超 塑 性

——応用面を中心に、その後の研究開発について——

宮 川 松 男* 小 林 勝**

1. は じ め に

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2相の共晶合金および共析合金から各種の金属合金に範囲が拡大されており、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と接合への応用、マルテンサイト変態における変態誘起超塑性の板成形への応用など、実験室段階で芽のぞいた研究がみられるようになってきている。

十数年前に加工技術についての未来予測が行われたことがある。このなかで、「金属加工技術の約25%が1980年代に超塑性現象を利用したものになろう。」といわれていたが、その後、1980年代に入って超塑性の利用開発状況はどうであろうか。

また、1980年代に至るまでの超塑性に関する基礎的研究成果とその各種金属加工への応用については、文献⁽¹⁾に詳しくまとめられているので、ここでは、それ以後の研究開発動向に重点をおくようにしたい^{(2)~(8)}。

2. 研究開発の進展状況とその背景

逐年に研究開発の動向をまとめた文献^{(2)~(4)}をみると、超塑性関係の論文、特許および解説記事の1975年以降の推移は、図1~3に示すようになっている。

1974年までの論文は累計43件、解説記事は20件であり、また、1984年のそれらは、それぞれ60件および25件である。これらの調査範囲は限られたものであるが、内外の動きをみるうえで参考になろう。特に、研究成果を示す論文数は、着実に増える傾向がみられ、また、開発に係る特許も件数のみからはわかりにくい、基本的

な材料関係から加工および製品関係の利用技術分野に広がりをみせている⁽⁹⁾。

図1 超塑性関係研究論文の推移。

図2 超塑性関係国内特許件数の推移。

図3 超塑性関係解説記事の推移。

我が国における超塑性関係の研究開発は、1981年10月に発足した通商産業省工業技術院の次世代産業基盤技術開発プロジェクトによって著しく加速されたといつてよいであろう。ここでは、Ni基耐熱超合金および軽量強靱Ti合金について、超塑性を利用した恒温鍛造のほか、急冷微細結晶粉末のHIPおよびCIP処理後の加工など、超塑性合金の合金設計および加工技術の研究開発が、既に3年余にわたって産官共同で行われ、恒温鍛造における均熱条件、鍛造過程における材料流動とそれに基づく被加工材料内温度の分布および変動に関するソフトウェアシミュレーションなど基礎的研究面からの支援も一部の大学および学会で実施されている。また、このプロジェクトの一部として、アモルファス材料製造用の超急冷ロールを活用した微細結晶粒合金薄膜の試作も行われ、その力学的挙動の解明とともに固相接合への応用も試みられている(図4参照)。

* 長岡技術科学大学副学長

** 長岡技術科学大学教授

Recent Research and Development of Superplasticity;
Matsuo Miyagawa, Masaru Kobayashi (Technological
Univ. of Nagaoka, Nagaoka)

Keywords: superplasticity, forming, forging, joining damp-
ing performance, superplastic materials, grain refinement
1985年8月8日受理

図 4 次世代産業基盤技術開発プロジェクトにおける Ni および Ti 超塑性合金とそれらの加工技術の研究開発(工業技術院)。

表 1 超塑性 Al および Ti 合金の航空宇宙用機器への使用予測(日本航空宇宙工業会の調査(1984-5)による)。

使 用 部 位 A	部 品 名 B	部品使用量の割合 (%) C=B/A	部品中の超塑性合金使用量の割合 (%)
超塑性 Al 合金			
大型航空機胴体	フ レ ー ム	8	95
〃	扉	13	85
小型航空機胴体	レ ー ム	5	100
〃	耐 圧 壁	8	100
〃	窓 枠 外 板	2	100
高速航空機胴体	レ ー ム	6	40
〃	隔 リ 壁	1	15
大型航空機翼構造	メ イ ン リ ブ	4	80
小型航空機翼構造	排 気 管	3	100
航空機用装備品	抽 気 ・ 防 氷 系 統	5	100
〃	主 操 舵 翼 体	20	100
固体燃料ロケット一般構造	機 器 取 付 パ ネ ル	19	100
〃	高 負 荷 フ レ ー ム	8	100
固体燃料ロケットモーターケース	ス ラ ス ト ビ ー ム	98	100
液体燃料ロケット上段タンク		85	80
液体燃料ロケット一般構造		5	50
〃		10	90
〃		10	90
超塑性 Ti 合金			
高速航空機胴体	フ レ ー ム	6	40
〃	エ ン ジ ン ナ セ ル	2	80
航空機用エンジンファン	デ ィ ス ク	24	100
航空機用エンジンコンプレッサー	デ ィ ス ク	37	100
〃	遠 心 圧 縮 機	28	100
液体燃料ロケット推進・電気機装等(下段)	気 蓄 器	1	100
液体燃料ロケット推進・電気機装等(上段)	気 蓄 器	20	100

このプロジェクトの開始に触発されてか、材料関係の学協会における超塑性関係の研究発表が相次ぎ、論文数の増大していることは、図 1 に示したとおりである。

ほぼ時を同じくして、国外における研究成果が国際会

議論文集および書籍として、まとまった形で刊行されている⁽¹⁰⁾⁻⁽¹³⁾。また、1980年5月に京都で開催された第4回チタン国際会議、1984年9月に東京で開催された第1回塑性加工国際会議などでも超塑性に関する研究発表

がみられる。1985 年秋には、フランス Grenoble における超塑性国際会議、および北京における日中超塑性シンポジウムも開催された。

こうした超塑性研究の高まりのなかで、加工技術および新製品の開発も急速な立上りをみせていることは、先に述べたとおりである⁽⁹⁾。

また、超塑性合金の研究開発に大きな期待を寄せている航空宇宙工業界では、航空宇宙用機器への超塑性合金の使用予測をまとめている⁽¹⁴⁾。この報告書の中から Al 系および Ti 系超塑性合金の使用部品とその使用量を抜き書きしてみると、表 1 のようになる。

対象部品によって要求仕様は、それぞれ異なるが、超塑性合金を使用することによって期待される設計および製造面からの事項は、およそ次のようである。

すなわち、(1)現状のプレス成形では、加工不可能な複雑形状部品は、多数の部品を結合し、組立てているが、超塑性成形と固相接合とを組み合わせた SPF/DB 法によって一体化が容易となること(図 5 参照)、(2)大形複雑部品の near-net shape 加工が容易であること、(3)以上の加工方法転換によって、部品点数(アメリカの例では 75 部品から 4 部品に低減した例がある。)および機械加工部分を低減でき、生産原価を下げ(アメリカでの Ti 合金成形例では、50~30% 低減している。)、また、重量軽減(Ti 合金成形例では、30~20% 軽減されている。)による性能向上が可能となること、(4)一体化による構造強度の向上、熱伝導性の改良が可能なこと、(5)現在、鍛造材から機械加工を行っている部品のなかには、板材からの成形によって機械加工を省略できるものもあり、少量生産に伴う材料費割合を低減させること、などである。

いささか技術的な問題から離れるが、超塑性合金を含

図 5 板成形と接合を同時工程で行った SPF/DB の例。

む金属関係新素材の経済効果についても少しふれておきたい。先に述べた次世代産業基盤研究開発プロジェクトの実績などを参考に産業構造研究会が「新素材産業」の市場規模を推定している⁽¹⁵⁾。これによると、西暦 2000 年における新金属材料の市場規模は約 1.5 兆円、これらに関連する既存材料のそれは約 2.3 兆円となり、1981 年における実績の約 15 倍および 23 倍に達することが示されている。ここで注目すべきことは、(1)「新素材産業」における関連既存素材の役割が、金属系新素材では大きいこと(約 1.5 倍)、(2)いわゆる「新素材産業」のうち、新金属材料および関連既存材料の占める割合が高いこと(約 38%)、(3)新金属材料の開発による生産誘発額および新規製品市場・代替製品市場などの波及効果が「新素材市場」の約 10 倍にも達すること、などである。(3)項の中には、加工・組立業の担う分野が大きな比重

表 2 科学技術会議第 11 号答申における材料および加工技術関連研究・開発課題
〔(第 3 部 重要研究開発の推進)より抜粋〕

第 1 章 新たな発展が期待される基礎的・先導的科学技术の推進

1. 物質・材料系科学技術

(1) 物質に係る新現象の探索および解明

課題:

- ① 極限条件の創出並びにその下での新現象の探索および解明
- ② 各種物質の生成過程における新現象の探索および解明
- ③ 表面・界面における新現象の探索および解明
- ④ ビームと物質の相互作用における新現象の探索と解明

(2) 新物質、材料の探索および創出

課題:

- ① 新しい結合概念の構成
- ② 新しい反応理論に基づいた物質合成法の開発
- ③ 理論的材料設計手法の確立
- ④ 極限条件の利用による新物質の合成および新材料の創出
- ⑤ 形態制御および純度の極限化による新材料の創出
- ⑥ 材料複合による新機能の創出
- ⑦ 生体機能の解明に基づく新材料創出
- ⑧ 解析・評価技術の高度化

第 2 章 経済の活性化のための科学技術の推進

4. 工業生産

(1) 新素材の開発および加工

課題:

- ① 新材料の機能拡大
- ② 新材料の利用技術の高度化
- ③ 材料保全技術および材料評価技術の高度化
- ④ 無欠陥加工技術および超精密加工技術の開発
- ⑤ ビーム技術を利用した新しい加工処理技術の高度化

(2) プロセス技術

課題:

- ① 基礎素材の新しい製造技術の確立
- ② 生体機能の利用による新生産システムの確立
- ③ 直接製品製造技術および副生産物利用技術の開発

(3) 知的生産、管理技術

課題:

- ① 知的生産および管理技術の追求
- ④ ソフトウェア生産性の向上

課題:

- ① ソフトウェア開発技術の確立

を占めることはいうまでもない。したがって、新素材とその加工技術とのかかわりは、極めて大きいといえる。

1984 年 11 月に行われた科学技術会議第 11 号答申「新たな情勢変化に対応し、長期的展望に立った科学技術振興の総合的基本方策について」⁽¹⁶⁾にも、材料と加工技術との研究および開発に関係の深い課題が全体の約 30% を占めていることは、既に御承知のとおりである。参考までに関連する部・章・節とそれに含まれる課題を表 2 に示しておこう。

3. 材料としての多様性

微細結晶粒超塑性が 2 相の共晶および共析合金のみでなく、各種の複相合金を始め、時効硬化型合金、分散型合金、単相合金から純金属にまで見出されるようになって、いわゆる超塑性材料へのイメージは異なったものとなりつつある。

比較的早い時期に実用に供された Zn-22Al 合金の材料としての利用開発の道をたどってみると、かつてのアルミニウム合金が歩んだ跡に類似しているといわれる。

構造材料として、その強度があまりにも低く、使用時に変形しやすいため、(1)部材・部品を成形したのち熱処理によって組織を粗大化させる方策、(2)Cu, Mg などの微量添加によって超塑性の発現をわずかに抑え、焼入れ・共析分解・成形加工などの処理を加えて鋼材に匹敵する室温強度を確保する方策、(3)他の高強度構造材料との複合材料化による方策など、多くの試みがみられ、構造用の部材・部品として多用されるようになってきている。

事務機器用の複雑な形状をもつカバー類など、比較的軽い負荷に耐える構造材料としては、加工工程が著しく低減されるため、高い材料コストを補って経済的に利用価値がでてくるのである。電子機器用カバー類は、かつて、薄鋼板を用い、多工程のプレス成形によって製造されていたが、ブロー成形・真空成形による単一工程で製造できるプラスチックシートにそのほとんどがとって替わられた状態であった。ところが、近年、電子機器の電磁波遮へいに対する要求が高まるにつれ、再び金属製カバー類が必要となって超塑性材料の特性が活用され始めている。これは、構造材料としてのみでなく、機能的な面でも有効な応用例といえる。

機能材料という用語は、電子機能に力点を置いた形で使われ始めた経緯があるが、現在では、数千にも及ぶといわれるもろもろの機能に対応して広く用いられるようになっていく。

Zn-22Al 合金は、前述のような軽い負荷に耐える各種の複雑な形をもつ構造要素に利用されているほか、ロストワックス用、プラスチック用を始め、金属薄板の

せん断用など各種の型材料としても使用され、また、Al 系の超塑性合金は、航空機機体部品、車両部品、建築物内装品などに広く利用される傾向にあるため、超塑性合金を構造材料の範ちゅうに入れることが多かったようである。しかし、超塑性の発現するときに高い成形能があることおよび固相接合能が高いことを生かした SPF/DB 技術および CAD/CAM の適用のしやすさなどによって製造工程を大幅に下げ、構造部材としての信頼性、および軽量化による構造物の性能を高め、更に製造原価を低減するなど、広義の機能をも併せもつ構造材料としてとらえることができるようになってきている。

超塑性の発現に伴う機能としては、

(1) 高い変形能：成形工程の短縮、CAD/CAM の適用のしやすさ、near-net shape 加工の適用など。

(2) 低い変形抵抗：加工力・加工エネルギーの低減、したがって、加工機械設備の加圧能力低減など。

(3) 高い固相接合能：低い圧力で容易に接合できること、SPF/DB 技術が適用できること、成形加工プロセスにおける自動組立が容易なこと、超塑性合金を接合媒体材料として使えることなど。

(4) 高い振動吸収能：制振用・防音用材料として使えること、ぜい性-延性転移温度が低いこと、共振点制御用材料として利用できることなど。

のほか、結晶粒が微細であり、したがって、結晶粒界の容積比が高いことから、成形後の表面粗さほかの性状が優れ、形状・寸法精度はいわゆる near-net shape となり、また、微細な凹凸にならう特性を生かして刻印材料としても活用され、更に、材種によっては耐食性、耐照射性、軟磁性、熱遮へいなどの面での利用開発も検討されている。

したがって、超塑性材料はこれらの機能を単独に、または複合して使用することによって、構造材料としてのみでなく、機能材料としての多様な道が開かれているといえよう。

他方、これらの特性は、使用目的によって欠点となることも少なくない。強度の低いことは、既に述べた方策のほか、近年では、加工熱処理の手法の導入も検討されている。成形過程における結晶粒成長の度合いが温度、ひずみ量などによって異なることが示されているので、温度およびひずみ分布の制御によって、強度を要求される部分の結晶粒を成形後にホール・ペッチ領域にまで大きくする方法が成形プロセス設計の一環として検討されている。

一部実用段階にあり、今後更に利用開発の道が考えられつつある航空・宇宙用機器部品としての Ti 合金、Al 合金(表 1 参照)などでは、変形時の粒界移動量比率を高めると、ポイドの発生を促すことになり、強度面で問題となる。

表3 最近発表された主な超塑性合金と結晶粒微細化方法.

合 金 名	化 学 成 分 (質量%)	微細化処理の方法, 備考
高強度低合金鋼 (HSLA)	Fe-0.15C-0.19Si-1.16Mn-0.014Al-0.014Nb-0.019P-0.006S	溶体化処理(1523 K-3.6 ks(1250°C-1 h)), 水浴急冷冷間圧延(80%), 1138 K(865°C), 30 s 加熱後水浴急冷 $\alpha+\gamma$ 微細(4 μm) 混合組織
δ/γ 2 相ステンレス鋼	Fe-0.017C-0.48Si-0.85Mn-6.28Ni-24.66Cr-2.79Mo-0.46Cu-0.28W-0.025P-0.001S-0.143N	熱間圧延(1373~1643 K(1100~1370°C)), 水冷, 冷間圧延(50%), 伸びは σ 相の析出率に依存する. (δ フェライト(約 20 μm)中に γ が微細析出したとき)
合 金 鋼(粉末)	Fe-50Cu(-1~2Ti)	水アトマイジング, 圧縮成形, 焼結(1073 K(800°C)), 加熱再結晶(1073 K(800°C), 密度化 99% $\leq$), 再加熱(1273 K-3.6 ks(1000°C-1 h)), 2 相微細(4~5 μm) 混合組織
低 合 金 鋼	Fe-0.15C-0.01Si-0.15V-1.1P-1.5Ni	熱間鍛造(1373 K(1100°C)), 熱間鍛造(1173 K, 1073 K-1.8 ks(900°C, 800°C-30 min)) 加熱後水冷. 2 相微細(5 μm) 混合組織
高速度工具鋼(粉末)	Fe-1.25C-<0.35Si-<0.28Mn-<0.02P-<0.01S-<0.07Cu-4Cr-5Mo-6W-3V-8Co	予加工[熱間圧延(1223 K(950°C), 78%), 溶体処理(1513 K-1.8 ks(1240°C-30 min))], 熱間圧延(1223 K, 1373 K(950°C, 1100°C), 78%), 再結晶処理(1323 K-0.3 ks(1050°C-5 min)), 結晶粒径 3~5 μm
高力アルミニウム合金 (A 7475, 7075)	Al-2.37Mg-5.58Zn-1.57Cu-0.04Si-0.04Fe-0.2Cr-0.05Ti	温間圧延(473 K(200°C), 90%), 過時効(673 K-28.8 ks(400°C, 8 h)), 徐冷-冷間圧延(70%) - 再結晶処理(755 K-10.8 ks(482°C-3 h)), 結晶粒径 15~20 μm

また, 温度の変化に対してエントロピー弾性的挙動を示すことが多いので, 使用中に形状・寸法の変化を生ずることもある. こうした弾性回復を考慮して, 使用中に不都合な回復変形の生じないよう成形時の変形プロセスを検討しておく必要がある.

先に述べた次世代産業基盤技術研究開発プロジェクトにおける Ni 系および Ti 系合金のほか, 最近数年間に発表された主な超塑性合金を表 3 に示した.

ここには, 結晶粒微細化方法にもふれているので, 参考になろう. 多岐にわたる結晶粒微細化技術の開発は, 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⁽¹⁷⁾.

超塑性材料が固相接合能の高いことを利用して, 構造用鋼と数層に重ね合わせて圧延圧着をした複合材料の開発も試みられている. Stanford 大学の Sherby 教授らは, かつて, 高炭素過共析鋼の結晶粒微細化に成功し, その応用例として, 超塑性過共析鋼板と構造用鋼板とを積層圧着圧延した複合材料について, ぜい性-延性転移温度を下げ, また, き裂の伝播をジグザク化して, 伝播速度を低下させることを示した.

我が国では, 西村らが Al と Zn-22Al 超塑性合金板について⁽¹⁸⁾, 著者らが構造用鋼と Zn-22Al その他の超塑性合金との圧延圧着を行い⁽¹⁹⁾⁻⁽²¹⁾, それぞれの特性を調べている. この種の複合材料は, 複合化によって強度および剛性を高めうるほか, 構造用材料の加工硬化特

性と超塑性材料のひずみ速度感受性との組み合わせによる材料特性(特に 2 次的成形性)を製造条件によって要求仕様に適合させることができ, 更に, 超塑性発現温度における振動吸収能の高いことに着目して制振材料としての利用の道も開けている(図 6 参照).

複合材料としては, 構造用材料粉末と超塑性合金粉末との複合成形-焼結材, FRM のバインダーとしての利用なども試みられてはいるが, 実用段階へのアプローチ

図6 鋼板と SPZ (Zn-22Al 超塑性合金板) との 3 層圧延圧着複合板の吸振能の温度による変化. 473 K (200°C) 以上で急激に振動減衰能 Q^{-1} が高くなっている(小豆島・宮川)⁽²⁰⁾.

表4 微細結晶粒超塑性材料の利用開発例.

特 徴	加 工 技 術 お よ び 製 品	備 考
高い変形能 (高 延 性) 低い変形抵抗 (微細結晶粒) 加工能 (成 形 能) 構造(機)能 高い温度依存性 高いひずみ速度 依存性	<ul style="list-style-type: none"> ○可動ダイスによる前・後方および横方向の組合せ押出し〔千葉大河合栄一郎・廣橋光治〕一(久能木法) ○印刷用凸版〔46-2332 W.E.〕 ○放電加工用電極〔47-29542 井上ジャパックス〕 ○恒温薄板成形〔48-92058 I.S.C.Alloys〕 ○複雑形状刻印付中空体成形〔50-58231 三菱金属〕 ○時計用文字板成形〔48-103907 諏訪精工舎〕 ○同上(Al-Cu 合金)〔48-117211 同上〕 ○同上(Al-Si 合金)〔48-117212 同上〕 ○同上(Cu-In 合金)〔48-119232 同上〕 ○同上(Mg-Al 合金)〔48-119957 同上〕 ○ブラウン管ケースの成形〔49-6611 日立製作所〕 ○X線管容器の成形〔49-11848 同上〕 ○加熱—冷却深絞り法〔49-105652 玉川機械金属 後藤義博, 都立大 西村 尚・宮川松男・川上義正〕 ○ガス圧中空容器成形(Ti-6Al-4V)〔50-93445 三菱重工〕 ○高速—低速精密鍛造〔51-95933 Saint Joe Minerals(既開発合金をすべて対象)〕 ○スピーカーきょう体の成形〔50-128749 松下電器産業〕 ○超塑性中空体中に熔融金属を注入し, 加圧成形して複合材を製造する方式〔52-94085 金材研 田頭 扶〕 ○通電加熱・加圧成形法〔53-6093 中村正信〕 ○導電性基板外刃電鍍用耐久母型の製造方法〔54-102249 所沢工業〕 ○刻印・成形複合加工法〔53-56822 三井金属鉱業〕 ○腕時計用 Ni, Cr, Rh 金被覆ケース(Al-Cu 合金)〔53-37548 諏訪精工舎〕 ○超塑性アルミニウム合金製品およびその製造法〔53-37422 Alcan Research Development〕 ○ディフューザーの成形(Al 合金)〔52-63266 日立製作所〕 ○中空体のバルジ成形法〔54-63473 日本楽器製造〕 ○ダイカスト—2次成形加工法〔54-83150 中野昭夫〕 ○プラスチック成形用型の製作方法〔49-118259 日立製作所〕 ○同上(電鍍法)〔50-22549 同上〕 ○金型の製作方法(ホッピング法)〔51-80385 柴田孝夫・宮川松男・井上総一郎〕 ○簡易打抜き型の製作法〔51-4126 中川・鈴木・大川〕 ○プラスチック熱成形用の製造方法〔52-156091 東プラ〕 ○超塑性合金シート成形用超塑性合金型〔53-74072 ガルフ・ウェスタン〕 	<ul style="list-style-type: none"> ○工程短縮 ○加工力の低減 ○C.A.D./C.A.M.の適用可 ○加工プロセスにおける材質改善(強度・2次成形性の向上) ○強度および変形能の調整 <ul style="list-style-type: none"> (a) 合金元素の添加 (b) 熱処理による結晶粒成長 (c) 高強度材料との複合化 ○寸法精度 <ul style="list-style-type: none"> (a) 密閉型内の矯正 (b) 熱(エントロピー)弾性回復による精度不良 ○表面性状・平滑潤滑効果 ○疲労強度向上 ○加工熱処理との組合せ
高い固相接合能 (加 工 能) (組 立 能) (複合(構造)能) (複合材料化)	<ul style="list-style-type: none"> ○他金属と組合せて複合材料の製造 ○他金属部品と加工過程で組合せて複合材料部品の製造 ○他金属部品との加工過程における組立 ○一般金属材料の複合材料および加工品の接合材料 ○他金属材料の表面被覆(圧延圧着など)およびブラスト圧着 ○超塑性合金に Al 被覆(耐食性・光輝性・アルマイト着色性染色性・成形性・切削性・強度)〔47-104671 住友化学工業〕 ○クラッド鋼の接合法〔51-31816 三菱重工業〕 ○金属材料の超塑性合金による接合法〔53-2428 中村正信〕 ○繊維強化複合材料〔54-113525 中田栄一〕 ○金属粉末の固化法(超塑性合金袋中のガス圧により Ti 等をステンレス鋼器具内面に接着する)〔51-151458 Inco〕 ○メタルボンド—ダイヤモンド工具の焼結方法〔51-5292 利根ボーリング〕 ○高密度焼結材料の製造方法〔52-99535 日立製作所〕 ○異方性希土類金属間化合物粉末と超塑性合金粉末とから成形した磁石〔52-153798 諏訪精工舎〕 ○アルミナ質繊維強化型超塑性合金〔54-92203 住友化学工業〕 	<ul style="list-style-type: none"> ○低圧固相接合 ○加工プロセスにおける自動組立 ○粉体成形品の強靱化 ○FRM 製造への適用
高い振動吸収能 (吸 音 能) 共振点制御能 ぜい性—延性遷移点制御	<ul style="list-style-type: none"> ○吸振材料および吸振用成形品 ○他金属と複合材料化した吸振材料および吸振用加工品 ○高温用防振材〔56-069387 宮川松男・小豆島 明〕 ○配管系の制振器〔60 鈴木浩平〕 	<ul style="list-style-type: none"> ○高粘性挙動 ○構造強度+加工能+吸振能 ○共振域の移動
記憶現象, 回復能	○熱弾性回復を利用した締結	○熱弾性(エントロピー弾性)
修復・再生機能	<ul style="list-style-type: none"> ○ロストワックス, プラスチック成形用金型(井上・柴田・宮川) ○板金の打抜き型および成形型(中川ほか) 	
高い矯正能	<ul style="list-style-type: none"> ○金属反射鏡 ○レンズ磨き用金型 	<ul style="list-style-type: none"> ○表面粗さ 小 ○微細凹凸ならい性

には、まだ、多くの問題が残されている。

また、機能材料として注目されている金属間化合物、および金属間化合物を含む多元系合金については、超塑性に関して未知の分野とされているが、その超塑性的挙動の解明によって超塑性材料の新しい展開が期待されている。東北大金研和泉教授が提唱しているように、大きなひずみ速度感受性＝塑性安定性 という観点から、超塑性的挙動を示す機能材料の研究開発は、今後の課題といえよう。

4. 加工技術へのインパクト

超塑性に関する未来予測にもかかわらず、1980年代に入って、実用段階にあるものは、それほど多くはない。しかし、これまで述べてきたように、超塑性材料およびこれらを製造するための結晶粒微細化技術の進展と多様化に応じて、各種加工技術に適用する試みは著しく増えてきている。

1970年に米国のP & W社が開発したGatorizingプロセスは、Ni基超耐熱合金IN-100の粉末焼結材ビレットからタービン用ディスクを成形するためのもので、超塑性鍛造とも呼ばれ、プリフォーム押出し加工段階で焼結材の結晶粒微細化を行うことが大きな特徴となっているが、その詳細は公表されていない。

しかし、このプロセスの実用化に刺激をうけて、他の超塑性合金への適用例も増し、前述の次世代産業基盤技術研究開発プロジェクトにおいても超塑性鍛造機の試作、超塑性鍛造方法に関する研究が行われつつある。

一方、金型とビレットとをほぼ同じ温度に保って、等温的に低ひずみ速度で鍛造を行う恒温鍛造(isothermal forging)も開発されている。

超塑性の発現する温度域は、合金の種類によって異なるが、この温度域では、変形抵抗が著しく低いため、加工力も低減でき、また、変形能が高く、粘塑性流動状態となるので、鍛造型への充満性も優れている。

したがって、Ni基合金およびTi合金のように、変形抵抗の温度依存性が高く、低比熱により変形域が集中しやすい、いわゆる難加工性材料は、超塑性合金化することによって成形能が著しく改善されるのである。

超塑性変形のデモンストレーションに、しばしば使われている金属風船は、超塑性発現温度域で液圧によって低ひずみ速度のもとで一様な面内引張変形を板材に与えることによって得られる。この成形法は複雑な形状・寸法の加工品を単純工程で達成でき、事務機器類の外板部品製造用に利用されている。

局所的な加熱・冷却を超塑性材料線材および管材に与えつつ引張ることによって、ダイスの不要な、いわゆるダイレス引抜き加工は、超塑性合金の特性を生かした加

工方法として、比較的早い時期に試みられている。

これまで述べてきた各種の成形・加工方法は、その後、加熱・冷却における温度の制御、加工力および加工速度の制御など、電子計算機を援用した制御技術の進展によって、温度およびひずみ速度感受性の高い超塑性材料の成形・加工技術に著しい展開がみられたほか、一般金属材料の成形・加工への応用例も少なくない。

ダイレス引抜きの考え方と加工技術手法とを一般化したダイレスフォーミングの開発、更にこれに加工熱処理の手法を付加した熱塑性加工法など、いずれも超塑性材料の加工技術が一般金属材料のそれに移転したことを示す好例である。

こうして超塑性の研究開発は、一般材料の加工・処理技術にも大きなインパクトを与えているのである。これは単に超塑性合金の加工・処理技術の開発のみでなく、それらの波及効果が極めて大きいことを示すもので、かつての未来予測の意義もこうした観点からとらえる必要がある。

いずれにせよ、超塑性材料の力学物性に関するデータの収集と構築なしに、新しい加工技術の開発は行えないことを念頭において、地道な研究が望まれていることを付言しておきたい。

5. 利用開発の方向

これまで、材料および加工技術について述べてきたが、製品または商品としての利用開発もみられる。ここでは、加工技術も含めて我が国における特許等からみた利用の方向を表4に示しておこう。

6. おわりに

次世代産業基盤技術開発プロジェクトにおいても、1985年からようやく具体的な製品を対象とした研究段階に入った状態である。多角的な波及効果も含めて、超塑性の利用開発が本格化するのには、これからといってよいであろう。1980年代後半に向けて未来予測の夢を実現したいものである。

文 献

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

- (7) 次世代金属・複合材料研究開発協会・日本産業技術振興協会：第1回次世代産業基盤技術シンポジウム予稿集，(1983)。
- (8) 次世代金属・複合材料研究開発協会・日本産業技術振興協会：第2回次世代産業基盤技術シンポジウム予稿集，(1984)。
- (9) 小林 勝：塑性と加工，**23**(1982)，1026。
- (10) J.W.Edington, K.N.Melton and C.P.Culter: *Superplasticity*, Progress in Metal Physics, **21-1**, Pergamon Press, (1977)。
- (11) S.Tang: *Mechanics of Superplasticity*, R. E. Krieger Pub., New York, (1979)。
- (12) K.A.Padmanabhan and G.J.Davies: *Superplasticity*, Springer Verlag, Berlin, (1980)。
- (13) N.E.Paton and C.Hamilton: *Superplastic Forming of Structural Alloys*, The Metallurgical Society of AIME, (1982)。
- (14) 日本航空宇宙工業会編：新材料—ファインセラミックス，高性能結晶制御合金および複合材料—の航空宇宙用機器への利用について，(1984・5)。
- (15) 産業構造研究会編：新素材の現状と見通し，(1984・3)。
- (16) 石井 恂，長岡 昌：二十一世紀への道標，科学技術会議第11号答申の解説，(1985・3)，日本科学技術振興財団。
- (17) 小林 勝：塑性と加工，**26**(1985)，232。
- (18) M.Ohsawa and H.Nishimura: *J.Mechanical Working Technology*, **7**(1982/1983)，163。
- (19) M. Miyagawa and A. Azushima: *Bull. Japan Soc. Precision Eng.*, **18**(1984)，6。
- (20) 小豆島 明，三浦恒正，宮川松男：鉄と鋼，**70**(1984)，2269。
- (21) 小豆島 明，宮川松男：鉄と鋼，**70**(1984)，2276。

＜新 刊 案 内＞

アルミニウム材料の基礎と工業技術

社団法人 軽金属協会 編
(編集委員長：村上陽太郎)

アルミニウム製錬の凋落に加えて、新素材ブームとやらで、若手の研究者や学生からは、“今さらアルミニウム材料なんて”という声が聞かれないでもない。押し付けがましく、アルミニウム材料は魅力あふれる材料であると言う気はないが、低誘導放射化の核融合炉用材料として、他を凌いで有望視されているし、研究途上にある Al-Li 系低比重、高剛性合金は、金属系複合材料に対抗する材料と言われている。また急冷凝固した Al-Mn 合金の特異な構造が今話題を呼んでいる。

前置きが長くなったが、約 20 年程前に D. Altenpohl の監修になる“アルミニウムとその合金”は名著と言われ、アルミニウムを手懸ける研究者の必読の書であった。しかし、その後アルミニウム材料に関する総合的著書にお目にかかったことがなく、ここに紹介する書はまさに久しぶりのものと言える。各章の表題を挙げると、1. 铸造と铸塊の組織、2. 塑性变形と加工組織、3. 回復、再結晶と焼鈍組織、4. 时效析出処理、5. アルミニウムの腐食挙動、6. 表面処理、7. 溶接、接

合とほぼアルミニウム材料の製造工程順に並び、次いで 8. 工業用材料でアルミニウム合金の種類、特徴、用途が述べられ、最後に 9. 新しいアルミニウム材料のところで超塑性材料、複合材料、急冷凝固粉末合金、Al-Li 合金についてふれられている。

それぞれの分野を代表する気鋭の方々が執筆を担当されている。というのと、とかく一貫性に欠けて読みづらいものであるが、通読するのにさしたる抵抗感もなく、そして何よりも、細かな事象にとらわれず、本質を述べることに主眼を置く姿勢がとられているので、日頃不勉強な私でも肩肘張らずに読むことができた。裏を返せば、物足りなさを感じる向きもあるだろうということになるが、アルミニウム材料の現状を知るには格好の本と言えるだろう。

最後に苦言になるが、最近の書籍の例にもれず、写真の印刷が粗雑で、校正刷り並みであるのが気にかかる。特に組織写真は文章以上に情報を伝えてくれることが少なくないので、十分過ぎる程に気を使って欲しいと思う。(K.I.)

〔A5 判 442 頁 1985 年 5,500 円 (社)軽金属協会〕