セ ン ダ ス ト の 延 性

花 田 修 治* 佐 藤 敬*
渡 辺 貞 夫* 和 泉 修*

Ductility of Sendust Alloys

Shuji Hanada*, Takashi Sato*, Sadao Watanabe* and Osamu Izumi*

Fe-9.6%Si-5.4%Al で代表されるセンダスト⁽¹⁾は透磁率、磁束密度が著しく高いのに加えて耐摩耗性に優れた磁心材料として広く知られ、磁気ヘッド用コア材として最適な合金である。しかしながらこの合金は非常に脆いため塑性加工はほとんど不可能であると考えられ、これまでの塑性加工に関する研究の多くは塑性加工が可能な合金組成あるいは添加元素を見出すことにその主眼が置かれていた。このような立場からいくつかの延性的センダストが開発され⁽²⁾⁽³⁾、圧延加工は可能になったが、その反面、Fe-9.6%Si-5.4%Al に比較して磁気特性や耐摩耗性の劣化を避けることはできなかった。そこでわれわれは磁気特性の最も優れた代表的センダスト Fe-9.6%Si-5.4%Al の塑性加工の可能性を探求する意図から、Fe₃Al, Fe₃Si, Fe₃(Al, Si) などセンダストと同じ DO₃ 型結晶構造をもつ合金の溶解・鋳造法、塑性変形の特徴、圧延加工性などについて系統的に研究してきた^{(4)~(7)}。その結果に基づいて、センダストも溶解・鋳造条件を制御した上で塑性加工時の変形条件を適切に選択すれば容易に塑性加工できることを見出したので報告する。

センダスト多結晶(化学分析値, Fe-9.8%Si-5.3%Al)を室温で圧縮変形すると試料表面に変形の初期からすべり線の他に結晶粒界近傍にクラックが観察された。規則合金の中には von Mises の条件、すなわち多結晶体が結晶粒界で連続性を保ちながら変形するためには5個以上のすべり系の活動が必要であるという条件を満足しないために脆いと考えられている合金系もある⁽⁸⁾のでこの点について検討した。センダスト単結晶(化学分析値, Fe-9.5%Si-5.4%Al)は300~1173 K の温度範囲で圧縮変形によりすべりが生じ、活動するすべり系は圧縮軸方位に依存して{110}<111> および {112}<111> であることが確かめられた。従って von Mises の条件は満足されているのでセ

ンダストの脆さはすべり系の数に起因するものではないと思われる。

単結晶および多結晶を圧縮変形したときの降伏応力は温度が上昇するとともに次第に減少し、ある温度 $T(\dot{\epsilon})$ から急激に低下する。 $T(\dot{\epsilon})$ はひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ に依存し、 $\dot{\epsilon}$ が小さくなると $T(\dot{\epsilon})$ は低下する。 $T(\dot{\epsilon})$ 以下の温度では加工硬化が著しいが $T(\dot{\epsilon})$ 以上では小さくなり、ある温度以上では加工硬化がほとんど現れなくなる。代表的な応力-ひずみ曲線を Fig.1 に示す。加工硬化を示さない変形条件の下ではクラックを全く発生することなく圧縮変形を行うことができる。引張変形においても定常変形が現れたが、このような変形条件の下では3点曲げ変形、プレス型曲げ変形なども可能であった。Photo.1 にその代表例として引張および圧縮変形したときの試料形状の変化を示す。このように

Fig.1 True stress-true strain curves of Fe-9.8%Si-5.3%Al at temperatures between 923 and 1123 K and $1.3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$.

* 東北大学金属材料研究所(The Research Institute for Iron, Steel and Other Metals, Tohoku University, Sendai)

Photo.1 Example of the highly ductile tests at low strain rates.

(a) left: as machined. right: 100% elongation at 1123 K and $1.1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$.

(b) left: as machined. right: 67% compression at 1123 K and $1.3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$.

して塑性変形を受けた試料の内部には変形前の結晶粒界に沿って微細な再結晶粒の発生が観察された。ある変形条件の下でセンダストが延性的になる原因は次のように考えられる。 $T(\delta)$ 以上の温度では変形応力が低い上、動的回復または再結晶が起こるのでクラックの発生原因となるような応力集中の大きい領域は出来にくく塑性変形が容易にできるようになる。塑性変形挙動の詳細はセンダストの溶解・ casting 法、塑性加工法などの研究結果とともに追って報告する予定である。従来、磁気特性の最も優れた組成をもつセンダストは塑性加工が不可能であると考えられ、多くの場合、磁気ヘッド用コアの製造は鋳物からの切断・研削のくり返しという複雑な工程によっていた。しかし本研究によりセンダストも塑性加工できることが明らかになったので、高温での塑性加工による鋳造欠陥の圧潰に伴う磁気特性の向上が期待される上、新しい能率的なコアの製造方法が確立されるものと思われる。

文 献

- (1) 増本 量, 山本達治: 日本金属学会誌, **1**(1937), 127.
- (2) 山本達治, 移川欣男: 日本金属学会誌, **40**(1976), 975.
- (3) 金子秀夫, 本間基文, 田中熙巳, 菅屋正達: 日本金属学会講演概要, (1976・4月), 141.
- (4) 花田修治, 渡辺貞夫, 佐藤 敬, 和泉 修: 日本金属学会講演概要, (1979・10月), 271.
- (5) 佐藤 敬, 渡辺貞夫, 花田修治: 日本金属学会講演概要, (1980・4月), 253.
- (6) 花田修治, 渡辺貞夫, 佐藤 敬, 和泉 修: 日本金属学会講演概要, (1980・4月), 71.
- (7) 花田修治, 渡辺貞夫, 佐藤 敬, 和泉 修: 日本金属学会講演概要, (1980・10月), 223.
- (8) A. Ball and R. E. Smallman: Acta Met., **14** (1966), 1517.

(1981年3月12日受理)