

冷間鍛造部品の製造工程を考慮した強度予測手法

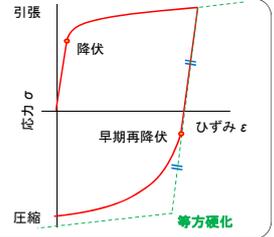
工学領域 機械工学系列 教授 早川 邦夫

1. 研究の目的

冷間多段鍛造におけるSUS304S製非調質ボルト軸部の降伏応力の高精度予測

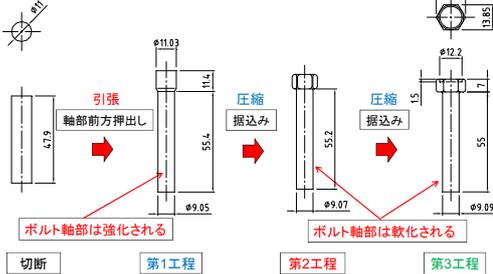
・バウシinger効果

応力反転に伴う降伏応力の減少をバウシinger効果と呼ぶ。
バウシinger効果が発生する鍛造部品の例として非調質ボルトの冷間多段鍛造が挙げられる。

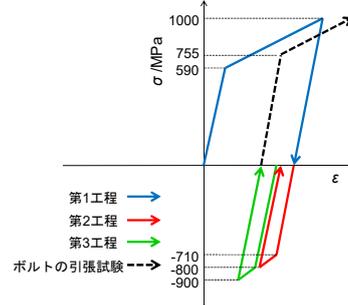


2. ボルト成形工程

① 非調質ボルト成形工程



② ボルト成形・供用時の応力変化



・第1工程

前方押し出しにより、ボルトの軸部は強化される。

・第2工程

頭部据込みにより、ボルト軸部は圧縮され、バウシinger効果により軟化する。

・第3工程

第2工程に引き続き、バウシinger効果により軟化する。

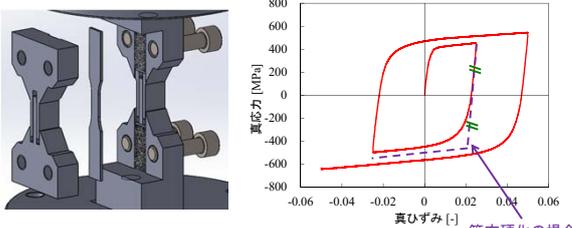
・ボルト供用時

多段鍛造工程中にバウシinger効果により、軸部の軟化が起こるため、最終的にボルト強度が低下してしまう。

オーステナイト系ステンレスSUS304Sボルトの多段鍛造成形プロセス(M10 P1.25 L55)

3. 実験結果

① 繰返し反転負荷試験



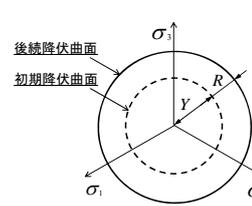
繰返し反転負荷試験法

SUS304S繰返し反転負荷試験結果

応力反転時のバウシinger効果の発生を再現するため、引張試験と圧縮試験を連続して行う繰返し引張圧縮試験を行った。

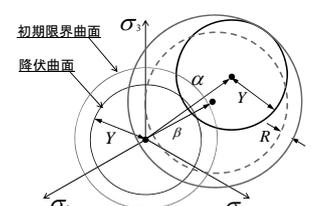
4. 加工硬化モデル

① 等方硬化(IH)モデル



シミュレーションに多く利用されているモデル。
初期降伏曲面の拡大のみを考えており、加工硬化の表現は可能であるが、バウシinger効果の表現はできない。

② Yoshida-Uemori(YU)モデル



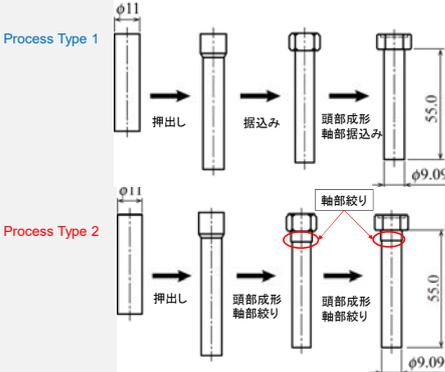
降伏曲面と限界曲面を定義し、降伏曲面と限界曲面の移動および限界曲面の拡大を考えている。
加工硬化、バウシinger効果等の表現が可能である。

5. シミュレーション結果

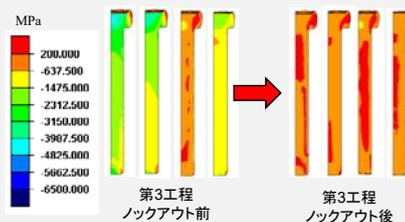
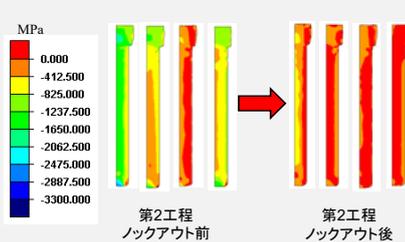
シミュレーション条件

- Process Type 1 + Isotropic Hardening: PT1+IH
軸部の成形(絞り)と据込みに対して等方硬化則
- Process Type 1 + Combined Hardening: PT1+YU
軸部の成形(絞り)と据込みに対して複合硬化則を考慮
- Process Type 2 + Isotropic Hardening: PT2+IH
軸部の成形(絞り抵抗を利用した据込み)に対して等方硬化則
- Process Type 2 + Combined Hardening: PT2+YU
軸部の成形(絞り抵抗を利用した据込み)に対して複合硬化則を考慮

シミュレーションモデル

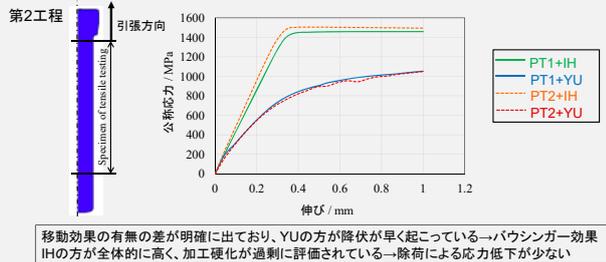


軸方向応力分布

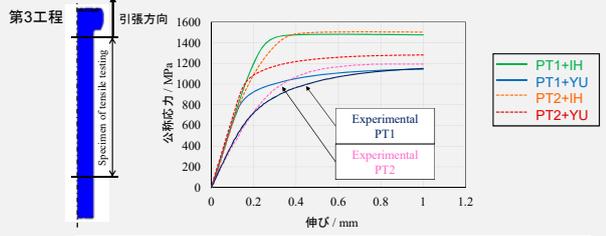


L to R: PT1+IH, PT1+YU, PT2+IH, PT2+YU

引張試験結果



移動効果の有無の差が明確に出ており、YUの方が降伏が早く起こっている→バウシinger効果 IHの方が全体的に高く、加工硬化が過剰に評価されている→除荷による応力低下が少ない



2工程目の結果と同様に、YUの方が降伏が早く発生する→バウシinger効果
2工程目では見られなかった工程による差→付与する応力の履歴の差が明確に現れた。
実験値との比較において、ピーク値は同程度の結果となった。

keyword: 冷間多段鍛造, 非調質ボルト, バウシinger効果, 反転負荷試験, FEM