The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

| | |
|---|---|
| Title | 焼戻し時の塑性現象に関する研究 |
| Author(s) | 山崎, 陽介 |
| Citation | 大阪大学, 2020, 博士論文 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://doi.org/10.18910/77487 |
| rights | |
| Note | |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

# 論　文　内　容　の　要　旨

| 氏　名　（　山崎　陽介　） | |
|---|---|
| 論文題名 | 焼戻し時の塑性現象に関する研究 |

論文内容の要旨

本論文は、焼入鋼材を焼戻す過程で微小外部応力を加えると応力の作用方向に塑性変形が生じる現象(以下、焼戻し塑性現象と称する)に関するものである。機械構造用部品が焼入焼戻しの熱履歴を受けた際に発生する残留応力を精度良く評価するため、焼戻し塑性現象のメカニズムを明らかにするとともに、それを表現する構成式を提案することを目的とした。

上記の目的を達成するため、焼戻し塑性現象に関する基礎試験および数値解析を行った結果、以下の知見が得られた。

(1)焼戻し塑性現象を再現するため、焼入れされた試験片を降伏応力よりも小さな引張応力または圧縮応力下で焼戻した際のひずみを測定し、負荷状態と無負荷状態のひずみ差から生じる塑性ひずみを評価した。焼戻し時の引張／圧縮試験ともに塑性ひずみが発生し、焼戻し塑性現象の生じていることを実験的に確認した。そして、(ⅰ)負荷応力が大きいほど、発生する塑性ひずみは大きい。(ⅱ)添加するC量を変化させた材料では、C量が多い材料ほど発生する塑性ひずみは大きい。(ⅲ) 添加するSi量を変化させた材料では、Si量が多いと炭化物の析出が高温側にシフトするため、焼戻し塑性ひずみは小さいといった知見を得た。

(2)機械構造用低合金鋼を対象に、熱処理条件や添加するC量を変えて、焼戻し塑性ひずみを測定し、焼戻し塑性現象に及ぼす影響因子について評価した。その結果、(ⅰ)焼入れ直後の鋼材にサブゼロ処理をして焼戻した場合、焼戻し塑性ひずみの値は変わらないことから残留オーステナイトが焼戻し塑性現象に及ぼす影響は小さい。(ⅱ) 焼戻し時の昇温速度が速い条件では、炭化物の析出が少なく、焼戻し塑性ひずみは小さくなることから、焼戻し昇温速度が焼戻し塑性現象に及ぼす影響は大きい。(ⅲ)添加するC量が少ない極低炭素鋼は炭化物の析出が少なく、そのため焼戻し塑性ひずみは小さくなる。このことから、添加するC量が焼戻し塑性現象に及ぼす影響は大きい。そして、焼戻し塑性係数は、焼戻し前後の体積ひずみに比例し、焼戻し時の母相と新相の低い方の降伏応力に反比例することから、Greenwood-Johnsonが提案する変態塑性現象のメカニズムとの類似性を示せた。

(3)高速フーリエ変換(FFT)を用いた結晶塑性解析に必要な3相（セメンタイト、フェライト、マルテンサイト）を考慮した焼戻し塑性を評価する焼戻しプロセスモデルを構築した。そして、このモデルを用いた結晶塑性解析を行い、体積収縮ひずみと焼戻し塑性ひずみを評価した結果試験との対応は良好であり、本解析の妥当性が確認できた。そして、(ⅰ)体積収縮はセメンタイトの体積分率の増加に比例して発生し、塑性ひずみはセメンタイトの体積分率と負荷応力とともに増加する。(ⅱ)セメンタイトの体積分率と負荷応力が平均的な焼戻し塑性ひずみに及ぼす影響についてFFT計算と実験はよく対応しており、これらの結果から結晶塑性解析により焼戻し塑性現象を表現できる。(ⅲ)変態塑性における降伏応力の低い相、変態ひずみ、変態塑性ひずみは、焼戻し塑性におけるフェライト相、収縮ひずみ、焼戻し塑性ひずみにそれぞれ対応することから、変態塑性のGreenwood-Johnsonメカニズムは焼戻し塑性でも成り立つといった知見を得た。

(4)機械構造用低合金鋼を対象に、本モデルに基づく焼戻し塑性を考慮した残留応力評価のための解析手法を提案し、局所加熱したブロック試験片を用いた焼戻し塑性ひずみや残留応力の測定結果との比較検討から、本手法の良好な解析精度が確認できた。

以上の得られた知見より、焼戻し塑性現象は変態塑性現象に類似した現象であることから、変態塑性ひずみの構成式をもとに焼戻し塑性ひずみを表す新たな構成式を提案し、この提案式を用いることで焼戻し残留応力が高精度に評価可能であることを示した。

様式 7

# 論文審査の結果の要旨及び担当者

| 氏　名　（　山崎　陽介　） | | | |
|---|---|---|---|
| 論文審査担当者 | | （職） | 氏　名 |
| | 主 査 | 教　授 | 澁谷　陽二 |
| | 副 査 | 教　授 | 箕島　弘二 |
| | 副 査 | 教　授 | 宇都宮　裕 |

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、焼入鋼材を焼戻す過程で微小外部応力を加えると応力の作用方向に塑性変形が生じる現象(以下、焼戻し塑性現象と称する)に関するものである。機械構造用部品が焼入焼戻しの熱履歴を受けた際に発生する残留応力を精度良く評価するため、焼戻し塑性現象のメカニズムを明らかにするとともに、それを表現する構成式を提案することを目的としている。

上記の目的を達成するため、焼戻し塑性現象に関する基礎試験および数値解析を行った結果、以下の知見が得られている。

(1)焼戻し塑性現象を再現するため、焼入れされた試験片を降伏応力よりも小さな引張応力または圧縮応力下で焼戻した際のひずみを測定し、負荷状態と無負荷状態のひずみ差から生じる塑性ひずみを評価している。焼戻し時の引張／圧縮試験ともに塑性ひずみが発生し、焼戻し塑性現象の生じていることを実験的に確認している。そして、(ⅰ)負荷応力が大きいほど、発生する塑性ひずみは大きい。(ⅱ)添加するC量を変化させた材料では、C量が多い材料ほど発生する塑性ひずみは大きい。(ⅲ)添加するSi量を変化させた材料では、Si量が多いと炭化物の析出が高温側にシフトするため、焼戻し塑性ひずみは小さいといった知見を得ている。

(2)機械構造用低合金鋼を対象に、熱処理条件や添加するC量を変えて、焼戻し塑性ひずみを測定し、焼戻し塑性現象に及ぼす影響因子について評価している。その結果、(ⅰ)焼入れ直後の鋼材にサブゼロ処理をして焼戻した場合、焼戻し塑性ひずみの値は変わらないことから、残留オーステナイトが焼戻し塑性現象に及ぼす影響は小さい。(ⅱ) 焼戻し時の昇温速度が速い条件では、炭化物の析出が少なく、焼戻し塑性ひずみは小さくなることから、焼戻し昇温速度が焼戻し塑性現象に及ぼす影響は大きい。(ⅲ)添加する C 量が少ない極低炭素鋼は炭化物の析出は少なく、そのため焼戻し塑性ひずみは小さくなる。このことから、添加する C 量が焼戻し塑性現象に及ぼす影響は大きい。そして、焼戻し塑性係数は、焼戻し前後の体積ひずみに比例し、焼戻し時の母相と新相の低い方の降伏応力に反比例することから、Greenwood-Johnson が提案する変態塑性現象のメカニズムとの類似性を示す知見を得ている。

(3)高速フーリエ変換(FFT)を用いた結晶塑性解析に必要な 3 相（セメンタイト、フェライト、マルテンサイト）を考慮した焼戻し塑性を評価する新たな焼戻しモデルを構築している。このモデルを用いた結晶塑性解析を行い、体積収縮ひずみと焼戻し塑性ひずみを評価した結果実験結果との対応は良好であり、本解析の妥当性が確認できている。そして、(ⅰ)体積収縮はセメンタイトの体積分率の増加に比例して発生し、塑性ひずみはセメンタイトの体積分率と負荷応力とともに増加する。(ⅱ)セメンタイトの体積分率と負荷応力が平均的な焼戻し塑性ひずみに及ぼす影響について FFT 計算と実験はよく対応しており、これらの結果から結晶塑性解析により焼戻し塑性現象を表現できる。(ⅲ)変態塑性における降伏応力の低い相、変態ひずみ、変態塑性ひずみは、焼戻し塑性におけるフェライト相、収縮ひずみ、焼戻し塑性ひずみにそれぞれ対応することから、変態塑性の Greenwood-Johnson メカニズムは焼戻し塑性でも成り立つといった重要な知見を得ている。

(4)機械構造用低合金鋼を対象に、本モデルに基づく焼戻し塑性を考慮した残留応力評価のための解析手法を提案し、

局所加熱したブロック試験片を用いた焼戻し塑性ひずみや残留応力の測定結果との比較検討から、本手法の良好な解析精度を確認している。

以上のように、焼戻し塑性現象は変態塑性現象に類似した現象であることから、変態塑性ひずみの構成式をもとに焼戻し塑性ひずみを表す新たな構成式を本論文では提案し、この提案式を用いることで焼戻し過程における残留応力が高精度に評価可能であることを示している。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。