鋼線の硬度と組織との関係*

西岡多三郎** 安国幸雄**

Tasaburo Nishioka und Yukio Yasukuni : Die Beziehung zwischen Härte und Gefüge der Stahldrähte. In diesem Bericht wurde die Beziehung zwischen Gefüge und Vickershärte in Längsschnitt sowie dem Verhältnis (H_L/H_Q) der Härte, die von jeder Diagonale in Längs- und Querrichtung des Eindruckes berechnet wurde, in verschiedentlich wärmebehandeltem und gezogenem Stahldraht aufgeklärt. Nämlich grösser wird die Zunahme

** 帝国産業株式会社

* 1959年11月本会大阪大会に発表

der Härte durch Ziehen nach dem 1. Zug mit abnehmendem C % und Wärmebehandelfestigkeit und nach mehrten Zügen mit zunehmendem C % und Festigkeit. H_L/H_Q bleibt mit steigender Ziehverformung anfangs unter 1 und dann steigt über 1 langsam auf, aber in weiteren Verlauf des Ziehens bleibt unveränderlich. Und mit steigendem C % nimmt H_L/H_Q unter 90% Querschnittsabnahme zu und darüber ab. In Bezug auf der Wärmebehandlung, zeigt der luftpatentierte Draht den grössten Wert von H_L/H_Q und der geglühte den kleinsten.

(Eingegangen am Dezember 19, 1939)

I. 結 言

鋼線の横断面の硬度分布については前に発表した[†]が、本報においては鋼線の組織と硬度との関係を明らかにするため各種熱処理、伸線した鋼線の縦断面の硬度を測定すると共に、独自の方法によりその縦、横硬度を求め比較した。そしてこの結果から鋼線の履歴を知り鋼線製造上の諸問題を解明する目的のために行われた。

II. 実験試料と方法

炭素含有量それぞれ 0.11, 0.44, 0.64 および 0.81 % の普通炭素鋼線材 A, B, C, D† を種々の条件で熱処理[†]、伸線して試料とした。これらの試料について顕微鏡組織を調べるとともに、その縦断中心硬度を特別な方法によらず、普通のビッカース微小硬度計を用いて Abb.1 のごとく圧痕の対角線の一方がワイヤ軸と平行になるように照準し、その硬度を測定するとともに圧痕の縦、横対角線の長さからも別々に硬度を求めてこれを縦、横の硬度とし、各鋼線について縦横硬度の比 (H_L/H_Q) を求めた。

Abb.1 Messstelle.

ともに圧痕の縦、横対角線の長さからも別々に硬度を求めてこれを縦、横の硬度とし、各鋼線について縦横硬度の比 (H_L/H_Q) を求めた。

III. 実験結果

1. 圧痕方向と硬度との関係

Abb.2 Härte von luftpatentiert-gezogenem Stahldraht in Abhängigkeit von Messrichtung.

† 鋼線の硬度分布 (第1報) [西岡: 本誌, 22(1958), 412] の Tafel 1, Tafel 2 参照.

鋼線の伸線組織に対する方向と硬度との関係を調べるため圧痕対角線方向とその対角線から算出した硬度との関係を求めた。すなわち Abb.2 のごとく圧痕の一对角線がワイヤ軸となす角度を θ' とし、 θ' を 0° から 90° まで変化した場合、すなわち縦方向 (H_L) から横方向 (H_Q) までの間においてその対角線より硬度を求めた。図は Stahl A, C の空気パテンティングした鋼線およびこれを 25% 落して 1, 6, 16 回伸線したワイヤについての結果を示すもので、Stahl A, C とも 0. Zug では 0° より 90° まで大体同じ硬度を示すが、1. Zug では 0° が最も低く $22.5^\circ \sim 90^\circ$ ではほぼ同じである。これに対し 6. Zug では 0° は最も高く、角度が大きくなるとともに硬度は低くなり 90° では最も低くなる。そして Stahl A ではその差は H_V で 26, C では 47 になる。16. Zug ではさらにその差は大きくなり $0^\circ \sim 22.5^\circ$ では大差ないが $22.5^\circ \sim 90^\circ$ では角度が大きくなるとともに非常に低くなり、 0° と 90° との差は Stahl A では 75, C では 115 になる。

Abb.3 は Stahl C の空気パテンティングした線の縦断および 6 回伸線した線の縦断、横断中央部における各方向の圧痕の状態を示す写真で、0. Zug ではその組織は方向性が

0. Zug, Langsschnitt 6. Zug, Langsschnitt 6. Zug, Querschnitt

Abb.3 Eindrücke des luftpatentierten oder gezogenen Stahldrahtes C.

ないためどの圧痕も正方形に近く、そして圧痕による鋼面

の変形範囲は正方形の辺を弦として円弧状に現れている。すなわち左図のごとく鋼面のレベルに対し遠い範囲までゆるやかな盛り上りを示している。しかし 6.Zug では写真のごとくいわゆる繊維状組織を呈するため方向により圧痕の形状は異り縦方向より横方向の変形が顕著で横方向には変形により皺を生じ、圧痕の周辺部に盛り上りを生ずる。一番上の圧痕では縦より横対角線は長く、下の圧痕では上下の辺は直線であるが左右は凸になつている。これを図示すると右図のごとく変形のおよぶ範囲は小さいが圧痕周辺部の近くで大きな盛り上りを生じ見掛け上の圧痕は大きくなる。なお横断面上の圧痕を示すと右図のごとく伸線した線においても組織に方向性がないためその圧痕は正方形に近く、加工による皺も見受けられない。

2. C% の影響

鋼線の硬度および H_L/H_Q におよぼす C% の影響を調べるため Stahl A, B, C, D の 5.59 mm 鋼線を 950° で空気パテティングし、これを毎回 25% の落し率で伸線した線について縦断中心上で縦硬度 (H_L)、横硬度 (H_Q)、平均硬度 (H_M) を測定した。これらの鋼線は遊離フェライトと焼入ソルバイトとの混合組織をもっているが C% が多くなる程フェライト % は少くソルバイト % は多くなる。Abb. 4 はこの結果を示す図で最初の 1 回引での Hv の増加は C% の少い線すなわちフェライトの多い線ほど大きい、2 回

が、その後は加工が多くなつても硬化が少い。これに対しソルバイト組織は最初の硬化は少いが加工が多くなるとソ

Abb. 5 Verteilung von H_L/H_Q in luftpatentiert-gezogenem Stahldraht C.

ルバイト中のセメントイトが破断し、或いは伸線方向に並んで来、全体として均一な組織になり互に支え合つて硬化が大きくなると共に硬化のため伸線温度も高くなり、また C% の多いほど熱の影響も受け一層硬化しやすい。

3. H_L/H_Q の分布

前項においては縦断中心上の H_L/H_Q について記したが、

本項においては Stahl C の空気パテティングし伸線した鋼線についてその縦断直径上の H_L/H_Q の分布について測定を行った。Abb. 5 はその結果を示す図で焼線では殆ど 1 で均一であるが 1.Zug では H_L/H_Q は中心部は 1 より小さく中間部は 1 よりやや大で周辺

Abb. 4 Einfluss des Kohlenstoffgehaltes auf die Längsschnittshärte und H_L/H_Q von luftpatentiert-gezogenem Stahldraht.

引以上では伸線による Hv の増加は C% が多くなるほど大きくなる。また H_L/H_Q については 1.Zug では各鋼線とも 1.0 以下で大差ないが、伸線加工と共に 1.0 を越えて次第に大きくなり 2.Zug 以上 6.Zug までは C% の多い線ほどやや大きくなるが、8.Zug (総落し率 90%) では大差なくなりそれ以上の伸線回数では逆に C% の少い線ほど大きい値を示す。そして 16.Zug では Stahl A の 1.24 に対し C は 1.196 となる。

フェライトは最初の少しの加工により急激に硬化する

部ではまた 1 より小さくなっている。しかし 2.Zug 以上になると中心部が最も大きく、周辺部が最も小さな分布を示している。そして周辺と中心との H_L/H_Q の差は 6.Zug までは大きい、10.Zug 以上に伸線回数が多くなると次第に小さくなる。伸線したワイヤは中心部は圧縮、周辺部は引張応力をもっているため中心部では圧痕が縦方向に縮められ、周辺部では圧痕が引張られるため縦方向の硬度は真の硬度より中心部では高く、周辺部では低くなるため中心部の H_L/H_Q は大きくなるものと考えられる。

4. 熱処理組織の影響

Stahl C の 5.59 mm ワイヤに各種の熱処理を施して種

Abb.6 Einfluss der Wärmebehandlung auf die Längsschnittshärte und H_L/H_Q von gezogenem Stahldraht C.

々の組織とし、次にこれを毎回 25% の落し率で伸線し、これらの鋼線について H_L , H_Q , H_m および H_L/H_Q を比較した。Abb.6 はこの結果を示す図である。

伸線による硬度の変化は球状化焼鈍 (G) と 950° 焼鈍 (AG) は 1. Zug において非常に増加し H_v でそれぞれ約 60 増加するが 1. Zug 以上では増加は緩徐になる。空気パテンティング (LP) (Abb.4 参照) は 1. Zug で 45 増加し G, AG に比べると少いが伸線回数が増えるとともにその増加は急激に大きくなる。鉛パテンティング (BP) では 400°, 500° とともに殆ど滑らかな上方に凹のカーブを画いて増加し、1. Zug までの増加は LP よりさらに少いがその後の増加の割合は LP より非常に大きくなる。また焼入焼戻 (HA) は 1. Zug までの増加は殆どないがそれ以上では大きな増加を示す。また伸線回数と H_L/H_Q との関係を調べると G は 1. Zug では 1 以下で最小となるが、伸線回数が増えると共に徐々に大となり 3. Zug では 1 となり、12. Zug では最大となりそれ以上ではほぼ一定となるが 16. Zug ではやや減少する。AG は 1. Zug では 1 以下であるが 2. Zug で 1 となりそれ以後 6. Zug までは急に、それ以上は徐々に増加する。LP は 1. Zug は 1 以下であるが 2. Zug では 1 以上となり 6. Zug までは急に増加し以後徐々に増加しその値は最も大きい。500° BP も同様の傾向を示すがその値は

LP より小である。HA は 1. Zug でも 1 より大で 6. Zug 以後はほぼ一定となるがその値はさらに小さい。また 400° BP では 10. Zug でほぼ一定となる。すなわちいずれも 1. Zug では H_L/H_Q は最小 (HA 以外は 1 以下) であるが伸線回数とともに急に大きくなり、ある回数以上になるとほぼ一定になる傾向がある。

Abb.7 は Stahl C の鋼線について熱処理と各伸線回数の H_L/H_Q との関係をまとめて示した図である。各回とも G, AG, LP については焼線強さが高いほど H_L/H_Q は大きくなる。LP, BP, HA については 2. Zug までは焼線強さの高い線ほど少し大となるが、4. Zug 以上については焼線強さが高くなるとともに幾分減少する傾向にある。そし

Abb.7 Beziehung zwischen Wärmebehandlung, Zugzahl und H_L/H_Q des Stahldrahtes C.

て全体としては G は最も小さく、LP は最も大きな値を示す。

Abb.8 はこれら Stahl C の各種熱処理鋼線を 6 回伸線

Abb.8 Gefüge des verschiedentlich wärmebehandelten und sechsmal gezogenen Stahldrahtes C. Längsschnitt, $\times 100$

したものの縦断組織で G, AG などフェライトの多い組織では変形は殆どフェライトが受持っているので最初の H_v の増加は大であるが、伸線が進むと増加は少くなる。ソルバイト組織ではフェライトとセメンタイトが一体となり均一な組織を形成しているためフェライト中のスリップが起り難く互に支持し合っているので伸線総落し率が多くなるとその硬化が激しくなる。また G は全体として組織の流れが明白にあらわれず H_L/H_Q もあまり大きく現われない。AG はフェライトと粗いパーライトからなるため圧痕に不同が多く、かつパーライトが粗いため局部的には組織は充分流れていないので H_L/H_Q は小さい。しかし LP は細かい均一な焼入ソルバイト組織よりなるため全体的にも部分的によく方向性をもった均一な組織となり H_L/H_Q は大となる。しかし BP のごとく硬い組織になると全体として方向性はあるがその硬い組織のため方向性の影響が硬度に明白に現われず縦横硬度の差が余り現われない。また HA は全体として均一であるが、部分的には粒状セメンタイトの組織を示しフェライトのみが加工されるので不均一となり H_L/H_Q は小となる。

IV. 結 論

本報においては各種の組織の鋼線についてその縦断硬度

を測定するとともに、圧痕の縦横対角線からそれぞれ硬度を求め組織と縦、横硬度の比 (H_L/H_Q) との関係を明らかにした。

(1) 伸線による硬度の増加は同一熱処理の場合は最初の 1. Zug では C % の少いほど大きい、それ以上では C % の多いほど大きい。

(2) 同一 C % の場合には 1. Zug では焼線強さの低いほど大きい、それ以上では焼線強さの高いほど大きい。

(3) 鋼線の H_L/H_Q は一般に伸線加工の少い間は 1 以下であるが、伸線とともに次第に大きくなり最後にはほぼ一定となる。

(4) 同一熱処理の場合の H_L/H_Q は伸線落し率 90 % 以下では C % の多いほど大きい、伸線加工が多くなると C % の少いほど大きくなる。

(5) 同一 C % の場合の H_L/H_Q は球状化焼鈍線が最も小さく、空気パテンティング線が最も大きい。

(6) H_L/H_Q の直径上の分布は中心は大で周辺は小さく、かつ 6. Zug のときその中心と周辺との差が一番大きくなる。逆にこれらの硬度の特性を知れば鋼線の履歴を推定することが出来る。

終りに本研究に熱心に協力された杉本幸三郎、山村義政両君に謝意を表したい。