

ベータ型チタン合金の冷間鍛造性試験

Forgeability Tests on Titanium Alloy of 15V-3Al-3Sn-3Cr

野嶋 賢吾・篠崎 吉太郎*・初鹿野 寛一*・清水 透*・尾崎 文彦**・澤辺 弘***

Kengo Nojima, Kichitaro Shinozaki, Kanichi Hatsukano, Toru Shimizu, Fumihiko Ozaki and Hiromu Sawabe

ベータ型チタン合金 (Ti-15V-3Al-3Sn-3Cr) の硬さ試験、変形抵抗試験、後方押出し試験をした。また、試験片の加工熱による温度上昇、その後の型への熱移動による冷却の過程を推定した。これより、ベータ型チタン合金の鍛造性について考察した。

The hardness test, the flow stress test, and the back-ward extrusion test of Titanium alloy of 15V-3Al-3Sn-3Cr were carried out. Moreover, the temperature variations of the workpiece during the forge processing were estimated by considering that the heat generation from plastic deformation and the heat transfer from the workpiece to the die assemblies. The forgeabilities of Titanium alloy of 15V-3Al-3Sn-3Cr were considered from these examinations.

1. はじめに

チタン材料は航空・宇宙、民生品、医療・福祉、レジャー用品などへの利用が増し、報告^{1~2)}もあるが、 β 型チタン合金の冷間鍛造性について調べたので報告する。

において試験前に約 270 HV であったものが、試験後には約 300 HV まで硬化した。

2. 実験材料

試験材料の主要化学成分は表 1 のとおりである。

表 2 据込み試験条件

諸元	室温	250 °C
試験片寸法	$\phi 16 \times 24$	$\phi 10 \times 15$
試験速度	約 2 mm/min	1 mm/min
試験機	万能試験機	オートグラフ
潤滑剤	C+MoS ₂	C+MoS ₂

表 1 試験材料の主要化学成分

主要組成	主要化学成分 (%)			
	V	Al	Sn	Cr
Ti15V3Al3Sn3Cr	14-16	2.5-3.5	2.5-3.5	2.5-3.5

熱処理 : 735°C × 1h → 空冷

3. 変形抵抗

円柱形試験片を用いて据込み試験をし、圧縮変形抵抗～対数ひずみ曲線を求めた。試験温度は室温及び 250 °C であった。降伏点は約 800 MPa、ひずみ 0.6 において変形抵抗は 1200 MPa、250 °C における変形抵抗は室温の約 90% になった。試験片硬さは室温に

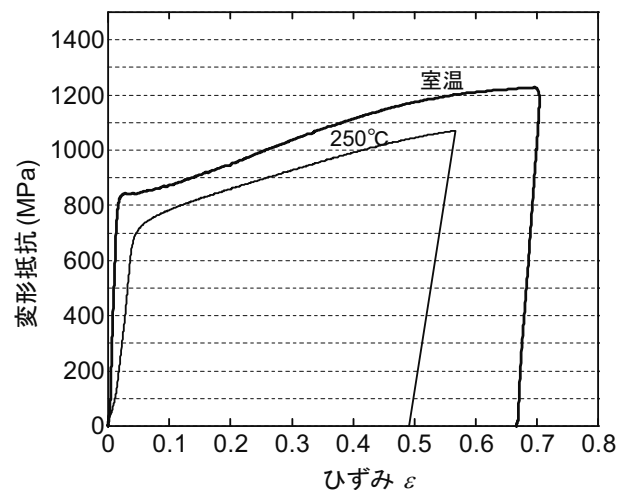


図 1 据込み試験結果

*独立行政法人産業技術総合研究所 **ヒーハイス精工株式会社 ***元冷間鍛造株式会社

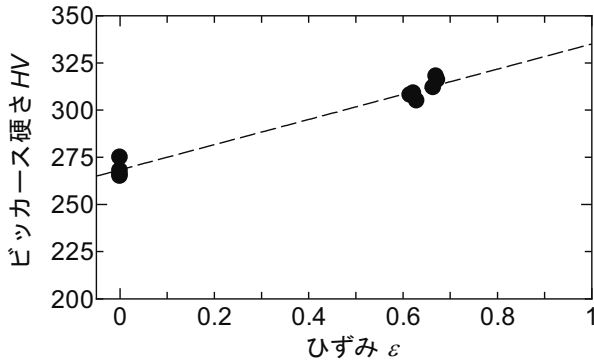


図2 室温における硬さ

4. 容器の後方押し実験

直径 16 mm、高さ 20 mm の円柱形試験片に黒鉛で潤滑して 1000 kN クランクプレスを用いて後方押し試験をした。先端形状及び断面減少率が異なるパンチを 2 種用いた。一つの条件では容器の上部が分離破損したが、下部は加工できた。他は健全な加工ができた。実験数は各 1 個しかなく、加工の成否の理由は特定できなかったが、室温における加工が可能であることはわかった。

表 3 後方押し加工条件

諸元	実験 1 (失敗)	実験 2 (成功)
パンチ径	φ12.4	φ11.2
断面減少率	60 %	49 %
潤滑剤	C+MoS ₂	C
パンチ材質	超硬	超硬
パンチ表面処理	—	TiN
パンチ先端形状	フラット	円錐 (α=85°)



(a) 実験 1

(b) 実験 2

図3 加工後の写真

5. 考察

室温においてβチタンの硬さは 270 HV であり、同じ硬さの炭素鋼の試験片を用いて断面減少率 60 % の後方押しパンチ圧力は約 5,000 MPa にも達すると予測され³⁾、パンチ強度の限界を越えた。実際には加工できる理由は加工熱で試験片が高温になり変形抵抗が下がるためと予想して鍛造中の温度を考察した。冷間鍛造品の荷重に及ぼす素材寸法効果を寸法による温度の違いによると予測して、無限円柱の熱伝導解析結果を利用して温度変化を計算した研究^{4~5)}を参考にし、モデルを無限円柱から球に変更し *Bi* 数を考慮して温度を予測することとした。

5.1 球モデル

加工中の鍛造品の温度は図 4 に示す温度計算モデルに従うと仮定した。すなわち、塑性変形エネルギーの 90 % が熱になり鍛造品を断熱的に温度上昇させた後、熱は加工時間中、工具へ伝わり低下する。鍛造加工に用いられるピレット形状は直径と高さがほぼ等しく、あるいはまた、比較的ずんぐりしており、ほぼ全面が型と接触しているため球形で近似した。球形の非定常熱伝導解析解は得られており、これを利用し、温度は球内の平均温度で代表することとした。このような場合の工具温度が変化しない *Bi* 数無限大の場合の熱伝導解析解を図 5 に、比較のため無限平板及び無限円柱の結果と共に示した。ここに T_0 、 T_m はそれぞれ発熱による初期の温度上昇量、鍛造品の平均温度、 F_0 、 a 、 t 、 R はそれぞれフーリエ数、温度伝導度、時間、球半径である。

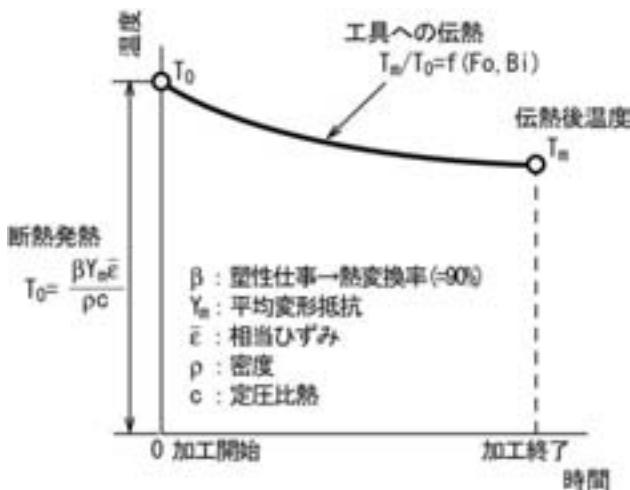


図4 温度計算モデル

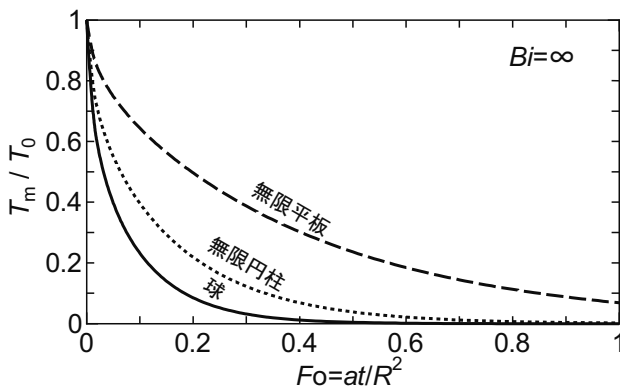


図5 無次元化平均温度

5.2 温度計算

塑性仕事の計算³⁾に必要な変形抵抗及び材料物性は図6及び表4に示した値を用いた。熱伝達の計算は Bi を無限大とはせず、接触熱コンダクタンスは $100 \text{ kW}/(\text{m}^2\text{K})$ 、加工時間は塑性変形域は球で表され、その直径をパンチが通過する時間として、解析解を開示プログラムコード⁶⁾を利用して計算した。はじめに室温における変形抵抗を利用して塑性仕事による温度上昇を計算し、温度伝達による温度低下を求めた。次に最初の計算結果による温度における変形抵抗を用いて塑性仕事による温度上昇、型への伝達による温度低下の計算をした。これらの温度が等しくなるまで計算を繰り返した。 β チタンに対する計算結果を加工速度の影響を調べるため、速度約 200 mm/s のほか 100 及び 50 mm/s に対して図7に示した。加工中にチタンの鍛造品は約 $500 \text{ }^\circ\text{C}$ に達している。

図8に各種材料を用いて断面減少率 65 %の後方押し出し加工をした場合の結果を示した。チタン合金は変形抵抗が大きく、密度・比熱も小さいため、発熱性は高く、他の材料の3~10倍の発熱温度となった。また、図8の結果から小寸法の素材は熱伝達が寸法素材よりも大きく、鍛造品の温度は低く、加工圧力は高いことがわかる。チタンの加工圧力は素材断面積当たり約 $1600 \sim 1800 \text{ MPa}$ であった。

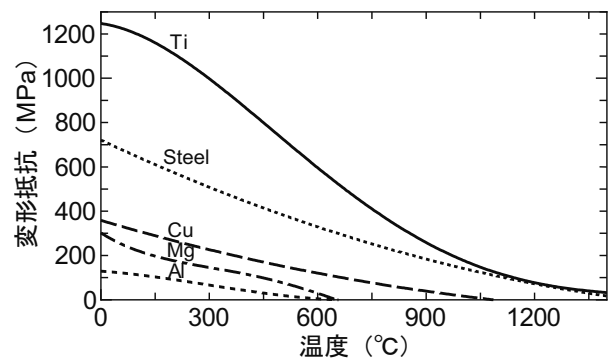


図6 計算に用いた変形抵抗(温度依存性のみ考慮)

表4 熱計算に用いた物性値

	ρ kg/m ³	c kJ/(kgK)	K W/(mK)	$a(\times 10^{-5})$ m ² /s
Ti	4420	0.537	8	0.32
Steel	7860	0.473	43	1.39
Al	2710	0.904	222	9.06
Cu	8920	0.380	384	10.13
Mg	1770	0.994	96	5.46

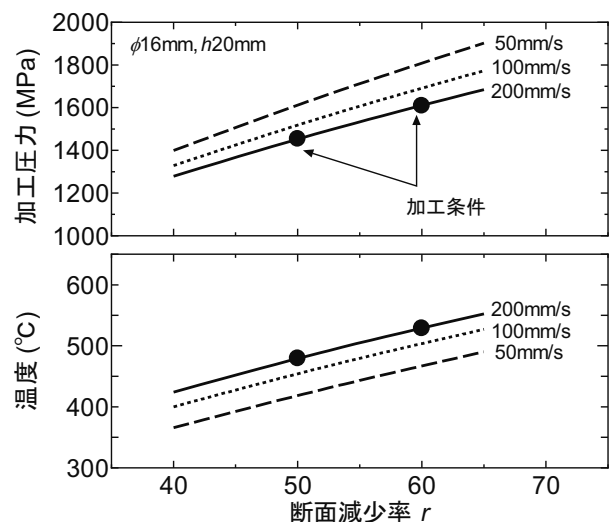


図7 チタンの温度・圧力計算結果

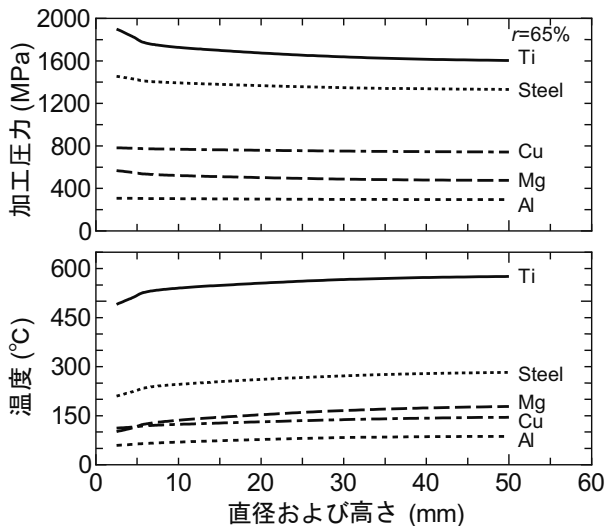


図8 各種材料の温度及び圧力計算結果
(機械プレス)

6. おわりに

β 型チタン合金は冷間鍛造は可能であるが、加工発熱は著しく容易に500℃にも達し、潤滑剤の耐熱性が重要と思われた。まだ実験数は少なく計算に用いた物性値も近似値であり不完全ではあるが、考え方は間違いないと思われたので報告した。今後は実験数を増してデータの信頼性を高めるとともに温度計算モデルを完成させたい。

謝辞

本研究は、独立行政法人産業技術総合研究所・デジタルものづくり研究センターにおける技術研修のなかで実施したものである。そして、本報告は、第58回塑性加工連合講演会において発表したものである。

産業技術総合研究所・デジタルものづくり研究センターの篠崎吉太郎先生には、本研究の遂行にあたり、多大なご指導をいただいた。また、同センターの尾崎浩一先生には、技術研修の受け入れに際して多大なご尽力をいただくとともに、貴重なご助言をいただいた。

産業技術総合研究所・先進製造プロセス研究部門・難加工材成形研究グループの初鹿野寛一先生および清水透先生には、実験の実施に際し多大なご協

力をいただいた。

ヒーハイト精工株式会社の尾崎文彦氏には、実験試料をご提供いただいた。

元冷間鍛造株式会社の澤辺弘氏には、貴重なご助言をいただいた。

ここに記して衷心より御礼申し上げる。

文献

- 1) 黒川則夫; タッピングフォーマーによるチタン成形、日本塑性加工学会鍛造分科会 第32回鍛造実務講座 (2005)
- 2) 龍野信隆; 自転車部品と冷間鍛造・最近の話題 冷鍛ファミリー会技術資料No30 (2005)
- 3) 篠崎吉太郎、江端幹夫、大橋隆弘、清水透、初鹿野寛一; 実用冷間押し加工計算プログラムの試作、第56回塑性加工連合講演会 (2005) P625
- 4) H. S. Carslaw, J. C. Jaeger; Conduction of heat in solids (1959)
- 5) 篠崎吉太郎、清水透、工藤英明; 丸棒前方押し加工圧力に及ぼす素材寸法の影響の熱力学的検討、第41回塑性加工連合講演会 P463 (1990)
- 6) 丸山茂男; 非定常温度分布を求めるcプログラム <http://www.photon.t.u-tokyo.ac.jp/~maruyama/netsu2/netsu2.html>