)
			Anzahl der Züge	Zugfestigkeit kg/mm ²	Dehnung (100mm) %	Vickershärte	Verwindenzahl (100δ)	
Luftpat. 830°C härten 950°C härten Härten-Anlassen	Fe+P	49	13	153	1.8	383	22×	gut
	M+Fe	109	3	157	1.7	415	20× R	gebrochen
	M	133	1	156	1.7	422	5	gut
	S	100	7	158	1.8	398	32	gut

線は7回、830°C 焼入線は3回、950°C 焼入線ではわずか1回伸線でこの抗張力の線が得られる。そして伸びはいずれも余り差はなく、ねじり試験は焼入焼戻線は32回で一番回数多く破面も良好である。しかし他の空気パテニング、830°C 焼入線は回数少く異常破面でヒビを生じ、また950°C 焼入線はわずか5回でねじり試験の結果は悪い。また曲げ試験は830°C 焼入線以外は良好である。この結果から抗張力大で靱性のよい低炭素高抗張力線を造るには焼入焼戻を行つて後、伸線するのが最良の方法である。

6. 焼入焼戻せる鋼線

炭素含有量 0.08%, 0.14%, 0.22% の 3.1 mm 炭素鋼線を 5% NaOH 中に焼入後、これを鉛浴中で種々の抗張力に焼戻して後、毎回 25% の落し率で 10 回伸線しその機械的性質の変化をしらべた。Abb. 5 はこの結果を示すもので伸線による抗張力の増加は同じ焼戻抗張

力の線では C% が多くなるほど大きく、また同一 C% の鋼線では焼戻抗張力が高いほど大きくなる。またねじり回数は伸線回数の少ない間は不同が多いが 6 回伸線以上では大体安定し、一般に焼戻抗張力の低い方がねじり回数が多いが C% の影響はほとんどない。しかし焼戻抗張力 110 kg/mm² 以上の線では鋼線の種類に関係なく 6~7 回伸線からヒビを生じ、破面も悪くなる。かつ焼戻抗張力が高い線ほど、ヒビは早く発生する。したがつて抗張力大で靱性の良好な鋼線を製造するには大体 100kg/mm² 前後に焼入、焼戻して後伸線するのがよい。

Abb. 6 は 0.14% C の 3.1 mm 鋼線を 100kg/mm² に焼入焼戻 (焼戻温度 350°C) してこれを毎回 25% 落しで伸線した時の機械的性質の変化を示す図で抗張力は 10 回伸線で 186 kg/mm²、伸は 1.2%、絞りも大きく 60%、ねじり回数は 34 回で破面良好、また巻解、曲げ試験も良好で高炭素鋼線に匹敵する性質を有する線を製造

できる。その上この鋼線は低炭素鋼としての特性をも備えており、防錆力、耐酸性、加工性、溶接性良く、また表面マルテンサイト化による脆化防止に役立つなどの利点がある。

IV. 工業的熱処理方法

この方法は低炭素鋼線を連続的に焼入焼戻する方法で、加熱はカーボン極と鉛槽を電極とし直接線に電流を通じて行う。すなわち Abb. 7 のごとくコイル状に巻かれた線の一端から連続的に引出された線はまずカーボン極に接触しつぎに酸化防止ガスを充した鉄製保護チューブ内を通過する間に電流により次第に線温度が上昇し、約 950°C になつたところで冷却液

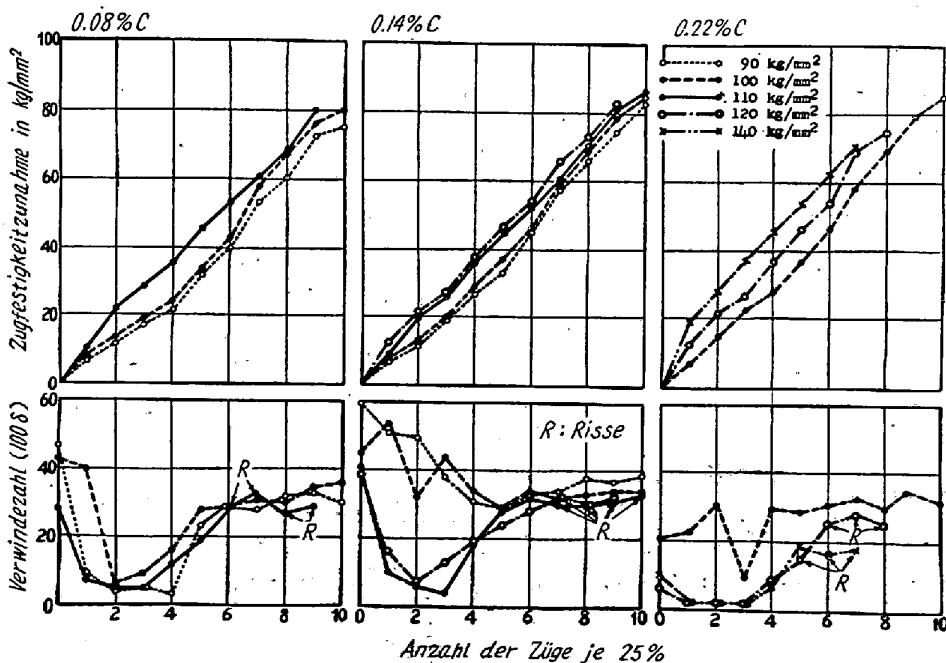


Abb. 5. Einfluss des Ziehens auf die Zugfestigkeitszunahme und Verwindenzahl von drei gehärteten und auf verschiedener Zugfestigkeit angelassenen Stahldrähten.

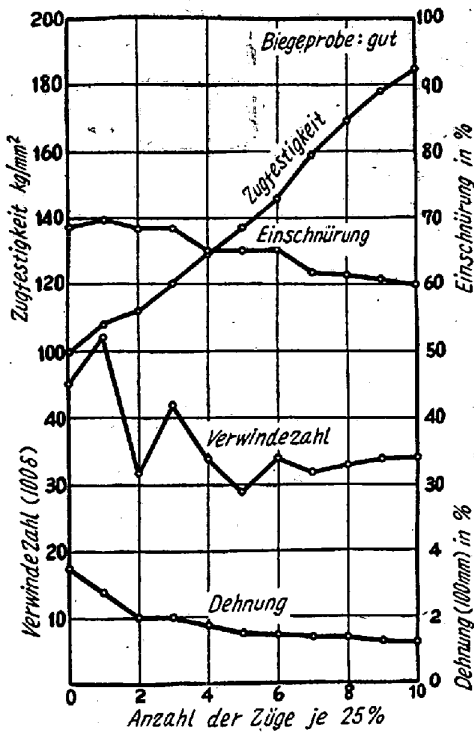


Abb. 6. Einfluss des Ziehens auf die mechanischen Eigenschaften vom gehärteten und auf 100 kg/mm² angelassenen Stahldraht mit 0.14% C.

(5% NaOH) に入つて焼入され、液を出てふたたび電流で予熱された後熔融鉛槽に入り焼戻される。この鉛槽を出た線は巻取機でふたたびコイルに巻取られる。なお焼入液は絶えず循環冷却して常温に保つておき、また保護チューブは加熱を防ぐため冷却水により冷却している。なお線は1コイルの熱処理が終りになる前にフリッパー上でつぎのコイルの端と溶接し運転を中断せず連続して熱処理することができる。この方法にて製造された鋼線は非常に均一性がよく所定の抗張力の焼入焼戻線を連続して多量に製造することができる。

V. 考 察

低炭素鋼線を空气中で加熱後水中に焼入して硬化させる研究は従来も行われていたが、これは鋼中のパーライ

ト層の微細化と、粒子の微細化、および内部応力による硬化だけでマルテンサイト組織には変化していないか、あるいは部分的に変化しているだけで完全なマルテンサイトにはならなかつた。したがつてその抗張力も焼鈍線の2倍以上になることはなかつた。しかし著者の行つた焼入法、すなわち低炭素鋼線を酸化防止ガス中で950°Cに加熱して、表面に酸化膜を生ぜしめず表面光輝のまま冷却能の大きな5% NaOH中に焼入すると冷却速度が非常に大きいため低炭素鋼といえども Abb. 8 顕微鏡写真のごとく完全にマルテンサイトに変化する。しかし低炭素鋼のマルテンサイトは高炭素鋼に比し硬度も比較的lowく、かつ靱性もあり、ある程度の加工もできるが伸線すれば脆化し易い。したがつて低炭素鋼を用い高抗張力鋼線を作る場合、抗張力の高い焼入線を用い少い加工で、主に熱処理だけにより高抗張力を出した線はマルテンサイト組織のため脆くなる。また抗張力の低い空気パテンティング線を用い、伸線を多くして、主として加工により高抗張力を出した線も過伸線のため脆化する。

Abb. 8 の左図 (機械的性質は Tafel 3 参照) は空気パテンティングせる鋼線の顕微鏡写真で熱処理したまゝではフェライトとファイン・パーライトの混合組織を示し、これを13回伸線するとその組織は非常に伸びており、とくにフェライト部が極度に加工される結果非常に脆化する。また A₃ 点、A₁ 点の中間の温度から焼入れてマルテンサイトとフェライトの混合組織をもつた線も伸線すると軟いフェライトのみが加工され易く、部分的に過伸線状態になりその性質は靱性に乏しい。しかし焼入により一旦完全なマルテンサイトにして後、焼戻すると Abb. 8 右図のごとくセメントタイトが粒状化を起し強靱な組織となる。これを数回伸線し、熱処理と加工とを適当に組合せて高抗張力を出した線は適度に加工された均一な組織をもち非常に強靱な性質を示し、高炭素鋼線に匹敵し、目的に適つた線が得られる。

VI. 結 論

本研究は炭素含有量 0.05~0.25% の低炭素鋼線を酸

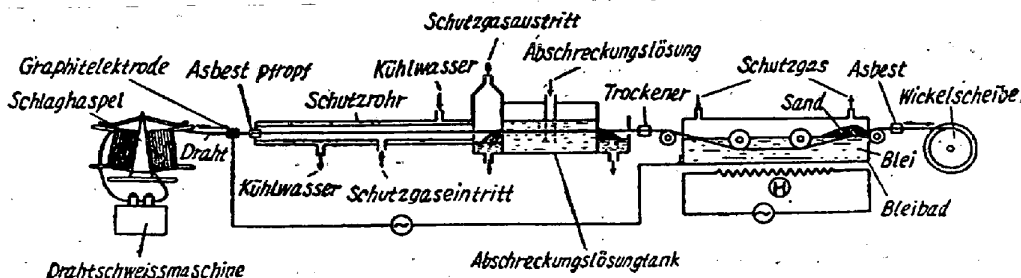
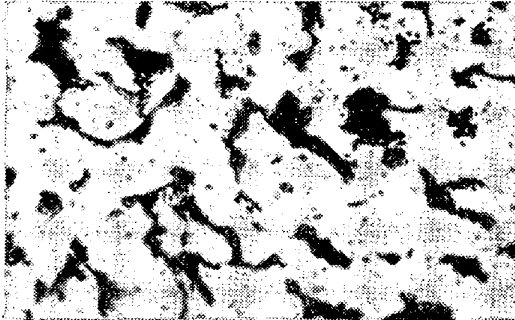
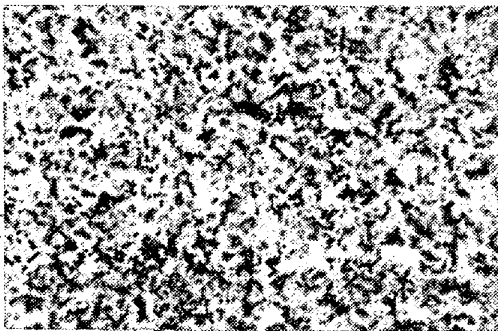


Abb. 7. Drahthärtungsanlage mit elektrischer Widerstandserhitzung.

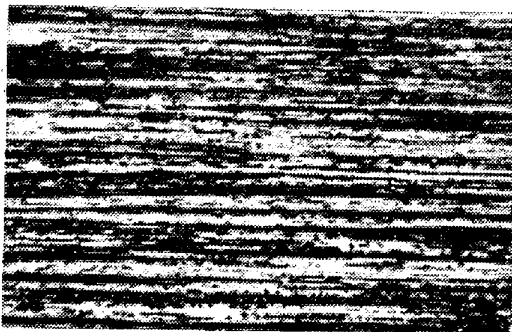
化防止ガス中で、 950°C に加熱後、5% NaOH 中に強力に焼入して一旦完全なマルテンサイト組織とし、これを 350°C 以上で焼戻して $95\sim 105\text{ kg/mm}^2$ の抗張力にしさらに常温伸線して抗張力 $100\sim 200\text{ kg/mm}^2$ の強靱な鋼線を得、これをマルテンサイト鋼線と名付けた。そして工業的に低炭素鋼線を連続熱処理して、マルテンサイト鋼線を製造する方法を考案した。マルテンサイト鋼線は抗張力、靱性などにおいて高炭素鋼線に匹敵し、防



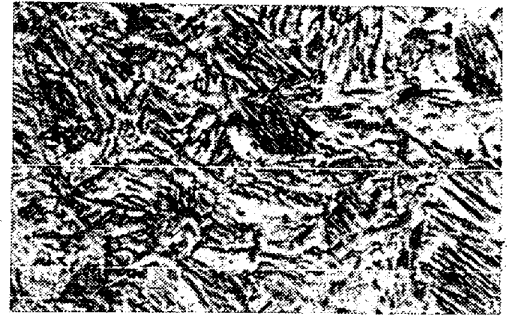
Luftpatentieren Querschliff



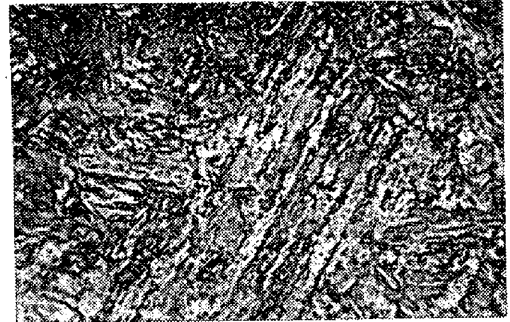
Luftpatentieren, 13. Zug Querschliff



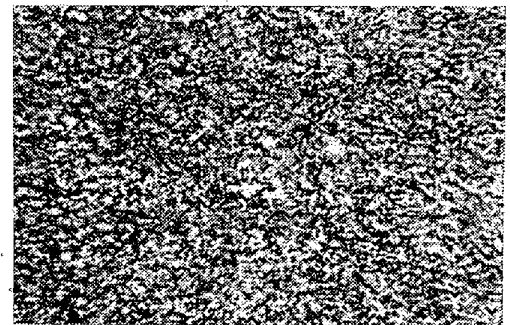
Luftpatentieren, 13. Zug Langschliff



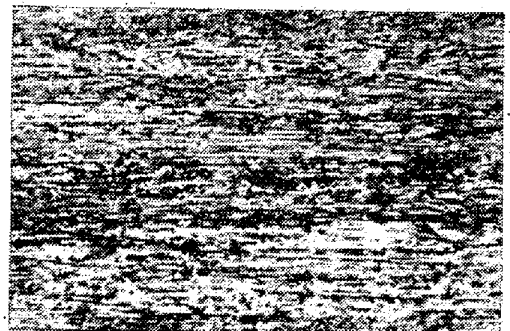
Härten in 5% NaOH Querschliff



Härten-Anlassen Querschliff



Härten-Anlassen, 7. Zug Querschliff



Härten-Anlassen, 7. Zug Langschliff

Abb. 8. Gefüge von Stahldraht mit $0.14\%C$, wärmebehandelt und gezogen. $\times 1000$ (1/2)

錆力、耐酸性に強く、溶接性、加工性に優れ、また表面マルテンサイト化による脆化の心配なく、したがって、ばね用ワイヤー、ロープワイヤーはもちろん、鋼線として優秀なる性質を具備するものである。

終りに本研究に熱心に協力された安国幸雄、杉本幸三郎両君に謝意を表したい。(昭和 32 年 8 月寄稿)

文 献

- 1) H. Hanemann u. R. Kühnel: Stahl u. Eisen, (1913), 1687
- 2) J. H. Nead and F. C. Langenberg: Chem. Met. Eng., 25 (1921), 910
- 3) R. L. Kenyon; Trans. Am. Soc. Heat-Treat., 18 (1928), 266, 439, 440

- 4) H. Wiesecke: Die Herstellung von Springfederdraht aus gehärtetem weichen Flusstahl, (1931), 21
 5) 西岡: 金属学会誌, 19 (1955), 571; 20(1956),

- 181
 6) R. H. Aborn: Metal Progress, (1955) Dec. 113

ピーニング用ショットについて (VI)*

(クリーニング効果におよぼすショットの影響)

内山道良**・上正原和典**

ON THE SHOT FOR PEENING (VI)

(Effect of Shot on the Cleaning Effect)

Michira Uchiyama and Kazunori Kamishohara

Synopsis:

The steel will bear, generally, a crinkly, clean surface after shot-peening and therefore the authors define the "cleaning action" as such. But the authors had little informations as to the effect of cleaning on the advantage of fatigue strength, which was a proper aim of shot-peening, the influence of shot properties on the cleaning, the effect of heating on the fatigue strength thus obtained, and so on.

To get an explanations for these problems, the authors investigated the residual stress and fatigue strength of self-hardening Ni-Cr-Mo steel specimens, which had been peened with round or as-cut shots on their polished or as-rolled surfaces, the drop of fatigue limit by heating in the vacuum after peening.

Some of the new results obtained were:

- 1) The peening effect, which had been used somewhat vaguely hitherto, was divided into two factors; the residual stress effect and the cleaning effect.
- 2) The residual stress effect decreased by heating over 300°C and the cleaning effect was affected by the initial surface conditions of specimens.
- 3) The above-mentioned two effects took their appearances with increase of the fatigue strength.
- 4) The shape of shot had an influence both on the residual stress and the cleaning effect.

I. 緒言

多くの場合ショットピーニングをうけた鋼の表面は梨地状の清浄なものとなるのでわれわれはこれをクリーニング作用と呼んでいるが²⁾, このクリーニング作用が疲労強度の上昇という^{3)~8)}ピーニング本来の目的にどのような影響を与えるか, またショットの条件によつてクリーニング作用はどうかかわるか, あるいはこうして与えられた疲労強度は加熱によつてどう変化するかというような点の研究はまだ絶無に近いようである. そこで筆者らはこれらの諸点を究明するため, Ni-Cr-Mo系自硬鋼の完全研磨肌および圧延したまゝの黒皮肌を対象とし, これに球状または切放したまゝのショットによる

ピーニングを施した後, 残留応力や疲労強度を測定したり, さらに真空中での加熱を行つて疲労限の変化をしらべたところ, 従来知られていない二, 三の新事実を確認したのでこゝにその概要を報告する.

II. 試料および実験法

試料としては Table 1 に示したような化学成分のものを選んだが, これはピーニングを施した試片を高温に加熱して残留応力を除去してから常温迄冷却してもピーニング加工前と同じ組織と機械的性質とを維持させるこ

* 昭和 32 年 4 月本会講演大会において発表

** 三菱鋼材(株)本社製作所研究課