

© 1983 ISIJ

ほう化処理を施した引き抜きダイスの耐摩耗性

論文

渋谷 佳 男*

Wear Resistance of Borided Drawing Dies

Yoshio SHIBUYA

Synopsis :

Tool steel dies were borided and heat treated. As the drawing materials with borided and unborided dies, aluminium wires of A2011B, A1070W and A5356 were used. The drawing characteristics (dimensional change of die and wire, coefficient of friction between wire and die) of the borided and unborided dies were compared. When the A2011B was drawn with borided and unborided dies, roughness, roundness of die and drawn A2011B surfaces with borided die were remarkably better than that of unborided die. The coefficient of friction between wire and die for drawn A2011B and A5356 with the borided die was less than that with unborided die. The boride layer did not show significant improvement for the severe adhesion between wire and die. Accordingly, it is noted that the borided die is useful under the condition of light adhesion occurring between wire and die.

1. 結 言

金属にほう化処理を施すことによつて極めて高い表面硬さが得られるため、種々の機械部品、工具にほう化処理が適用され、有益な結果が得られている。例えばプレス用工具^{1)~7)}、歯車⁷⁾、織機部品⁸⁾⁹⁾、管継手¹⁰⁾¹¹⁾、深絞りダイス¹²⁾、鍛造型¹³⁾¹⁴⁾、刃物¹⁵⁾、成形機スクリュウ¹⁶⁾、磁気ヘッド¹⁷⁾、などがある。本研究は引き抜きダイスへのほう化処理の適用を検討したものであり、アルミニウム線材のほう化処理ダイスによる引き抜きに関する報告はほとんど認められない。引き抜きダイスは一般に超硬ダイスが最も多く使用されている。しかしその原料であるタングステンは資源的に豊富にある、とは言えず将来はなんらかの対応がせまられると考えられる。そこで普通鋼、低合金鋼などの低品位材料でダイスを作製し、それにほう化処理を施すことによつて、ダイス寿命の延伸化が得られれば、省資源であり簡易型ダイスとして将来性があると考えられる。多種少量生産の場合、簡易型ダイスで十分である場合も多いであろう。そこで本研究は、ほう化処理ダイスと未処理ダイスとの性能を比較検討することを目的とし、以下の実験を行つた。2種類の工具鋼にてダイスを作製しほう化処理あるいは熱処理を施した。そしてほう化処理ダイス(以下 B-ダイスと記す)、および未処理ダイス(以下 U-ダイスと記す)の2種類(一部、比較のために超硬ダイスも用いた)のダイスでアルミニウム線材の引き抜き試験を行つた。B-ダ

イスと U-ダイスについて引き抜き前後のダイスの精度変化、線材精度、摩擦係数、ダイスの摩耗機構などを比較することにより、B-ダイスが U-ダイスに比べより良好な性能をもち得るか検討した。引き抜き加工を実施する場合、超硬ダイスはダイスメーカーから購入するのが一般である。しかし本研究の B-ダイスは自社でダイスを加工、処理を施す。すなわち自社でダイスを作製することも可能であるという利点がある。

2. 実験方法

2.1 供試材

B-ダイスおよび U-ダイスの化学成分を Table 1 に示す。I, II とともに冷間金型用鋼である。I, II の棒鋼より Fig. 1 a~c の形状のダイスを作製し、ほう化処理および熱処理を行つた。処理条件を Table 2 に示す。ほう化処理法は既報¹⁸⁾と同様の浸せきほう化処理である。浴組成はホウ酸カリウム 40 wt%, ホウ酸 20 wt%, 弗化ナトリウム 15 wt%, 炭酸カリウム 15 wt%, マグネシウム粉末 10 wt% の混合(総量 800 grf)であり、100°C で乾燥してから供した。U-ダイスの熱処理は塩浴中

Table 1. Chemical compositions of dies used (wt%).

Steel	C	Si	Mn	P	S	Cr	W
I	0.92	0.30	1.13	0.013	0.012	0.57	0.43
II	1.29	0.28	0.26	0.016	0.006	8.0	—

昭和 57 年 2 月 22 日受付 (Received Feb. 22, 1982)

* 静岡県工業試験場 (Prefectural Industrial Research Institute, Shizuoka, 5-9-3 Komagatadori Shizuoka 420)

Table 2. Boriding and heat treatment conditions of dies.

Die	Die No	Steel	Boriding and heat treatment conditions	Matrix hardness, Hv	Boride	Layer thickness, μ
Borided die (B-die)	1	I	950°C×3 h Borided OQ → 150°C×2 h AC.	757	FeB+Fe ₂ B	120
	2	II	930°C×2.5 h Borided OQ → 150°C×2 h AC.	762	"	50
	3	I	"	767	"	80
	4	II	950°C×3 h Borided OQ → 150°C×3 h AC.	769	"	70
	5	II	"	772	"	78
Unborided die (U-die)	6	I	850°C×0.5 h OQ → 150°C×2 h AC.	759		
	7	I	" → 150°C×3 h AC.	751		
	8	II	950°C×0.5 h WQ → 150°C×3 h AC.	807		
	9	II	950°C×0.5 h OQ → 150°C×3 h AC.	769		
	10	II	" → 150°C×2 h AC.	734		

Table 3. Mechanical properties of wires.

Wire	YP (kgf/mm ²)	TS (kgf/mm ²)	El (%)	Hv (10 kgf)
A 2011 B(φ5)	35.7	44.1	8.3	130
A 1070 W(φ5)	12.3	13.6	11.6	40
A 5356(φ4.5)	32.6	38.7	13.0	109

(NaCl 100 grf+KCl 100 grf) で行い、150°Cでの焼もどし処理は大気中で行った。また B-ダイス、U-ダイス共に処理後は内面を鏡面研磨した。引き抜き材には3種類のアルミニウム線材を用いた。ダイス摩耗を促進させるための高強度材として、合金アルミニウム A 2011 B (φ5 mm, JIS H 4040, 以下 2011 B と記す), A 5356 (φ4.5 mm, JIS Z 3232, 以下 5356 と記す) および低強度材として A 1070 W (φ5 mm, JIS H 4040, 以下 1070 W と記す) を用いた。引き抜き材の機械的性質を Table 3 に示す。

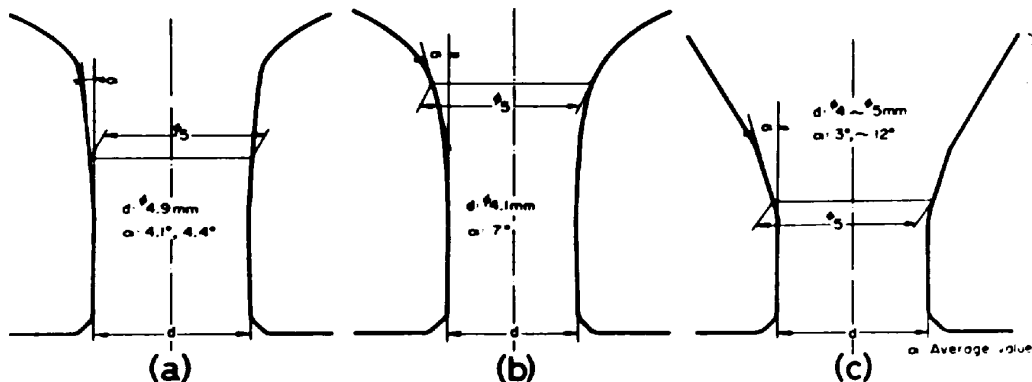
2.2 ダイス形状、引き抜き試験、摩擦係数

Fig. 1 a, b, c は引き抜きダイスの断面形状である。厳密にはすべて曲線ダイスであり、a, b, c はそれぞれ 2011 B, 1070 W, 5356 および 2011 B の引き抜きに用いたダイスである。形状は B-ダイスと U-ダイスとはほとんど同一であり、引き抜き試験はダイスが小物であるため、φ50×30 mm のダイスケースに収納した状態で行った。2011 B の引き抜き試験では B-ダイスおよび U-

ダイスを用いて 2011 B (φ4.990 mm, 引き抜き長さ 112 ±0.3 cm) を断面減少率 (以下、減面率と記す) 3.4% でおのおの 60 本引き抜いた。試験機は引き抜き台で、引き抜き速度は 5.14 m/min, 潤滑油は切削油 (JIS K 2241, 1種2号) である。1070 W の線引き試験では B-ダイス, U-ダイスおよび比較のために超硬ダイスを用い、1070 W (φ4.983 mm) を減面率 33, 34% で約 100m (約 5 kgf) 線引きした。なお、試験機は単頭式伸線機で、線引き速度は約 100 m/min, 潤滑油は鉍油 (PD-3S コウキ油業) である。

ダイス性能はダイスおよび引き抜き材の精度変化で評価しダイスの径、真円度、あらしをそれぞれ万能測定顕微鏡 (UMM), 真円度測定機 (タリロンド II 型), 表面あらし計 (タリサーフ IV 型, サーフコーダー, SE-4A) で測定した。ダイスの測定箇所はアプローチ部 (真円度) とベアリング部 (真円度, あらし) であり、ベアリング部のあらしは引き抜き方向についてのみ測定した。引き抜き材表面のあらしとしては試料を 1.54 mm/min の速度で 1 回転させ、引き抜き方向に直角方向のあらしを測定した。引き抜き前, 後の引き抜き材の径はマイクロメータ (三豊 OMV-25) で測定し、引き抜き材を約 60 度ずつ回転させ、3箇所測定 of 平均値で示した。Table 4 に線材の引き抜き条件を示す。

テンシロン引張試験機で、B-ダイス, U-ダイスによる



a: Drawing die for the A2011B, b: Drawing die for the A1070W, c: Drawing dies for the A5356 and A2011B.

Fig. 1. Die shape of drawing dies.

Table 4. Drawing conditions of wires.

Wire	Die	Drawing apparatus	Die shape	Drawing speed, m/min	Drawing length, m	Reduction of area, %	Lubricant
A2011B	B-die, U-die	Draw bench	Fig. 1. a	5.14	1.12	3.4	Machine oil
A1070W	B-die, U-die Cermet carbide die	Wire drawing machine	Fig. 1. b	100	100	33, 34	Mineral oil
A5356 A2011B	B-die, U-die	Tension testing machine	Fig. 1. c	0.05 0.5	0.2	3~17	Turbine oil

2011B, 5356 の引き抜き試験を行い、摩擦係数を求めた。引き抜き速度は 5 cm/min, 50 cm/min の 2 種類であり、潤滑下で実施した。ダイスは曲線ダイスであるため、摩擦係数の算出にさいしては、ダイス半頂角および引き抜き力は平均値を用いた。したがって正確には平均摩擦係数（以下、摩擦係数と記す）である。減面率は約 3~17% の範囲で求め、引き抜き距離は 20 cm, 潤滑油はタービン油 (JIS K 2213, ISO VG 32) を用いた。また摩擦係数は E. Sieble の下式¹⁹⁾より算出した。

$$\mu = \alpha \left(\frac{Z}{f_2 \cdot k_{fm} \frac{2}{3} \alpha} - 1 \right) \ln \frac{f_1}{f_2}$$

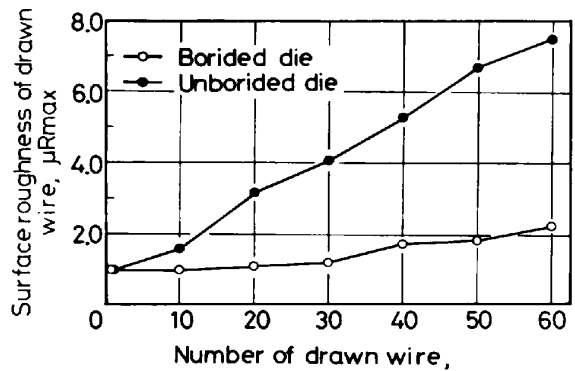
ここで μ は摩擦係数、 Z は引き抜き力 (kgf), k_{fm} は平均引張降伏応力 (kgf/mm²), α はダイス半頂角 (radian), f_1, f_2 は引き抜き前、後の線材断面積 (mm²) である。

3. 実験結果および考察

3.1 2011B の引き抜き試験

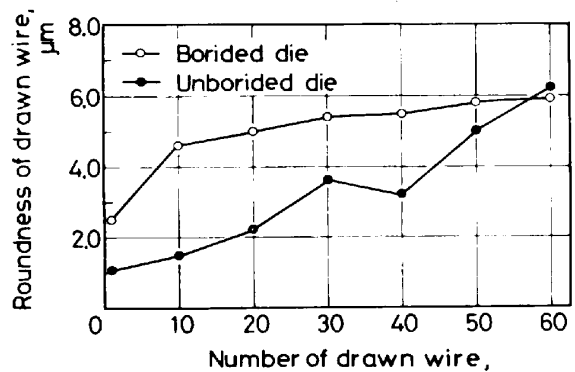
B-ダイスと U-ダイスとの性能の差を明確にするために、換言すればダイスの摩耗を促進させるために、高強度材である合金アルミニウム 2011B の引き抜きを行った。条件は B-ダイス (Die No. 1), および U-ダイス (Die No. 6) により減面率 3.4%, 引き抜き速度 5.14 m/min, 潤滑下でおのおの 60 本引き抜いた。Fig. 2, 3 に引き抜き材の円周方向の表面あらさ、および真円度と引き抜き本数との関係を示す。Fig. 2 では引き抜き本数の増加と共に引き抜き材のあらさが増加している。60 本引き抜き後のあらさは B-ダイスの場合 2.2 μR_{max} であり、U-ダイスでは 7.5 μR_{max} であつた。U-ダイスによる引き抜き材のあらさは B-ダイスの場合の約 3.4 倍である。これは引き抜き本数の増加と、共にダイス-線材間の凝着が増加した、およびダイスが摩耗損傷したことに起因すると考えられる。B-ダイスは U-ダイスに比べ凝着あるいは摩耗が生じにくいことを示している。ほう化処理を行うことによる有効性が認められる。Fig. 3 の引き抜き材真円度もやはり引き抜き本数の増

加と共に悪化している。引き抜き前のダイス真円度は B-ダイスが 4.5 μ , U-ダイスが 0.2 μ であり、同一ではないが引き抜き材真円度の悪化する割合は B-ダイスの場合の方が少ない。1 本引き抜き後の引き抜き材真円度と 60 本引き抜き後のそれとの比較では、B-ダイスは 2.4 倍、U-ダイスは 5.6 倍に増加している。U-ダイスは引き抜き前ダイス真円度が 0.2 μ で良好であるため、引き抜き本数が少ない場合は引き抜き材真円度は良好であるが、本数の増加と共に急激に悪化している。引き抜



Surface roughness of wire: 0.7 μR_{max} , Diameter of wire before drawing d : 4.990 mm, Drawing length of wire l : 112 \pm 0.3 cm, Drawing speed v : 5.14 m/min, Reduction of area r : 3.4%, Lubricant L : Machine oil, Die No. 1, 6.

Fig. 2. Relation between circumferential surface roughness, and number of drawn A2011B with borided and unborided dies.



Roundness of dies: Borided die 4.5 μ , Unborided die 0.2 μ , Roundness of wire: 2.5 μ , d : 4.990 mm, l : 112 \pm 0.3 cm, v : 5.14 m/min, r : 3.4%, L : Machine oil, Die No. 1, 6.

Fig. 3. Relation between roundness, and number of drawn A2011B with borided and unborided dies.

き材真円度の変化からも B-ダイスの方が有利であることが認められる。

Table 5 に 2011 B を減面率 3.4% でおのおの 60 本引き抜いた場合、引き抜き前、後におけるダイスの径、真円度を示す。測定箇所は引き抜きにより最も摩耗損傷した箇所ではないが、引き抜きによる悪化の程度はおおよそ比較できると考える。なお、ダイスの測定箇所はベアリング部である。ダイス径は B-ダイスではわずかに増加している。また U-ダイスでは 5μ 減少しているが、これはダイスに線材が凝着しているためであろう。また引き抜き材径の平均値は B-ダイスの場合が 4.905 mm, U-ダイスでは 4.903 mm であり、ダイス径に比べ B-ダイス引き抜き材は平均 13μ , U-ダイス引き抜き材は 10μ 程度増加している。これは減面率が比較的小さいためにダイスから出たあと線材に弾性回復がおり、ダイス径に比べ線径の方が大きくなる引き太り現象²⁰⁾が生じたためであろう。真円度については引き抜き前に比べ引き抜き後は B-ダイスでは 1.2μ , U-ダイスでは 1.8μ 程度増加している。このようにベアリング部については引き抜き前、後では共に極端には悪化してい

Table 5. Diameter and roundness of dies before and after drawing of A2011B.

Die	Diameter, mm		Roundness, μ		
	B. D	A. D	B. D	A. D	A. D/B. D
Borided die	4.890	4.895	4.5	5.7	1.3
Unborided die	4.895	4.890	0.2	2.0	10.0

B. D: Before drawing, A. D: After drawing, Number of drawn wire with same die: 60 pieces, d : 4.990 mm, l : 112 ± 0.3 cm, v : 5.14 m/min, r : 3.4%, L : Machine oil, Die No. 1, 6.

い。Photo. 1 は 2011 B を B-ダイス、U-ダイスで 60 本引き抜き後のダイス内面の SEM 写真である。アプローチ部の最も摩耗の激しい箇所である。ダイスにほう化処理を施すことにより、後述の Photo. 5 に示すように、ダイス内面の層表面に等間隔に微細なき裂が認められた。したがって B-ダイスは引き抜き加工によつてき裂の成長、およびあらたな発生が生じていると考えられる。a は B-ダイスであり、き裂近傍が摩耗損傷している。しかし凹凸は極めて少ない。b は U-ダイスであり、摩耗痕が無数に認められ凹凸も激しい結果を得た。このようにダイスの摩耗損傷の結果からも B-ダイスの方が有利であることが認められた。以上の結果より B-ダイスは高強度材の引き抜きのように、ダイスへの負荷が大きい、あるいは凝着の生じやすい使用条件に対して有効であろう。しかし、ほう化層は極端には凝着を抑制する力がないため、軽度に凝着が生じるような使用条件で特に有効であろう、と考えられる。

3.2 1070W の線引き試験

B-ダイス (Die No. 2, 3), U-ダイス (Die No. 7) および超硬ダイスを用いて、1070 W を減面率 33, 34% の厳しい条件で線引き試験を行った。線引き速度、距離は約 100 m/min, および 100 m である。Table 6 に線引き前、後のダイスの径、真円度およびあらさを示す。測定箇所はダイス入口側端面より 8 mm の箇所 (B 部) であり、真円度については、線引きの際に最も負荷がかかるであろうアプローチ部の 6.8 mm (A 部) の箇所についても測定した。また、あらさは線引き方向のあらさを測定した。ダイス形状は Fig. 1 b である。ダイス径は線引き前、後では U-ダイスがわずかに増加しているが



a: Borided die, b: Unborided die, Number of drawn wire with same die: 60 pieces, d : 4.990 mm, l : 112 ± 0.3 cm, v : 5.14 m/min, r : 3.4%, L : Machine oil.

Photo. 1. SEM micrographs of die surfaces after drawing of A2011B with borided and unborided dies.

Table 6. Diameter, roundness and roughness of dies before and after drawing of A1070W.

Die	Diameter, B, mm		Roundness, A, μ		Roundness, B, μ		Roughness, B, μ Rmax		Reduction %	Layer thickness μ
	B. D	A. D	B. D	A. D	B. D	A. D	B. D	A. D		
Borided die (Steel II)	4.071	4.069	4.7	5.0	4.2	3.4	0.04	0.02	34	45
Borided die (Steel I)	4.093	4.092	3.6	3.6	2.9	2.3	0.04	0.03	33	80
Unborided die (Steel I)*	4.091	4.095	1.5	1.6	1.2	1.4	0.10	0.02		
Cemented carbide die	4.094	4.094	—	—	0.6	0.4	0.02	0.03		

A: Approach part, B: Bearing part, B. D: Before drawing, A. D: After drawing, d : 4.983 mm, l : 96.5 m, * 79.6 m, v : 100 m/min, L : Mineral oil.

Table 7. Dimensional change of drawn A1070W with borided, unborided and cemented carbide dies.

Die	Diameter, mm		Roundness, μ		Roughness, μ Rmax		Reduction %
	a	b	a	b	a	b	
Borided die (Steel II)	4.055	4.057	3.7	3.9	0.54	0.55	34
Borided die (Steel I)	4.078	4.080	2.7	2.4	0.50	0.50	33
Unborided die (Steel I)	4.085	4.085*	1.1	1.5*	0.49	0.53*	
Cemented carbide die	4.089	4.087	1.1	0.8	0.47	0.45	
Wire	4.983		5.3		0.73		—

a: Part of drawing length 9 m of drawn wire. (early stage part) b: Part of drawing length 144 m of drawn wire. (final stage part)

* Measurements for part of drawing length 118 m of drawn wire were carried out. d : 4.983 mm, v : 100 m/min, L : Mineral oil.

他のダイスは測定誤差の範囲でほとんど変化はない。真円度については A、B 部、共に線引きすることによる変化が認められるが、一様に極端に悪化することはない。線引き前、後では顕著な差は認められない。またあらさについても同様である。Table 7 は線引き初期部（線引き距離 9 m）と線引き終期部（線引き距離 144 m）の線材精度の比較である。B-ダイス、U-ダイス共に顕著な差はない。線径については初期部と終期部の差は 2μ であり、測定誤差の範囲である。真円度についても変化は 1μ 以内、あらさについても大きな変化は認められない。またダイスと線材との比較ではダイス径に比べ線径の方が一様に 10μ 程度小さくなった。この原因は減面率が大きいために線引きに要する力が大きくなり、ダイスを出た線材に無理な張力が加わった。その結果ダイス径に比べ線径の方が小さくなる引き細り現象²⁰⁾が生じたためと考えられる。比較のために減面率 18% で 20 m 程度線引きしたところ、ダイス径と線径との間にはほとんど差がないか、あるいは $1\sim 2\mu$ の差であったことより推察される。またダイスと線材の真円度についてはほとんど同じか、わずかに線材の方が良好であった。

以上の結果より、1070 W を減面率 33, 34%, 線引き速度約 100 m/min で 100 m 程度線引きしてもダイス精度、線材精度に影響するようなダイスの摩耗損傷、ダイス-線材間の凝着は生じていないことを示している。このように引き抜き速度が大きく、流体潤滑状態で引き抜かれるような使用条件では、ほう化処理の効果は発揮されにくいと考えられる。より厳しい条件の引き抜きに対

して有効であろう。しかし 1070 W ($\phi 4.5$ mm) を減面率 18%, 速度 5 cm/min の条件下で引き抜く場合、同一のダイス、潤滑油を用いても線材が断線して線引き不可能であった。そしてダイス内面は線材が凝着し、焼付きが生じていた。これらは引き抜き速度が大幅に小さい使用条件、すなわち凝着、焼付きが激しく生じるような使用条件ではほう化層は、それらを大幅に抑制する力がないことを示している。したがって、前述したように凝着が軽度を生じるような使用条件に対して、B-ダイスは特に有効であろうと考えられる。

3.3 摩擦係数

3.3.1 2011 B

Fig. 4 に 2011 B (径 4.990 mm, 引き抜き長さ 20 cm) を B-ダイス (No. 5)、U-ダイス (No. 10) で 50 cm/min, および 5 cm/min の速度で引き抜いた場合の摩擦係数の分布を示す。潤滑油はタービン油 (JIS K 2213, ISO VG 32) である。減面率は B-ダイスが 7.75%, U-ダイスが約 5% であり、ダイスの平均半頂角は約 8 度である。ダイス形状は Fig. 1, c である。引き抜き前のダイスの状態は B-ダイスは鏡面であるが U-ダイスは熱処理の不適正のために細かいヒット状のきずがわずかに認められた。したがって B-ダイスと U-ダイスとの摩擦係数の比較は正確にはできないが、おおよその傾向は確認できると考えられる。B-ダイスによる引き抜き試験では線材のダイスへの凝着、あるいはダイスの摩耗損傷の極めて少ない 14 本の引き抜きを行った。しかし U-ダイスでは B-ダイスに比べ線材がダイスに凝着しや

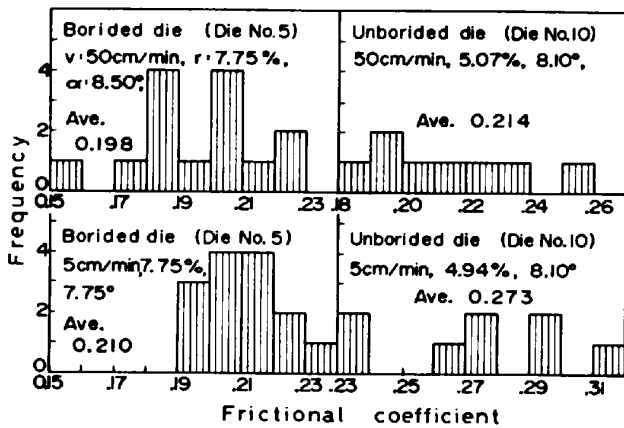


Fig. 4. Distribution of frictional coefficient between wire and die when drawn A2011B with borided and unborided dies. Number of drawn wire with borided, and unborided dies: 14, and 8 pieces, d : 4.990 mm, l : 20 cm, L : Turbine oil.

すく、それによるダイス、線材の損傷が生じやすいため、それらの影響の少ない8本の引き抜きを行った。摩擦係数にばらつきが認められる。引き抜き速度 50 cm/min では摩擦係数は B-ダイスの場合 0.158~0.225 の範囲にあり、平均値は 0.198 であつた。また U-ダイスは 0.184~0.257 の範囲にあり平均値は 0.214 であつた。引き抜き速度 5 cm/min では B-ダイスの場合 0.192~0.234 の範囲にあり平均値は 0.210 であつた。また U-ダイスでは 0.234~0.314 の範囲にあり平均値は 0.273 であつた。共に U-ダイスに比べ B-ダイスの方が低い値を示した。この理由は B-ダイスは U-ダイスに比べ表面硬さ、強度が高いためにダイス-線材間の凝着が生じにくいことが考えられる。その結果、引き抜き材表面およびダイスの損傷が少なくなり結果的に摩擦係数も低下したであろう。引き抜き速度と摩擦係数との関係は引き抜き速度が増加することにより B-ダイス、U-ダイス共に摩擦係数は低下した。速度の増加により B-ダイスはわずかに低下するが U-ダイスでは大きく低下した。この理由は B-ダイスでは速度が小さくても凝着が少ないために、速度が増加し潤滑油が十分供給されても大きな変化がなかつた。しかし U-ダイスでは凝着が激しく、速度増加による潤滑油供給の効果が顕著になつた結果、摩擦係数が著しく低下したと考えられる。

3.3.2 5356

Fig. 5 に 5356 ($\phi 4.495$ mm, 引き抜き長さ 20 cm) を B-ダイス (No. 4), U-ダイス (No. 8) で 50 cm/min, 5 cm/min の速度で引き抜いた場合の摩擦係数の分布を示す。潤滑油は前者と同様である。減面率約 3%, 半頂角 3 度前後であり、おのおの 7 本の引き抜きを行った。

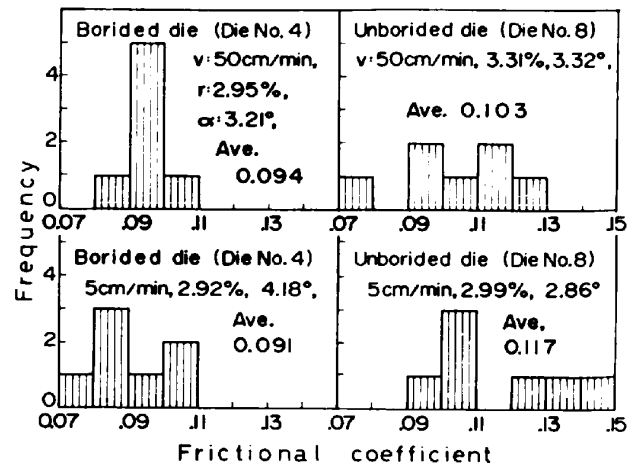
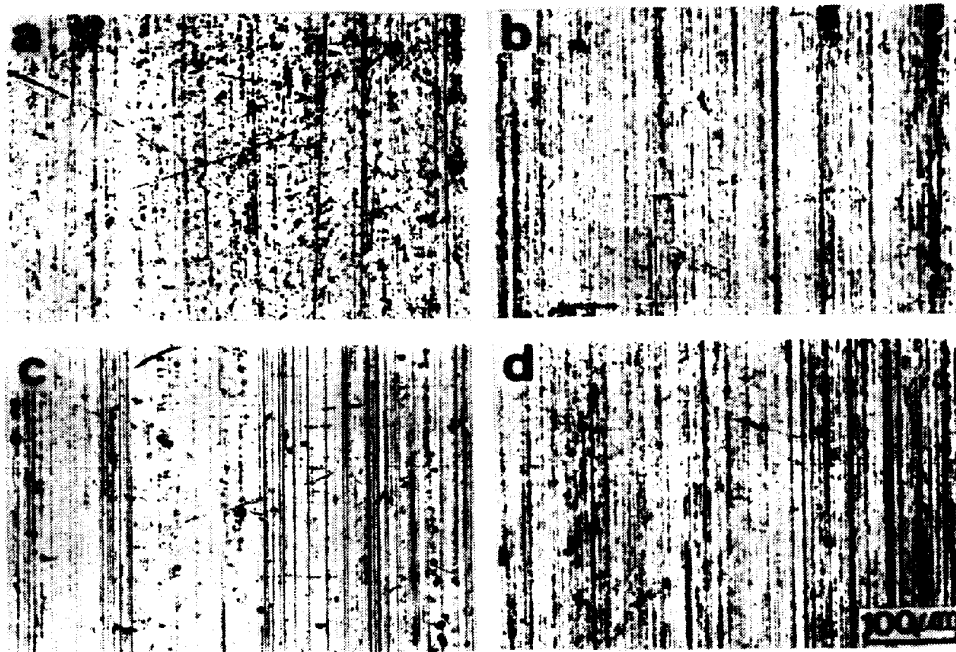


Fig. 5. Distribution of frictional coefficient between wire and die when drawn A5356 with borided and unborided dies. Number of drawn wire with borided and unborided dies: each 7 pieces, d : 4.495 mm, l : 20 cm, L : Turbine oil.

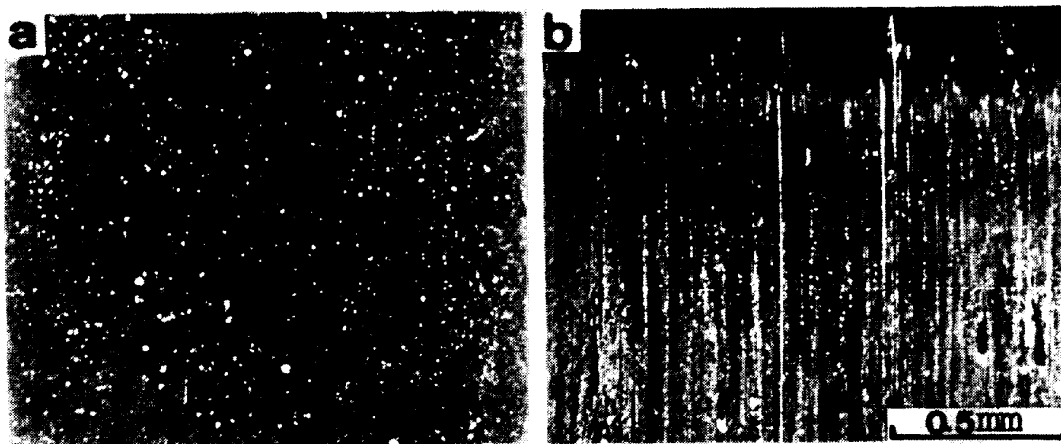
引き抜き速度 50 cm/min では B-ダイスの場合、平均値は 0.094 であり、U-ダイスでは 0.103 であつた。また 5 cm/min では B-ダイスの場合、平均値は 0.091 であり、U-ダイスでは 0.117 であつた。顕著な差はないが、共に B-ダイスの方が U-ダイスに比べばらつきが少なく低い値を示した。5356 の引き抜きでもダイスにほう化処理することによる有効性が認められる。しかし両者の値は顕著な差はなく、2011B 引き抜きで得られた値よりも全体に低い結果を得た。この理由は減面率が約 3% で比較的小さく、ダイス-線材間の凝着の影響が極めて少なかつたこと、および 5356 は 2011B に比べ低強度材であるなどが考えられる。これは後述の 5356 の減面率 17% の引き抜き、およびより高強度材 (2011B) の引き抜きでは、摩擦係数は大きな値を示し、B-ダイスと U-ダイスとの顕著な差が認められたことより推察される。また U-ダイスで引き抜く場合、摩擦係数は第 1 本目は比較的小さい、しかし引き抜き数が増加すると値も大きくなる傾向が認められた。引き抜き速度と摩擦係数との関係は速度の増加により U-ダイスの場合は大きく低下し、B-ダイスではわずかに増加した。引き抜き速度が増加すると潤滑油の供給がより十分になり摩擦係数も小さくなると考えるが、B-ダイスの場合はわずかに増加し明確でない。

Photo. 2 は B-ダイス、U-ダイスにより減面率約 3.1% で引き抜かれた線材表面の顕微鏡写真である。U-ダイスに比べ B-ダイスの方が、また速度が 5 cm/min より 50 cm/min で引き抜いた場合の方が摩擦痕の数および凹凸は少ない。これらは U-ダイスより B-ダイスの方



a : Borided die used, v : 50 cm/min, μ : 0.090, b : Unborided die used, v : 50 cm/min, μ : 0.116, c : Borided die used, v : 5 cm/min, μ : 0.096, d : Unborided die used, v : 5 cm/min, μ : 0.127, d : 4.495 mm, l : 20 cm, L : Turbine oil.

Photo. 2. Surfaces of drawn A5356 at about 3.1% reduction of area with borided and unborided dies. μ : Coefficient of friction between wire and die.



a : Borided die, b : Unborided die, Number of drawn wire with same die : 8 pieces, d : 4.495 mm, l : 20 cm, v : 5 cm/min, r : Borided die 2.9%, Unborided die 3.0%, L : Turbine oil.

Photo. 3. SEM micrographs of die surfaces after drawing of A5356 with borided and unborided dies.

Table 8. Coefficients of friction between wire and die when drawn A5356 at about 17% reduction of area with borided and unborided dies. d : 4.495 mm, l : 20 cm, v : 50 cm/min, L : Turbine oil.

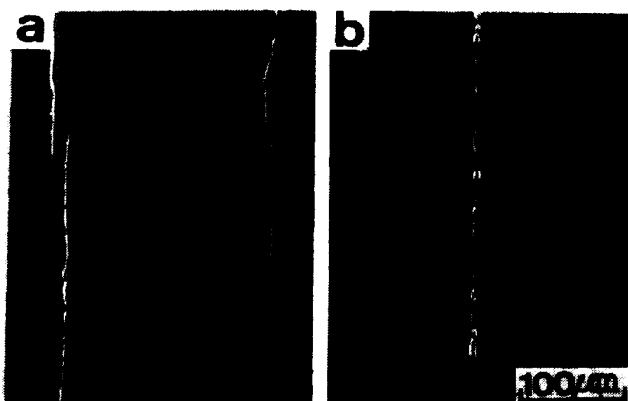
Die	Reduction, %	Semi-die angle, degree	Coefficient of friction, μ
Borided die (Steel I)	16.8	4.85	0.121
Unborided die(Steel I)	16.3	5.03	0.344
Borided die (Steel II)	17.8	5.38	0.162
Unborided die(Steel II)	17.4	4.97	0.319

が、また引き抜き速度は早いほどダイス-線材間の凝着が少ない、あるいはダイス摩耗が生じにくいことを示している。Photo. 3はB-ダイス、U-ダイスにより引き抜き速度5 cm/minでおのおの8本引き抜き後のダイス摩耗痕のSEM写真である。B-ダイスでは摩耗痕はほとんど認められないがU-ダイスでは無数の摩耗痕が認められ、凹凸もあり線材のダイスへの凝着も認められた。やはりB-ダイスに比べU-ダイスの方が摩耗損傷が生じやすいことを示している。Table 8はB-ダイス、U-ダイスにより5356を減面率約17%で引き抜いた場合



a : Borided die used, μ : 0.121, b : Unborided die used, μ : 0.344, d : 4.495 mm, v : 50 cm/min, l : 20 cm, L : Turbine oil.

Photo. 4. Surfaces of drawn A5356 at about 16.5% reduction of area with borided and unborided dies. μ : Coefficient of friction between wire and die.



a : Steel I die, Layer thickness 93μ , b : Steel II die, Layer thickness 65μ .

Photo. 5. SEM photographs of cracks formed in boride layer of inside the borided Steel I and Steel II dies.

の摩擦係数の値である。ダイス半頂角は約5度であり潤滑油は前者と同様である。5356は高強度材であり加工率も大きいためにダイスへの負荷が大きく、ダイス-線材間の凝着も生じやすい。したがってTable 8は1本引き抜いた結果である。摩擦係数はSteel I, IIダイス共にB-ダイスで引き抜いた場合の方がU-ダイスで引き抜いた場合に比べ様に低い値を示した。しかしFig. 5の減面率約3%で引き抜いた場合よりは一様に高い値である。この理由はやはり減面率が大きいほど凝着が生じやすく、その程度はU-ダイスの方がB-ダイスに比べ大きいことを示していると考えられる。Photo. 4はTable 8, Steel IのB-ダイス, U-ダイスで引き抜かれた線材表面の顕微鏡写真である。摩擦係数の大きいU-ダイスの方が摩耗痕の凹凸が激しい。摩擦係数と引き抜き材表面の状態とは相関があり、摩擦係数が大きいほどやはり「表面あれ」は激しい。

2011 Bの引き抜き試験よりB-ダイスの摩耗機構は以下のごとくであると考えられる。Steel I, Steel IIにほう化処理を施すと、共にほう化層厚さ約 30μ 以上の場

合、表面に微細なき裂が生じる²¹⁾。Photo. 5はほう化処理したSteel I, IIダイス内面のほう化層に生じたき裂のSEM写真である。熱処理は $950^{\circ}\text{C}\times 150\text{min}$ ほう化処理後油冷、 $150^{\circ}\text{C}\times 1\text{h}$ 後空冷である。Steel I, IIダイス共にき裂は引き抜き方向にほぼ直線的で等間隔(0.2~0.3mm間隔)に認められた。したがって本研究のB-ダイスでの引き抜きはすべてこのような微細なき裂のあるダイスで行った。このダイスで引き抜きを行うと引き抜きの際にダイスにかかる負荷によりき裂が成長する。そして引き抜き本数の増加と共にPhoto. 1aに認められるようにき裂周囲に摩耗損傷が生じ、引き抜き材表面のあれ、あるいは凝着の原因となる。そして、それらを繰り返すことによりダイスが摩耗していくと考えられる。しかしB-ダイス内面に生じたき裂の溝は潤滑油の保持に大きく貢献していると考えられる。B-ダイスで引き抜かれた線材のあれはU-ダイスで引き抜かれたそれに比べ非常に少ないのは、この潤滑油が線材との凝着を著しく軽減させているのも原因のひとつであろう。

U-ダイスの摩耗機構は引き抜き本数の増加と共にダイス-線材間の凝着、線材のあれ、ダイスの損傷が生じる。本研究ではどれが最初に発生するか明確ではないが、いずれにせよ、これらが生じ繰り返されることによりダイスが摩耗していくと考えられる。ダイス摩耗を抑制するには、被加工材強度に比べ、より高強度のダイスを用いる必要がある。低強度ダイスに比べ高強度ダイスの方が凝着が生じにくいと推察され、凝着が生じてもダイスの損傷が少ないであろう。またダイス損傷が生じると、より凝着も生じやすいと考えられる。したがってその意味からもダイスにほう化処理を施し、より高硬度にすることはダイス摩耗に対して極めて有効であると考えられる。

4. 結 言

ほう化処理および熱処理（無ほう化）を施した $\phi 4$ mm の工具鋼ダイスでアルミニウム線材の引き抜き試験を行った。両ダイスの摩耗損傷の程度、引き抜き材の精度、摩擦係数などを比較検討し、次の結論を得た。

1) ほう化処理ダイス、未処理ダイスで A 2011 B (径 $\phi 4.990$ mm, 長さ 112 ± 0.3 cm) を減面率 3.4% でおのおの 60 本引き抜いた結果、ダイスの摩耗損傷、引き抜き材のあれの程度は、ほう化処理ダイスで引き抜いた場合の方が、未処理ダイスの場合よりもはるかに少ない結果を得た。これより引き抜きダイスへのほう化処理は、ダイス寿命の延伸化に極めて有効であると考えられ、簡易型ダイスとして将来性があるであろう。

2) ほう化処理ダイス、未処理ダイスで A 1070 W (径 4.983 mm) を大きな減面率で線引き（減面率 33, 34%, 線引き速度約 100 m/min, 線引き長さ約 100 m) した結果、両ダイス共に、引き抜き前、後におけるダイス精度、線材精度はほとんど変化がなかった。

3) ほう化層はダイス-線材間の凝着を抑制するが、大幅にはそれを改善する力がない。したがって、ほう化処理ダイスは軽度に凝着が生じるような使用条件で有効であると考えられる。

4) A 2011 B, A 5356 の引き抜きにおける摩擦係数は、減面率、引き抜き速度の早、遅、すべてについてほう化処理ダイスの場合の方が、未処理ダイスの場合よりも一様に低い値を示した。

本研究を実施するにあたり、御協力いただきました日軽産業(株)、パルツ工業(株)に感謝いたします。また御指導、御助言をいただきました工学院大学教授、木村啓造博士に感謝いたします。

文 献

- 1) G. K. GOROBETSU: Tekhnol Organ Proizvod., 3 (1978), p. 37
- 2) V. P. ARTJUKHOV and P. I. KRAVCHUK: Kuznechno Shtampovochnoe Proizvod., 8 (1978), p. 48
- 3) L. K. ROITMAN, T. I. VORONCHIKHINA, and R. A. RABEK: Metalloved Term Obrab Met., 8 (1977), p. 71
- 4) S. A. DOVNRAR and V. S. BUGREEV: Metalloved Term Obrab Met., 4 (1975), p. 66
- 5) A. F. DOLGOVA, L. K. UTESHIEV, and Z. A. SURJENKO: Tekhnol Organ Proizvod., 9 (1975), p. 41
- 6) V. N. LAPTEV: Kuznechno Shtampovochnoe Proizvod., 12 (1974), p. 38
- 7) H. KUNST and O. SCHAABER: Härtereit Tech Mitt., 26 (1971) 1, p. 18
- 8) D. TENEVA: J. Less-Common Metals, 67 (1979) 2, p. 493
- 9) Boride coated metal fights abrasive wear: Mat. Eng. 76 (1972) 2, p. 46
- 10) V. M. GOLUBETSU, O. L. ZAIONTSU, and V. V. KOZUB: Fiz Khim Mekh Mater., 16 (1980) 1, p. 103
- 11) H. ZÖLLNER: Z. Wirtsch Fertigung, 74 (1979) 5, p. 245
- 12) H. C. FIEDLER and R. J. SIERASKI: Metal Prog., 99 (1971) 2, p. 101
- 13) Borided tools lower costs increase productivity: Precision Metal, 30 (1972) 7, p. 43
- 14) L. M. SORKIN: Vestnik Mashinostroeniya, 46 (1969) 6, p. 41
- 15) L. K. ROITMAN, T. I. VORONCHIKHINA, and R. A. RABEK: Metal Sci. & Heat Treatm. Metal 19 (1977), p. 718
- 16) A. G. MATUSCHKA: Kunststoff-Berater, 19 (1974) 1, p. 21
- 17) H. KAWABATA, Y. NAGATA, K. ISHIWATARI, T. SHIMIZU, and N. SAKAMOTO: J. Less-Common Metals, 67 (1979) 2, p. 339
- 18) 渋谷佳男: 材料, 25 (1976) p. 336
- 19) A. GELEJI (五弓勇雄訳): 金属塑性加工の計算(下) (1964), p. 32 [コロナ社]
- 20) 山本 久, 稲数直次: 塑性と加工, 12 (1971) 123, p. 284
- 21) 渋谷佳男: 未発表