また衝撃曲げ試験と静的曲げ試験との結果を比較してみるには同種の試験によるのが最も望ましく、現在準備中である。円筒状試験片について Obert⁵⁾ が行つた結果によると、岩石の曲げ破壊係数(modulus of rupture)は砂岩、大理石、花崗岩の順に大きく、かれらの行つた Page 衝撃試験の結果と同順になっている。

また衝撃試験片の破面の状態から材料の靱脆の程度を判別することは、金属の場合にはある程度可能のようであるが、岩石では金属ほど靱脆の差がないので困難と思われる。

実験に協力された京大工学部鉱山学教室段野教官、佐竹大学院学生、ならびに試験装置について援助され

た京大工学部機械教室に対し謝意を表する。

* 曲げ破壊係数 R は次式であらわされる。ただし P は破壊荷重、 l は支点間距離、 d は試験片の直径である。

$$R = \frac{8Pl}{\pi d^3}$$

注：一

- 1) ASTM, Designation D3-18, ASTM Standards, Part II, p. 427 (1942)
- 2) Report of Investigation, No. 3891, U. S. Bureau of Mines, p.p. 41~45 (1946)
- 3) M. Freudenthal, The Inelastic Behaviour of Engineering Materials and Structures, London, pp. 555~559 (1950)
- 4) ibid. 2), pp. 43~45
- 5) ibid. 2), pp. 23~26

引拔材の機械的性質に関する研究*

西原利夫** 覚前睦夫*** 中村 寛**

Experimental Research on Mechanical Properties of Drawn Wire

Toshio NISHIHARA, Mutsuo KAKUZEN and Hiroshi NAKAMURA

This paper deals with the experimental research on the effects of change of wire drawing condition on hardness distribution over the section of drawn wire.

Using a Micro-Vickers hardness tester, we tried to investigate the hardness distribution over the cross section of three kinds of carbon steel wires and a brass wire, drawn under several kinds of drawing conditions, as well as the gradual change of hardness over the longitudinal section of carbon steel wires under plastic deformation with half drawn specimen.

As the results we have make it clear that the wire with uniform deformation as possible will be obtained by following methods of drawing:

- (1) with the die of larger radius of curvature of drawing surface than with the die of smaller radius,
- (2) under high reduction of diameter than low reduction.

1. 緒 言

引拔条件が線材の個々の機械的性質に及ぼす影響に関しては従来種々の研究がなされているが、引拔条件と線材の機械的諸性質との総合的な関係についてはまだあまり明らかにされておらず、鈴木弘¹⁾氏の研究があるに過ぎないような状態である。

われわれはさきに二次曲線ダイスについて引拔応力の計算式を導き、数値計算により引拔条件が引拔応力に及ぼす影響について検討を行い、曲線ダイスの特徴

を明らかにし、さらに引拔応力の計算に必要な引拔時における摩擦係数の値を測定し、これを用いて引拔応力の計算結果が実際の値とよく一致することを実験的に確かめたのであるが、諸種の条件のもとに引抜いた線材について機械的諸性質を測定し、引拔条件がこれらの機械的諸性質に及ぼす影響を検討し、実用的に優れた性質をもつた線材を得るための引拔条件を求めることを目的として行う研究のうち、本文では線材の硬度に及ぼす引拔条件の影響を明らかにするために行つた実験について報告する。

2. 引拔線材の硬度分布

ダイスによつて線材が引抜かれる場合、線材が不均

* 原稿受付 昭和30年2月9日 日本材料試験協会第3期総会において講演

** 正員 京都大学

*** 正員 同志社大学

一な変形加工を受けることは G. Sachs, 鈴木弘らの諸氏の研究結果からも明らかなことである。すなわち変形過程の解析の結果によれば、中心部より外層部の方がより大なる剪断歪を受け、したがって加工硬化を起こす材料では、引抜の際に発生する熱のための自己焼鈍による軟化が無ければ、引抜線材の断面上の硬度は中心部で最小値を示し、外層に近くなるに従って高い値を示す。鈴木弘氏の電気銅棒についての実験結果もそのような傾向を示している。

われわれは炭素含有量の異なる3種類の炭素鋼線材および黄銅線材を、引抜面の曲率の異なる5種類の円弧回転面ダイスで引抜いた線材について、横断面上の硬度分布を測定し、ダイス形状、引抜直径減少率、および炭素含有量が硬度分布に及ぼす影響について検討を行い、また引抜の途中の線材をダイスより逆に抜き取り、断面上の硬度分布を測定し、ダイス中における変形過程に対する考察を行った。

3. 引 抜 条 件

引抜条件が線材の硬度分布に及ぼす影響を検討するためには、引抜条件を明確にしておかねばならない。硬度測定用の供試線材を得るためには、次に示すような条件で引抜きを行った。

ダイス Fig. 1 および Table 1 に示すような5種類の焼結合金製ダイスを用いた。

Fig. 1. Die.

Table 1.

Symbol of die	β_0 (deg.)	R (mm)	r (mm)	l (mm)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
C _A	10	164.8	10	40	85	35
C _B	20	41.5	5	35	70	30
C _C	30	18.7	5	25	48	24
C _D	40	10.6	10.6	20	42	15
C _E	50	7	7	20	42	15

引抜線材 硬度分布測定用線材は Table 2 に示すような成分をもつ炭素鋼および黄銅線材で、引抜前の素線は真空中 (0.1 mm Hg) で焼鈍、残留歪を除去した。各線材に対する焼鈍条件を Table 3 に示す。

Table 2. Chemical composition of wire (%).

	C	Si	Mn	P	S	
Carbon steel wire	0.10	0.13	0.44	0.014	0.033	
	0.41	0.28	0.49	0.007	0.025	
	0.60	0.26	0.53	0.006	0.027	
	Cu	Zn	Sn	Mn	Al	Fe
Brass wire	59.67	—	0.22	0.8	—	0.3

Table 3. Conditions of annealing.

Sorts of wire	Temperature of annealing (°C)	Time of annealing (min.)
0.10% carbon steel wire	880	30
0.41% carbon steel wire	800	30
0.60% carbon steel wire	770	30
Brass wire	600	30

潤滑剤 炭素鋼線材に対してはモビール油に少量の機械油を加えたものを、黄銅線材に対しては石灰石鹼を潤滑剤として使用した。

引抜速度 引抜の際の熱の発生により、硬度分布が乱されるのを防ぐために毎分約 40 cm とした。

4. 実 験 方 法

硬度の測定には明石製作所製の Vickers 微小硬度計を使用し、測定荷重を 500 g、荷重時間を 30 秒とし、測定条件を一定に保ち、この変動による誤差をできるだけ少なくし、正確な値を得るように留意した。

横断面上の硬度分布を測定するための試験片は、引抜前に焼鈍を施こした素線を Fig. 1 および Table 1 に示す各ダイスで引抜いた線材から糸鋸で切り取り、まず紙やすりで表面を研磨し、さらに研磨による表面の加工硬化による影響をできるだけ除去するために、最後に電解研磨を行い測定面を鏡面に仕上げた。また引抜中の変形過程における硬度の変化の状態をみるために、引抜を途中で中止し、逆にダイスから抜き取った線材を、その軸を含む面で縦に切断し、同様の研磨方法で表面を仕上げた。糸鋸による切断ならびに研磨の際には、温度の上昇を防ぐために充分の注意を払った。なお電解研磨は炭素鋼線材に対しては過塩素酸と無水錯酸との混合液を、黄銅線材に対しては正磷酸に少量のクロム酸を加えたものをそれぞれ電解液として使用し、直流で行った。

硬度は横断面に対しては直径上を約 0.5 mm の間隔で測定し、外周から約 0.25 mm 内側のところの硬度をもつて最外層の硬度とした。縦断面上の硬度はダイス入口の手前から出口後までの間を一定の間隔で著盤

目状に測定した。

5. 実験結果

引抜条件が線材の硬度分布に及ぼす影響を検討することが目的であるから、引抜前の線材がそれまでの加工によつて受けた影響が、焼鈍によつて完全に除去されたか否かを確かめる必要がある。その一方法として、焼鈍した線材について硬度分布を測定した。Fig. 2に示すように、引抜前の素線は均一な硬度分布をしていることを確かめることができた。

Fig. 2. Hardness distribution over the cross section of the annealed wire.

このように均一な硬度分布をしている線材を Fig. 1に示すダイスで引抜いた線材について硬度分布を測定した。Fig. 3~Fig. 5は炭素鋼線材についての測定結果を、Fig. 6は黄銅線材についての測定結果を示すものである。同図中の各実験記号は使用したダイスの形状ならびに引抜直径減少率の値を示すもので、Table 4に一括して示す。

これらの実験結果から明らかなごとく、硬度分布はほとんど例外なく中心部で最小となり、外層にゆくに従つて大になる傾向を示している。

6. 硬度分布に及ぼす引抜条件の影響

炭素鋼線材および黄銅線材の硬度分布の測定結果より、ダイス形状、引抜直径減少率、および炭素含有量が硬度分布に及ぼす影響を知つて、これについて検討を加える。

(1) ダイス形状の影響 線材の中心部の硬度は引抜直径減少率が同じ場合には、ダイスの形状には無関係にほとんど同じ値を示している。また最外層と中心部との硬度の差を H_V' としてこれを縦軸にとり、横軸にダイスの形を表わすパラメーター β_0 をとり、それぞれの線材について断面上の硬度差とダイスの形状との関係を調べてみた。その結果 Fig. 7~Fig. 10に示すように、引抜直径減少率には無関係に、 β_0 が大になるに従つて、すなわち引抜面の円弧の半径が小になるに従つて硬度差 H_V' が大になる傾向のあることがわかり、このことは前に報告した円弧ダイスによる引抜応力の計算²⁾において、引抜材繊維の方向変換による

Fig. 3. Hardness distribution over the cross section of the drawn steel wire (0.10% C).

Fig. 4. Hardness distribution over the cross section of the drawn wire (0.41%C).

Fig. 5. Hardness distribution over the cross section of the drawn steel wire (0.60%C).

増加応力が、 β_0 の値が大になるに従つて増加するのと同じ傾向で、ダイスの引抜面の曲率が大きくなるほど引抜材の外層部の受ける剪断仕事は、中心部に比して増大することを裏付けしている。

(2) 引抜直径減少率の影響 線材の中心部の硬度を H_V としてこれを縦軸に、横軸に引抜直径減少率をとり、中心部硬度和引抜直径減少率との関係を図示

すると、Fig. 11 および Fig. 12 のようになる。中心部硬度は加工度が増すとともに増す傾向を示している。また縦軸に中心部と外層部との硬度差 H_V' を、横軸に引抜直径減少率をとると、Fig. 13~Fig. 16 に示すように、使用したダイスのいかにかわらず、加工度が増すに従つて、逆に硬度差が減少する傾向を示す。これは電気鋼についての鈴木氏の結果とよく一致して

Fig. 6. Hardness distribution of the cross section of the drawn wire (Brass).

Table 4.

Carbon steel			Brass		
Reduction of diameter (%)	Die	Sign of specimen	Reduction of diameter (%)	Die	Sign of specimen
4.1	CA	CAS1	4.1	CA	CAB1
	CB	CBS1		CB	CBB1
	CC	CCS1		CC	CCB1
	CD	CDS1		CD	CDB1
	CE	CES1		CE	CEB1
9.5	CA	CAS2	11.6	CA	CAB2
	CB	CBS2		CB	CBB2
	CC	CCS2		CC	CCB2
	CD	CDS2		CD	CDB2
	CE	CES2		CE	CEB2
13.6	CA	CAS3	14.4	CA	CAB3
	CB	CBS3		CB	CBB3
	CC	CCS3		CC	CCB3
	CD	CDS3		CD	CDB3
	CE	CES3		CE	CEB3

Fig. 7. Effect of the shape of die on the difference of hardness H_V' between the center and the inner boundary of the cross section of the drawn wire (0.10%C).

いる。

(3) 炭素含有量の影響 炭素含有量が異なることが線材の中心部と外層部との硬度差にどのような影響を与えるかを調べるために、縦軸に硬度差 H_V' を、横軸に炭素含有量をとると、Fig. 17 に示すように、硬度差は引拔直径減少率およびダイスの形状によつて

その傾向が異なり、一定の傾向を結論することはできないが、硬度差 H_V' と中心部硬度 H_V との比を百分率で表わし、これを引抜による断面上の硬度分布の不均一度とし、これを縦軸にとり、横軸に炭素含有量をとると、Fig. 18 に示すように、炭素含有量が増すに従つて硬度分布の不均一度は減少する傾向を示す。また、

Fig. 8. Effect of the shape of die on the difference of hardness H_V' between the center and the inner boundary of the cross section of the drawn wire (0.41%C).

Fig. 9. Effect of the shape of die on the difference of hardness H_V' between the center and the inner boundary of the cross section of the drawn wire (0.60%C).

Fig. 10. Effect of the shape of die on the difference of hardness H_V' between the center and the inner boundary of the cross section of the drawn wire (Brass).

Fig. 11. Relation between the hardness H_V at the center of the cross section of the drawn carbon steel wire and the reduction of diameter.

Fig. 12. Relation between the hardness H_V at the center of the cross section of the drawn brass wire and the reduction of diameter.

Fig. 13. Effect of the reduction of diameter on the difference of hardness between the center and the inner boundary of the cross section of the drawn steel wire (0.10%C).

Fig. 14. Effect of the reduction of diameter on the difference of hardness between the center and the inner boundary of the cross section of the drawn steel wire (0.41%C).

Fig. 15. Effect of the reduction of diameter on the difference of hardness between the center and the inner boundary of the cross section of the drawn steel wire (0.60%C).

この傾向は加工度の小なるものほど大で、加工度が大になるに従つて小になる。

7. 縦断面上の硬度分布

引拔を途中で中止し、引拔とは逆方向に線材を抜き取り、線材の軸を含む面で切断した変形過程における縦断面上の硬度分布を測定した。Fig. 19 に硬度測定位置の一例を示す。Fig. 20～Fig. 22 は引拔直径減少率9.5%で C_A , C_C , および C_B の3種類のダイスで引抜く場合の、炭素含有量0.10%の炭素鋼線材の変形領域における硬度分布の状態を示すものである。ダイスの形状が異なることにより硬度の変化の状態もまた異なる。Fig. 23 は中心部と外層部の硬度が変形が進むとともに増す状態を、上記3種類のダイスについて比較したものである。ダイス入口の近くで硬度は急激に増し、出口に近づくに従つて一定値に近づく。外層部の方は先きに硬度が増し、中心部は外層部に比し

Fig. 16. Effect of the reduction of diameter on the difference of hardness between the center and the inner boundary of the cross section of the drawn brass wire.

Fig. 17. Effect of carbon content of the drawn wire on the difference of hardness between the center and the inner boundary of the cross section of the drawn wire.

Fig. 18. Relation between the difference of hardness H_V' and carbon content of the drawn wire.

Fig. 19. Half drawn specimen.

Fig. 21. Gradual change of hardness over the longitudinal section of carbon steel wire (0.10%C) under plastic deformation ($\beta_0 = 30^\circ$).

Fig. 20. Gradual change of hardness over the longitudinal section of carbon steel wire under plastic deformation ($\beta_0 = 10^\circ$).

Fig. 22. Gradual change of hardness over the longitudinal section of carbon steel wire (0.10%C) under plastic deformation ($\beta_0 = 50^\circ$).

Fig. 23. Change of hardness at the center and the inner boundary of a longitudinal section of a 0.10% C steel wire under plastic deformation through a die.

て遅れることが、また硬度の増加がはじまる位置はダイスの引抜面の形状によつて異なり、引抜面の曲率の

大なる場合ほど入口の手前から硬度が増しはじめる。

以上の実験は線材が引抜かれる場合に、変形が進むに従つて生ずるところの硬度分布の変化がダイス形状によつていかに異なるかを検討するために行つたもので、加工度がわずかに1種類の場合に過ぎないが、硬度をもつて変形の程度を知る一つの尺度と考えれば、ダイス入口の近くでまず線材の外層部が変形を受け、出口に進むに従つてこの変形が中心部に及び、ダイスの引抜面の曲率が大なるものほどダイス入口の前方から変形を受けはじめることが推察される。

8. 結 論

諸種の条件で引抜いた炭素含有量の異なる種類の炭素鋼線材ならびに黄銅線材について、横断面上の硬度分布を測定し、引抜条件が線材の硬度分布に及ぼす影響を明らかにすることができた。硬度をもつて変形の程度を表わす一つの尺度と考えれば、断面上における硬度差の小なる線材ほど均一な変形をうけた線材であるといふことができる。したがつて引抜面の曲率の小なるダイスで引抜けば、曲率の大なるダイスを用いる場合よりも均一な変形をした線材が得られ、また引抜直径減少率を大にすれば、小なる場合よりも均一な変形をした線材を得ることができる。以上のことは1回の引抜についていえることで、実際に行われている多段引抜の場合については引續いて実験を行う予定である。

注：一

- 1) 鈴木弘, 東京大学生産技術研究所報告, Vol. 1. No. 3
- 2) 日本機械学会講演会講演, 昭和24年10月

指 示 型 電 気 湿 度 計 *

斎藤 幸男** 芹沢竜之介*** 松下 顕****

Electrical Instruments Directly Indicating Humidity

Yukio SAITŌ, Ryūnosuke SERIZAWA and Akira MATSUSHITA

For the purpose of direct indication or recording of humidity, it is reasonable and convenient to use the selenium hygrosensitive elements, formerly developed by the present authors, Saitō and Serizawa, inserted in A.C. circuits. In this case, requirements on the characteristics of the elements must be somewhat different from those used in D.C. circuits.

In this paper, manufacturing methods and properties of such purposive hygrometer elements are reported in the first place. Then two different types of electrical instruments directly indicating humidity are introduced. One is A.C. resistancemeter type and the other is automatic balancing A.C. bridge type. They are selectively applicable for the purpose of humidity measurement.

1. 緒 言

先に報告したセレン感湿要素に対して、交流回路用とするための工夫をこらし、あわせて指示型電気湿度計を得ようとする試みは、先年より続けられていたが、

* 原稿受付 昭和30年2月2日 本研究は文部省試験研究費の補助による。

** 正員 東京工業大学

*** 新潟大学工学部

**** 東京工業大学