

簡易金型に適する超塑性Zn-Al系合金の 機械的性質の改良

本橋嘉信*, 菊池弘明**, 柴田孝夫*

(昭和59年9月7日受理)

Improvements of Mechanical Properties of the Superplastic Zn-Al
Eutectoid-Base Alloys adapted for Simplified Metallic Mold.
YOSHINOBU MOTOHASHI, HIROAKI KIKUCHI, and TAKAO SHIBATA

Abstract— The Zn-Al eutectoid-base alloys including different additive amounts of copper and magnesium have been formed into a simple blanking die under appropriate superplastic condition. Blanking tests by making use of these dies were then carried out after their mechanical properties were improved by a heat treatment. The heat treatment is either compulsory air cooling or low temperature-oil quenching from solid solution range at 375°C, both of which produce a very fine lamellar structure. As a result it becomes evident that the heat treatments as well as the slight addition of copper and magnesium to the binary alloy improve considerably dimensional accuracy of products, wear properties of the die, and so forth. These heat treatments are therefore thought to be an effective technique for the advancement of die service life.

1. 緒 言

最近の産業界の指向は多品種少量生産であるが、製造原価に占める金型費の割合の増加がコスト面での隘路になっている。したがって工具の耐久性もさることながら、短時間で安価に製造可能な金型の生産技術達成が待望されている。さて、Zn-Al 共析系合金は微細な等軸粒状組織の場合、低変形速度では顕著な超塑性を示し、極めて加工性が良くかつ強度も低い。他方、高速変形下では超塑性が消失し、室温付近では変形抵抗も大きく増加する強いひずみ速度依存性を示す特徴がある。⁽¹⁾ 鈴木らはこの興味ある材料特性を簡易金型としての打抜型へ応用した。すなわち、打抜型のポンチは通常の方法を用いて製作するが、ダイスにZn-Al超塑性材を適用することにより、従来法と比較して短時間かつ低コストで複雑な形状の打抜型ダイスを極めて高精度に製作できる可能性を

示した。しかし、Zn-Al合金は粒状組織の状態では強度に難点があり、硬質材の打抜ではダイス切刃がつぶれることがある。^{(4),(5)} 鈴木らはダイス表面にペイナイト鋼板を貼付けて型強度の改善を試みたが、⁽⁴⁾ ダイスマタの強度はまだ不十分と思われた。そこで、母材にCuとMgを添加したZn-Al4元系材料を使用し、さらにこの合金の時効硬化性を利用して強化を計ったところ、⁽⁶⁾ ほぼ実用化の段階に到達できたとした。しかし、この4元系超塑性材の時効硬化現象は時効時間に対して極めて不安定であり、⁽⁶⁾ さらに粒状組織のままでは耐クリープ性に難点が⁽⁷⁾ のこる。最近、これら欠点を改善する手段として、固溶体範囲から強制空冷して変態を完了させ、組織を極微細な層状とする熱処理法が有効であることが示された。⁽⁶⁾

そこで、本研究ではCuとMgの添加量の異なる3種類のZn-Al共析系超塑性材を供試材として、簡易打抜型ダイスに成形加工し、それらに2次熱処理を施して組織の層状化を計り、すなわち組織制御を行って機械的性質

* 茨城大学工学部機械工学第二学科（日立市中成沢町）

** 茨城大学大学院工学研究科機械工学第二専攻（日立市中成沢町）

を改善した超塑性材ダイスを作成し、実際、打抜試験を行ってその性能に及ぼすCuとMgの添加の影響及び組織層状化の効果を調べた。

2. 供試材及び実験方法

供試材は三菱金属(株)製のMAK22A, MAK22B及びMAK22CでいずれもZn-Al共析系合金である。その溶解前化学成分を表1に示す。これらの供試材を大気中で溶解し、約530℃に保持後100~150℃に予熱された黒鉛製鑄型中に鑄込んだ。なお、鑄込後の熱収縮により中心部に収縮巣が生じるのを防止するため、鑄型下部を冷却して巣を上部に集中させるようにしている。その後所定の寸法に機械加工後、375℃で数時間均一化処理を行い、次にその状態から氷水中に急冷して溶体化処理も合わせて行った。なお、ダイス上面と鑄込み方向は直角である。また、ダイス性能比較のために用いた金型用亜鉛基合金の組成を表2に示す。

Table 1 Chemical composition of the Zn-Al eutectoid-base alloys.

	Al	Cu	Mg	Zn
MAK22A	22	0.15		bal.
MAK22B	22	0.5	0.02	bal.
MAK22C	22	1.0	0.03	bal.

Table 2 Chemical composition of the zinc-base alloy for metallic mold.

	Al	Cu	Mg	Pb	Cd	Fe	Sn	Zn
ZAS	3.9 ~ 4.3	2.85 ~ 3.35	0.03 ~ 0.06	<0.003	<0.001	<0.02	tr.	bal.

図1にホッピング加工に用いた実験装置の概略を示す。装置の温度分布を一様を保つため治具全体を電気炉中に収め、その温度調節はコンテナに取付られた熱電対と自動温度調節器により行った。また試料の温度を均一にするため実験前所定の温度に約30分間保持してから、油圧式万能試験機(10 ton)で加圧した。用いたホブ(ポンチ)の寸法、形状を図2に示す。材質はいずれも高周波真空焼入れ後焼戻しを行ったSKD11材($H_R \approx 60$)である。なお、Zn-Al系材料は250℃付近で最も顕著な超塑性を示すが、ホッピング加工の場合、高温では塑性域が広がり、すなわち穴縁は陥没して引込みを生じ、⁽⁸⁾ 盛上高さが不足すること、及び温度上昇に要する時間を短縮するため、150℃付近で加圧した。この場合、徐々

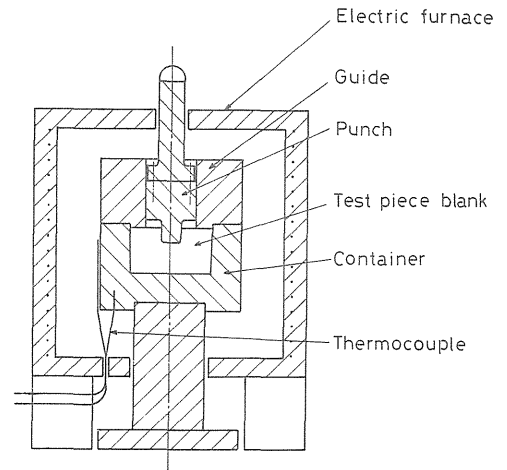


Fig. 1 Schematic diagram of the hot-hobbing apparatus.

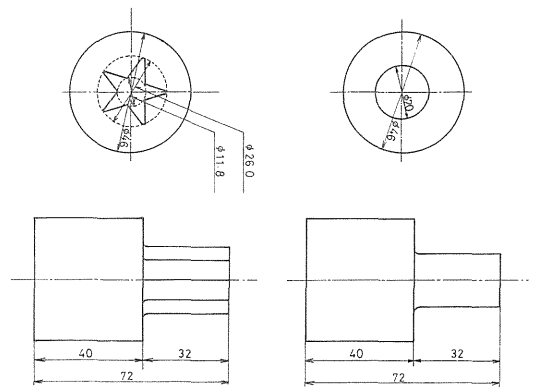


Fig. 2 Dimension and shape of hobb (punch).

に加圧してもホッピングに用いた時間は高々1 min程度であり、また加圧荷重の増加も問題とはならなかった。なお、本系合金の強度及びクリープ特性を改善するには、成形加工後、固溶体範囲からの強制空冷が極めて有効な手段であることが知られている。⁽⁶⁾そこでホッピング加工後、表面切削、治具への取付穴などの加工を行い、次に375℃で1.5 h加熱後、室温の大気を送風機により吹掛けて強制空冷し共析反応を完了させた。またこれとは別にMAK22A材は100℃、同B材は75℃、同C材は40℃のシリコン油中に油焼入れして共析反応を完了させ、層状組織化したダイスも作成した。なお、強制空冷法及び低温油焼入れ法いずれもほぼ同様の微細な層状組織を生じるが、どちらの方法を採用するかは、設備状況、ダ

イス製作工程などで決定される。なお、強制空冷法は室温が 30℃ 以上ではその効果が多少落ちることを注意しておく。図 3 にダイス製作過程を示す。なお、比較のため MAK22A, B 及び C 材について溶体化処理のみを施したダイスも作成した。表 3 にそれぞれの材料の硬さ値を示す。また図 4 に製作した Zn-Al 合金製打抜ダイスと打抜製品の例を示す。このようにして製作した打抜ダイスの性能及び寿命を調べるため打抜試験を行った。シェービング及び打抜には圧力能力 80 ton のプレス(打抜速度約 90mm/sec)を用いた。なお、超塑性材料製ダイスは機械的強度はかならずしも十分ではないが、クリアランスがほぼ零であり、高精度な薄板打抜金型に最も適すると考えられるので、被加工材の板厚は 0.5mm

または 1mm とし、SS50 の冷延軟鋼板を用いた。その機械的性質を表 4 に示す。冷延材であるため表面状態は良好で、それに寄因するデータのバラツキはほとんどないと考えて良い。なお、ダイス穴径 D_d と板厚 t との比 D_d/t は 5 以上であり一般の打抜加工に適している⁽⁹⁾。また、 D_d/t が 10⁽¹⁰⁾ 以上であれば、 D_d/t が 5 以上であり一般の打抜加工に適している。さて各々のダイスについて板厚 1mm 材は 500 回、0.5mm 材は 1000 回まで打抜を行い、特に耐摩耗性に優れると予想される MAK22C 材に油焼入れを行ったダイスは板厚 0.5mm で 5000 回まで打抜を行った。なお、機械油による潤滑は施したが、板押えは用いていない。さらに打抜過程中、一定の打抜枚数について製品の寸法変化及びかえり高さを測定した。またダイス切刃部の摩耗の程度は 1000 回打抜後表面あらさ計により測定した。

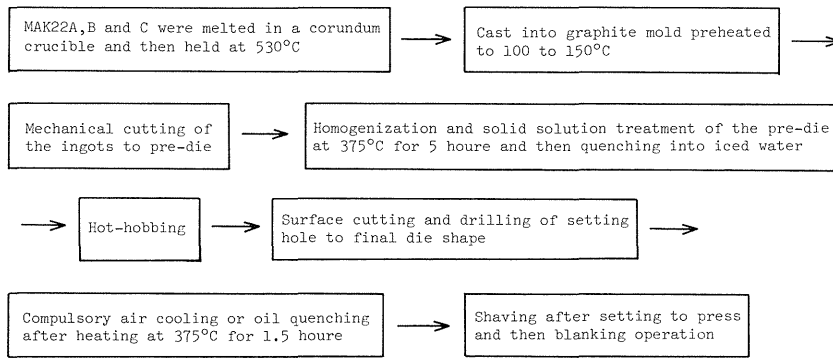


Fig. 3 Block diagram of the forming processes of dies.

Table 3 Vickers hardness at tool edge of die.

		MAK22A	MAK22B	MAK22C
Methods of cooling from solid solution range at 375°C	Compulsory air cooled	130	163	163
	Oil quenched	101	164	168
	Solid solution treated	82	118	115

Table 4 Mechanical properties of a blanked material.

	Tensile strength	Elongation	Vickers hardness
SS50	37.3 kg/mm ²	56.5 %	(Hv) 110

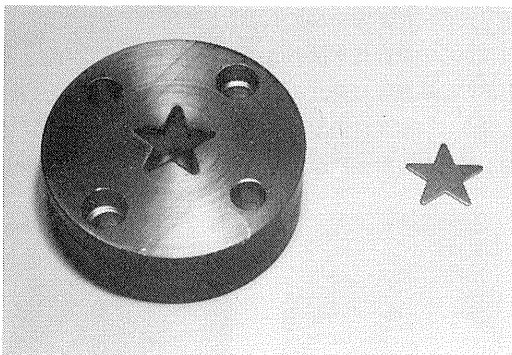


Fig. 4 A photograph of a die made of superplastic Zn-Al eutectoid alloy and a blanked specimen.

3. 実験結果及び考察

ダイス材料の種別並びに熱処理過程の違いによる打抜製品の寸法変化を調べるために、丸形ポンチで板厚 1mm の被加工材を $N=500$ 回まで打抜いた場合の寸法変化量 $\Delta D \{ (\text{打抜製品径}) - (\text{ポンチ径}) \}$ の打抜枚数依存性を図 5 に示す。図中の記号 A 及び B はそれぞれ MAK22A 及び同 C 材を、LS は強制空冷または油焼入れによる層状組織材を、ES はこれらの熱処理を行わない等軸粒状組織材であることを意味する。以後ダイス材料及び組織を同様の記号で表示することにする。図 5 よりいずれのダイスも打抜枚数の増加とともに ΔD は増加する傾向を示す。特に、打抜の初期に急速に増加する。一般

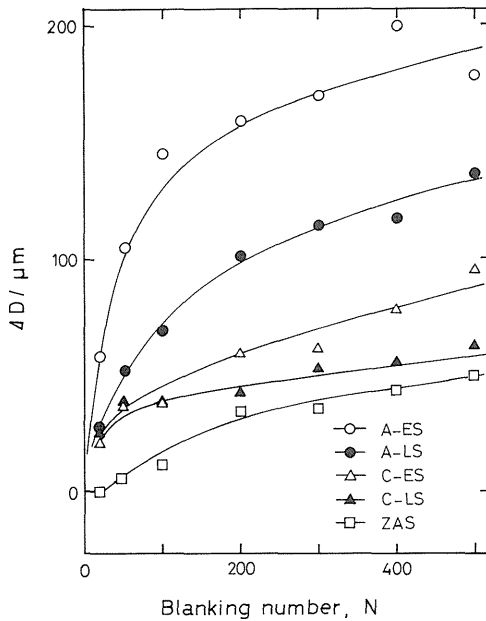


Fig. 5 Variation of the dimensional change of a specimen, ΔD , with blanking number for the five dies indicated.

に打抜製品の寸法は切刃の摩耗と、それに基因する実質クリアランスの増大により変化することが知られている。本研究で製作した超塑性打抜ダイスはクリアランスが極めて微小(～0%)であるので、ダイス穴径より打抜片の径が大きくなり、打抜片がダイスを通して落下する際、切り口面がダイス側面に圧せられるので、打抜初めに激しい摩耗が起こるのが ΔD 増加の主因と思われる。また ΔD の大きさ及び変化量はA材よりもC材、ESよりもLSの方が小さく、CuとMg添加及び層状組織化の効果が表われている。ところで、製品寸法変化はダイス穴径変化と対応する。すなわち ΔD はダイス切刃の摩耗、特に側面の摩耗と対応すると考えられる。このことからC-LSが最も耐摩耗性に優れているといえるようである。

図6にダイス上面の摩耗形状を示す。大部分のダイスは斜め摩耗を示しており、一部、B-LSとC-LSがくぼみ斜め摩耗に近い。またダイス刃先の鈍化が大きなものほど刃先からの摩耗長さは小さくなっている。さらにダイス上面及び側面の摩耗状況の観察によると、ダイス上面の摩耗は、滑らかな面をしており、ダイス側面はポンチ軸方向に多くの筋がみられる。このことからダイス上面の摩耗は被加工材とのすべりによって起こる、いわゆる凝着摩耗であり側面の摩耗は鋭い打抜片側面によ

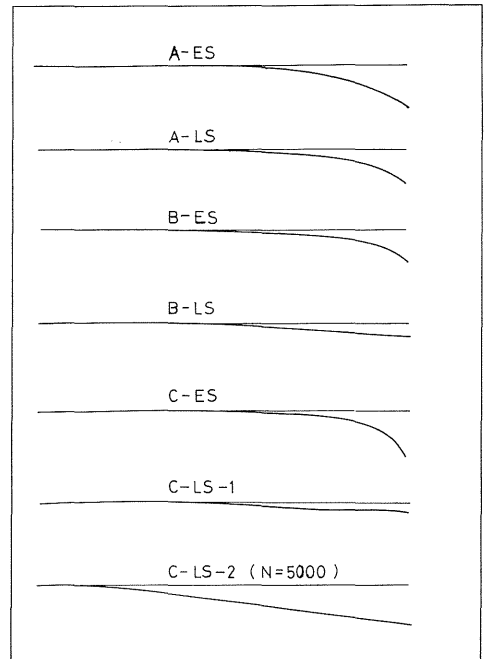


Fig. 6 Wear contours on the top face of die.

る削取りが主因と思われる。図7は500回打抜後のA-LS及びC-LS材のダイス切刃部の写真である。ダイス穴側面の摩耗状況とA-LS材では切刃部近傍に既につぶれが生じていることを注意されたい。さて、耐摩耗性に劣るダイスほどダイス側面が打抜片側面によって削取られ易い。この摩耗による実質クリアランスの増大は被加工材に働く曲げモーメントを増大させ、本研究のように板押えを用いていない場合は被加工材とダイスの接触が刃先付近に集中する。このため耐摩耗性が低くダイス刃先の鈍化が大きなダイスほど摩耗が刃先に集中し、刃先からの摩耗長さが小さくなるものと考えられる。切刃部の耐摩耗性に優れたダイスの場合(C-LS, B-LS)は、ダイス側面の摩耗が少ないため、ダイスと被加工材との接触面積が大きいので、ダイス上面の摩耗域

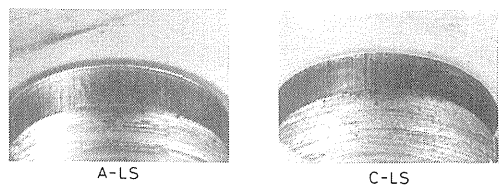


Fig. 7 Features of the tool edge of dies after blanking of 500 shots.

が広がったものと考えられる。なお、C-L Sは $N = 1000$ 回ではくぼみ斜め摩耗に近い摩耗形状を示しているが、さらに打抜数を増した $N = 5000$ 回では斜め摩耗形状になる。これは前述のようにダイス側面の摩耗により、実質クリアランスが増大し、切刃にかかる応力の大きさと分布が変化したためと思われる。

図8はダイスの硬さと耐摩耗性の関係を調べるために、星形ポンチで板厚0.5 mmの軟鋼板を $N = 1000$ 回まで打抜いたときの、それぞれのダイス刃先のだれの大きさと刃部のピッカース硬さの関係を示したものである。硬さの大きいダイスほどだれは小さく、また油焼入れによる強化により耐摩耗性が大幅に向上していることがわかる。ところで一般の工具では切刃の欠損という現象が起こるため、硬さだけを大きくしても型寿命は大きくならず、じん性と硬さを適正に選ぶ必要がある。本研究では板厚2 mmの軟鋼板の打抜も行って見たが、強制空冷や油焼入れなどの熱処理を行って硬さを上げたダイスでは切刃の欠損は見られず薄板打抜には十分なじん性を持つと思われる。

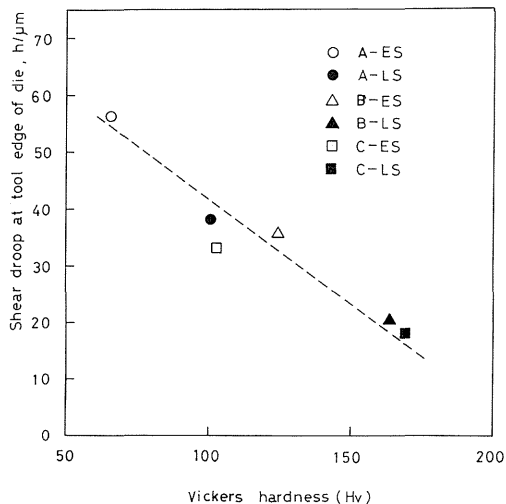


Fig. 8 Relationship between shear droop at tool edge of die and vickers hardness.

つぎに、板厚0.5 mmの軟鋼板を星形ポンチで $N = 1000$ 回まで打抜を行った場合の打抜数に対する製品のわん曲深さを調べた結果を図9に示す。これによるといずれも打抜初期に大きなわん曲を示すが、C-L S材を除いては打抜数の増加とともに急激に減少し、その後は極く小さな値に落ち着く。一方、C-L S材は最初緩慢な

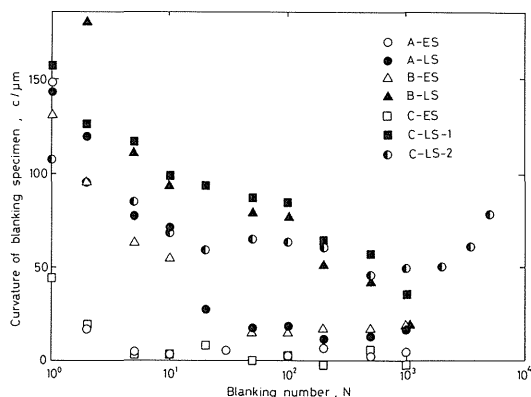


Fig. 9 Relationship between curvature of blanked specimen and blanking number for the seven dies indicated.

減少を示すが、打抜数が2000回以上になると逆に徐々に増加するようになる。一般に、わん曲はクリアランスが増加するほど大きくなると言われているが⁽¹²⁾、本研究のダイスのようにクリアランスが極めて微小な場合には、打抜製品の寸法がダイス穴寸法より大きくなりダイス穴を通る際に大きなわん曲を生じ易いことが打抜初期にわん曲が大きくなる原因と考えられる。その後打抜数の増加とともにダイス側面の摩耗により好適なクリアランスが生じ、わん曲が減少するものと思われる。また耐摩耗性の低いダイスほどわん曲は直ちに減少するが、C-L Sはダイス摩耗量が少ないため緩慢なわん曲の減少が生じたものと思われる。 $N > 2000$ におけるわん曲の再上昇は、実質クリアランスの増加によるものである。

図10に星形ポンチにより板厚0.5 mmの軟鋼板を $N = 1000$ 回まで打抜いた場合の打抜製品のかえり高さの変化を示した。かえり高さは約20~30 μm程度で、いずれも打抜数の増加による変化は僅小で、打抜数の増加とともに徐々に増加すると考えられるダイス刃先の摩耗とは対応がないようである。しかしダイス刃先の摩耗が大きなダイスほど全体的にかえり高さは大きい傾向がある。実際は製品の良否及びダイスの寿命はかえり高さで判断されるのが一般的である。⁽¹³⁾本研究で製作した超塑性ダイスはクリアランスが極めて小さく、そのためダイス刃先の摩耗が激しいという問題があるが、それが製品のかえり高さとほとんど対応しないことは興味ある特徴で、実用的観点からは好ましいといえる。しかし前述のように耐摩耗性の大きいダイスほどわん曲深さが大きくなる傾向があるので、ポンチ下に逆押えを用いるなどの対応

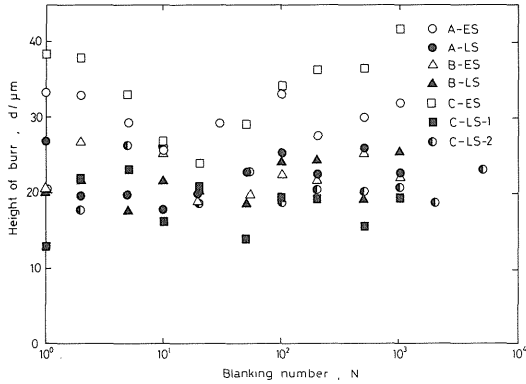


Fig. 10 Relationship between hight of burr and blanking number for the seven dies indicated.

が必要であろう。とにかく、C-LS材は実験した範囲内では最もかえり高さが小さく、簡易金型用ダイス材料として優れた性能をもつと結論できるようである。

つぎに図 11 に丸形ポンチで板厚 1 mm の軟鋼板を $N = 500$ 回まで打抜いた場合の打抜き製品のせん断面長さと打抜き数との関係を示した。せん断面積は一般に打抜き数の増加とともに徐々に減少するが、同一打抜き数時点でのせん断面の割合は耐摩耗性に優れるダイスほど大きい傾向がある。さて、打抜き片の切口形状を光学顕微鏡で観察した結果を図 12 に示す。打抜き初期にはどのダイスによ

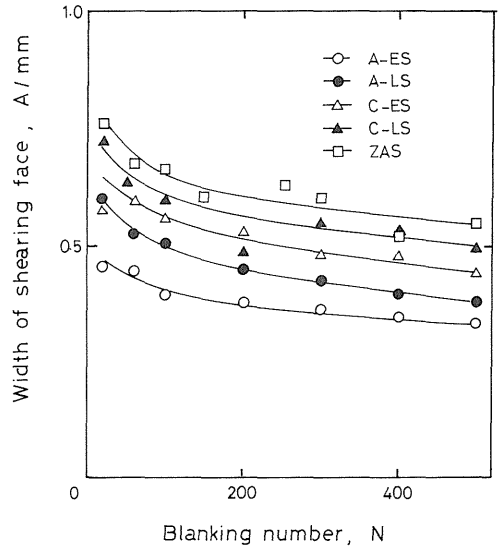
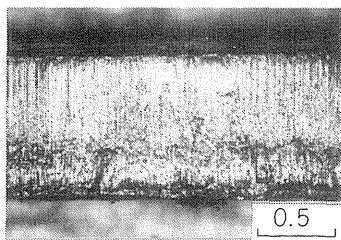
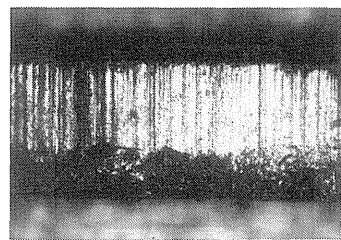


Fig. 11 Relationship between width of shearing surface and blanking number for the five dies indicated.

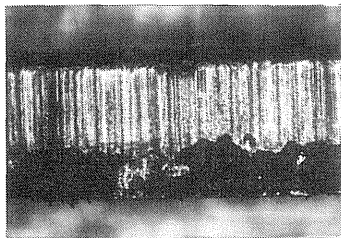
る打抜き片も切断面の大部分をせん断面が占有していること、打抜き数が増加すると破断面部にタンゲ状の2次せん断が見られるようになること、その後は打抜き数とともに徐々にせん断面が狭くなる傾向が認められることなどの特徴が明瞭に表われている。



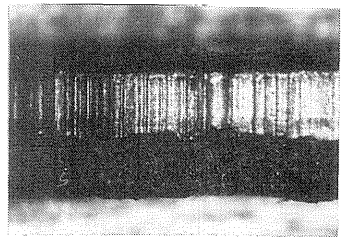
N=1



N=10



N=100



N=500

(a) C-ES

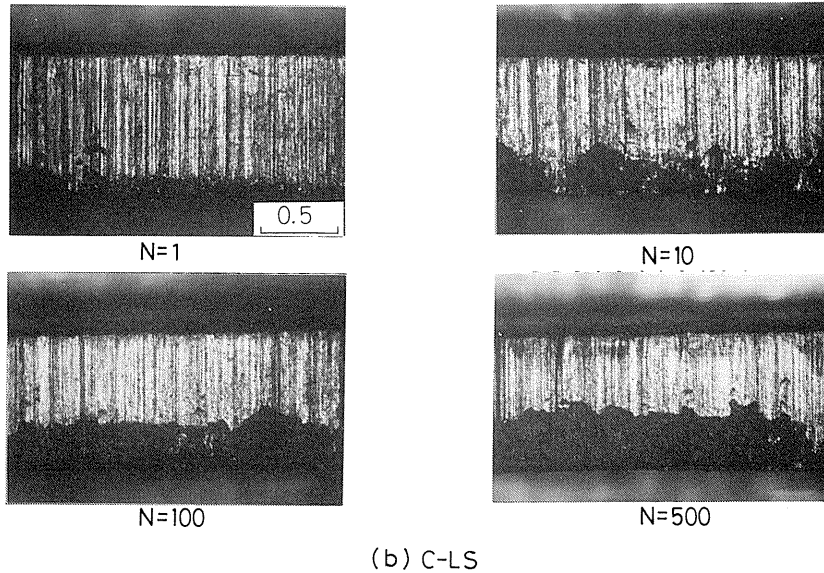


Fig. 12 Microphotographs of side surface of blanked specimen.

以上より, 実験室的研究ではあるがZn-Al共析合金にCuとMgを微量添加し, さらに強制空冷または低温油焼入を行って強化した材料は, このような処理を施さない場合と比較して簡易打抜型ダイス材としての性能が極めて良好であることが分かった。なお, 超塑性ダイスはポンチ(SKD-11材)と比較して耐摩耗性が低く, 打抜数の増加とともに切刃部は摩耗して丸くなってくるが, これは結果として打抜に対して寸法精度を高めるせん断法⁽¹³⁾の一種である仕上げ抜きに近くなる訳で, 超塑性材打抜型はクリアランスが極めて小さくとれることと合せて考えると寸法精度の高い打抜型(外形打抜型)及びその打抜製品の簡易な製作に適していると思われる。

最後に, 今後の課題としてはダイス表面に表面処理等を施して耐摩耗性をさらに向上させる技術を確認することが挙げられる。

4. 結 言

2次熱処理による組織制御をZn-Al合金製超塑性打抜型に施して材質の強化を計り, 実際に打抜試験を行ったところ次の結果が得られた。

(1) 強制空冷または低温油焼入れを行って組織の層状化を計ったところ, 耐摩耗性及び製品の寸法精度いずれも改善され層状化処理はダイス性能向上に極めて有効

であることが分かった。

(2) 打抜製品のわん曲深さは打抜数の増加とともに急激に減少する。また, 製品寸法変化とわん曲はダイスの摩耗と密接に関連する。一方, かえり高さ⁽¹⁴⁾とダイス摩耗との相関はほとんど認められないが, 耐摩耗性が大きいほど一般にかえり高さは小さい傾向がある。

(3) 耐摩耗性の向上により製品寸法変化及びかえり高さは減少するが, わん曲深さは逆に増加する傾向を示した。

(4) Zn-Al-Cu-Mg 4元系超塑性合金を簡易打抜型ダイスに作成後, 層状化熱処理を施すことによってダイス性能をかなり向上させ得ることが分かった。

おわりに, 小松OBS80tonプレスの使用をご快諾下さった石崎工業(株)取締役社長石崎三郎平氏に, 表面あらさ計の使用に際し有益なご助言を頂いた本学の川船和儀教授及び大島郁也氏に, 深く感謝の意を表わします。なお, 本研究の一部は日立粉末冶金(株)からの研究助成金(委任経理金)によって行われたものであることを付記し, 感謝の意を表わします。

参 考 文 献

(1) 例えば, 超塑性研究会編, 超塑性と金属加工技術, 日刊工業, (1980), 4.

- (2) 鈴木, 中川, 大川, 藤井: 塑性加工春季講演会講演論文集, (1976-5), 313.
- (3) 鈴木, 中川, 大川: 塑性加工連合講演会講演論文集, (1976-11), 187.
- (4) 鈴木, 中川, 大川: 生産研究, 30-6 (1978), 237.
- (5) 鈴木, 中川, 大川: 生産研究, 30-7 (1978), 282.
- (6) 本橋, 柴田, 菊池: 熱処理に投稿中
- (7) 本橋, 柴田: 日本機械学会論文集 A編, 50-452 (1984), 669.
- (8) 上野, 宮川, 篠原, 諸星: 塑性と加工, 16-177 (1975), 916.
- (9) 前田, 青木: 塑性と加工, 15-163 (1974), 652.
- (10) 前田, 田村: 日本機械学会誌, 62-489 (1959), 1415.
- (11) 前田: 塑性と加工, 2-10 (1961), 619.
- (12) 前田, 松野: 日本機械学会誌, 69-568 (1960), 609.
- (13) 宮川: プレス加工辞典, 日刊工業, (1970), 56,