

棒鋼・線材製品の鍛造性評価技術

Evaluation Technology of Formability of Bar and Wire Steel

1. はじめに

自動車部品などに代表される機械・構造用部品の多くは、棒鋼や線材などを素材として、鍛造加工により製造される。これら鍛造製品は、型鍛造や転造などのさまざまな鍛造工程により製造されるため、鍛造金型設計や最適な鍛造プロセスの組み合わせなどにCAE (computer aided engineering) が盛んに利用されている^{1,2)}。JFE スチールでも、鋼材の鍛造性評価や鍛造過程の現象把握などにFEM (finite element method) 解析を活用している。

本稿では、鍛造解析事例を紹介するとともに、鍛造評価技術の一例を紹介する。

2. 鍛造解析事例

2.1 異形材の鍛造解析事例

JFE スチールでは、近年の鍛造部品形状の複雑化に対応すべく、三次元の塑性加工専用解析コード「DEFORM-3D」を導入している。ここでは、図1に示す異形材の鍛造解析例を紹介する。

図1は壁肉厚が異なる異形材の後方押し出し過程における相当ひずみ分布を示す。相当ひずみは、内側底部から壁部へのコーナーで、かつ、厚肉壁部から薄肉壁部の部位で高い値を示しており、素材に大きな変形負荷を生じていることが推察できる。

図2には、後方押し出し成形の後、壁部をしごき加工する場合の鍛造割れの予測例を示す。

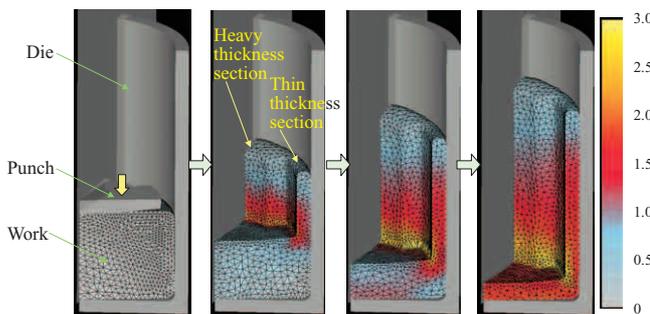


図1 後方押し出し工程における相当ひずみ分布
Fig.1 Distribution of equivalent strain in backward extrusion

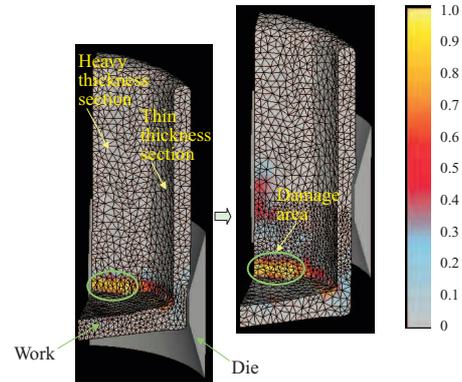


図2 しごき加工時の割れ評価パラメータ分布
Fig.2 Distribution of fracture parameter in shear forming

鍛造割れの予測については、たとえば M. G. Cockcroft らは三次元応力下での延性ひずみ条件として、最大主応力の履歴を考慮した条件式を提案³⁾しているが、より複雑な形状にも精度良く破壊ひずみを予測できると思われる(1)式で示される大矢根の延性破壊条件式⁴⁾を用いた。

$$\int_0^{\epsilon_f} \left[1 + \frac{1}{a_0} \cdot \frac{\sigma_m}{\sigma_{eq}} \right] d\epsilon = c \quad \dots\dots\dots (1)$$

- σ_m : 平均応力
- σ_{eq} : 相当応力
- ϵ : 相当ひずみ
- ϵ_f : 破壊を生じる相当ひずみ
- a_0, c : 材料定数

(1) 式を材料定数 c で除して得た(2)式で示される割れ評価パラメータ p が1を超えると、素材の加工限界に達し割れが生じると判断される。

$$p = \frac{1}{c} \int_0^{\epsilon} \left[1 + \frac{1}{a_0} \cdot \frac{\sigma_m}{\sigma_{eq}} \right] d\epsilon \quad \dots\dots\dots (2)$$

図2の例においては、内側底部から厚肉壁部へのコーナー部位で割れ評価パラメータ p が1を超えているため、この部位で鍛造割れが生じると判断される。実際に本解析例と同一条件での鍛造試験を試み、解析での割れ予想部位で割れが生じており、本解析の有効性を確認している。

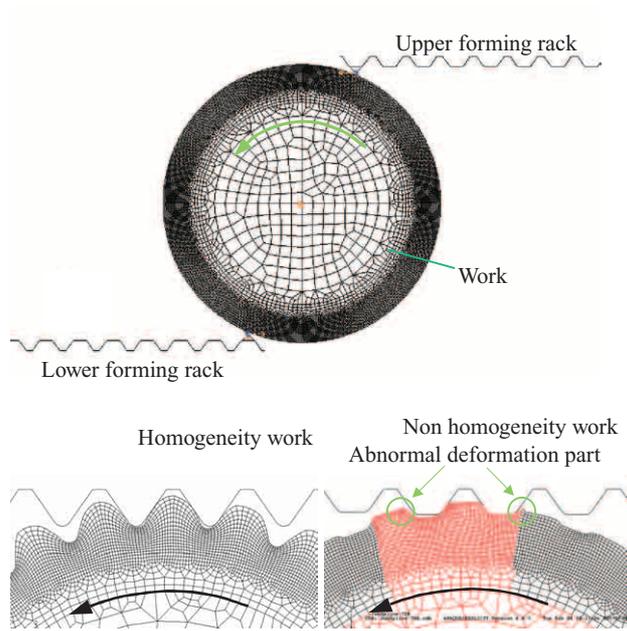


図3 歯車の転造加工における素材の変形状況
Fig.3 Deformation shapes in gear rolling

2.2 歯車の転造解析事例

前述したような型鍛造以外の例として、ラック形工具による歯車の転造加工の解析事例を示す。ここでは、汎用の解析コード「ABAQUS」を用いて、転造加工における基礎

的検討として、素材不均質の影響について解析した事例を示す。なお、転造ラックとしては、素材が6回転で最終歯車形状となるように、成形を6段階（段階ごとに歯高が大きくなる）のラックパターンとした。

図3に均質材料と不均質材料（ここでは、半径方向に軟質部が存在）での変形状況を示す。図3に示すように、均質材料では最終段階まで問題なく解析完了するが、不均質材料では成形初期段階の軟質部でメッシュの異常な変形が生じ、解析が中断する。これは、実際の転造加工では、素材のむしれや折れ込み欠陥に繋がる現象を示唆していると思われる。

3. おわりに

今後も、今回紹介したような鍛造評価技術を活用し、ユーザーニーズに対応した鋼材開発に取り組んでいく。

参考文献

- 1) 日本塑性加工学会編. 鍛造.
- 2) 金秀英, 山中雅仁. 素形材. vol. 49, no. 5, p. 17.
- 3) Cockcroft, M. G. ほか. J. Inst. Metals. 1968, vol. 96, p. 33.
- 4) 大矢根守哉. Journal of the J. S. M. E. 1972, vol. 75, no. 639, p. 110.

〈問い合わせ先〉

JFE スチール 棒線セクター部
TEL : 03-3597-3998 FAX : 03-3597-3994