

粉末HIP法による抗クリープ複合金型の開発（第2報）

7 高温耐久性に優れた軽金属恒温鍛造金型の開発

府山伸行, 寺山 朗, 藤井敏男

Development of Hybrid Dies with High Creep Resistance using Hot Isostatic Pressing (2nd Report)
Development of durable Isothermal Forging Dies for Light Alloys

FUYAMA Nobuyuki, TERAYAMA Akira and FUJII Toshio

In order to extend the life of Isothermal Forging Dies, a high hardness and low dynamic friction alloy by powder metallurgy process was investigated. The main results are as follows: (1) The composite particle of Nickel-base alloy (TRIBALLOY alloy : T-700) including 20wt%CrB₂ and 5wt%WS₂ were made by the dry mechanical alloying method. A grain size of the composite particles was about 5 μ m most. (2) A hardness of Rockwell C of the composite particle was increased above 60. A dry wear resistance at R.T of this composite alloy was 2 times superior to that of SKD61 alloy. (3) This composite particles were sintered and bonded to the inner surface of forging dies body by HIP (Hot Isothermal Pressing). A load of isothermal upset forging used this composite dies was reduced about 20%.

キーワード：鍛造金型, Ni 基超合金, CrB₂, WS₂, メカニカルアロイイング, HIP

1 緒 言

軽量構造部材の製造技術のうち、恒温鍛造法は素材と金型を同一温度に制御し、変形抵抗を低下させることで難加工材 (Ti 合金等) の成形を可能とする優れたプロセスである^{1),2)}。共同研究体のメンバーらは軽金属難加工材 (Mg-Al-Zn, Al-Si 等) に対する恒温鍛造技術の適用に成功し、これまでに 10⁻¹ の高歪み速度で 50%以上の大規模体積移動を行い、組織制御されたニアネット鍛造材の高信頼性を明らかにした。例えば Al-12%Si アルミニウム合金は Si の粒状化、結晶粒の微細化により従来法よりも飛躍的に特性を向上させている^{3)~5)}。

しかし、軽金属恒温鍛造プロセスは金型を 400°C以上に加熱制御して成形を行うため、SKD61 を代表とする熱処理強化式の金型では、高温強度の観点から耐久性に問題があり、量産コスト低減を阻害している。また、高価な超硬金型は焼きばめ構造に起因した約 350°C以下の使用限界温度の制約から本プロセスには適用できない

⁶⁾。そこで、従来の SKD 等、熱処理式金型にみられる高温における軟化と変形を抑止するため、高温強度、硬度、クリープ特性の優れた材料を用いた専用金型の開発が必要である。

前報⁷⁾では、表面硬度 HRC60 程度のライニング層を形成させた複合金型の開発を目的に、機械的合金化 (メカニカルアロイイング : MA) 法によりセラミックス等で強化した超合金基複合粉末を試作した。この複合粉末の材料特性は、従来金型材 SKD61 と比べ鍛造温度領域に長時間保持 (600°C-1000 時間) した高温硬さが 2.5 倍に向上するなど高い耐久特性を確認できた。本報ではさらに耐摩耗性やクリープ特性などを評価するとともに、複合粉末を **図 1** の概念図に示す熱間等方加圧法 (HIP) で金型表面にニアネット拡散接合^{8),9)}する複合金型を試作し、恒温鍛造性を検討した。

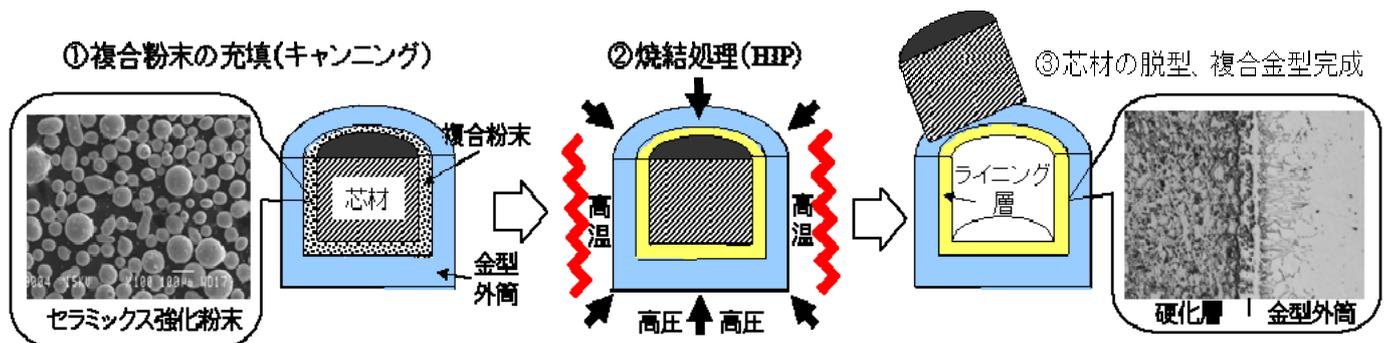


図 1 粉末HIP法による複合金型作製の概念図 (下型断面)

2 実験方法

2.1 MA 法による複合粉末の作製

ライニング層となる複合粉末は前報と同様、ベース材料として汎用 Ni 基超合金のうち、高硬度な内部介在物相 (lavas) の分散により耐摩耗、耐食性に優れるトリバロイ合金 T700 (ステライト社製) を使用した。強化材には硬度、クリープ変形抑止効果の高い金属ホウ化物粉の CrB_2 (日本新金属(株)製) を 20wt% 配合するとともに、金型表面の摩擦係数低減を目的に、自己潤滑性能¹⁰⁾ を有する WS_2 (日本潤滑剤(株)製) を 5wt% 配合した。

所定量配合後、高エネルギー型ボールミルであるアトライタ (三井鉱山(株)製: MA-D1) を用いて乾式 MA を行い、平均粒径約 $5\mu\text{m}$ の複合粉末を作製した。図 2 に複合粉末の粒度分布と電子顕微鏡による外観写真を示す。

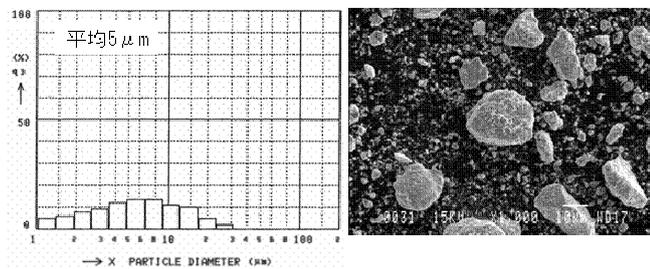


図 2 複合粉末の粒度と外観 ($\text{T700}+20\%\text{CrB}_2+5.0\%\text{WS}_2$)

2.2 ライニング材の物性評価

この複合粉末を放電焼結装置 (ソディックメカテック(株)製: PAS-V-H) により固化成形し、前報で未評価である従来金型材 (熱間工具鋼 SKD61 HRC45~50) と比較した摩擦摩耗、クリープ、熱膨張測定試験を行った。

摩擦摩耗試験ははじめに、乾式 (室温) にてラップ盤を利用した往復運動する SiC 研磨紙に試料を一定加重で押し付けて、試験前後の減量 (総摩耗量) を測定して評価した。研磨紙は #80、加圧力は $4\text{kgf}/\text{cm}^2$ とした。次に 3 ピンオンディスク式摩擦摩耗試験機 (株 A&D: EFM-3) を用い、モーターオイル中の湿式 (100°C) にて摩擦係数と表面粗さ計による摩耗形態の評価を行った。加圧力 $425\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、周速度 $10\text{m}/\text{min}$ 、相手材のピン ($\phi 5 \times \text{L}8\text{mm}$) は純アルミニウムとした。

クリープ試験はマイクロ・インデンテーションテスター (アルバック理工(株)製: $\mu\text{IT-1}$) による簡易評価を行った。本装置は高温中でダイヤ圧子を押すつけ、押し込み変位の時間的変化を連続測定できる。加重は 300g、恒温鍛造領域の 400°C で押し込みクリープ曲線を算出した。

熱膨張評価はレーザー透過非接触式線熱膨張収縮測定装置 (品川白煉瓦(株)製: SL1600A) を用いた。測定温度は 400°C まで、昇温速度は $100^\circ\text{C}/\text{h}$ とした。

2.3 複合金型試作と鍛造性評価

開発ライニング材 ($\text{T700}+20\%\text{CrB}_2+5.0\%\text{WS}_2$) を用い、HIP 法により簡易な複合金型の試作を行った。図 3 に試作した複合金型 (下型) 用 HIP カプセルの構成図と外観を示す。円筒カプセル底面に金型外筒を投入後、数 mm 程度のライニング厚さとなるよう所定量の複合粉末をタッピング充填し、芯金を装てんした。次に、脱気管付の蓋を TIG 溶接し、真空引きして加熱脱気後、菅を圧着密封処理して HIP カプセルのキャンニングを完了した。

HIP 条件は前報の放電焼結条件を参考に雰囲気温度 1000°C 、圧力 900 気圧で 2 時間保持し炉冷却取り出した。なお、金型外筒には HIP 処理冷却時の体積膨張に伴う変態応力を伴わず、かつ高温強度を有するフェライト系耐熱ステンレス鋼を選定した。

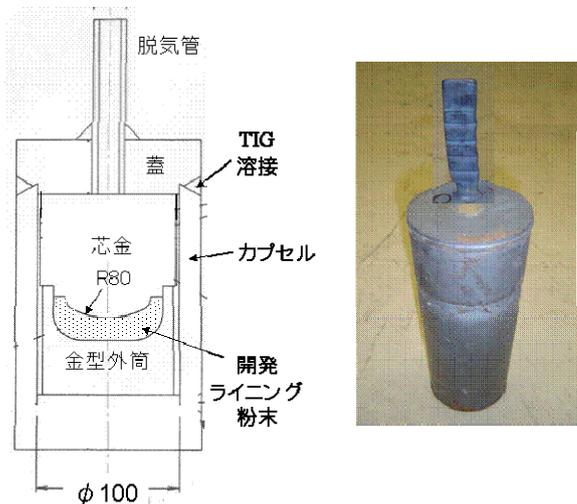


図 3 複合金型 (下型) 用 HIP カプセルの構成図と外観

図 4 に粉末 HIP 法により試作した据え込み鍛造用の簡易複合金型の外観を示す。下型は図 3 に示した HIP 後のカプセル表面層を旋盤加工し、芯金を脱型してそのまま使用した。芯金形状が転写され、ニアネットで表面研削加工することなく硬質なライニング層を得ることができた。

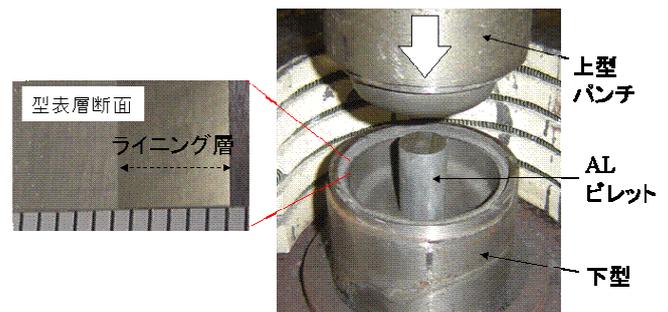


図 4 試作した据え込み鍛造用複合金型の外観
据えこみ鍛造試験は円柱状の A2014 アルミニウム合金

ピレット（φ25×L37.5mm）を圧縮成形して、成形荷重の推移を計測するとともに、ライニング層の損傷を評価した。鍛造温度は恒温鍛造領域の400℃、上型下降速度は1.5mm/secとした。なお、比較用に同形状の従来金型材（SKD61）での鍛造試験も実施した。

3 実験結果及び考察

3.1 摩擦摩耗特性

図5にSiC研磨盤を利用した乾式摩耗試験結果を示す。同条件下での単位面積当たりの摩耗減量は、従来金型材SKD61に比べ開発ライニング材が約1/2に低減した。これは強化材として配合したCrB₂セラミックス粉末による硬さの推移と一致する。

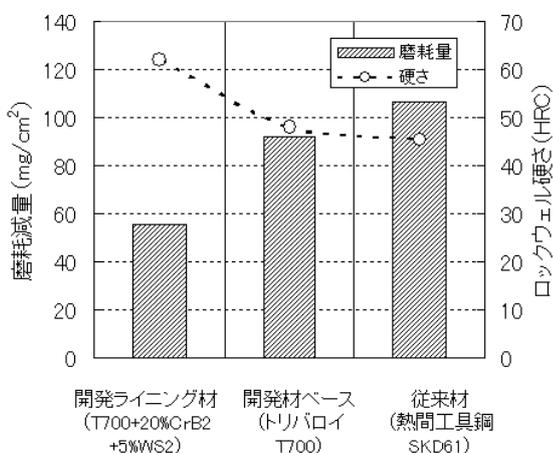


図5 乾式摩耗試験結果（至温）

図6にピンオンディスク方式による湿式摩耗試験結果を示す。摩擦係数は従来金型材SKD61の0.15に比べ開発ライニング材が0.13と、自己潤滑剤WS₂の効果もあり1割程度向上していた。試験後の表面摩耗形態を測定したところ、摩耗深さは開発ライニング材が10μm以内で推移しているのに対し、従来金型材SKD61は50μmの摩耗痕があるなど、湿式下でも耐摩耗性は向上した。

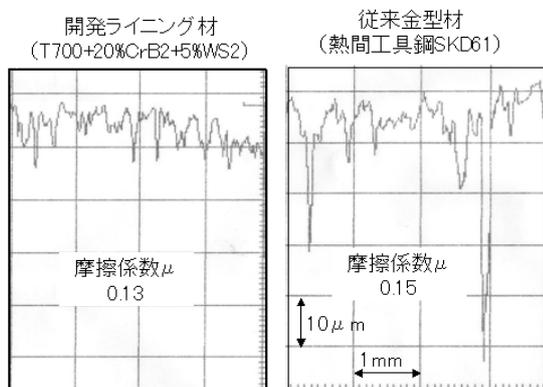


図6 湿式摩耗試験後の表面摩耗形態（100℃）

3.2 押し込みクリープ特性

図7に400℃恒温鍛造領域を想定した押し込みクリープ曲線を示す。開発ライニング材は従来金型材SKD61に比べ、瞬間変形量が約1/2、変形の増加度（曲線の傾き）も僅かに低くなるなど鍛造領域でのクリープ特性が向上した。これは複合金型で成形する鍛造製品の寸法精度に優位に働くと予想される。

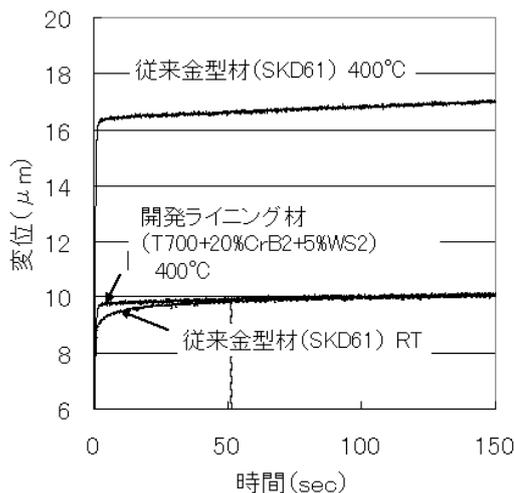


図7 各温度における押し込みクリープ曲線（300g）

3.3 熱膨張特性

図8に400℃までの線熱膨張係数の推移を示す。開発ライニング材はセラミックス粉末添加によって、ベース合金（T700）に比べ約 2×10^{-6} 下がり、 10×10^{-6} 以下の線熱膨張係数であった。この値は複合金型の外筒材に選定したステンレス鋼の値（約 10×10^{-6} ）とほぼ同レベルに制御できている。よって相対熱膨張係数が近似するため拡散接合部の残留応力が低減され、ライニング層の剥離などの問題が解消されると考える。

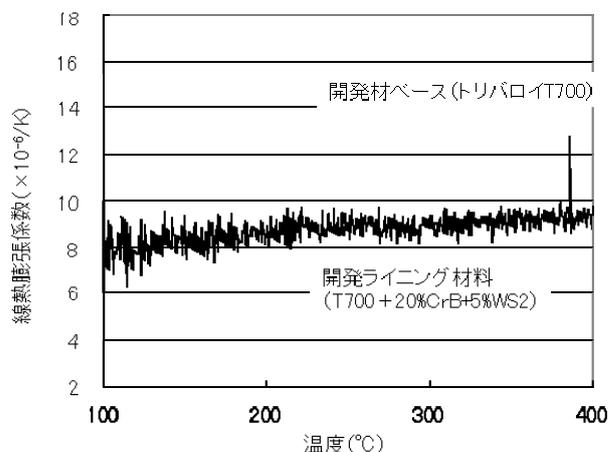


図8 線熱膨張係数測定結果（～400℃）

3.4 複合金型による鍛造性評価

図9に試作した複合金型のライニング層断面の光学顕微鏡組織とエネルギー分散型エックス線分析(EDX)による元素マッピング結果を示す。断面組織はHIP諸条件が低かったせいか、複合粉末の結晶粒界が完全に消失しなかったものの、強化材CrB₂(灰色部)と自己潤滑剤WS₂(黒色部)が分散した組織を呈している。

元素マッピングによりライニング層界面付近には50μm程度のNi濃化層が確認された。金属組織と比較したところ、金型外筒に使用したステンレス鋼側に複合粉末ベース材のNiが拡散したと推定される。このように層厚さの最適な調整は必要と思われるが、拡散層が形成されており、ライニング層の接合状態は良好と考える。

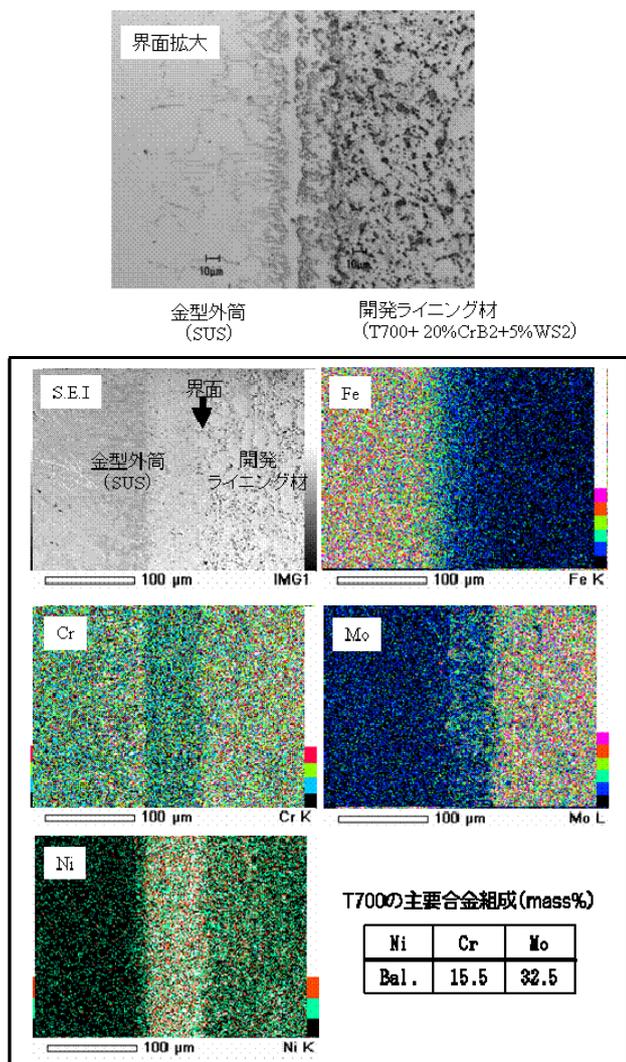


図9 ライニング層の光学顕微鏡組織とEDXマッピング分析結果

図10に400℃の恒温鍛造温度領域にてA2014合金ビレットを据えこみ圧縮成形した時の加重変位曲線を示す。初期の変形加重は、従来金型材SKD61と比べ開発ライニ

ング材による複合金型が2割程度低減した。金型表面粗度の違いもあり経時変化を含め詳細な検討は必要であるが、高硬度、自己潤滑剤WS₂の効果と考えられる。また、到達圧力は5ton/cm²に達したが、ライニング層に割れ、剥がれは発生せず強固な接合状態を確認した。

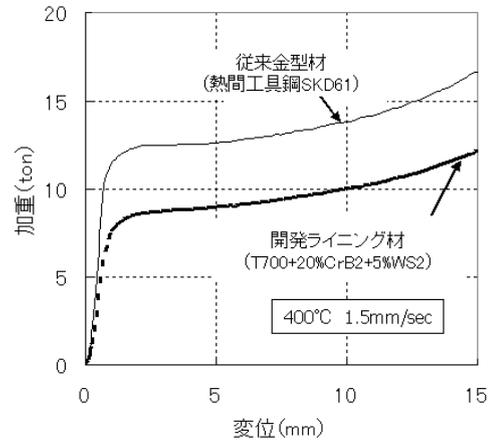


図10 A2014合金ビレットの据え込み加重変位曲線

4 結 言

強化材CrB₂、自己潤滑材WS₂を配合したNi基超合金ベースの複合粉末を開発し、粉末HIP法で金型表面にライニングさせた複合金型を試作した。

- 1) 硬度、耐摩耗性、クリープ特性に優れるライニング層は型表面に強固に拡散接合し、恒温鍛造試験後の剥離、割れなども確認されなかった。
- 2) 従来金型材と比べ初期成形加重の低減が期待できるなど、耐久性の良好な軽金属恒温鍛造用金型の製造技術を確立した。

今後、量産検討中の自動車部品金型へ適用を目指すとともに、実用化されている射出成形シリンダ向けにも配合調整し、広範囲な利用を模索する予定である。

文 献

- 1) 野中: 鍛造 第13回国際鍛造会議報告書 全日本鍛造工業会, 263
- 2) ALALYKIN A A et al.: Met, 56 (2002) 10, 630
- 3) 藤井他: 広島県西部工技研究報告, 46 (2003), 29
- 4) 府山他: 広島県西部工技研究報告, 47 (2004), 17
- 5) 府山: 鑄造工学会中四国支部会報: 27 (2004), 18
- 6) 日産自動車: 素形材, 38 (1997) 1, 56
- 7) 府山他: 広島県西部工技研究報告, 48 (2005), 28
- 8) 南出: 溶接技術, 38 (1990) 9, 112
- 9) 梅田他: 素形材, 32 (1991) 5, 7
- 10) 津谷: 固体潤滑ハンドブック, 幸書房