連続交互曲げ加工した鋼線の機械的性質*

西岡多三郎** 安国幸雄** 西岡 猛**

Tasaburo Nishioka, Yukio Yasukuni und Takeshi Nishioka : Über die Mechanischen Eigenschaften von Durchlaufbiegeverarbeitetem Stahldraht. In diesem Aufsatz wurde die Änderung der mechanischen Eigenschaften des Stahldrahtes durch das Durchlaufbiegeverarbeiten untersucht und daraus liessen sich die folgende Schlüsse ziehen.

(1) Beim Durchlaufbiegeverarbeiten des patentierten Stahldrahtes findet eine Zunahme der Zugfestigkeit und Streckgrenze statt, während gleichzeitig die Dehnung erniedrigt wird. Beim gezogenen Stahldraht haben diese Eigenschaften bei starkem Biegen die gleiche Neigung wie beim patentierten Stahldraht, während bei leichtem Biegendagegen die Zugfestigkeit und Streckgrenze abnehmen und die Dehnung zunimmt.

(2) Beim Durchlaufverarbeiten des Stahldrahtes mit Gegenzug werden die Zugfestigkeit und in besonders ausprägtem Masse Streckgrenze grösser und wird die Dehnung niedriger als beim ohne Gegenzug.

(3) Der durchlaufbiegeverarbeitete Stahldraht ist bei den geringen Abnahmen des Drahtdurchmessers niedriger in Zugfestigkeit und Streckgrenze und grösser in Dehnung, bei den stärkeren Abnahmen dagegen höher in Zugfestigkeit und Streckgrenze und geringer in Dehnung als der auf Ziehstein gezogene Stahldraht.

(Eingegangen am 29. Dezember 1969)

I. 緒 言

鋼線の連続交互曲げ加工の際に生じる線径の変化については先に報告した⁽¹⁾が、曲げ加工による機械的性質の変化については従来軽度の曲げあるいは巻付け曲げの場合に対し一部発表されている^{(2)~(6)}だけで、広範な系統的研究はみない。しかし曲げ加工による鋼線の性質の変化は鋼線の製造、加工、使用上重要な問題であるので、本研究においては鋼線の連続交互曲げ加工の際の諸条件が機械的性質におよぼす影響を調べるとともに、ダイス伸線した鋼線の性質と比較することにより、連続交互曲げ加工した鋼線の特徴を明らかにすることを目的とした。

II. 実験試料と実験方法

本実験に使用した材料は **Tafel 1** に示す成分をもった 4

種類の 9.5 mm 炭素鋼線材で、炭素含有量 0.6% の線材に対しては使用量が多いため成分の類似した 2 種類の線材 C, C1 を使用した。実験試料は **Tafel 2** のごとく各線材を 2.40 mm にてパテンティングした鋼線と 5.50 mm でパテンティング後 2.40 mm まで伸線した鋼線を使用した。

本実験に使用した連続交互曲げ加工装置の曲げローラの配置は **Bild 1** の通りで、実験には各曲げローラの前後にガイドローラを取付けて行なった。実験方法は、まず鋼線

Tafel 1 Chemische Zusammensetzung

Stahl	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cu %	Ni %	Cr %
A	0.16	0.36	0.43	0.018	0.021	0.08	0.02	0.05
C	0.62	0.27	0.54	0.022	0.022	0.06	0.02	0.03
C1	0.61	0.27	0.46	0.018	0.023	0.03	0.02	0.04
D	0.83	0.26	0.53	0.025	0.011	0.01	Sp	Sp

Tafel 2 Versuchsproben

Stahldraht		Zustand der Probe	Ausgangs-Dmr. (mm)	Wärmebehandlung	Abnahme beim Ziehen (%)	End-Dmr. (mm)
A	P	patentiert	2.40	Luftpatentieren 950°C→Luft	0	2.40
	Z	gezogen	5.50		81.0	2.40
C, C1, D	P	patentiert	2.40	Bleipatentieren 950°C→550°C Pb	0	2.40
	Z	gezogen	5.50		81.0	2.40

** 帝国産業株式会社 (Teikoku Sangyo Co. Ltd., Osaka)

* 1969 年 3 月本会東京大会、同年 10 月本会広島大会に一部発表；鋼線の交互曲げ加工 (第 4 報)

(1) 西岡, 安国, 西岡 : 金属学会誌, **33** (1969), 515.

(2) O. Pawelski : Stahl u. Eisen, **82** (1962), 1410.

(3) 米谷, 金子, 小早川, 矢入 : 塑性と加工, **5** (1964), 403.

(4) H. Herbst : Stahl u. Eisen, **77** (1957), 888.

(5) Gren : J. Iron Steel Inst., **186** (1957), 21.

(6) 西岡 : 金属学会誌, **21** (1957), 433.

Cをもっとも単純な連続交互曲げ加工装置Ⅰの3個の曲げローラにジグザグ状に通し平面的に連続交互曲げ加工する際、ローラの曲げ接触角 θ を 90° に一定にし、 D/δ (ローラ径と線径との比)を変えた場合、および D/δ を5に一定にし種々の大きさの逆張力を付加した場合の曲げ加工による機械的性質の変化を調べた。

Bild.1 Geräte für Durchlaufbiegeverarbeitung des Stahldrahtes

つぎに鋼線 A, C1, D に対し縦横方向に配置された各3個の曲げローラよりなる連続交互曲げ加工装置Ⅱにより、 D/δ を5にし、曲げ接触角 θ を変えて連続交互曲げ加工を行ない、曲げ加工による減径率と機械的性質との関係調べた。他方これと比較するため、同じ試料をダイス伸線と同様に減径率と機械的性質との関係を求めた。なおこれらの曲げ加工とダイス伸線は、摩擦による熱影響を少なくするため、引張試験機を用いて210 mm/minの遅い引抜速度で行なった。

機械的性質の測定は引張強さ、降伏点(0.2%永久伸びに対する耐力をもって表わす)、降伏点比、伸び(標点距離100 mm)、絞り、ねじり回数(つかみの間隔100 δ)について行なった。

Bild.2 Einfluss von D/δ auf die mechanischen Eigenschaften des auf Gerät I biegeverarbeiteten Stahldrahtes C

III. 実験結果と考察

1. D/δ の影響

鋼線Cを曲げ加工装置Ⅰにて1回連続交互曲げ加工するとき、 D/δ を2, 5, 10, 20に変えて行なった結果はBild 2である。パテンティングした試料においては曲げ加工すると引張強さ、降伏点、降伏点比は増加し、かつ D/δ が小さくなるほどその値は大きくなり、とくに降伏点の増加が著しい。伸び、絞り、ねじり回数は D/δ が小さくなるとともに減少し、とくに D/δ が10以下で伸び、ねじり回数は急減する。

一方、伸線した試料においては D/δ が5~20では引張強さ、降伏点、降伏点比は減少、伸び、絞り、ねじり回数は増加し、 $D/\delta=10$ 付近でその傾向はもっとも著しいが、 D/δ が2では逆に引張強さ、降伏点、降伏点比は増加し、伸び、絞りは減少を示す。ねじり回数は大差ない。

パテンティングした鋼線を曲げ加工すると曲げの内側は圧縮、外側は引張を受けるが、いずれも曲げの度合が大きくなるほど断面の塑性変形する範囲が大となり、加工硬化により引張強さは増大し、靱性は低下する。

他方伸線した鋼線は線軸方向の永久歪をもっているため、曲げの内側の圧縮変形を受けた部分は伸線による加工硬化が逆に戻り軟化する。曲げの外側の引張変形を受けた部分はさらに加工硬化が大となる。そして圧縮側は引張側よりバウシinger効果により引張側より降伏し易い。したがって軽度の曲げの場合のごとく曲げの中立面がほぼ鋼線の中心にある場合には圧縮側は引張側より塑性変形する範

囲が大となり、圧縮側の軟化量が引張側の硬化量より大となり、鋼線の引張強さは低下し、靱性は上昇する。

しかし強度の曲げの際には中立面が曲げの内側に移動し、引張を受ける範囲が増大するため、引張による加工硬化の方がバウシinger効果の影響より大きく現われる結果、鋼線の引張強さは増加し、靱性は低下するものと考えられる。

2. 逆張力の影響

鋼線Cを曲げ加工装置Ⅰにより $D/\delta=5$ にて1回連続交

互曲げ加工する際、鋼線試料の切断荷重の10~40%の逆張力を鋼線に付加したときの機械的性質は **Bild 3** の通りで、バテンティングした試料においては逆張力が増加するとともに引張強さ、降伏点、降伏点比は急増し、とくに降伏点の増加が著しい。一方伸びは逆張力とともに著しく減少し、絞り、ねじり回数は漸減する。

伸線した試料においては逆張力なしで連続交互曲げ加工すると引張強さ、降伏点、降伏点比とも減少するが、逆張

し、靱性が劣化するものと考えられる。

3. 連続交互曲げ加工とダイス伸線との比較

つぎに各種鋼線 A, C1, D を曲げ加工装置 II により縦横方向に連続交互曲げ加工した場合およびダイス伸線した場合の減径率と機械的性質との関係を比較した。

(1) 曲げ接触角と減径率との関係

本項の連続交互曲げ加工実験においては D/δ を 5 に一定にし、曲げ接触角を変えることにより曲げ加工度合を変化させて行なった。 **Bild 4** は曲げ接触角と減径率との関係を示す図でいずれの鋼線も曲げ接触角が大きくなるとともに減径率も増加するが、とくに $30^\circ \sim 90^\circ$ の範囲における増加は著しい。また同一曲げ接触角では C% の少ないほど降伏点が低いため減径率は大きくなる傾向がある。

(2) 引張強さ

各種鋼線を連続交互曲げ加工、およびダイス伸線し

(a) Patentierter Draht (b) Gezogener Draht
Bild.3 Einfluss des Gegenzuges auf die mechanischen Eigenschaften des auf Gerät I biegeverarbeiteten Stahldrahtes C. $D/\delta=5$

力を付加していくとともに10%ではほぼ曲げ加工前の値にもどり、それ以上では急増する。この場合も降伏点の増加は著しい。伸びは逆張力なしの場合には増加するが、逆張力10%で加工前の値とほぼ同じになり、さらに逆張力が大きくなると漸減する。絞りは逆張力とともに僅かずつ減少し、ねじり回数は明らかな傾向を示さない。なお40%逆張力付加の場合には曲げ加工中断線を生じた。

連続交互曲げ加工の際逆張力を付加すると曲げ応力に引張応力が加算されるため、鋼線の断面の引張塑性変形を受ける範囲が大きく、逆に圧縮変形を受ける範囲が小さくなる。したがって曲げ加工による減径が大となり、加工硬化が著しくなる結果、逆張力を付加しない場合に比し、強度は増加

Bild.4 Einfluss des Umschlingungswinkels auf die Abnahme des Drahtdurchmessers durch das auf Gerät II Biegeverarbeiten der Stahldrähte. $D/\delta=5$

Bild.5 Zugfestigkeit in Abhängigkeit von Abnahme des Drahtdurchmessers. Gerät II, $D/\delta=5$

たときの減径率と引張強さとの関係を示すと **Bild 5** で、パテンティングした試料の場合にはいずれの鋼線も減径率の増加とともに引張強さは増加し、概して減径率の小さい間はダイス伸線の方が曲げ加工の場合より引張強さは大きい、減径率が大きくなると逆に曲げ加工の方が大となる傾向がある。

一方伸線した試料の場合にはいずれも減径率の増加とともに引張強さは初め一旦減少し、さらに減径率が大きくなるとともに次第に増加する。この場合も引張強さは減径率の小さい間はダイス伸線の方が大きい、減径率が大きくなると曲げ加工の方が大きくなる傾向がある。

(3) 降伏点比

降伏点も減径率の増加とともに引張強さの場合と同様の变化を示すが、その変化の程度は引張強さの場合より著しい。したがって減径率と降伏点比との関係を求めると **Bild 6** のごとくになり、減径率の増加とともにパテンティングした試料では初めの降伏点比の急増、伸線した試料では初めの降伏点比の急減が顕著である。この場合も減径率の小さいときはダイス伸線の方が降伏点比は大であるが、減径率が大きくなると曲げ加工した方が大きな値を示す傾向がある。

Bild 6 Streckgrenzenverhältnis in Abhängigkeit von Abnahme des Drahtdurchmessers

(4) 伸び

減径率と伸びとの関係は **Bild 7** でパテンティングした試料の場合にはいずれも減径率の増加とともに初め急減し、その後漸減する。そして曲げ加工した場合の伸びはダイス伸線した場合に比し減径率の小さい間は大きい、減径率が大きくなれば逆に小となる。

一方伸線した試料の場合にはいずれも最初伸びは増加し特に曲げ加工の場合大きな増加を示すが、減径率が大きくなるとともに漸減し逆にダイス伸線した方が大きくなる。

(5) 絞り

絞りについては **Bild 8** のごとくで、減径率の小さい間は両加工法の間に大差は認められないが、減径率が大きくなるとダイス伸線の方が大きな値を示す。

Bild 7 Dehnung in Abhängigkeit von Abnahme des Drahtdurchmessers

Bild 8 Einschnürung in Abhängigkeit von Abnahme des Drahtdurchmessers

(6) ねじり回数

ねじり回数については **Bild 9** のごとく、パテンティングした試料においては減径率にかかわらずダイス伸線した方が大きい。伸線した試料においては減径率の小さいときは大差ないが、減径率が大きくなればダイス伸線した方が大きな値を示している。

本項の装置 II による実験結果と前の装置 I による結果 (**Bild 2**) から $D/\delta=5$, $\theta=90^\circ$ の同一曲げ加工条件における減径率を比較すると、前者の減径率は後者の 6 倍以上に大きいことがわかる。これは前者では初めのローラにより鋼線に大きな逆張力が作用することが主因で、実測によると初めの 3 ローラにより、鋼線の切断荷重の 26% もの逆張力が加っている。このように大きな逆張力が加わると

Bild 3 からもわかる通り減径率が著しく増大する。したがって装置Ⅱの場合には装置Ⅰの場合に比し鋼線の加工硬化も非常に増大する結果、引張強さ、降伏点は著しく増加

し、靱性は低下するものと考えられる。

(7) 引 抜 力

各鋼線の曲げ加工およびダイス伸線の際の減径率と引抜きとの関係は **Bild 10** で、各鋼線の場合ともすべて曲げ加工の方が大きな引抜きを示すが、曲げ加工とダイス伸線の場合の引抜力の差は減径率 5% 付近で最大となり、さらに減径率が大きくなるとその差は次第に小さくなる。

連続交互曲げ加工はダイス伸線に比し摩擦による外部仕事の損失は極めて少ない反面、軸方向に圧縮と引張応力をくり返し受けて減径されるため変形仕事の損失が大きくなり、総合的にその引抜き力は大きくなる。そして曲げ加工度が大きくなると引張応力を受ける断面の範囲が大となり、圧縮による損失が少なくなるため変形効率がよくなり、引抜き力はダイス伸線の場合の値に近づくものと考えられる。

IV. 結 言

鋼線を連続交互曲げ加工したときの機械的性質について検討し、つぎの結論を得た。

(1) パテンティングした鋼線を連続交互曲げ加工すると引張強さ、降伏点は増加し、伸びは減少する。一方伸線した鋼線を連続交互曲げ加工すると軽度の曲げ加工の場合には引張強さ、降伏点は減少し、伸びは増加するが、強度の曲げ加工の場合には逆に引張強さ、降伏点は増加し、伸びは減少する。

(2) 鋼線の連続交互曲げ加工の際逆張力を付加すると引張強さ、降伏点は増大し、とくに降伏点の増加は著しい。一方伸びは減少する。

(3) 鋼線を連続交互曲げ加工するとダイス伸線した場合に比し、減径率の小さいときは引張強さ、降伏点は低く、伸びは大きい。減径率の大きいときには引張強さ、降伏点は高く、伸びは小さくなる。

終りに本研究に熱心に協力された杉本幸三郎、浅井孝夫両君に謝意を表したい。

Bild.9 Verwindenzahl in Abhängigkeit von Abnahme des Drahtdurchmessers

Bild.10 Ziehkraft in Abhängigkeit von Abnahme des Drahtdurchmessers