

## 討33 超塑性研究開発の動向

長岡技術科学大学○宮川松男  
小林勝

### 1. ま え が き

超塑性という言葉が一般に定着してから十数年になる。微細結晶粒超塑性合金については、開発初期における二相の共析合金および共晶合金から、各種の金属・合金に範囲が拡大されつつあり、また、変態超塑性については、同素変態に関連する動的超塑性現象の成形および接合などへの応用、変態誘起塑性の成形への応用など、実験室段階で芽のぞいた研究結果がみられるようになってきている。

かつて、十数年近く前に未来予測の行われたことがある。このなかで、「金属加工技術のうち、約25%が1980年代に超塑性現象を利用したものになるだろう」といわれていたが、1980年代に入ってから超塑性の研究開発動向は、どうなっているのだろうか。1970年以降の推移をみると、超塑性関係の解説記事は、1977年をピークに一服しており、一方、研究論文および特許の件数は、最近に至るまで着実に増加の傾向にある。超塑性の発現機構、結晶粒微細化方法、既存合金の超塑性合金化、新しい超塑性合金の開発、各種の塑性加工および接合など金属加工技術の開発、超塑性の特性を生かした新しい加工品の開発など、研究開発は多角的な面で成果を挙げつつあるといえる。これら国内の研究開発動向の詳細については、超塑性研究会がまとめた以下の出版物が参考になろう。

- 1) 超塑性研究会編：超塑性と金属加工技術（1980），日刊工業新聞社
- 2) 超塑性研究会編：超塑性の利用開発に関する研究・調査 I（1981）
- 3) 同                  ：                  同  II（1982）
- 4) 同                  ：                  同  III（1983）
- 5) 同                  ：                  同  IV（1984）
- 6) 同                  ：                  同  V（1985）

国際会議関係では、以下に示す会議で超塑性関係の発表が多くみられた。

- 1) Fourth International Conference on Titanium（1980），Kyoto.
- 2) International Conference on Superplastic Forming of Structural Alloys（1982），San Diego.
- 3) First International Conference on Technology of Plasticity（1984），Tokyo.
- 4) Superplasticity Conference（1985），Grenoble.
- 5) Japan-Chino Joint Symposium of Superplasticity（1985），Beijin.

近年における超塑性研究開発を加速した大きな要因は、1981年10月から開始された通商産業省工業技術院の次世代産業基盤技術開発制度に負うところが大きい。この開発プロジェクトでは、新材料開発の一環として、耐熱Ni基超塑性合金および軽量強靱Ti超塑性合金が取りあげられ、合金設計および加工技術について、約4年にわたって産官協同の研究開発が行われており、大学・学会からの基礎研究分野の支援も実施されている。

### 2. 超塑性合金の開発

微細結晶粒超塑性合金は、結晶粒の微細化技術が進展するのに応じて、その範囲を拡大している。開発初期にみられた共析合金および共晶合金に対する微細二相等軸晶の生成のほか、強加工一析出一再結晶の組合せ（Al系Supral, Al-9Zn-1Mg合金, Ti-6Al-4Vなど）、合金の特性に適應した加工熱処理（超高炭素過共析鋼に対するSherby法, 中炭素鋼に対するGrange法, 合金鋼に対するGibsonらのmicroduplex

法およびBrownらのminigrain法, 急冷微細粉末の焼結体加工熱処理又はHIP処理による方法など), スピノーダル分解による方法など, 多岐にわたる結晶粒微細化技術は, 多年の使用実績をもち, 供給も安定し, 経済性にも優れた既存合金に超塑性を付与するのみでなく, 新しい超塑性合金の開発にも大きく寄与している。

最近数年間に発表された超塑性合金の主なものを微細化方法と併せてTable 1に示してある。

Table 1. Examples of superplastic materials developed in Japan.

Alloy type	Composition (wt %)	Manufacturing process
HSLA	Fe-0.15C-0.19Si-1.16Mn-0.014Al-0.014Nb-0.019P-0.006S	Sol. treat. (1250°C, 1h), I. B. Q. Cold roll. (80%), 865°C, I. B. Q.
$\delta/\gamma$ duplex stainless steel	Fe-0.017C-0.48Si-0.85Mn-6.82Ni-24.66Cr-2.79Mo-0.46Cu-0.28W-0.025P-0.001S-0.143N	Hot roll., W. Q. Cold roll. (50%)
Fe-Cu (P/M)	Fe-30~70Cu (-1~2Ti)	Gas atomis., Press., Sinter., Hot forg., Recrystal.
Fe-P-Ni	Fe-0.15C-0.01Si-0.15V-1.1P-1.5Ni	Hot roll., Recrystal.
High speed tool steel (P/M)	Fe-1.25~<0.35Si-<0.28Mn-<0.07Cu-4Cr-5Mo-6W-3V-8Co-<0.02P-<0.01S	Hot roll. (78%), Sol. treat. (1240°C, 3h), Hot roll. (78%), Recrystal. (1240°C, 5min)
Mod. IN 100 (P/M)	Ni-0.063C-12.43Cr-3.4Mo-18.36Co-4.27Ti-4.84Al-0.053Zr-0.023B-0.03W-0.088Fe-0.65V-<0.05Si-<0.008Mn-<0.005P-<0.003S-<0.002Cu	He gas atomis., HIP (~1100°C, 1700 kgf/cm <sup>2</sup> , 1h), Hot roll. (850-950°C, 70%), Recrystal. (<1150°C)
A 7475	Al-2.37Mg-5.58Zn-1.57Cu-0.04Si-0.04Fe-0.2Cr-0.05Ti	Hot roll., Overaging, Slow cool., Cold roll. ( $\geq 70\%$ ), Recrystal. (rapid heat. and quench.)
Al-Mg-Cu-Mn-Cr (NEOPRAL)	Al-5Mg-0.6Cu-0.7Mn-0.15Cr	Hot roll., Cold roll., Recrystal.

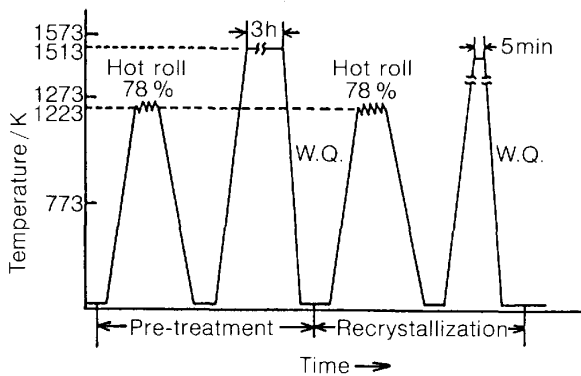


Fig. 1. Schematic of the thermomechanical sequence used for grain refinement of High Speed Tool Steel.

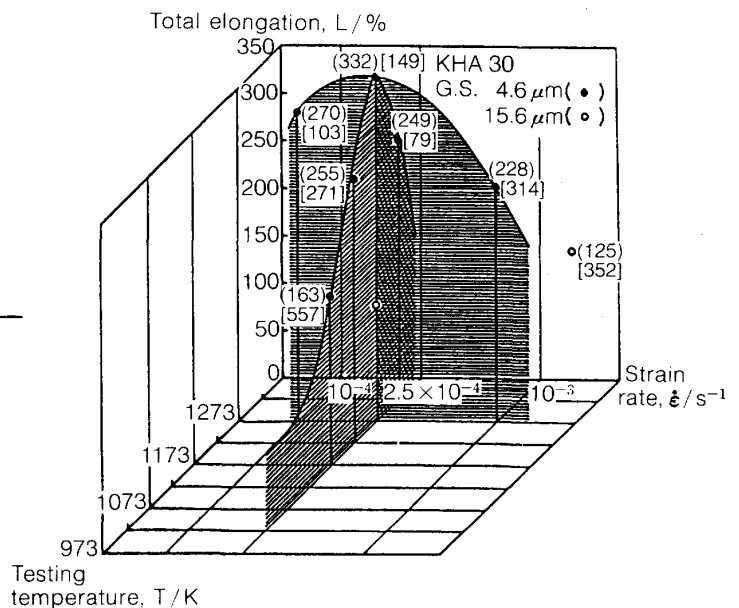


Fig. 2. Effect of testing temperature and strain rate on the total elongation in High Speed Tool Steel. Numbers in ( ) and [ ] show the total elongation and flow stress.

### 3. 超塑性合金加工品の強剛方策

比較的高い温度域において、しかも低ひずみ速度のもとで超塑性の発現する合金では、超塑性温度域から離れた室温付近で使用する場合にあまり支障を生ずることはない。しかし、加工品の使用状態において、その静強度、クリープ強度、剛性などが十分期待できないこともある。こうした場合には、加工品の設計目的に応じて、次のいずれかの対策がとられている。

- 1) 微量の添加元素によって強度向上を図る。(例えば、Zn-22Al合金に対するCu, Mgの添加)
- 2) 加工後の熱処理、時効などによって加工品の結晶粒を成長させ、使用時に超塑性を生じさせないようにする。(例えば、26Cr-6Niステンレス鋼では、引張強さ76kgf/mm<sup>2</sup>, 耐力57kgf/mm<sup>2</sup>, 疲れ強さ44kgf/mm<sup>2</sup>程度にまで、焼なましによる結晶粒成長の向上効果が認められている)
- 3) 超塑性温度域での加工後、更に温間又は冷間加工を施し、層状組織化、結晶粒成長などを行うほか、表面性状および形状・寸法精度を高める。
- 4) 他の高強度・剛性材料と組合せて複合材料、複合成形品とする。(例えば、Zn-22Al合金と構造用鋼とを数層に重ね圧延圧着した制振鋼板)

超塑性合金設計において、加熱中および加工中の結晶粒成長を抑制するため、第2相の量、分布および強度などが注目されているが、加工対象製品によっては、加工過程における適度の粒成長が好ましい場合もある。このための加工プロセスシミュレーションも試みられている。

### 4. 超塑性を利用した加工技術および加工品

低い変形抵抗のもとで異常なほどの大きな変形の可能なことが超塑性の際立った特徴であるが、超塑性の発現する温度およびひずみ速度が比較的狭い範囲に限られているため、成形に当って、これらの制御を高度なものとする必要がある。超塑性合金の最適加工プロセス設定のためには、まず、それぞれの合金について力学物性を明確にしておかねばならない。

このほか、超塑性の発現する状態では、 $m$ 値が大きいため、振動吸収能が高く、エントロピー弾性による熱弾性回復現象もみられる。また、結晶粒界の容積比が高いことから、固相接合能も優れ、更に、耐食性、耐照射性、軟磁性、低熱伝導性なども付随した機能として備えている。

これらの諸機能のうち、加工技術として適用されている主なものは、低い変形抵抗、高い変形能および固相接合能である。しかし、超塑性合金加工品に期待される性質・性能・機能としては、上述の機能の単独又は組合せのみでなく、他の構造材料・機能材料と超塑性合金との組合せも考えられるため、利用開発の道は極めて広範にわたるものとなろう。

#### (1) 高変形能と低変形抵抗を利用した加工技術および加工品の例

恒温鍛造：超塑性発現温度域に型および材料を保持し、ほぼ恒温状態でnear-net-shapeへの鍛造を行うもの。加工過程に生ずる空隙、欠陥などの検査のため、超音波探傷がしやすいsonic shapeとする方法がP.&W.社ではとられており、次世代プロジェクトで実験中である。

流体圧成形：金属風船で代表されるような面内等2軸応力状態のもとで成形を行うもので、プラスチックシート of 成形とほぼ類似の成形法として、成形後の肉厚管理のため、いろいろな手法が開発されている。

加熱—冷却深絞り法：フランジ部を超塑性が生ずる温度に加熱し、成形を終った深絞り部分を冷却して超塑性の発現を抑え、1工程で極めて高い絞り比を得る方法で、宮川・西村らによる特許および装置開発がある。

可動ダイスによる組合せ押し法：河合・広橋らによる研究で、前・後方および横方向の組合せ押

出しによって、フィン付管など複雑な形状品が加工できる。

ダイレス引抜き法：超塑性合金を対象に開発されたが、現状では一般金属材料への適用例が多い。

加工対象品としては、ロストワックス用、プラスチック成形用および金属薄板の打抜きおよび成形用金型、印刷用凸版、放電加工用電極、刻印付板材(時計用文字板ほか)、ブラウン管ケース、X線管容器、スピーカーきょう体、電鋳用母型、時計用ケース、ディフューザーなどが特許にみられ、また電子機器用カバー類にノイズ対策としてプラスチックに代って多用されつつある。

(2) 固相接合能を利用した加工技術および加工品の例

複合材料の製造：構造用の鋼、アルミニウムなどと超塑性合金と圧延その他の塑性加工手段によって複合材料の製造に利用され、FRMのマトリックス材料としての研究も試みられ、特に、金属とセラミックスとの接合には、セラミックスの残留応力による割れに対して超塑性合金の応力緩和が併せて有効と考えられている。表面被覆にも利用できる。

複合成形品の製造：加工プロセスにおいて他の金属部品との接合一組立ができる。

S P F / D B：航空機用部品の製造に利用され、工数・コストの低減に寄与している。

(3) 振動吸収能を利用した加工技術および加工品の例

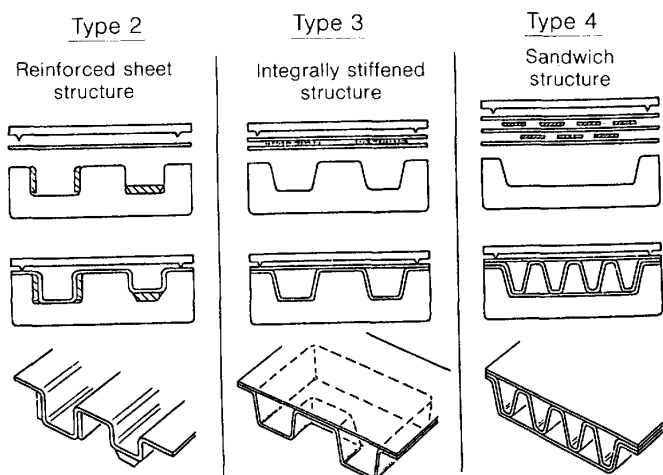


Fig. 3. Generic SPF/DB structures.

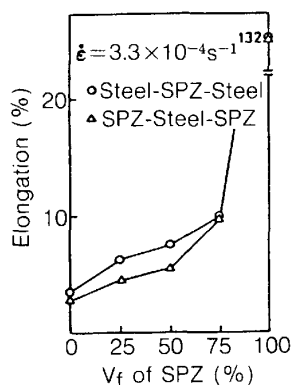


Fig. 4. The elongation of the three layered steel/SPZ composites varies with the structure.

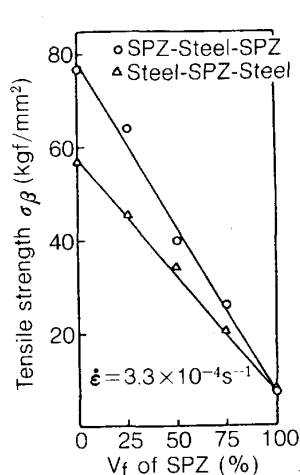


Fig. 5. The tensile strength of the three layered steel/SPZ composites varies with the structure.

制振材料・制振用成形品：構造材料との複合化によって、強度・剛性・制振能・二次成形能を兼ね備えたものができる。また、配管系の制振用支持部材、工作機械刃物台又は刃物支持棒に適用したひびり振動制御用部材など、多目的に利用されつつある。

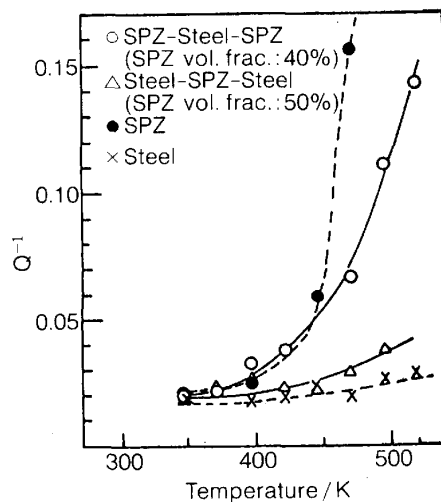


Fig. 6. Variation of damping capacity with temperature for the three layered steel/SPZ composites having granular texture of SPZ in comparison with steel and SPZ.