

高耐熱 Ti(C, N)-W サーメット金型によるインコネル 718 合金の恒温鍛造

Isothermal Forging of Inconel 718 Alloy Using High Heat Resistant Ti(C, N)-W Cermet Molds

産総研 (正) *村上 敬 (非) 加藤 正仁

Takashi Murakami, Masahito Katoh

AIST

1. はじめに

近年航空機、発電用大型蒸気タービンなどの分野では、熱効率改善の目的でインコネル 718 合金等の Ni 基超合金製部品の使用量が増加傾向にある。これら Ni 基超合金は 1000℃ 近辺まで高強度であるために、約 1000℃ に加熱した被加工材を低温の金型で成形する熱間鍛造では、鍛造中被加工材温度が大きく低下するため加工が非常に難しい。このため被加工材と金型両方を加工温度まで加熱して、鍛造を行う恒温鍛造を行う必要があるが、そのためには Ni 基超合金よりはるかに高温強度に優れ、かつ室温で高靱性を示す金型を準備する必要がある。

現在恒温鍛造用金型としてチタン-ジルコニウム-モリブデン合金 (TZM 合金) やインコネル 713C 等が知られている。しかし両者共に 1000℃ 以上での強度は不十分であり、市販の被加工材を直接恒温鍛造するのは難しい。このため、ホットプレスで作製した粉末成形体を押出加工したり、高圧スライド加工のような強加工をすることで被加工材の結晶粒を微細化し、超塑性現象が起こりやすい状態にしてから従来の金型が強度を保てる低い温度で恒温鍛造を行っている^{1,2)}。しかしこれらの方法では、大型かつ複雑形状の部材を作製しにくく、さらに恒温鍛造の前に結晶微細化の前処理を入れることで製造コストが上がる問題がある。

一方著者らは最近室温で高靱性で、かつ 1600℃ で約 1000MPa の降伏応力を示す、従来の金型材料よりはるかに高強度の Ti(C, N)-70mass% W サーメットを開発している^{3,4)}。このサーメットを恒温鍛造金型として利用すれば、市販の Ni 基超合金を前処理なしに直接恒温鍛造できると考えている。

このため本研究では、Ti(C, N)-70mass% W サーメット製金型を用いて、真空中 900℃ ~ 1100℃ の条件で市販のインコネル 718 合金素材を恒温鍛造する実験を行ってみた。

2. 実験方法

本研究では、粒径サブミクロンオーダーの Ti(C, N), W 粉末を湿式ボールミルにて混合後、アルゴンガス雰囲気中焼結温度 1850℃、加圧力 40MPa、保持時間 1.8ks の条件で放電プラズマ焼結を行い、焼結後得られた焼結体から直径 18mm、厚さ 10mm の丸板を切り出し、金型として使用した。また市販のインコネル 718 合金素材から直径 3mm、高さ 5mm 及び直径 5mm、高さ 5mm の試験片を切り出し、恒温鍛造試験の被加工材とした。さらに超硬合金 K10 製金型を比較材として準備し、鍛造前全ての金型表面に h-

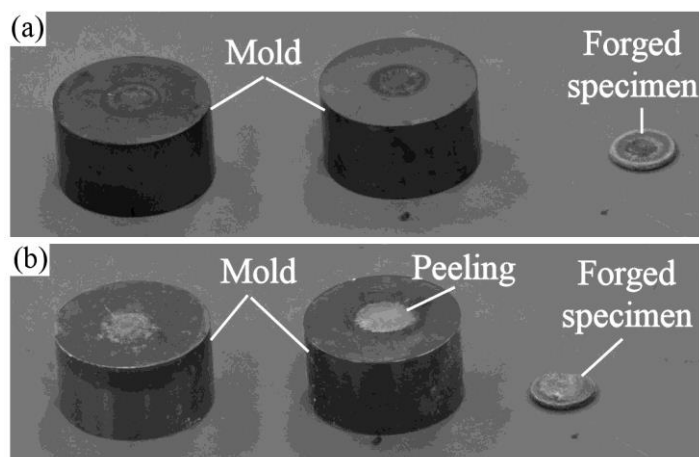


Fig. 1 Appearance of (a) Ti(C, N)-70mass% W and (b) K10 cemented carbide molds and commercially available Inconel 718 alloy specimens after the isothermal forging at an initial pressure of 1414 MPa at 900 degree C.

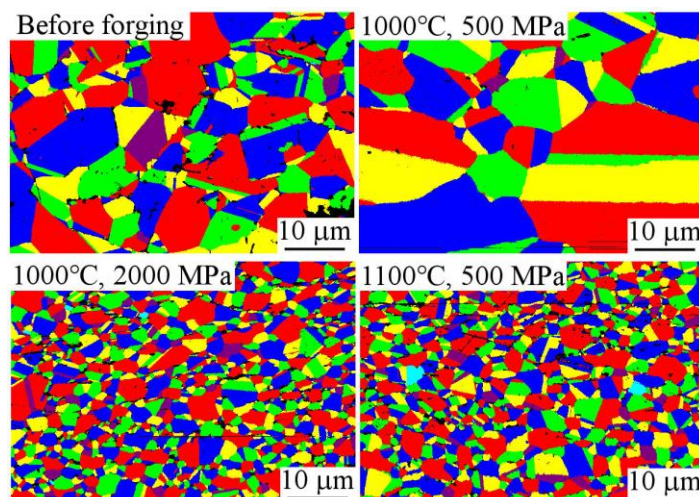


Fig. 2 SEM-EBSD images of Inconel 718 alloy specimens before and after forging at initial pressures of 500 MPa and 2000 MPa at 1000- and 1100-degree C.

BN 系離型剤を塗布した。恒温鍛造試験は据え込み式で、真空中 900℃、1000℃、1100℃、鍛造開始時の圧力 500MPa～2000MPa の条件で行った。鍛造後、金型から剥がした被加工材について、SEM-EBSD による断面組織観察、及び荷重 9.8N、荷重時間 15s の条件でマイクロビッカース硬さ試験を実施した。

3. 実験結果

図 1 に温度 900℃、鍛造開始時の圧力 1415MPa で試験を行った後の Ti(C, N)-70mass%W サーメット、超硬合金 K10 製金型及びインコネル 718 試験片の外観を示す。超硬合金製金型を用いた場合、被加工材は鍛造温度 900℃で金型に付着し、金型の一部が破損したが、Ti(C, N)-70mass%W サーメットは鍛造温度 1000℃&鍛造開始時圧力 2000MPa、鍛造温度 1100℃&鍛造開始時圧力 500MPa の条件でも付着しないことがわかった。

図 2 に鍛造前及び鍛造温度 1000℃&鍛造開始時圧力 500MPa、2000MPa、鍛造温度 1100℃&鍛造開始時圧力 500MPa の条件で鍛造後のインコネル 718 合金の粒径分布を示す。被加工材の粒径は鍛造温度を上げるか、開始時圧力を上げた時に粒径 3～4 ミクロンレベルにまで細かくなることがわかった。なお図 2 で観察された結晶粒微細化は動的再結晶にて起こったと考えている⁵⁾。

図 3 に鍛造後のインコネル 718 合金試験片のマイクロビッカース硬さを示す。被加工材の硬さは粒径が細かい方が高くなる傾向が見られ、さらに鍛造温度 1100℃&鍛造開始時の圧力 500MPa で行った試験片より、鍛造温度 1000℃&鍛造開始時の圧力 2000MPa で行った試験片の方が高くなることがわかった。この原因としては、前者より後者の方がひずみや格子欠陥が残りやすかったためではと考えているが、詳細は今後確認する方針である。

4. おわりに

本研究では高温強度が非常に優れる Ti(C, N)-70mass%W サーメット製金型を用いて、従来の金型では難しかった市販のインコネル 718 合金の据え込み式恒温鍛造を粒径微細化の前処理なしに行えることを明らかにした。今後は据え込み式より難易度の高い、より複雑形状の成形体が直接得られる市販のインコネル 718 合金の恒温鍛造を試みていく予定である。

文献

- 1) 瀧沢陽一, 堀田善治: 高圧スライド加工 (HPS) 法による結晶粒超微細化—超塑性成形を目指して—, ぷらすとす, 5 (2022) 137.
- 2) A. Banik, X. Pierron, D.U. Furrer, J. Lemsky, S. Jain: Development and utilization of press converted powder metal superalloy billet. Advanced technologies for superalloy affordability: proceedings of a symposium sponsored by the Structural Materials Division of the Minerals, Metals & Materials Society (TMS) held during the 2000 TMS Annual Meeting in Nashville, Tennessee, March 12-16, 2000, pp. 253.
- 3) 松倉大佑: 東北大学工学部卒業論文(2022).
- 4) T. Murakami, A. Korenaga, T. Ohana: Microstructure, mechanical properties, oxidation behaviors, and cutting performance of TiC_{0.5}N_{0.5}-X (X: W, Mo) cermet specimens prepared by spark plasma sintering, Ceram. Int., 47, (2021) 1986.
- 5) R. Gujrali, C. Gupta, J.S. Jha, S. Mishra, A. Alankar: Understanding activation energy of dynamic recrystallization in Inconel 718, Mater. Sci. Eng. A, 744 (2019) 638.

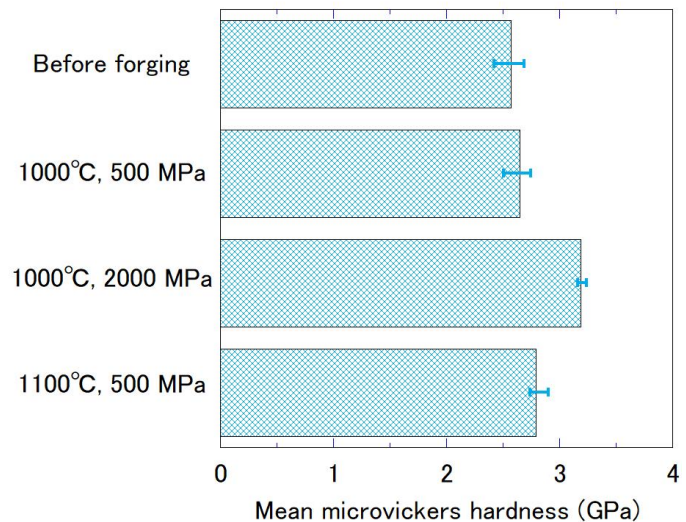


Fig. 3 Microvickers hardness of Inconel 718 alloy specimens after isothermal forging.