

# アルミニウムおよびその合金の温間押し加工

清野 次郎\*

(昭和46年5月31日受理)

## 1. ま え が き

近來各種鋼材の鍛造加工において、とくに高炭素鋼、合金鋼、ステンレス鋼などの加工にかんしては、その加工圧力の低下にともなう工具破損の防止と加工力の軽減、被加工材の破断限度上昇などを目的として、室温での冷間鍛造加工より数百度前後に加熱した温間鍛造加工<sup>1)</sup>が脚光をあびてきた。この温間加工においては、被加工材の温度に対する機械的性質の変化、潤滑剤の適否、工具材料の選択、製品精度、加工後の性質などの問題があげられている。

一方、Al および Al 合金の温間領域と考えられる温度範囲は、再結晶完了温度が 350°C ~ 425°C にあるため鋼材よりはるかに狭く且つ低いことが特徴である。しかるに、Al 合金円筒容器の冷間後方押し加工<sup>2)3)</sup>における加工圧力は、150~200kg/mm<sup>2</sup>に達することがある。高い加工圧力を低下させることによる工具寿命の増大は、Al 合金の加工においても鋼材同様当然考慮されるところである。

これにかんする基礎的研究として、Al と Al 合金の熱間加工領域を含む各温度における圧縮降伏応力~ひずみ関係が、鈴木、橋爪<sup>4)</sup>、および松浦<sup>5)</sup>により求められており、これより一二の Al 材についての温度、加工速度の影響が報告されている。押し圧力については、63S 合金の熱間押しにかんする竹内、小林<sup>6)</sup>、Al の衝撃押しにたいする石井<sup>7)</sup>の報告がある。いずれも温間領域の加工を考えるには十分ではない。

本研究では、主として純 Al の 2S-O、耐食性の 52S-O、56S-O および高力合金の 17S-O、24S-T<sub>4</sub> 材に対する温間押し加工を、材料試験機とクランクプレスによって行ない、加工圧力の変化、潤滑剤の良否、加工後の硬さなどについて検討を行なった。その結果、温間押し圧力を求める実験式、潤滑剤、加工温度などを提案した。

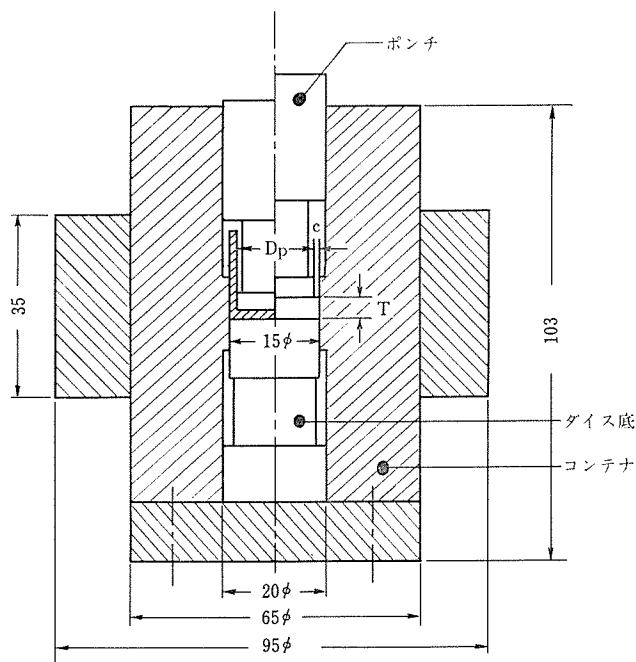
## 2. 実 験 方 法

実験に使用した材料は、純 Al と耐食性および高力 Al 合金の一部、52S、56S および 17S、24S であり、その化学成分と機械的性質は第 1 表に示される。焼なまし材にかんしては、400°C、2 時間の処理を施し、T<sub>4</sub> 処理材は、495°C 焼入処理後常温時効をさせたものである。いずれも丸棒材より直径 15mm で厚さ 5 mm の押し用試片と、直径 12mm の高さ 16mm 圧縮試片を削りそれぞれの実験に用いた。

\* 精密工学教室 助教授

第1表 実験材料の化学成分と機械的性質

実験材料	化 学 成 分 (%)								引張り強 kg/mm <sup>2</sup>	伸び率 %	硬  さ Hv
	Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Cr	その他			
2S-O	0.20	Fe+Si <1.0		0.05	—	0.10	—	0.15	9.1	45	21
17S-O	4.07	0.29	0.27	0.53	0.55	0.03	<0.01	Ti 0.01	26.0	22	60
24S-T <sub>4</sub>	4.28	0.5	0.5	0.56	1.28	0.10	0.10	—	49.3	17	151
52S-O	0.01	0.11	0.22	0.02	2.43	0.03	0.25	Ti 0.01	19.0	30	52
56S-O	0.05	0.09	0.20	0.11	4.75	0.03	0.11	Ti <0.01	29.5	46	70



第1図 円筒容器押し用工具

圧縮試験は、高さ中央に横方向丸穴のあけた厚肉円筒状サブプレス内で行なった。円筒容器後方押し工具の形状は、第1図に示す。いずれの工具材料もSKD-11が用いられ、焼入焼もどし後工具表面をJIS0.4S粗さ程度まで研磨して用いた。押し容器外径は15mmで、ポンチ直径 $D_p$ を12.6φ、13.4φ、14.2φmmと変化させることにより、押し加工の断面減少率が70、80、90%と変えることができた。

圧縮および押し試験は、15ton、50tonの材料試験機を用いて静的に、80tonのクランク・プレス(30S PM, 行程75mm)を使用することにより動的にそれぞれ実験を行なった。平均の加工速度は、前者が約0.02mm/s、後者が約30mm/sである。

プレスを用いた試験の加工圧力は、ストレンゲージ式の動的荷重計により測定し、圧縮試験の変位は、電気式ダイヤルゲージ2ヶをプレスベッドの前後に取付けることによりラムの動きを、先の加工圧力と同時にオシログラフに記録して解析した。

試片を工具と同時に油の中で加熱する関係から、潤滑剤としては大豆油を全ての実験に用い、他の潤滑剤としてラノリン、水溶性グラファイトを試みた。材料試験機で行なった圧縮、押し両試験は、大豆油を満した油槽中に工具を入れたまま加圧した。クランク・

プレスによる同様試験は、油槽中より取出して速かに加圧した。試験温度に保つ時間は、予熱後所定温度に到達してから10分程度である。試片温度測定には、棒状寒暖計と銅-コニスタンタン熱電対が用いられ、周囲の工具と油槽内温度も同様な方法で測定された。

他の加熱方法は、管状型電気炉を用い、これを材料試験機内に設置し、その内部に圧縮または押し出し用工具を試片と一緒にいれて所定温度まで加熱し、且つそのまま加圧を行った。

圧縮試験における一回に与えるひずみ量は、静的、動的とも1~2 mmと少なく、くり返し潤滑剤を塗付して圧縮を続けた。クランク・プレスによる動的圧縮試験によって求めた降伏応力~ひずみ関係は、くり返し圧縮の方法により、且つその時々における平均ひずみ速度4/s前後に相当する降伏応力を結んで示した。

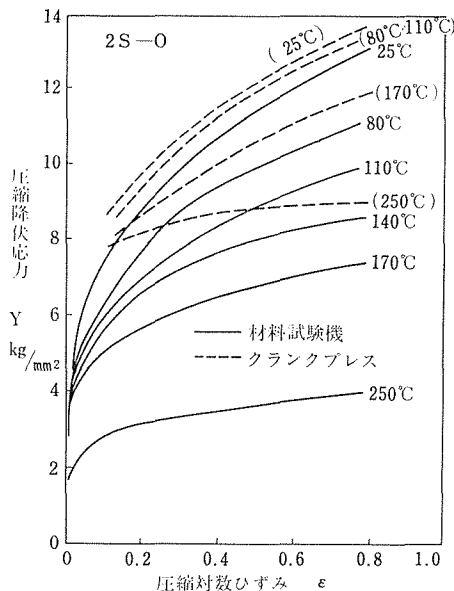
### 3. 実験結果とその検討

#### 3.1 圧縮試験

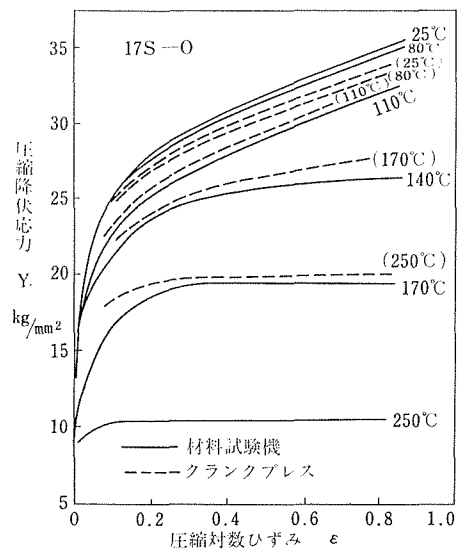
各材料の室温より250°Cまでの試験温度における静的と動的の圧縮降伏応力 $Y$ ~対数ひずみ $\epsilon$ の関係は第2図から6図、押し出し加工中の平均流れ応力に相当する対数ひずみ0.55の応力 $Y_{0.55}$ の温度に対する影響は、第7図から9図にそれぞれ示される。潤滑剤は大豆油を用いた。

圧縮試験によって破かいの生じた材料は、24S-T<sub>4</sub>の時効硬化材のみであり、それも静的な試験における室温の0.6と80°Cの1.3のそれぞれひずみにおいて生じた。

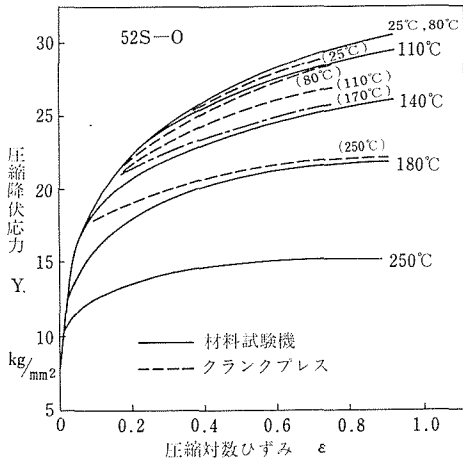
静的な圧縮試験における降伏応力は、ひずみ速度が動的に比較して非常に小さいため圧



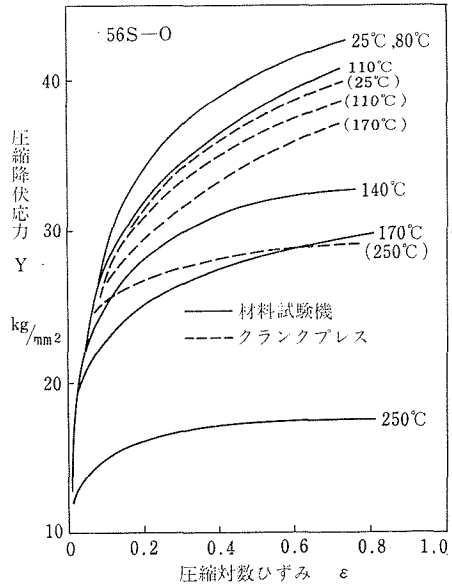
第2図 2S-Oの温間での圧縮降伏応力と対数ひずみ



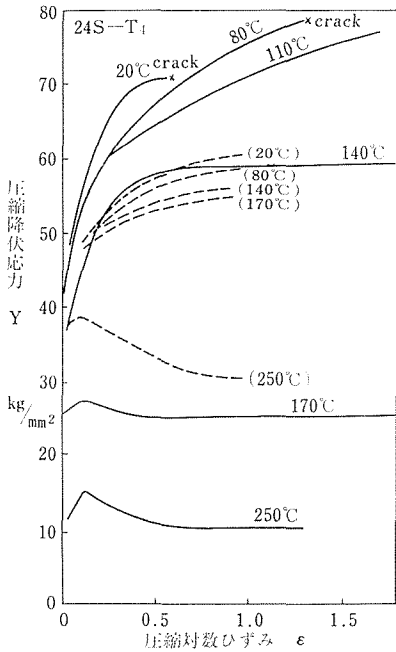
第3図 17S-Oの温間での圧縮降伏応力と対数ひずみ



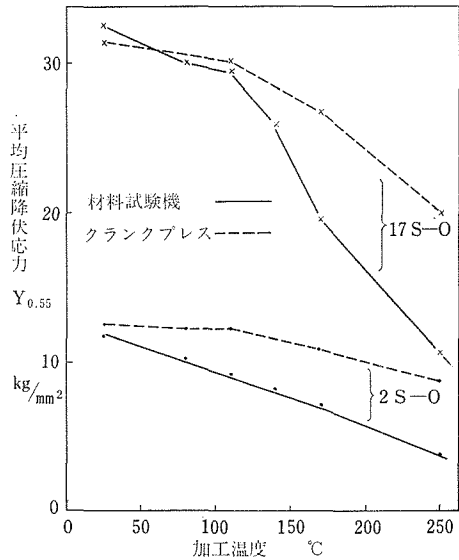
第4図 52S-Oの温間での圧縮降伏応力と対数ひずみ



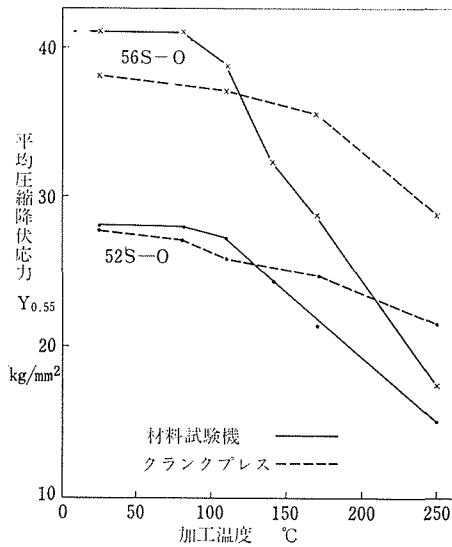
第5図 56S-Oの温間での圧縮降伏応力と対数ひずみ



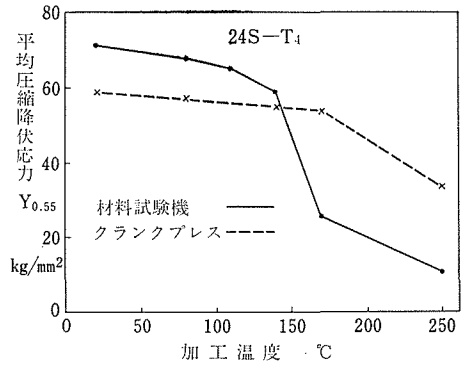
第6図 24S-T<sub>4</sub>の温間での圧縮降伏応力と対数ひずみ



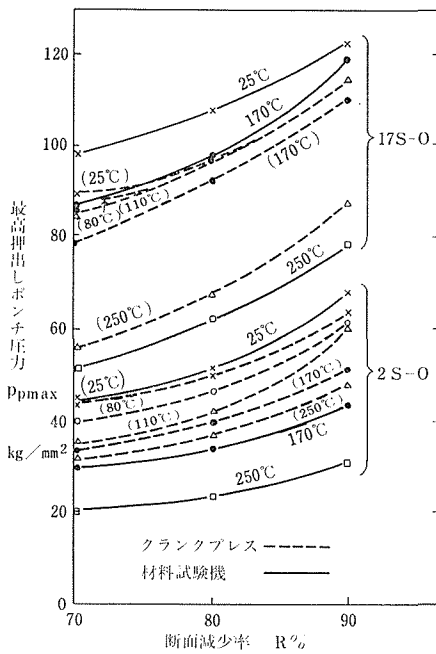
第7図 2S-O, 17S-Oの平均圧縮降伏応力と加工温度



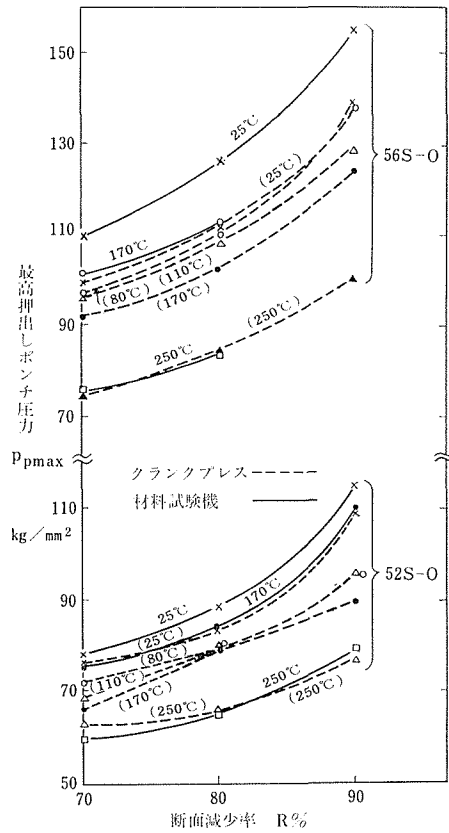
第8図 52S-O, 56S-Oの平均圧縮降伏応力と加工温度



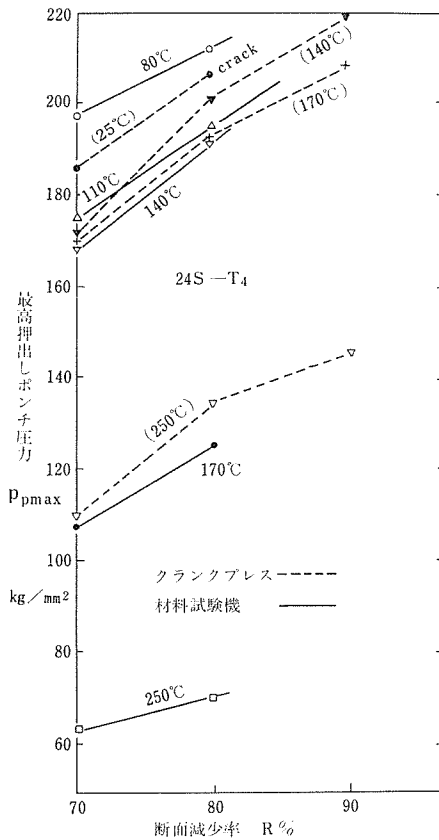
第9図 24S-T<sub>4</sub>の平均圧縮降伏応力と加工温度



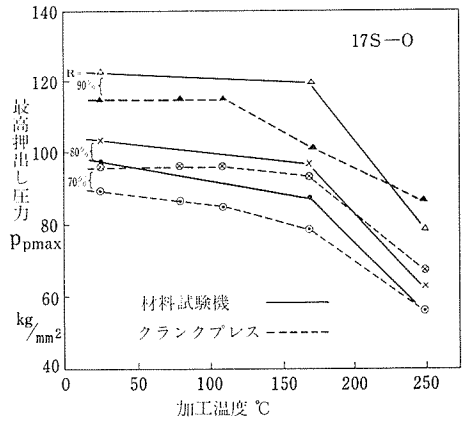
第10図 2S-O, 17S-Oの最高押しポンチ圧力と断面減少率



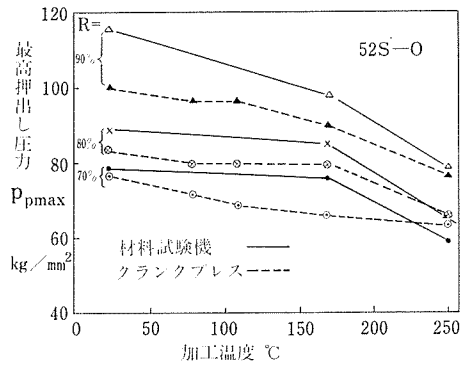
第11図 52S-O, 56S-Oの最高押しポンチ圧力と断面減少率



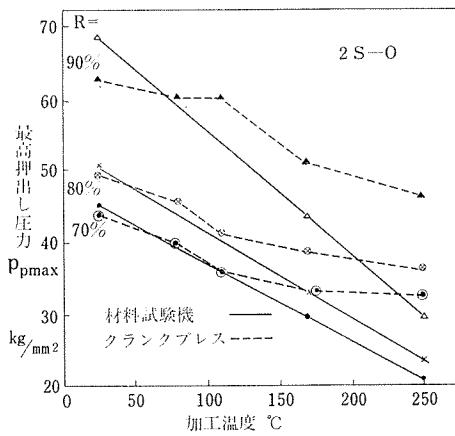
第12図 24S-T<sub>4</sub>の最高押しポンチ圧力と断面減少率



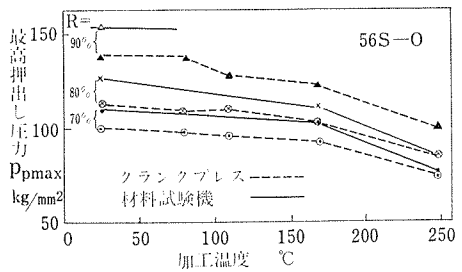
第14図 17S-Oの最高押しポンチ圧力と加工温度



第15図 52S-Oの最高押しポンチ圧力と加工温度



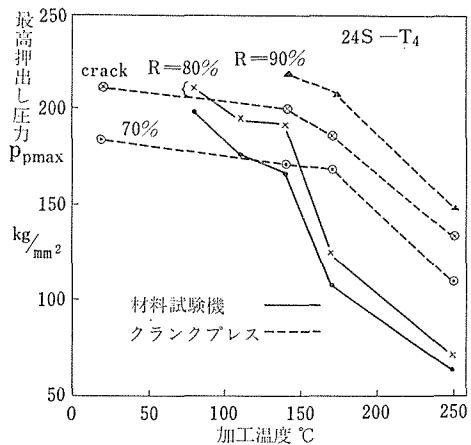
第13図 2S-Oの最高押しポンチ圧力と加工温度



第16図 56S-Oの最高押しポンチ圧力と加工温度

縮中に応力回復が生じ、よって動的より温度の影響をいちぢるしくうけると考えられる。このことは、従来から多くの研究者によって指摘するところである。

一方クランク・プレスでの降伏応力は、 $170^{\circ}\text{C}$  近辺の温度より目立った応力低下が生じてきた。24S- $T_4$  材は硬化材のため、 $170^{\circ}\text{C}$  までは室温との差が少なく、それを越すと急激な応力低下が見られた。これは硬化材の特性と考えられる。これら静的と動的の温度による降伏応力低下の傾向は、第7図～9図のごとく  $Y_{0.55}$  の温度による変化を示せばなお一層明瞭になる。



第17図 24S- $T_4$  の最高押し出しポンチ圧力と加工温度

### 3・2 円筒容器の後方押し加工

第1図に示す円筒容器押し出し工具を用い、室温ならびに温間域での静的、動的押し加工を行なった。それよりポンチ断面積当りの最高押し出し圧力  $p_p \max$  を求め、各断面減少率に対して材料別に示したものが第10図～第12図である。また、 $p_p \max$  の温度による影響を同様示したものが第13図～第17図である。

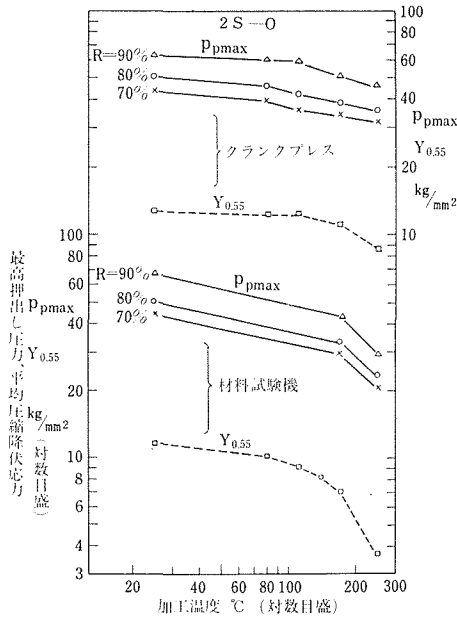
これらの図より、 $p_p \max$  が断面減少率  $R$  によって変化する状態は、静的、動的ともほぼ同様な傾向を示している。これは、著者ら<sup>8)</sup> の非鉄金属に対する報告ともほぼ一致している。

24S- $T_4$  材の室温での静的押し出し実験は、工具破損の危険から除いた。しかし、同じ室温でも動的押し出し実験は行なえた。それによると、 $R=70\%$ での押し出し容器にはクラックは認められなかったが、更に高い加工度の80%では容器側壁下部の横方向に大きくクラックの発生が認められた。

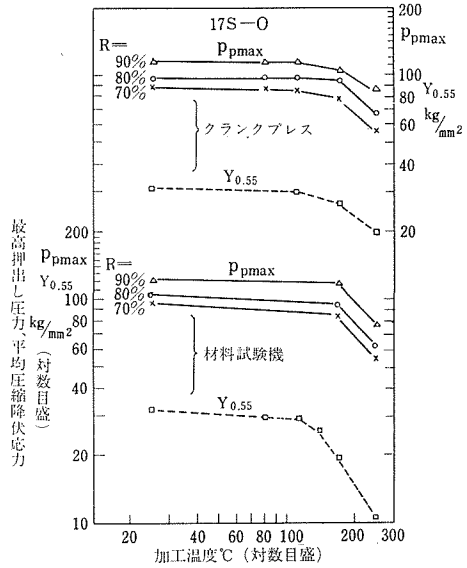
温度による  $p_p \max$  の変化は、17S, 52S, 56Sとも室温より $170^{\circ}\text{C}$  近くまでは、それ以上の温度と比較してあまり目立った低下はみられず、合金特有な性質を示した。2Sは純金属のため温度による  $p_p \max$  の低下は、静的、動的のいずれも室温より少し高い温度から徐々に  $p_p \max$  の低下がみられた。24S- $T_4$  材は、時効硬化材のためか静的では $170^{\circ}\text{C}$  で室温の約半分になるが、動的では静的ほどの顕著な低下はみられなかった。

17S, 52S, 56Sの動的な  $p_p \max$  は、静的のそれより一般に低く、 $250^{\circ}\text{C}$  の温度になつて  $R$  によっては一致するか、動的の  $p_p \max$  が逆に静的よりやや高くなる傾向がある。2Sと24S- $T_4$  は $150^{\circ}\text{C}$  近辺より次第に動的な  $p_p \max$  が静的より高く、 $250^{\circ}\text{C}$  での差は益々大となってくる。

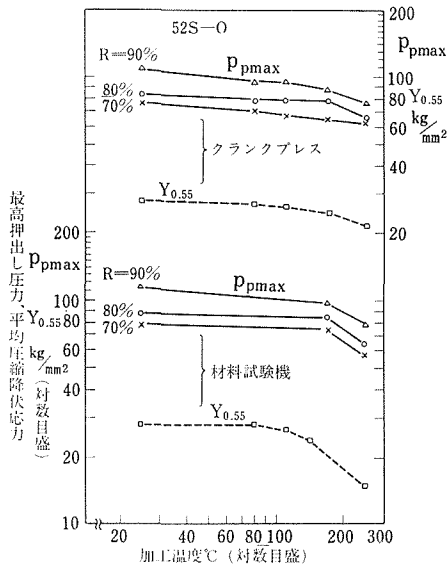
圧縮降伏応力と最高押し出し圧力の間には、当然加工温度による相関々係が存在すると考え、先に求めた  $Y_{0.55}$  と  $p_p \max$  の値を静的と動的別に加工温度に対してプロットし示したものが第18図～第22図である。そこにおいて圧力と温度は両対数グラフ上に示したが、



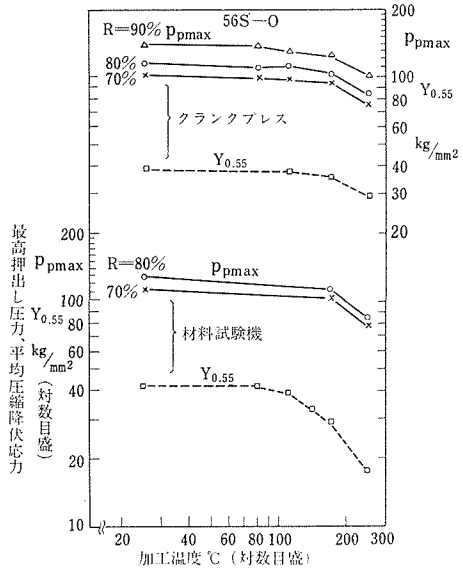
第18図 2S-Oの最高押し出し圧力，平均圧縮降伏応力と加工温度



第19図 17S-Oの最高押し出し圧力，平均圧縮降伏応力と加工温度



第20図 52S-Oの最高押し出し圧力，平均圧縮降伏応力と加工温度



第21図 56S-Oの最高押し出し圧力，平均圧縮降伏応力と加工温度



この温度範囲では熱間領域にみられるような両者間の直線関係が認められなかった。しかし、動的な最高押し圧力は、やはり動的な圧縮降伏応力と同じ様な温度による圧力変化をしていることが認められた。静的における同様な関係は、やや動的より不十分のようにみえた。これは静的な加工による長い温度保持時間が影響して、その間の温度と時間の相乗に関する内部応力恢復の様相が、純金属、合金、時効硬化材などで異なることに基因していると考えた。

第18図から第22図にみられるように、温間域の押し圧力、降伏応力と温度の関係は直線的でない。また、その関係は材料によっても多少異なった温度変化を生じている。しかし、この温度範囲において押し圧力推定に役立つ式が要求される。そこで著者ら<sup>8)</sup>が前に発表した冷間における円筒容器静的押し圧力の式を適用した。この式を示すと次の如くである。すなわち

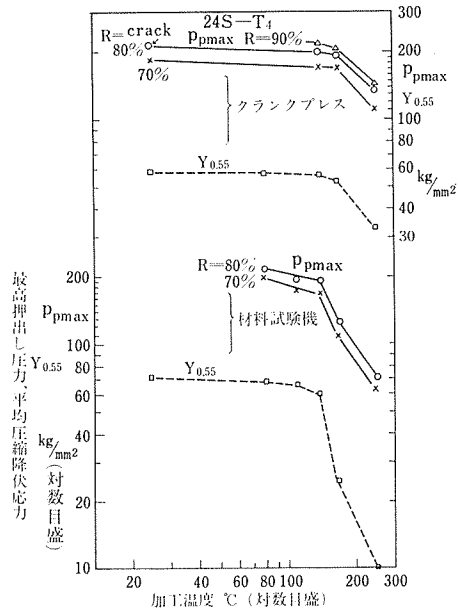
$$p_p \max = 1.6 (c/D_p)^{-\frac{1}{3}} \cdot (T/D_p)^{\frac{1}{6}} \cdot Y_{0.55}, \quad (1)$$

- ここで  $p_p \max$  : ポンチ当りの最高押し圧力
- $c$  : 円筒容器の壁厚
- $D_p$  : ポンチ直径
- $T$  : ブランク厚さ
- $Y_{0.55}$  : 圧縮降伏応力の対数ひずみ 0.55 に相当する値
- ( $c/D_p = 0.015 \sim 0.10$ ,  $T/D_p = 0.2 \sim 1.0$ )

この(1)式を発展して著者は、加工温度  $t$  および  $Y_{0.55}$  の代りに動的降伏応力  $Y_{dyn. 0.55}$  の項を含めた次式を提案する。すなわち、温間域における動的押し最高圧力  $p_p \max$  は、

$$p_p \max = K \cdot t^\lambda (c/D_p)^{-\frac{1}{3}} \cdot (T/D_p)^{\frac{1}{6}} \cdot Y_{dyn. 0.55}, \quad (2)$$

- ここで  $c, D_p, T$  : (1)式と同じ
- $t$  : 加工温度 (110°C ~ 250°C)
- $Y_{dyn. 0.55}$  : (1)式の  $Y_{0.55}$  に相当する動的な降伏応力
- $K, \lambda$  : 材料により決まる数 (以下に示す)



第22図 24S-T<sub>4</sub>の最高押し圧力、平均圧縮降伏応力と加工温度

材料 K& $\lambda$	2S-O	17S-O	52S-O	56S-O	24S-T <sub>4</sub>
K	0.88	0.75	0.8	1.18	1.3
$\lambda$	0.135	0.135	0.1	0.024	0.05

$$(c/D_p = 0.015 \sim 0.10, \quad T/D_p = 0.2 \sim 1.0)$$

この(2)式を用いて、各材料ごとに計算した値と、動的な実験による最高押し圧力を比較し第2表にまとめて示した。その結果、両者の差は全ての場合においてほぼ±10%の間にはいる程度良好であるが、24S-T<sub>4</sub>の一部はその値より若干開いた。

第2表 温間領域における各材料の最高押し圧力計算値と実験値の比較

使用材料	断面減少率 R%	加工温度 t°C	動的圧縮 降伏応力 Y <sup>dyn. 0.55</sup> kg/mm <sup>2</sup>	最高押し圧力 p <sub>p</sub> max kg/mm <sup>2</sup>		計算値との差 %
				実験値	計算値	
2S-O	70	110	12.5	36	38.1	-5.5
		170	11.0	33.5	35.5	-5.5
		250	9	32.8	31	+6
	80	110	12.5	41	45	-9
		170	11.0	38.5	42	-8
		250	9	36	36	0
	90	110	12.5	60	58	+3.5
		170	11.0	51	54	-5.5
		250	9	46.5	46.7	0
17S-O	70	110	30	85	78	+9
		170	26.7	79	74	+7
		250	20	56	59	-5
	80	110	30	96	91	+5.5
		170	26.7	93	87	+7
		250	20	67	69	-3
	90	110	30	115	118	-2.5
		170	26.7	101	112	-10
		250	20	87	88	-1
52S-O	70	110	26	69	63	+9.5
		170	24.7	65	61	+6.5
		250	21.5	62	55.5	+11.5
	80	110	26	79	72	+9.5
		170	24.7	79	71	+10.5
		250	21.5	65	64.5	0
	90	110	26	95	93	+2
		170	24.7	89	93	-4.5
		250	21.5	75	84	-10.5

56S-O	70	110	36.8	96	90	+6.5
		170	35.3	91	87	+4.5
		250	28.8	74	73	+1.5
	80	110	36.8	110	105	+5
		170	35.3	101	102	-1
		250	28.8	85	84	+1
	90	110	36.8	128	136	-6
		170	35.3	122	132	-7.5
		250	28.8	100	108	-7.5
24S-T <sub>4</sub>	70	140	54.5	174	168	+3.5
		170	53	169	164	+3
		250	32	111	101	+10
	80	140	54.5	203	198	+2.5
		170	53	187	192	-2.5
		250	32	134	118.5	+13
	90	140	54.5	220	253	-13
		170	53	209	248	-15.5
		250	32	145	153	-5

### 3・3 温間加工後の硬さ

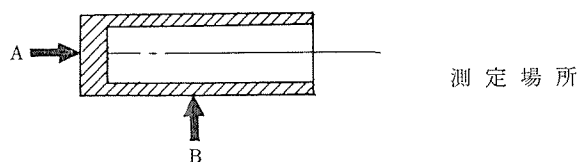
第3表、4表は、動的および静的の温間押し加工後の円筒容器硬さと、一部静的な圧縮試験後の試片硬さを参考に示す。170°Cにおける動的押し加工後の硬さは、静的に比較しまだ十分加工硬化が残っており、それぞれの硬化における最高値をほぼ保っている。しかし、250°Cになると動的でもかなりの軟化現象がみられるが、まだブランク硬さより24Sを除き十分硬化している。24S-T<sub>4</sub>は、同温度での動的加工でブランクよりやや低い硬さを保ったが、静的では半分近い硬さに低下した。

これら加工温度による押し後の硬さと、前述の押し圧力の低下を考えれば、多少材料によって異なるが、温間加工範囲として約170°C~200°Cが適当と考えられる。

第3表 動的押し出し容器の硬さと加工温度

材 料	断面減少率 R%	素 材	ビッカース硬さ Hv(5kg)									
			25°C		80°C		110°C		170°C		250°C	
			A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
2S-O	70	21	49	49	46	45	47	44	40	44	36	33
	80		49	48	47	50	46	47	41	46	35	38
	90		46	48	43	49	44	44	42	32	35	31
17S-O	70	60	115	93	120	94	116	101	106	92	81	69
	80		120	104	116	105	112	110	106	93	79	71
	90		107	97	104	101	98	99	97	74	77	74

24S-T <sub>4</sub>	70	151	207	203	—	—	(140°C)					
	80		—	—	—	—	160	182	165	172	136	134
	90		—	—	—	—	175	170	158	150	145	154
52S-O	70	52	94	94	102	92	95	93	93	87	78	76
	80		100	93	100	98	98	98	93	93	85	80
	90		93	94	95	98	96	98	87	73	77	68
56S-O	70	70	113	118	130	122	123	120	118	113	107	115
	80		120	105	132	130	127	126	119	123	104	118
	90		120	124	127	116	120	107	109	111	100	98

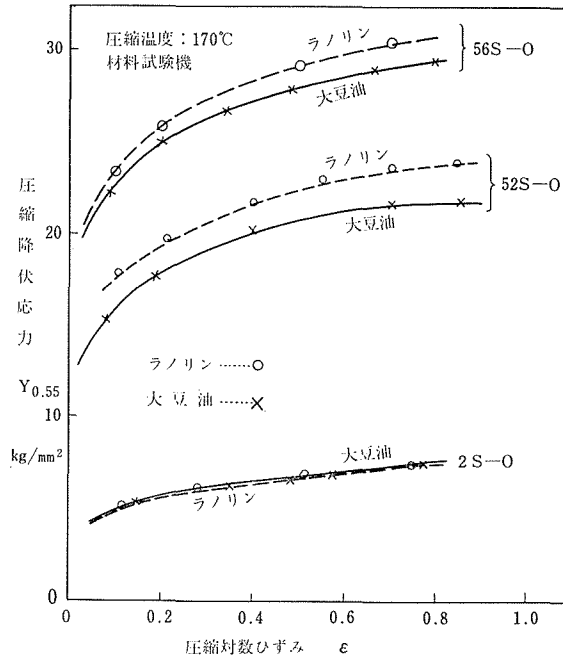


第4表 静的押し容器の硬さと加工温度

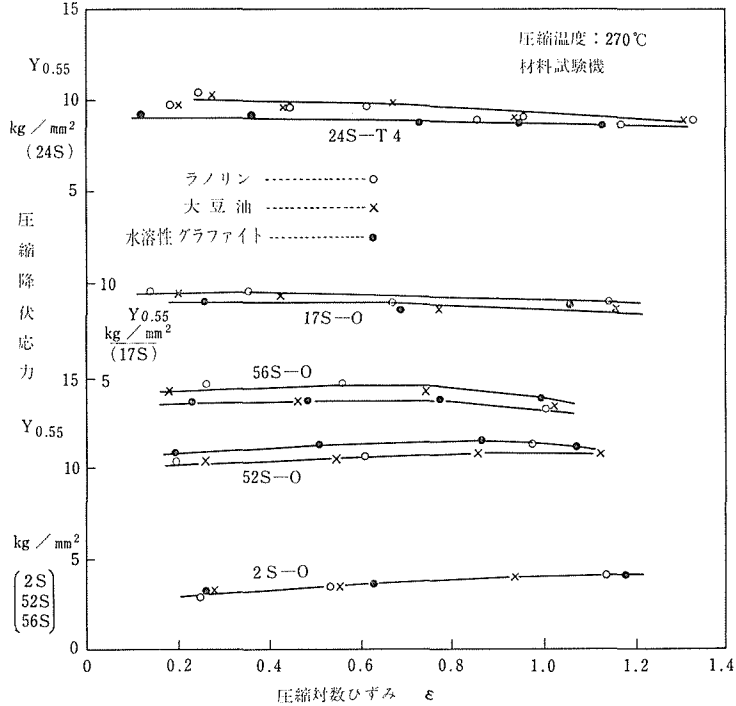
材 料	断面減少率 R%	素 材	ビッカース硬さ Hv(5 kg)									
			25°C				170°C				250°C	
			圧縮後 試験片	押し容器		圧縮後 試験片	押し容器		圧縮後 試験片	押し容器		
				A	B		A	B		A	B	
2S-O	70	21	36	50	48	31	40	39	24	27	30	
	80			49	53		42	40		28	33	
	90			44	47		43	39		29	27	
17S-O	70	60	94	111	106	91	92	97	63	71	73	
	80			102	109		94	111		76	78	
	90			90	110		90	103		76	78	
24S-T <sub>4</sub>	70	151	209 (80°C)	(80°C)		117	143	104	81	89	89	
	80			172	164		153	136		84	84	
52S-O	70	52	83	92	93	74	93	89	68	69	76	
	80			87	96		90	93		71	77	
	90			86	99		88	94		76	78	
56S-O	70	70	119	128	125	99	115	113	85	92	98	
	80			109	125		105	114		91	92	

### 3・4 温間加工での潤滑

本温間加工で用いた潤滑剤は、大豆油、ラノリン、水溶性グラファイトであり、このうちラノリンと大豆油を使用した室温での圧縮降伏応力と押しし圧力には、差がほとんど認められなかった。しかし、170°Cおよび270°Cにおいては、第23図と24図にそれぞれ示すごとく、170°Cにおいてやや大豆油がラノリンより良好で、270°Cになると大豆油がグラ



第23図 温間域での圧縮降伏応力におよぼす潤滑剤の影響(170°C), その1



第24図 温間域での圧縮降伏応力におよぼす潤滑剤の影響(270°C), その2

ファイトが良好のごとく考えられる。

一方、ラノリンとグラファイトを比較した場合、170°Cと250°Cの静的押し試験において、グラファイトの方がラノリンよりやや押し圧力低下を示した。ラノリンは、170°Cの高温空気に少しさらされると、すぐ炭化し始める。このてん、大豆油より温度に対しての劣化は大である。動的試験におけるように試験直前に塗付すれば多少よいが、さもないと油性低下を招くことになる。

このようなことより、温間域での潤滑剤としては、170°C近辺において大豆油が、ラノリン、グラファイトより良い性質を示すようである。しかし、270°Cになるとグラファイトが良好であるが、試片表面に付着して多少黒味をおび、あとの除去が困難となる。

全般に温度が高いときは、油性劣化による表面きずが円筒容器表面につき易くなり、注意を要する。

#### 4. 結 論

Al および Al 合金 (17S-O, 52S-O, 56S-O, 24S-T<sub>4</sub>) の静的および動的圧縮試験と円筒容器の後方押し加工を、110°C~250°Cの温間領域を主体に行なった。

その結果、動的押し圧力の温度による低下割合は、静的圧縮降伏応力より動的圧縮降伏応力の低下とほぼ同じ傾向を示すことがわかった。

温間領域における動的押し圧力の式として、著者ら<sup>8)</sup>が以前提案した静的冷間押し圧力の式を発展し、次の如き式を提案した。すなわち、

$$p_p \max = K \cdot t^{\lambda} (c/D_p)^{-\frac{1}{3}} \cdot (T/D_p)^{\frac{1}{6}} \cdot Y_{\text{dyn. } 0.55}$$

ここで  $p_p \max$  : ポンチ当りの動的最高押し圧力

$c$  : 円筒容器の壁厚

$D_p$  : ポンチ直径

$T$  : ブランク厚さ

$t$  : 加工温度 (110°C~250°C)

$Y_{\text{dyn. } 0.55}$  : 動的圧縮降伏応力の対数ひずみ0.55に相当する値

$K$  &  $\lambda$  : 材料により決まる数 (以下に示す)

材料 K& $\lambda$	2S-O	17S-O	52S-O	56S-O	24S-T <sub>4</sub>
K	0.88	0.75	0.8	1.18	1.3
$\lambda$	0.135	0.135	0.1	0.024	0.05

$$(c/D_p=0.015\sim 0.10, T/D_p=0.2\sim 1.0)$$

この式により計算された最高押し圧力の値と実験値との間には、±10%程度の差がみられたが、押し圧力を推定するには役立つと考えられる。

温間領域における潤滑剤としては大豆油がラノリン、水溶性グラファイトより良好と思われる。

Al および Al 合金の温間押し出しに適した温度は、圧力低下、潤滑効果、加工硬化の程度より170°Cから200°C間が好ましいと考える。

本研究の一部は東京大学宇宙航空研究所にて行ない、東京大学名誉教授福井伸二先生の御懇切なる御指導によりました厚く御礼申し上げます。そのさい御世話になりました河田幸三東大教授ならびに同研究室の諸兄、高田信宏氏（現新日本製鉄中央研究所）、実験に協力された竹内芳男、雑賀隆、大田垣謙の本学卒業生諸君に深く感謝申し上げます。

終りに、本研究につき軽金属奨学会のご援助をうけたことならびに住友軽金属K. K. より試料の提供をうけたことを付記し厚く御礼申し上げます。

### 参 照 文 献

- 1) たとえば P. E. R. A. Report No.130. (1964).
- 2) 福井伸二, 清野次郎, 箕箸俊一: 塑性と加工, 14-25 (1963), 74.
- 3) 福井伸二, 清野次郎, 高田信宏: 第18回塑性加工連合講演会前刷集, 昭和42年11月, 東京, 129.
- 4) 鈴木 弘, 橋瓜 伸他: 東大生産技研報告 (英文), 18-3 (1968), 1.
- 5) 松浦佑次: 鋳研報告, 9-10 (1962), 1.
- 6) 竹内寛司, 小林啓行: 塑性と加工, 5-44 (1964), 590.
- 7) 石井 満: 塑性と加工, 6-56 (1965), 487.
- 8) 福井伸二, 工藤英明, 清野次郎: 東大理工研報告 (英文), 11 (1957), 91.

### Summary

#### Study on Warm-Extrusion of Al and Its Alloys

Jiro SEINO

(Department of Precision Engineering, Faculty of Engineering)

The circular blanks of Al and its alloys, 17S-O, 24S-T<sub>4</sub>, 52S-O and 56S-O, are formed into cylindrical shells by statical backward extrusion under a material testing machine and by dynamical backward extrusion under a mechanical crank press, mainly at the warm working temperatures from 110°C to 250°C. On the other hand, the cylindrical specimens of Al and its alloys are also deformed by the same conditions with that, in which the flow stress-strain relations of metals are obtained.

From the results, the tendency of dynamical extruding pressures under the warm working temperatures are very similar to the dynamical flow-stress under the same conditions.

As a formula for the estimation of the warm extruding pressure by the crank press, an empirical formula developed from the formula proposed previously by the authors<sup>8)</sup> is shown:

$$p_p \text{ max} = K \cdot t^\lambda (c/D_p)^{-\frac{1}{3}} \cdot (T/D_p)^{\frac{1}{6}} \cdot Y_{\text{dyn. } 0.55}$$

where  $p_p \text{ max}$  : the maximum extruding pressure

$c$  : the wall thickness

$D_p$  : the punch diameter

$T$  : the initial slug thickness

$Y_{\text{dyn. } 0.55}$  : the dynamical flow-stress of metal at logarithmic strain of 0.55

$t$  : the extruding temperature (110°C~250°C)

$K\&\lambda$  : a constant determined by the used metal as follows

Metal K&λ	2S-O	17S-O	52S-O	56S-O	24S-T <sub>4</sub>
$K$	0.88	0.75	0.8	1.18	1.3
$\lambda$	0.135	0.135	0.1	0.024	0.05

( $c/D_p=0.015\sim0.10$ ,  $T/D_p=0.2\sim1.0$ )

The maximum values of dynamical extruding pressures obtained by the warm extrusion for Al and Al alloys are compared with those calculated from the above formula. In almost all cases, the deviations of the experimental values from the calculated values are within  $\pm 10$  per cent of the latter.

The soya-bean oil used for the lubricant of the warm extrusion is shown to be of relatively good quality than the colloidal graphite in water or the lanoline oil.

According to the author's experimental results, the temperatures ranging from 170°C to 200°C are most suitable for the warm extrusion of Al and Al alloys, for the extruding pressures of metals at the range of the warm temperatures are less than those of the room temperature, but the strain hardenabilities of metals are not affected.