

LF を用い、Si-Mn 脱酸後にスラグ精錬することにより介在物の形態制御を行うことを試みた。介在物組成はスラグ精錬により脱酸生成物系から精錬スラグ系と変化する。従つて、 $\text{SiO}_2\text{-MnO} (+\text{CaO} + \text{MgO})\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系の適正なスラグ組成を選定することによつて、介在物は低融点で塑性変形しやすい形態に制御することができ、介在物品質の改善を図ることができた。これに対して、スラグ-メタル間の平衡到達度、スラグ捲込み、および使用耐火物などにつき質問があつた。

(討15) 不純物元素の低減 (真空下、粉体上吹精錬の開発)

(住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所 眞目 薫ほか)

2.5 t 高周波炉を用い、真空下で精錬用粉体を上方より吹き込み、溶鋼中に侵入分散させて不純物を除去する精錬炉を開発した。吹込み粒体は目的により選定する。これにより溶鋼中の C, N, H, S などの不純物を著しく低減せしめることができた。酸化性粉体を用いて脱炭した場合には CO 気泡が発生して N, H などの除去が促進される、また低酸素濃度での脱炭では脱窒反応が著しく進行する。脱硫剤粉体 (CaO-CaF_2 系) を用いての脱硫促進は溶鋼攪拌の弱い VOD 精錬に有利である。それぞれの到達値は $\text{C} = 3 \text{ ppm}$, $\text{N} = 4 \text{ ppm}$, $\text{H} = 0.35 \text{ ppm}$ および $\text{S} = 1 \text{ ppm}$ であつた。本研究に対して従来のインジェクション法との比較について質問があつた。

(討16) 多機能二次精錬技術 RH インジェクション法の開発

(新日本製鉄(株)大分製鉄所 遠藤公一ほか)

RH 法と取鍋粉体吹込み法を結合して機能の集約化を図つた多機能 2 次精錬技術 RH インジェクション法を開発した。これにより高能率の脱硫、脱炭、脱水素、介在物低減が可能となり、従来二工程で行つていた脱硫と脱水素を効率よく一工程で行い得る。特に脱硫は従来の取鍋粉体吹込み法より優れており、低いフラックス原単位で $\text{S} = 8 \text{ ppm}$ が達成できる。また極低炭素鋼の量産化が可能である。これに対して、フラックス粒度、ランス深さ、脱炭反応の容量係数などにつき質問があつた。

二次精錬の今後の問題として、二次精錬の機能と役割がどのように変化していくかに多くの興味を寄せられた。現状では RH-インジェクション法に代表されるように多機能集約化が図られる一方、また要求と目的に適した機能の特殊化や省略化が考えられ実行されている。従つて要求特性に応じた使いわけをいかにすべきかに問題が残されている。また小ロット対策や、タンデッシュ精錬との組合せによる合理的プロセスの開発など、今後に残された問題も多いといえる。

本討論会は発表件数が 10 件にのぼり、討論時間が必ずしも十分ではなかつたが、活発な討論が行われ、二次精錬の重要性が再認識された意義は大きいといえる。

最後に、講演者をはじめ討論会に参加いただいた皆様

方に深く感謝いたします。

Ⅲ. 超塑性の材料加工プロセスへの応用

座 長 東京都立大学

西 村 尚

副座長 国士館大学

西 原 公

当テーマについては、60 年秋季学会の萌芽・境界領域指定テーマに取り上げられて以来、数多くの研究が報告されている。対象材料はアルミニウム系、チタン系などの外に、セラミックス、複合材料などにも超塑性が見出されるようになり当時と比べてより広範な研究がなされている。また、加工技術としては板材の真空・ブロー成形、恒温鍛造などの他に拡散接合法なども加わりより多岐にわたるようになった。そこで、今回は超塑性の加工プロセスの応用に限つて討論会を開催した。依頼 1 件と 12 件の申込みがあり、11 月 4 日に 1 日を費して討論を行った。

これらの講演は、総論 (依頼講演) 超塑性材料、超塑性応用の加工技術に分けて配列した。以下に各講演の内容について概要を記す。

(討17) 最近の超塑性利用技術の動向

(長岡技術科学大学名誉教授 宮川松男)

最近の超塑性研究全般をまとめた総説であつて、材料および材料製造技術の開発、素材材および加工品の開発に分かれている。材料プロセスとしては、結晶粒微細化技術の進展にともなう急冷処理を行つた粉末及び薄膜、第二相のみが微細化して分散分布した通常粒度の合金、結晶粒界の構造および形態を制御した合金などの紹介があつた。加工プロセスとしては、次世代産業基盤技術制度における開発が主なもので、HIP 成形、適応制御超塑性鍛造、ウォームダイ・パック鍛造など生産ライン中での高速化技術、Ti 合金の超塑性鍛造など難加工性材料の加工技術についての紹介があつた。

(討18) 超高炭素鋼の超塑性

(立命館大学理工学部 時実正治)

過共析鋼など極めて加工性の悪い材料に超塑性を持たせて塑性加工可能にした例が示された。超高炭素鋼の加工熱処理法の改善、Si や Al の添加により高ひずみ速度側へ超塑性状態をシフトする方法、白鑄鉄の加工法として粉末を HIP する方法、同様にアグマイト鋼 ($\text{C} = 1.9\%$) のガスアトマイズ粉を HIP により密化する方法などを紹介している。SHERBY らによつて開発された超塑性超高炭素鋼の工業化へ向けての一連の研究が整理されている。実用化という点からみると、ビレットから鍛造するよりは粉末から HIP→超塑性鍛造の方がよい

ことが考えられる。板材のブロー成形も可能である。

(討19) Ni 基超合金粉末を用いたディスクの超塑性鍛造

((株)神戸製鋼所機械技術センター 松下富春ほか)

ガスタービン等のディスクを超塑性鍛造法により製造するプロセスの紹介である。超耐熱の Ni 基合金は変形抵抗が高く極めて加工しにくい素材である。これを HIP 処理のみで素材を固化し、超塑性鍛造するもので、小粒径のアトマイズ粉を 1273~1323 K で HIP 処理することで微細再結晶粒が得られ、超塑性挙動を示す。鍛造工程の設計には FEM を用いて変形のシミュレーションを行い、より確実に鍛造ができるようになった。成形後のディスクは低サイクル疲労試験を行い疲労特性を評価した。超塑性鍛造により大きな加工ひずみを与えられた部分は結晶粒が微細化され疲労強度が向上する。さらに、ボス部とリム部とで特性の異なる粉末を用いて HIP する複合材のディスクの製造も行った。

(討20) 二相ステンレス鋼の超塑性とその応用

(住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所 前原泰裕ほか)

二相ステンレス鋼の超塑性変形中の組織変化を観察し超塑性発現に有利な材料因子を明らかにするとともに、超塑性を利用した固相接合と塑性加工への応用の可能性について実験的に検討した。引張試験の伸び値では、変形中も δ/γ 二相状態が維持される 1325 K と変形中に $\delta \rightarrow \gamma + \alpha$ の共析反応によつて早期に γ/α 二相状態となる 1175 K とに二つの極大点が認められた。第二相粒子は変形中の組織の粗大化を抑制するとともに、母相の動的再結晶を通して重要な役割を果たしていることを明らかにした。超塑性二相ステンレス鋼同士を 1350 K、20 MPa の圧力で数十秒間保つと母材破断する接合性が得られた。

(討21) チタン合金の超塑性

(三菱金属(株)中央研究所 前 義治ほか)

超塑性チタン合金は、Ti-6 Al-4 V に代表される α 型合金が多いが近年 β , near β 合金が加工性、熱処理性のよさから見直され多くの合金が開発されている。 m 値、伸びは結晶粒度依存性があり、細粒ほど超塑性特性は優れている。超塑性変形には bCC β 相のすべり変形が大きく寄与している。超塑性加工後の疲労強度は低下する。その原因は熱履歴によるもので、ボイドの発生等変形によるものは少ない。

(討22) 高力アルミニウム合金の超塑性

(住友軽金属工業(株)技術研究所 吉田英雄ほか)

航空機用高力アルミニウム合金 2004 (Supral), 7475, Al-Li 合金, SiC 繊維強化複合材料の超塑性特性について示された。まず、結晶粒微細化のための加工熱処理の方法について、Rockwell International 社の方法が紹介されている。最近では、静的再結晶だけでは成形速度が $10^{-4}/s$ と遅いため、温度やひずみ速度を変形中に変化

させる方法が取られている。これにより、動的再結晶がおこり、結晶粒微細化を促進している。高力アルミニウム合金の問題点であるキャビティの発生とその抑制の方法についても述べている。

(討23) 複合材料の超塑性

(東京都立大学工学部 西村 尚ほか)

複合材料の製造時に超塑性を利用して、固相状態で繊維とマトリックスを結合させる方法と二次加工時に超塑性を利用して曲げ等の塑性加工性の改善に役立てる方法とがある。超塑性合金粉末と SiC 連続または短繊維をホットプレス法により結合する例では、粉末粒径が繊維径に比べて小さい場合は固相状態で十分なる結合強度が得られる。超塑性の拡散接合性を利用したものである。二次加工では、超塑性はすべての場合において有効であり、加工性の改善が見られる。しかし、製品の強度の点では望ましくないので、成形後は超塑性を消去する熱処理が必要である。

(討24) Zn-22% Al 系超塑性合金を用いた金属基複合材料の製造

(長崎大学工学部 内山休男ほか)

SiC 長繊維束 (500 本) を開織する方法として、SPZ シートで繊維束をサンドイッチ状に挟み所定の温度の下で圧力を加えることにより、開織すると同時に複合材料を製造するユニークな方法である。マトリックス層が薄くなると接合は不十分であるが、1 mm 以上あれば良好な接合状態が得られる。金型を用いてマトリックスの流動を抑制すると結合は不十分である。

(討25) ジルコニヤセラミックスの超塑性

(名古屋工業技術試験所 若井史博ほか)

ジルコニヤ系セラミックスの超塑性現象とその加工への応用、さらにジルコニヤ系複合材料の超塑性について述べている。Y-TZP 材を 1723 K で $\dot{\epsilon} = 10^{-7} \sim 10^{-2}$ の範囲でクリープ試験を行った。 m 値が 0.5 の場合に 200% の伸びが得られた。ジルコニヤ-アルミナ複合材料 (HIP 処理) では、アルミナの混合割合が少ない場合には超塑性を示した。変形後も優れた室温強度を示している。アルミナが分散している複合材料は耐摩耗特性が優れている。薄板の成形加工では表面が平滑な複雑形状部品が得られる。HIP 処理により傷やポアが収縮、消失し強度を増加させることが可能である。

(討26) 超塑性成形法の航空・宇宙機器部品への応用

(三菱重工業(株)名古屋航空機製作所 高橋明男ほか)

航空機部品を超塑性成形法で製作する事例の紹介があった。Ti-6 Al-4 V, 7475 高力アルミニウム合金板の真空・ブロー成形、超塑性成形と拡散接合を同時に行う SPF/DB 法により複雑形状部品を製作する。この方法により、部品点数を減少させることができ、トータルコストの低減効果が大きい。技術的には、部分的な肉厚の減少を抑えることが大切で涙滴型タンクを例にとつて一

定板厚製品を得る解析を行った。

(討27) 超塑性成形法の精密機械部品への応用

(オリエント時計(株) 木村 南)

複雑かつ精密な機械部品の製造のためには、変形抵抗の低い超塑性材料が製造工程数の減少、ひいてはコスト低減のために利用できる。腕時計用の文字板の例では、従来 15 部品を組み立てていたものを 1 個の部品にすることができた。しかも、シャープエッジの成形が可能であることから、デザインのにも斬新なものが得られる。

別の例では、高摩擦抵抗材料として超塑性材の上に SiC 粉末を圧入した機能性複合超塑性材の開発を行った結果について述べている。プリンターの紙送りローラー、ロボットチャック等への応用が試みられている。

(討28) チタン合金の超塑性精密鍛造技術

(日本鋳業(株)沢村一郎ほか)

加工性の悪いチタン合金の Near net shape 加工法として超塑性精密鍛造が多く行われている。3000 t の恒温鍛造プレスを用いて、直径 150 mm のピレットからタービンディスク等を恒温鍛造する技術について紹介があった。ピレットの組織観察、高温引張試験、さらに恒温鍛造条件としての温度、速度、加工度等の条件が製品の強度、じん性に及ぼす影響の検討、鍛造材のラム速度コントロール、金型の材質の検討、金型の設計等多くの技術的問題について詳細な報告があった。最近この種の設備を数社で導入しているが、金型のコストをはじめ技術的に解決しなければならない問題は多い。

(討29) 超塑性を利用した接合技術

(千葉大学工学部 広橋光治)

超塑性の一つの特性に活性化した界面を利用した接合技術が多く用いられるようになった。前述の SPF/DB もその一例である。変態超塑性を利用した接合法として、熱サイクルを与えながら外力を加えて固相接合する方法が鋳鉄/鋳鉄、チタン/SUS 304、チタン/SS 材等の材料で行われている。恒温超塑性を利用した接合では、酸化皮膜の強固なアルミニウム合金、チタン、ニッケル、亜鉛合金等で用いられる。機械的接合では、形状回復を利用した接合がユニークである。超弾性的な形状回復と熱サイクル時の熱膨張が変態時に大きいという性質を積極的に利用して、鋼と超硬合金のチップを SPZ をバインダーとして利用して接合した。

以上 13 件の討論講演をふりかえってみたが、前回の討論会のときと比べて、極めて内容が多岐にわたってきたという感じが強い。超塑性の工業的利用も今後ますます増大するであろうが、その内容は材料加工プロセス中で利用するものと、製品機能として利用するものとに分けられる。今回の発表では、前者の例が多かったが、今後は後者の例を開発する必要がある。

会場は常に満席に近い状態であり、本テーマに関する関心が高いことがうかがわれた。最後に熱心に講演をし

ていただいた講演者各位、ならびに討論に参加していただいた聴講者の方々に謝意を表します。

IV. 粉末成形技術の最近の進歩

座 長 (株)神戸製鋼所材料研究所
滝 川 博

粉末成形技術は従来より各種金属、セラミックス製品の製造手段の一つとして発展してきたが、近年、新素材開発の進展とあいまつてその重要性がさらに高まっている。技術的にも高密度化、複雑形状化、複合化、さらに理論解析などの面でも大きな進歩が見られる。本討論会は、これら新しい技術の課題および今後の展開についての討論を目的に企画された。

講演では 9 件の論文が発表されたが、あらかじめ内容ごとに 3 件ずつ三つのセッションに分け、各セッションごとに討論を行った。

第 1 セッションの 3 件は、それぞれ粉末が有する微細結晶を成形加工に利用しようとするもので、超塑性加工、アトライタ加工、あるいは SWAP と呼ばれる新しい加工法に関するものである。

第 2 セッションの 3 件は、静水圧あるいは磁場中の粉末の成形に関して理論解析を行い、実際の工業的問題を解決しようとするものである。

第 3 セッションの 3 件は、爆発成形、水バインダーを用いた押出成形、および粉末を用いた半溶融複合加工といった、それぞれユニークで新しい粉末成形加工に関するもので、将来の新素材開発に大きな役割を演じると期待されるものである。

(討30) Zn-22% Al 合金粉末を用いた超塑性ホットプレス

(立命館大学研究員、日鐵溶接工業(株) 磯西和夫ほか)

近年、粉末の成形法として HIP などによる加圧焼結法が盛んに用いられるようになった。このような加圧焼結法における緻密化は主として粉末の塑性流動により進行するので、その過程は粉末内部の組織状態と密接な関連をもつことになる。しかしながら、このような過程について、とくに粉末の組織状態との関連に着目した検討はほとんどなされていない。本研究では、Zn-22% Al 合金のガスアトマイズ粉を用いて、緻密化過程に及ぼす粉末組織の影響について真空ホットプレスを用いて検討を行い、緻密化機構図を作製するとともに超塑性変形を利用した粉末成形に必要な加圧焼結条件を明らかにした。

(討31) 難成形性粉末の成形性改善

(住友電気工業(株)伊丹研究所 武田義信ほか)

急冷凝固法によつて得た合金粉末は、強制固溶強化、