

研究課題名 マイクロ-マクロ有限要素解析を用いた塑性加工問題の金属材料組織予測

研究代表者名

(独)物質・材料研究機構・元素戦略材料センター・渡邊育夢

研究分担者名

なし

1. はじめに

本研究では、研究代表者が開発したマイクロ-マクロ非連成近似解法を用いて、塑性加工プロセス後の金属材料組織を数値解析によって予測し、その材料特性を評価する。さらに、実験結果との比較によって、手法の検証を行うと共に、変形組織の材料挙動について議論し、金属材料開発に資する新たな知見を得ることを目的とする。

本年度は、強ひずみを付与する微細粒加工への手法の適用性の調査に注力する。そこで、代表的な結晶粒微細粒加工法である Equal Channeling Angular Extrusion(ECAE)プロセスを対象としてマイクロ-マクロ有限要素解析を実施し、強ひずみを付与された加工組織の予測を試みる。

2. 研究経過

はじめに、東京電機大学 柳田明 准教授より銅のECAE加工の実験データを提供いただき、塑性加工の数値シミュレーションを実施した。工具と試験片の接触・摩擦を扱うため、動的陽解法を採用し、大変形時の有限要素のゆがみによる計算破綻を回避するために、Adaptive メッシュ制御法を適用した。

次に、ECAE プロセス 1 パスの数値シミュレーションを実行して得たマクロ変形履歴を繰り返しマイクロ材料組織へ与えることで複数パスのECAEプロセス後の加工組織を予測する数値シミュレーションを実行した。ここで大ひずみ塑性計算を安定して実行するために、結晶塑性構成モデルの定式化から見直し、数値解析プログラムを再構築した。その結果、各プロセスで180度回転させるCルートを想定した12パスの数値解析を行い、材料組織へ400パーセントを超える強ひずみを付与することに成功した。

以上のように本年度は強ひずみ加工を対象としたマイクロ-マクロ有限要素解析が可能となった。加工組織再現のための課題として、より詳細な有限要素メッシュが必要であることなどが挙げられ、今後、検討を進めていく。

3. 研究成果

論文については執筆準備中である。以下の招待講演を行った。

・ Multiscale modeling of material behavior for structural metals, Swansea university C2EC seminar, 2012-12-07, Swansea, Wales, U.K.

・ Nonlinear homogenization methods -Application to metallic microstructure-, Micromechanics of Advanced Structural Materials -Professor Toshio Mura Memorial Symposium-, 2012-06-08, Tsukuba.

また、研究成果が認められ以下の2件の研究奨励賞を受賞した。

・ 日本鉄鋼協会平成24年度研究奨励賞、数値解析を用いた鉄鋼の力学特性予測

・ 日本計算工学会平成23年度論文奨励賞、テンソル内部変数を持つ有限ひずみ弾塑性構成モデルの定式化

4. まとめ

本研究では、マイクロ-マクロ有限要素解析を用いて塑性加工と対応する加工組織を評価する数値解析手法の開発に取り組んでおり、本年度は100パーセントを超える大ひずみを伴う問題への対応とその適用性の調査を行った。100パーセントを超える大ひずみを付与する材料組織の数値解析は既往の研究では見られず、新規性の高い成果が得られた。

当初、計算材料学センターのソフトウェアと計算機を用いて行う予定であったが、ソフトウェアの利便性から、物質・材料研究機構の設備を利用した。また、本研究の一部は科研費新学術領域バルクナノメタルの公募研究として行った。

Mn

高 Mn オーステナイト鋼は、TRIP(Transformation Induced Plasticity)鋼あるいは TWIP(Twinning Induced Plasticity)鋼と呼ばれる現象をしめすことが知られている。高マンガン系の TRIP 鋼や TWIP 鋼は高い加工硬化を示し、高強度と高延性を兼ね備える鋼として知られている。オーステナイト鋼は高強度高延性を有するため、自動車用鋼板としての利用が期待される。自動車部材として利用する場合、衝突事故時に生じる高速変形に対しても十分な変形抵抗を有することが必要である。しかし、ひずみ速度が大きくなると、変態も双晶変形も抑制され、その結果加工硬化が小さくなる。これらの抑制メカニズムは、変形の高速度化に起因する加工時の温度上昇や、変形応力の増大に伴う核形成の抑制などに着眼した説明が試みられているが、特性を改善できるほど十分には明らかとはなっておらず、オーステナイト鋼の自動車用途への展開の妨げとなっている。そこで本研究では、高 Mn オーステナイト鋼の中でも、特に大きな加工硬化率を有し優れた強度延性バランスを有する鉄鋼材料としてのポテンシャルを有する Hadfield 鋼を例にとり、その高速引張変形挙動と変形時に形成される組織との関連の解明を目的とした。特に本年度は、昨年度の研究で見出された Hadfield 鋼の高速発現メカニズムを解明するために、引張試験途中でひずみ速度を急変させる試験を行った。

12mass%Mn-1%C 鋼を溶製し、インゴットに熱間圧延の後、350°C圧延と800°C焼鈍を施して板厚 1.5mm の鋼板としたものを受け入れた。受入材はオーステナイト単相であり、粒径数十 μm の等軸形状の結晶粒からなる完全再結晶組織を示した。 $10^{-3}/\text{s}$ にて各種ひずみ量まで引張変形を与えた上で、ひずみ速度を $10^3/\text{s}$ に変更し、破断させる室温引張試験を行い、応力ひずみ曲線を測定した。また、各種温度における引張変形挙動も調査した。

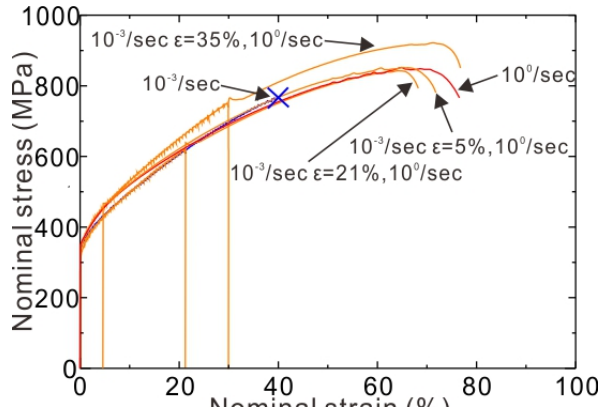
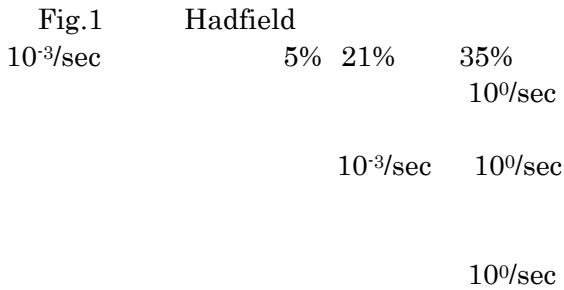


Fig.1 Nominal strain - stress of the Hadfield steels solution-treated at 1100°C.

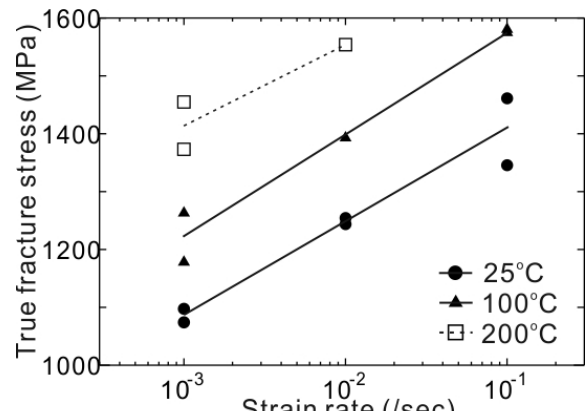


Fig.2 True fracture stress of the Hadfield steel. Tensile test was examined at various strain rate at various deformation temperature.

Hadfield