

繊維強化複合材料の強磁場下での創成と 新材料の強磁場物性評価

○渡辺義見¹⁾、清水義雄²⁾

信州大学 繊維学部 機能機械学科¹⁾、感性工学科²⁾

1. はじめに

我々の研究プロジェクトでは繊維強化傾斜機能材料を含む繊維強化複合材料の強磁場下での創成と新材料の強磁場物性評価に関する研究を行っている。強磁場物性評価に関しては、COE NEWS, Vol. 2, No. 2において「繊維強化複合材料の繊維配向度測定法」と題して既に発表を行った。そこで、本稿では磁気的性質が位置によって変化するという全く新しい概念の材料、磁氣的傾斜機能材料について概略を述べ、その創成方法や優位性に関して紹介する。

2. 磁氣的傾斜機能材料

常磁性オーステナイト系のステンレス鋼を低温で変形すると、強磁性である α' マルテンサイト相に変態し、この変態量は変形量に依存する。マルテンサイト変態法は、この現象を傾斜機能材料創成に応用したものであり、材料の不均一変形により磁氣的に傾斜を持った材料を得ようとするものである¹³⁾。

Fig. 1は不均一引張変形試料内のひずみ分布と磁気傾斜特性である³⁾。図のようにマルテンサイト変態法により磁氣的傾斜機能材料が創成できることがわかる。ところで、ゲージ部の断面積変化が直線的であるにも関わらず、位置とひずみ量との関係は下に凸の曲線を示している。ひずみ量と飽和磁化との関係も下に凸の曲線を示すため、結果的に試料は

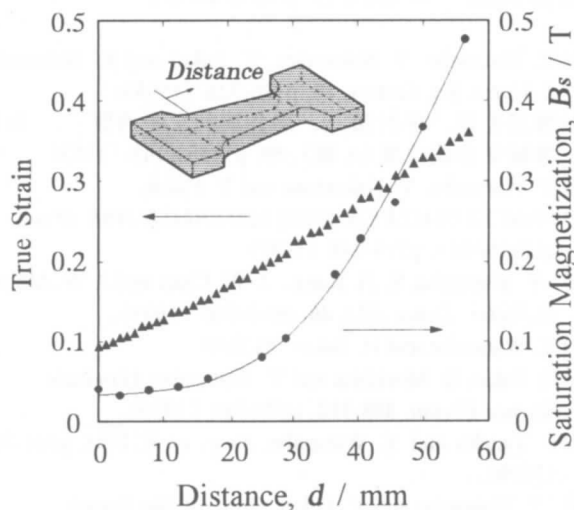


Fig. 1 The distributions of the plastic strain and the saturation magnetization within the sample³⁾.

必ず下に凸の曲線的な磁気傾斜を示す。さらに、引張変形を行った試料におけるひずみ分布の予想は容易ではない。したがって、磁氣的傾斜機能材料固有の特性である磁気傾斜を多岐に渡って制御することを目的にした場合、引張変形によって不均一ひずみを導入するのは最適法でない。

そこで、本年度は、不均一圧延⁴⁾、不均一圧縮⁵⁾により不均一ひずみの導入を行い磁氣的傾斜特性の制御を試みた。また、不均一熱処理^{6,7)}による創成も行った。

3. 不均一圧延変形および 不均一圧縮変形による創成

直線的に形状が変化する様なくさび状試料を圧延したとき、試料形状から直接ひずみ分布を算出することが可能である。Fig. 2にその一例を示す⁴⁾。図から分かるように、試料の位置と圧延率との関係は、上に凸の曲線を示す。圧延率と飽和磁化との関係が下に凸で有るため、圧延変形をマルテンサイト変態法に適用した場合、多岐に渡る組織制御が可能になるものと予想される。これらの不均一圧延変形を行った試料における飽和磁化分布もFig. 2に示す⁴⁾。ここで特筆すべき点は飽和磁化がほぼ直線的に変化している点である。このように、くさび形状の304ステンレス鋼を圧延する事により、直線的に飽和磁化が変化した傾斜機能材料を創成することが可能である。しかし、圧延変形中の温度制御は困難であるため、結果として、磁氣的傾斜特性の制御は容易でない。この欠点を克服するため、

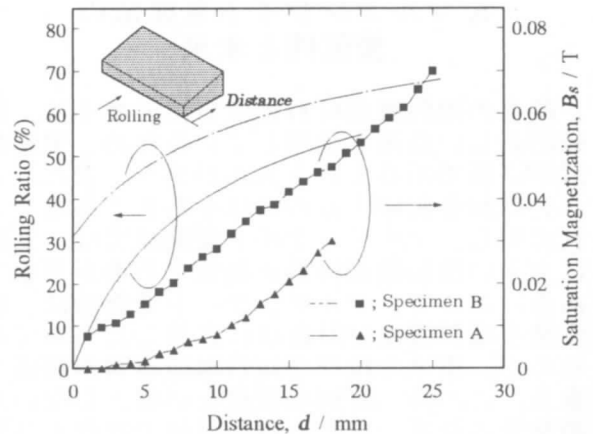


Fig. 2 The rolling ratio distributions and the saturation magnetization gradients in specimens⁴⁾.

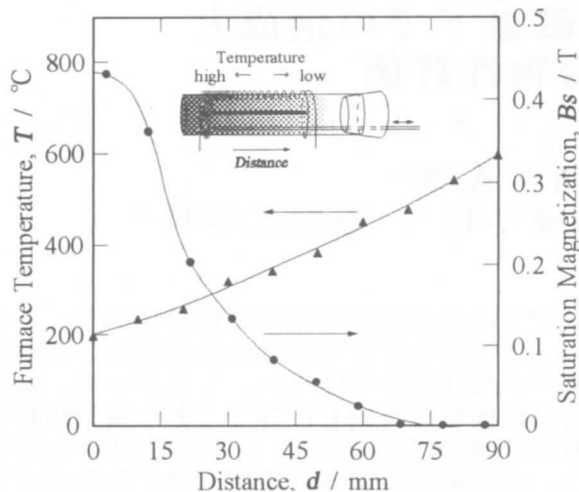


Fig. 3 The changes of the local temperatures of the temperature gradient furnace. The saturation magnetization distribution in the heat-treated specimen is also shown in this figure⁷⁾.

現在では不均一ひずみを液体窒素温度にける圧縮変形により導入する手法を開発している⁵⁾。その結果、制御的に磁氣的傾斜機能材料が得られるようになってきている。

4. 不均一熱処理による創成法

強磁性のマルテンサイト相に熱処理を施すと、常磁性オーステナイト相への逆変態が生じる。このとき、逆変態量は温度の関数であるので、マルテンサイト相が均一に導入された試料に不均一熱処理を施すことによっても磁氣的傾斜機能材料が得られる(マルテンサイト逆変態法)。その一例を Fig. 3 に示す^{6,7)}。この創成方法において、飽和磁化分布の実測値と理論値とが一致するため、原理的には材料の傾斜特性制御が可能である。また、この創成方法においては、磁氣的傾斜付加には試料形状を問わないので、様々な形状の材料に磁氣的傾斜付加が可能である。例えば、繊維形状の磁氣的傾斜機能材料も創成できる⁷⁾。

5. マルテンサイト変態法の優位性と未来

既存の傾斜機能材料創成方法の多くは、比較的新しい技術を利用しているため、製造装置が高価であるという欠点があり、また、大きい試料を創成するには不向きである。これに対し、マルテンサイト変態法では、安価に大きい傾斜機能材料を創成する事が可能である。ここで、マルテンサイト変態法は、相変態を傾斜機能材料創成に応用したものである。この時、特別な装置を必要としない点の特筆される。また、複合材料ではなくステンレス鋼という単一材料を用いているという

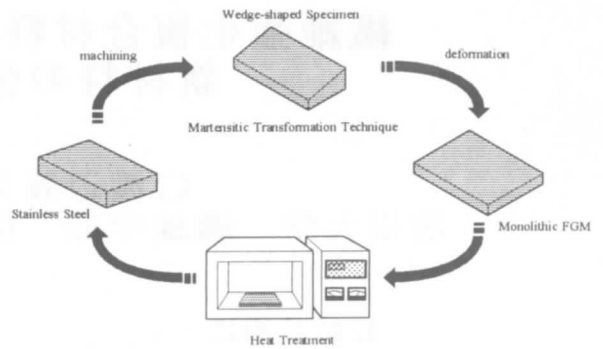


Fig. 4 Recycling process for a monolithic FGM produced by the martensitic transformation technique⁸⁾.

特徴を有す。

地球環境問題を解決し、社会、経済の持続可能発展を可能とするため、リサイクル可能な材料設計が不可欠である。例えば、単純組成で広範囲な機能を発揮できる複合組織合金の開発が望まれている。ところで、通常、傾斜機能材料は複合材料の範ちゅうに分類されており、リサイクル困難な材料である場合が多い。ここで、マルテンサイト変態法により創成した傾斜機能材料は非複合材料であり、Fig. 4 に示すように熱処理により機能傾斜付加前の状態に容易に戻るため、リサイクル可能な材料であると考えられる⁸⁾。

マルテンサイト変態法で得られた材料においては、常磁性から強磁性へと飽和磁化が傾斜的に変化するのみならず、残留磁化、機械的性質も傾斜分布している。また、耐腐食特性も傾斜していることが予想される。従って、これらの傾斜特性を単独あるいは組み合わせるにより、様々な分野において工業的応用が考えられる。例えば、材料中心部分を強度が高く強磁性を有するマルテンサイト相に、表面は耐腐食性の高いオーステナイト相にすることが可能であるため、歯科材料や医療用材料として応用できるであろう。また、磁気センサと組み合わせることにより位置計測器への応用も考えられる。

- 1) Y. Watanabe, Y. Nakamura, Y. Fukui and K. Nakanishi; *J. Mater. Sci. Letters*, **12**, p326-328 (1993).
- 2) 渡辺義見, 中村祐三, 福井泰好, 中西賢二; 日本機械学会論文集(A編), **59**, p1138-1143 (1993).
- 3) Y. Watanabe, Y. Nakamura and Y. Fukui; *FUNCTIONALLY GRADED MATERIALS 1996 (Proc. of FGM'96)*, p713-718 (1997).
- 4) Y. Watanabe, S. H. Kang, J. W. Chan and J. W. Morris, Jr.; *Mater. Trans. JIM*, **40**, p961-966 (1999).
- 5) Y. Watanabe and H. Sakai; 執筆中
- 6) H. Sakai, D. Morishita and Y. Watanabe; *Materials Science Forum*, **308-311**, p579-584 (1999).
- 7) F. Tanaka and Y. Watanabe; *Proc. of ICAFM*, p391-392 (1999).
- 8) Y. Watanabe and Y. Fukui; *Proc. of The Fourth International Conference on ECOMATERIALS*, p495-498 (1999).