高炭素鋼線のブルーイング特性*

Mechanical Properties of High Carbon Steel Wire according to Bluing

南 一彦**・早見 威彦**・川上平次郎**・山田 凱朗**

Kazuhiko MINAMI・Takehiko HAYAMI・Heijiro KAWAKAMI・Yoshiro YAMADA

1. 緒 言

高炭素鋼線材から硬引きばね用鋼線を製造する場合、化学成分、伸線総減面率、鉛パテンティング処理方法、伸線方法などの製造条件を適宜選定し所定の機械的性質を満足させている。硬引きばね用鋼線を用いてばねに加工したのち、疲労限の向上、耐へたり性の向上^{1),2)}などを目的としてブルーイング処理がおこなわれるので、ブルーイング処理後の機械的性質はばねの特性を決定するための重要な項目となる。ところが、異なった製造条件で作られた鋼線の機械的性質は、伸線後に同一であってもブルーイング処理後には大きく異なることがある³⁾。このため、高炭素鋼線のブルーイング処理後の機械的性質の変化におおぼす製造条件の影響について実験をおこなったのでその結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 供試材

実験に用いた供試材はC量が0.60%～0.80%の範囲の炭素鋼である。化学成分をTable 1に示す。

2.2 実験工程

実験工程をFig. 1に示す。炭素量の異なる5種類の材料を転炉で溶製、分塊圧延後、8.0 mmφの線材に圧延した。これらの線材の鉛パテンティング処理後の鉛温度、伸線温度、伸線総減面率を変化させ、伸線後の鋼線の引張強さ(以下 σ_B と略記)が同一になるように

Table 1 Chemical composition of steels used (wt, %)

Grade	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
A	.80	.21	.51	.017	.019	.01	.01	.02
B	.76	.22	.50	.026	.013	.01	.02	.03
C	.75	.23	.51	.022	.012	.03	.02	.02
D	.70	.23	.50	.014	.019	.01	.02	.02
E	.60	.22	.52	.026	.015	.02	.02	.02

* ばね技術研究会昭和56年度春季講演会で発表

** (株)神戸製鋼所

調整した。Fig. 2に σ_B を同一にするのに採用した3通りの方法を示す。鋼線寸法は4.5 mmφ(総減面率68%)を標準としたが、伸線総減面率を変化させるため一部

Fig. 1 Diagram of an experimental process

Fig. 2 Method of keeping σ_B constant

3.65 mm ϕ (総減面率 79%), 2.92 mm ϕ (総減面率 87%)とした。なお、伸線時のパススケジュールは同一とし、8.0 mm ϕ から 4.5 mm ϕ までは 6 ダイス仕上、3.65 mm ϕ はさらに 2 パス、2.92 mm ϕ は 4 パス増やした。また、伸線中の鋼線温度を変化させるため、シングルデッキ型の連続伸線機以外に高温伸線用としてダブルデッキ型の連続伸線機、低温伸線用に単釜伸線機を目的に応じて使用した。伸線中の鋼線温度は輻射温度計を用いてダイス出口直後の鋼線表面で測定した。

このようにして製造した鋼線を電気炉(大気中)を用い、250, 300, 350, 400 $^{\circ}$ C の各温度で 15 分間ブルーイング処理した後、機械的性質(0.2% 耐力・以下 $\sigma_{0.2}$ と略記、 σ_B 、絞り RA、ねじりの 0.3% 耐力・以下 $\tau_{0.3}$ と略記)を測定し、伸線のままの機械的性質と比較した。引張試験は、5 トン万能試験機を用い、チャック間距離 200 mm で距離 50 mm の伸び計をつけ、速度 5 mm/分

でおこなった。ねじり試験はチャック間距離を線径の 50 倍とし、回転速度は 180 $^{\circ}$ /分でおこなった。

3. 実験結果

3.1 炭素量と鉛温度を変え引張強さを同一にした鋼線のブルーイング特性

伸線後の σ_B を同一にする目的で炭素量の異なる A, B, D の線材を鉛パテンティング処理後に同一の σ_B になるように鉛温度をそれぞれ調整し、単釜伸線機で 4.5 mm ϕ まで伸線した。鉛温度、鉛パテンティング後の σ_B 、伸線材の機械的性質を Table 2 に示す。また、鉛パテンティング後の光学顕微鏡組織を Photo 1 に示す。ブルーイング処理による機械的性質の変化を Fig. 3 に示す。ブルーイング処理による $\sigma_{0.2}$, σ_B , $\tau_{0.3}$ の上昇は A, B, D の順に前者ほど大きくなっている。また、また、絞りは炭素量の高い A が最も低い。

このブルーイング処理による機械的性質の変化の差が鉛温度と炭素量のいずれに起因するかを調べるため、まず炭素量が 0.75% の C の線材を用い、鉛温度が 600, 540, 480 $^{\circ}$ C の各条件で鉛パテンティング処理し、シングルデッキ型の連続伸線機で 4.5 mm ϕ まで伸線後、ブルーイング処理による機械的性質の変化を調査した。鉛パテンティング後の σ_B 伸線材の機械的性質を Table 3 に、鉛パテンティング後の光学顕微鏡組織を Photo 2 に示す。また、ブルーイング処理による機械的性質の変化を Fig. 4 に示す。同じ炭素量では、鉛温度が高いほどブルーイング処理による $\sigma_{0.2}$, σ_B , $\tau_{0.3}$ の上昇は大きい。

次に炭素量の影響を調べるため、炭素量の異なる A,

Table 2. Mechanical properties (Carbon content and lead temp. were varied.)

Grade	Carbon content (wt, %)	Lead temp. ($^{\circ}$ C)	Mechanical properties				
			as-LP	as-drawn (4.5 mm-dia)			
			σ_B (kgf/mm 2)	$\sigma_{0.2}$ (kgf/mm 2)	σ_B (kgf/mm 2)	$\tau_{0.3}$ (kgf/mm 2)	RA (%)
A	.80	610	116.2	118.1	162.5	64.1	41.7
B	.76	590	116.2	118.6	162.1	65.3	49.6
D	.70	540	116.1	121.6	157.5	65.3	56.8

Photo 1 8.0 mm-dia. lead patented wire rod microstructure

Fig. 3 Variation in mechanical properties of 4.5 mm-dia. drawn wire according to bluing (Carbon content and lead temp. were varied.)

Table 3 Mechanical properties (Lead temp. was varied.)

Grade	Carbon content (wt, %)	Lead temp. (°C)	Mechanical properties				
			as - LP	as - drawn (4.5 mm - dia)			
			σ_B (kgf/mm ²)	$\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²)	σ_B (kgf/mm ²)	$\tau_{0.3}$ (kgf/mm ²)	RA (%)
C	.75	600	109.6	126.7	156.9	63.5	51.3
		540	118.0	134.1	165.8	73.4	54.4
		480	122.0	144.3	172.8	78.8	54.2

Grade	Carbon content (%)	Lead temp. (°C)	Microstructure (D/2)
C	.75	600
		540
		480

0.1 mm

Photo 2 8.0 mm-dia. lead patented wire rod microstructure

B, D の線材を鉛温度 560 °C の同一条件で鉛パテンティング処理し、単釜伸線機で 4.5 mmφ まで伸線後、従来と同様にブルーイング処理による機械的性質の変化を調査した。鉛パテンティング後の σ_B 、伸線材の機械的性質を Table 4 に示す。ブルーイング処理による機械的性質の変化を Fig. 5 に示す。同一鉛温度で鉛パテンティングした場合、炭素量の高いほどブルーイング処理による $\sigma_{0.2}$ 、 σ_B 、 $\tau_{0.3}$ の上昇は大きい。

したがって、Fig. 3 に示したように A がブルーイング処理による強度の上昇が最も大きかったのは、鉛温度が高かったこと、および、炭素量が高かったことの両者によるものと判断される。

3.2 鉛温度と伸線温度を変え引張強さを同一にした鋼線のブルーイング特性

炭素量が 0.75 % の C の線材を 600, 480 °C の 2 水準の鉛温度で鉛パテンティング処理後、前者はダブルデッ

Fig. 4 Variation in mechanical properties of 4.5 mm-dia. drawn wire according to bluing (Lead temp. was varied.)

Table 4 Mechanical properties (Carbon content was varied.)

Grade	Carbon content (wt %)	Lead temp. (°C)	Mechanical properties				
			as - LP	as - drawn (4.5 mm - dia)			
			σ_B (kgf/mm ²)	$\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²)	σ_B (kgf/mm ²)	$\tau_{0.3}$ (kgf/mm ²)	RA (%)
A	0.80	560	123.2	122.0	168.4	69.6	49.0
B	0.76		120.7	121.0	165.5	69.2	54.1
D	0.70		112.9	115.4	155.9	65.0	54.4

Fig. 5 Variation in mechanical properties of 4.5 mm-dia. drawn wire according to bluing (Carbon content was varied.)

Table 5 Mechanical properties (Lead temp. and drawing temp. were varied.)

Grade	Carbon content (wt. %)	Lead temp. (°C)	Drawing machine	Average temp. at die outlet (°C)	Mechanical properties				
					as-LP	as-drawn (4.5mm-dia)			
					σ_B (kgf/mm ²)	$\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²)	σ_B (kgf/mm ²)	$\tau_{0.3}$ (kgf/mm ²)	RA (%)
C	.75	600	Double continuous	210	109.6	143.9	174.2	82.4	42.7
		480	Single continuous	140	122.0	144.3	172.8	78.8	54.2

Fig. 6 Variation in mechanical properties of 4.5 mm-dia. drawn wire according to bluing (Lead temp. and drawing temp. were varied.)

Fig. 7 Variation in mechanical properties of 4.5 mm-dia. drawn wire according to bluing (Drawing temp. was varied.)

キ型連続伸線機で伸線温度を高くして伸線し、後者はシングルデッキ型連続伸線機で伸線し、4.5 mmφでの σ_B が同一になるよう調整した。伸線温度、伸線材の機械的性質を Table 5 に示す。ダイス出口の平均線温度で70°Cの差があった。ブルーイング処理による機械的性質の変化を Fig. 6 に示す。ブルーイング処理による $\sigma_{0.2}$, σ_B , $\tau_{0.3}$ の上昇は鉛温度が高く、伸線温度も高い製造工程を経由した鋼線の方が小さい。また、絞りも低い値となっている。

3.1 項での実験結果で示したように、伸線条件が一定の場合は、鉛温度が高いほどブルーイング処理による強度の上昇は大きかった。今回、逆転した結果となったのは伸線温度が高かったことによる影響が大きかったためと考えられる。

伸線温度単独の影響を確認するため、シングルデッキ型連続伸線機での実験に用いた炭素量 0.75%、鉛パテンティング処理時の鉛温度 480°C の線材の一部を単釜伸線機でダイス出口平均線温度を 110°C と低くなるように伸線し、両者のブルーイング処理による機械的性質の変化を調査した。この結果を Fig. 7 に示す。伸線温度の高い鋼線の方がブルーイング処理による $\sigma_{0.2}$, σ_B , $\tau_{0.3}$ の上昇は小さいことが確認できた。

3.3 炭素量、伸線総減面率を変え引張強さを同一にした鋼線のブルーイング特性

炭素量の異なる A, D, E の線材を鉛温度 560°C の同一条件で鉛パテンティング処理し、単釜伸線機で 4.5 mmφまで伸線した。D, E は A の 4.5 mmφ鋼線の σ_B (168.4 kgf/mm²) と同一水準となる線径 (D で 3.65 mmφ, E で 2.92 mmφ) までさらに伸線した。Table 6 に最終線径での機械的性質、Fig. 8 にブルーイング処理による σ_B の変化を示す。炭素量が高く、伸線総減面率が小さい A の方がブルーイング処理による σ_B の上昇が大きい。

3.1 項で炭素量単独の効果は示したが、総減面率単独の影響を調査するため、D の 4.5 mmφ (総減面率 68%) と 3.65 mmφ (総減面率 79%) の鋼線および E の 4.5 mmφ (総減面率 68%) と 2.92 mmφ (総減面率 87%) の鋼線でブルーイング処理による σ_B の変化を調査した。この結果を Fig. 9 に示す。今回調査した伸線総減面率の範囲では、総減面率が小さいほどブルー

Table 6 Mechanical properties (Carbon content and total reduction were varied.)

Grade	Carbon content (wt.%)	Lead temp. (°C)	Wire dia (mm)	Total reduction (%)	Mechanical properties of drawn wire		
					$\sigma_{0.2}$ (kg/mm ²)	σ_B (kg/mm ²)	RA (%)
A	80	560	4.5	68	122.0	168.4	49.0
D	70		3.65	79	130.9	170.2	55.7
E	60		2.92	87	139.5	172.5	57.0

Fig. 8 Variation in mechanical properties over the range from 2.92 to 4.5 mm-dia. drawn wire according to bluing (Carbon content and total reduction were varied.)

イング処理による σ_B の上昇は大きいことがわかる。

したがって、Fig. 6 で示したようにAがブルーイング処理による強度の上昇が大きかったのは、炭素量が高かったこと、および総減面率が小さかったことの両者によると判断される。

4. 結 言

以上高炭素鋼線のブルーイング特性について報告したが、鋼線の製造方法の相違によりブルーイング処理後の機械的性質は大きく変わる。ブルーイング処理に

Fig. 9 Variation in mechanical properties over the range from 2.92 to 4.5 mm-dia. drawn wire according to bluing (Total reduction was varied.)

よって強度の上昇を大きくするためには、① 炭素量が高いこと、② 鉛バテンティング処理時の鉛温度が高いこと、③ 伸線温度が低いこと、④ 伸線総減面率が大きすぎないこと、が有利であることがわかった。

ばね用鋼線としては本実験で調査した特性以外に、疲労特性、曲げ特性などに要求される特性は多くあるが、それらについての調査は別の機会におこないたい。

最後に、本実験をおこなうにあたり、六甲金属株式会社殿の多大なる御協力をえましたことに対し、深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 土田ほか：材料試験，6，45（1957）386.
- 2) ばね技術研究会編：ばね（1970）333. 丸善.
- 3) 井上ほか：ばね論文集，16（1971）10.