

# 高速静水圧プレス HCP で作製したインコネル 713C 合金 圧粉体の焼結についての検討

國次 真輔・日野 実・高田 潤\*・宇高 政道\*\*

Shinsuke KUNITSUGU, Makoto HINO, Jun TAKADA\* and Masamichi UDAKA\*\*

キーワード インコネル 713C/高速静水圧プレス/焼結  
KEY WORDS Inconel713C/HCP/Sintering

## 1 はじめに

インコネルなどの Ni 基耐熱合金は、優れた高温特性を有していることから、航空機、ガスタービン、ロケット、人工衛星、宇宙船の部品、原子炉部品、核燃料スペーサーやスプリング、熱間押出工具といった数多くの用途に用いられている<sup>1)</sup>。一連のインコネル合金の中でインコネル 713C は、特性高温強度と耐食性を兼ね備えた析出硬化型 Ni 合金であり、クリープ強度に優れていることが知られている<sup>2)</sup>。

高速静水圧プレス (High-Speed Centrifugal Compaction Process 以下 HCP と記す) は、粉末を用いた精密金型による遠心鑄込み成形法の一つである。複雑形状を有する圧粉体を作製でき、焼結により緻密な成形体を作製することができる<sup>3)</sup>。

本研究では、優れた高温強度を有するインコネル 713C 成形体の作製を目的として、高速静水圧プレス (HCP) により圧粉体を作製し、その焼結体の焼結条件による微細組織の変化について調べたので報告する。

## 2 実験

原料粉末として公称粒径が  $8\sim 9\mu\text{m}$  である市販品のインコネル 713C を用いた (図 1)。粒度分布解析を行った結果、メディア径  $10.8\mu\text{m}$ 、モード径  $9.2\mu\text{m}$ 、平均値  $11.1\mu\text{m}$ 、標準偏差  $0.34\mu\text{m}$  であった。原料粉末と分散媒、分散材および結合材により泥しようを作製し、これを遠心分離することで圧粉体を作製した (高速静水圧プレス HCP)。これを焼結することによって焼結体を得た。焼結条件は図 2 に示すように、2つのパターン ( $1250^\circ\text{C}$  窒素中と  $1280^\circ\text{C}$  真空中) で行った。具体的には、HCP により作製した圧粉体をまず Ar 中で室温から  $880^\circ\text{C}$  までは 6 時間かけてゆっく

り昇温し、 $880^\circ\text{C}$  真空中で一旦 45 分間保持した後、焼結温度まで Ar 中で 4 時間かけて昇温した。その後、次の 2 種類の条件で焼結を行った。一つは窒素中、 $1250^\circ\text{C}$  (サンプル No.1)、もう一つは真空雰囲気、 $1280^\circ\text{C}$  (サンプル No.2) とした。これらの焼結処理の後、各焼結温度から  $900^\circ\text{C}$  まで窒素中で 3 時間かけてゆっくり冷却し、その後放冷した。得られた試料の組織観察は光学顕微鏡と X 線マイクロアナライザーで行った。

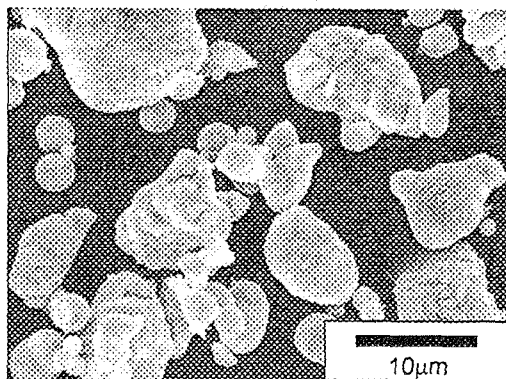


図 1 インコネル 713C 粉末の SEM 写真

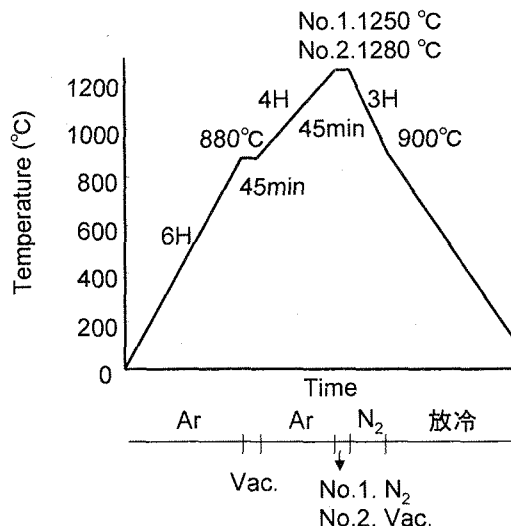


図 2 焼結条件

\*岡山大学大学院

\*\*アロイ工業株式会社

### 3 結果と考察

図3に、窒素中1250℃(サンプル No.1)および真空雰囲気1280℃(サンプル No.2)で焼結したインコネル713C焼結体の組織写真をそれぞれ示す。

サンプル No.1 では、空孔が多く存在していることが認められた。一方、サンプル No.2 では、サンプル No.1 で見られた空孔はほとんど存在せず、緻密で均一な微細金属組織を呈することがわかった。このサンプル No.2 での一つの結晶粒の大きさは数十 $\mu\text{m}$ 程度あった。これらの結果は、真空中1280℃での焼結では処理中に溶解凝固過程を経ていることを示唆している。

サンプル No.1 の試料では白色および黒色の点で現される析出物が母材組織 $\gamma$ 相および $\gamma'$ 相中に一様に分散しているのに対し、サンプル No.2 の試料では結晶粒界にその分布が集中していることがわかる。サンプル No.1 における $\gamma'$ 相は $\text{Ni}_3\text{Al}$ または $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$ であると推測できる。また、NiとCrから構成される $\gamma$ 相の中に $\gamma'$ 相が存在する組織が明確に観察できる。さらに、2種類の炭化物((Cr, Mo)系および(Nb, Ti)系の炭化物)の形成が認められた。これらの炭化物は $\gamma$ 相および $\gamma'$ 相中に一様に分散していることは重要である。

サンプル No.2 では、 $\gamma'$ 相の大きさや、形成された炭化物の構成元素の種類、ならびに炭化物が分布する場所が、サンプル No.1 のそれらとは大きく異なる。図から明らかなように、母材の $\gamma$ 相中に析出した $\gamma'$ 相が著しく微細化していることがわかる。また、2種類の炭化物が結晶粒界付近または粒界中に形成・存在していることが明らかとなった。1つは $\gamma$ 相や $\gamma'$ 相の結晶粒界付近に存在している(Mo, Nb, Ti)系炭化物である。もうひとつは、Crのみから構成されるCr系炭化物であり、結晶粒界中にその存在が確認できる。このCr系炭化物は、サンプル No.1 での(Cr, Mo)系炭化物とは異なっていることが興味深い。

以上のように、サンプル No.1 とサンプル No.2 では、微細組織が大きく異なっていることが明らかとなった。一般に、母材 $\gamma$ 相中の $\gamma'$ 相の析出状態は低温および高温での強度に著しく影響を及ぼ

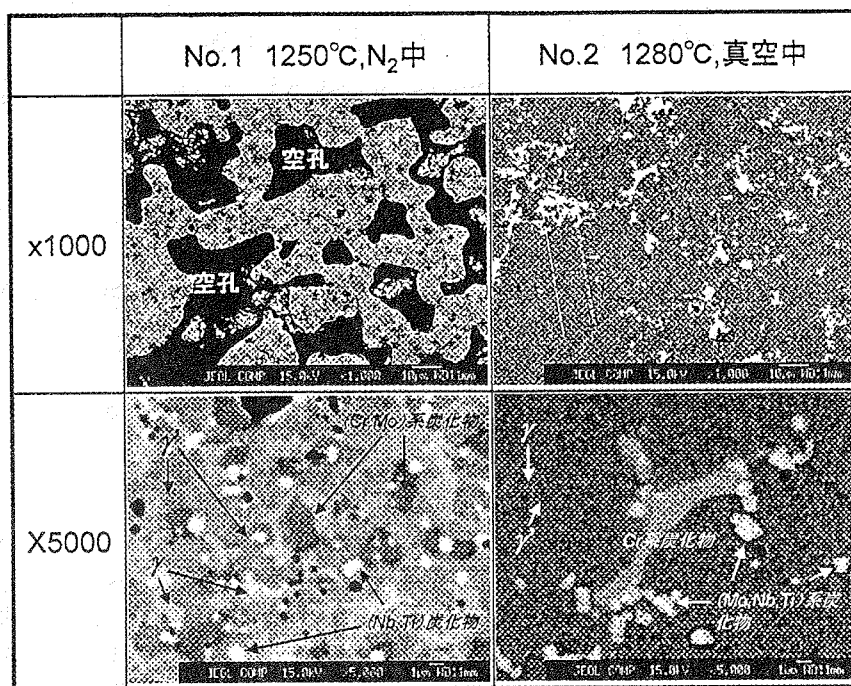


図3 インコネル713C焼結体の反射電子(組成)像

すことが知られている<sup>3)</sup>。また、サンプル No.1 での $\gamma$ 相中に一様に分散している(Cr, Mo)系炭化物と(Nb, Ti)系炭化物は、外力に対し転位の移動を妨げるのに有効であると推測される。これとは対照的に、サンプル No.2 で観察された(Mo, Nb, Ti)系とCr系炭化物の結晶粒界での存在は、微細な $\gamma'$ 相の析出で強化された結晶と比較して結晶粒界の強度の相対的な低下、特に高温側でのクリープ破断強さの低下を招く恐れがあり、注意を要する。

### 4 おわりに

インコネル713C合金粉末を用いた高速静水圧プレスHCPでの成形体を作製する場合、焼結条件によって金属組織が大きく変化した。そこで、インコネル713Cでは通常は施されない熱処理、特に溶体化処理および時効硬化処理の最適な条件を見いだすことによって、より精緻な組織制御が可能となり優れた成型品を得ることが期待できる。

### 参考文献

- 1) ステンレス鋼便覧第3版, 日刊工業新聞社(1995)p.725
- 2) 田島俊造, 鈴木裕之, 黒木英憲, 粉末および粉末冶金, 40, 1, 3(1993)
- 3) ステンレス鋼便覧第3版, 日刊工業新聞社(1995)p.727