

# 脆化相の生成をおさえた新しいステンレス鋼の開発

## 粉末冶金法による高耐食性鉄合金

鉄粉末とクロム粉末を重量比 53.8 : 46.2 (以下 Fe-48at%Cr) に配合してメカニカルアロイング法で合金化し、パルス通電焼結により固化成形した。溶解プロセスを経た場合には脆い相 (以下  $\sigma$  相) が生成するが、この方法で作製された成形体は  $\sigma$  相を含有しておらず、しかも微細な結晶粒で構成されていた。また、室温における引張強度が 1 GPa を超え、伸び率 10% 以上を示す高強度・高延性の材料であった。

Fe-48at%Cr alloy has been synthesized using mechanical alloying (MA) of Fe and Cr powder and consolidated using pulsed current sintering (PCS). The obtained Fe-48at%Cr alloy has consisted of fine grains without a brittle sigma phase, which precipitated inevitably in Fe-48at%Cr cast alloy. Fe-48at%Cr alloy fabricated by the newly proposed process (MA-PCS) has showed a high strength of over 1GPa and a high elongation more 10% at room temperature.

### 新しいステンレス鋼

耐食性が優れた工業用材料としてステンレス鋼が普及している。しかし、溶接時の割れなどを防ぐには高温での耐酸化性を改善する必要があり、クロム含有量の多いフェライト系ステンレス鋼の開発が望まれている。鉄とクロムで構成されるフェライト系ステンレス鋼は、クロム含有量が増加すると硬くて脆い  $\sigma$  相が生成することが知られており、従来のプロセス技術では実用的な合金を開発することができなかった。そのため、「ナノメタル」プロジェ

クト (NEDO) などでのこのテーマが取り上げられ、超高純度溶解技術を利用したプロセスの開発が進められている。

われわれは、粉末冶金法を利用した Fe-48at%Cr 合金の新しい合成技術とパルス通電焼結技術を用いた非溶解の固化成形技術を開発し、この合金の機械的特性を明らかにしてきた。なお Fe-48at%Cr 合金は二成分で構成される高クロム含有のフェライト系ステンレス鋼であり、SUS430 (Fe-Cr-Ni系) などの多成分系の合金に比べてリサイクルが容易である。

**西尾敏幸** Toshiyuki Nishio  
t-nishio@aist.go.jp  
サステナブルマテリアル研究部門  
相制御材料研究グループ 主任研究員

金属を溶解してそれに形状を付与する鋳造技術において、材質向上に関する研究を中心に研究開発を行っている。特に急冷凝固法による組織微細化や非平衡相化、さらに粉末冶金技術を組み合わせた超微細組織化などを中心に、材料開発と成形技術を一体化した研究に従事してきた。ここで紹介したテーマの他に、鉛フリー銅合金の開発やマグネシウム基複合材料の開発などに注力している。

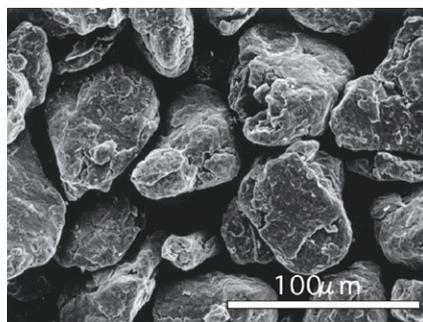
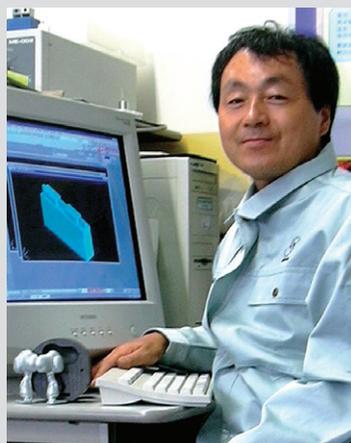


図1 360ks のメカニカルアロイング処理で得られた Fe-48at%Cr 合金粉末の走査型電子顕微鏡写真



図2 パルス通電焼結で得られた焼結体と加工した引張試験片の外観

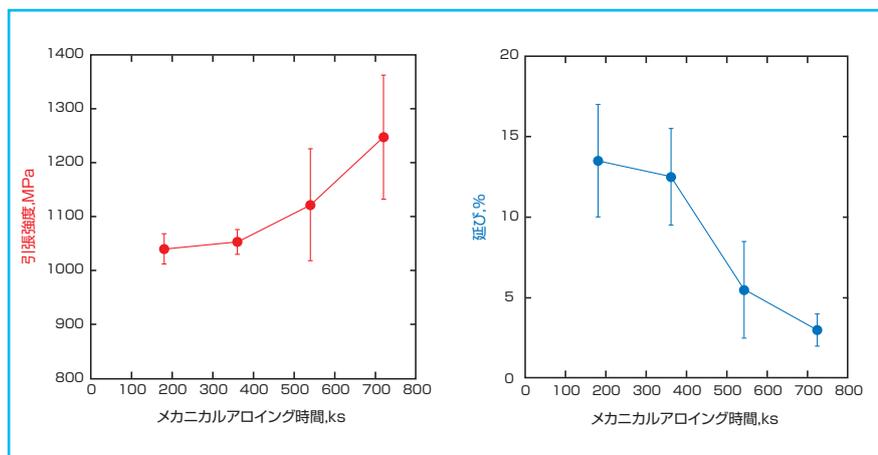


図3 種々のメカニカルアロイング時間で合成したFe-48at%Cr合金の機械的特性

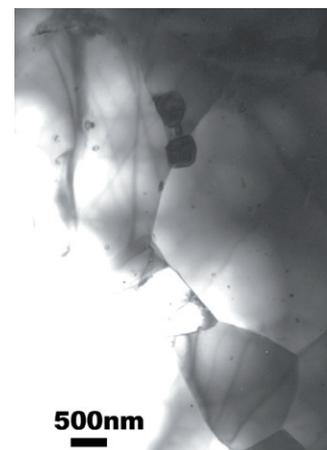


図4 Fe-48at%Cr合金の透過型電子顕微鏡による観察組織

### 合金の作製法

Fe-48at%Cr合金粉末は、目的組成の鉄粉末とクロム粉末を容器に粉碎球とともに入れ、メカニカルアロイング法によって減圧不活性ガス中で合成した。メカニカルアロイング法は金属の展延性を利用して合金を合成する方法で、容器や粉碎球への溶着が問題となる場合が多い。しかし、この合金組成では720ks（200時間）の処理を行っても、原料粉末の90%以上を回収することができた。容器や粉碎球への付着が少ないことから、スケールアップによる量産化も比較的容易ではないかと考えられる。360ks（100時間）のメカニカルアロイング処理で得られた粉末は、図1に示すように50 $\mu$ m程度の粉末であり、FeとCrの固溶体となっている。得られた粉末をパルス通電焼結装置によって、33MPaの加圧下で800～900 $^{\circ}$ Cまで加熱すると、緻密な成形体を作製することができた。図2（上）に得られた成形体の外観（5mm $\times$ 5mm $\times$ 30mm）を示す。

### 合金の機械的特性

この合金を図2（下）のような引張試験片の形状に加工して測定した機械的特性を図3に示す。メカニカルアロイング時間が長くなると、強度が上昇して伸びが低下することがわかる。これは、処理時に雰囲気から微量に混入する酸素や窒素などの固溶による影響である。360ks間の処理で合成されたFe-48at%Cr合金は強度と伸びのバランスが優れており、室温での引張強度が1050MPaで12%の伸びを示すことがわかった。得られた焼結体の組織は、図4に示すように1 $\mu$ m程度の微細な結晶粒で構成されている。このため高強度で高延性を実現できたものと考えられる。

### 複雑な形状の合金の成形

メカニカルアロイング法で合成された粉末を複雑な形状の黒鉛型に充填すれば、3次元の複雑な形状の成形を行うことができる。Fe-48at%Cr合金を板状引張試験片の形状にパル

ス通電焼結で成形した試料を図5に示す。パルス通電焼結時の黒鉛型と焼結体の熱膨張の差により、複雑形状の成形体ではクラックが発生する機会が多いが、この合金は強度が高く、延性があるためクラックを発生することなく成形体を作製することができた。そしてこの合金は、パルス通電焼結による小さな複雑な形状の成形体に適した材料であることが確認できた。今後、より複雑な形状の成形体の作製をめざして、型技術と連動した研究開発を行う予定である。

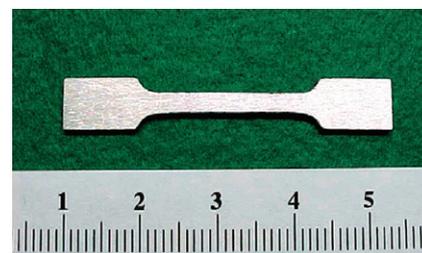


図5 パルス通電焼結で成形したFe-48at%Cr焼結体の外観

#### 関連情報：

- 小林慶三, 松本章宏, 西尾敏幸, 尾崎公洋, 杉山明: 粉体および粉末冶金, 47, 1097-1101 (2000).
- 特許第 3054703 号「強度に優れる鉄クロム合金の製造方法」