

高温変形加工時の内部組織変化

東京大学 生産技術研究所

助教授 柳本 潤

(平成7年度研究開発助成AF-95014)

キーワード：熱間塑性加工、内部組織解析、FEM

1. 研究の目的と背景

高温変形加工・熱間塑性加工には、形状の創成と内部組織の創出の2つの目的が課せられる。これらを同時に適正な水準に保つための熱間塑性加工条件の選択および材料の選定には、主に加工プロセス技術者の領域であった形状の創成と、材料技術者の領域であった内部組織の創出を、同時に考慮し同時に満足することが求められる。熱間塑性加工理論は従来、形状の創成に重きを置いて進歩してきたが、今後は内部組織創成の理論化をはかり、さらに形状創成・内部組織創出をあわせて解明出来るよう、高度化することが要求されるものと思われる。一方、内部組織創出については従来圧延を中心に膨大な実験結果が存在しているが、残念ながら、実験結果の定量化の困難さから、一般的な知見として整理・体系化されているものは誠に少ないのが現状である。

今後の熱間加工には、「熱間加工の変形/温度/内部組織統合解析」技術の開発と、「材料機能発現機構」の解明は車の両輪となりつつ進展することが必須であるが、本研究では、「材料機能発現機構」が唯一整理・体系化されているC-Si-Mn鋼を対象としつつ、熱間圧延加工の変形/温度/内部組織統合解析技術の開発を行った。

2. 解析手法

2.1 統合解析モデルの構成

図1は、開発された統合解析モデルの構成である。圧延加工の変形解析には既に開発されている数値圧延機CORMILLを利用した。温度解析には、新たに開発した疑似3次元解析手法を利用し、これを熱間加工内部組織変化に関する増分形解析手法^{1),2)}と連成させることにより、圧延加工におけるオーステナイト粒径分布の高精度かつ短時間での解明を可能とした。

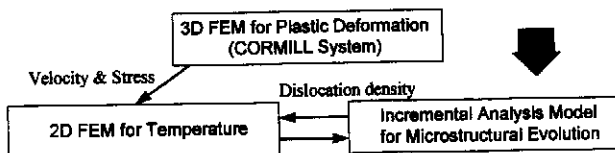


図1 統合解析モデルの構成

2.2 材料機能発現データ

現在、動的組織変化・静的組織変化全てを含め定量化が行われているのは、C-Si-Mn鋼について矢田・瀬沼ら

が熱間圧縮実験結果をもとに定量化したもののみである。材料機能発現機構の解明とその定量化が今後の重要な課題であるが、本研究では矢田・瀬沼らによる定量化結果をそのまま利用した。

3. 解析結果

再結晶によるオーステナイト組織微細化の度合は、圧延条件に影響を受ける。特に棒線材圧延において利用されている主たる2形式のミル、すなわち2ロールミルと3ロールミルを比較すると、形状制御特性は3ロールミルが格段に優れている反面、2ロールミルにはオーステナイト組織微細化に有利であるとの特徴を有する。本研究では、これら2形式のミルの保有する特性の比較を行うために、一連の数値実験を行った^{3),4)}。

3.1 圧延条件

図2は想定した孔型形状、表1は圧延条件である。4パス圧延後の減面率(延伸率)がほぼ等しくなる条件を想定することにより、2ロールミル/3ロールミルの内部組織創出特性の相違を定量化した。

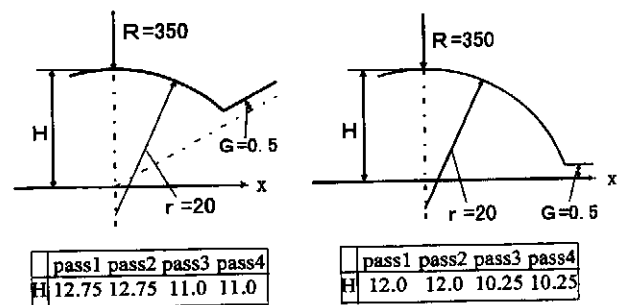


図2 孔型形状

3.2 解析結果

図3は4パス終了後のオーステナイト結晶粒径の比較である。3ロールミルによる圧延では、幅広がり少なく延伸効率が低い、すなわち形状創成という点からのみ見れば理想的な変形を呈するが、逆に余剰変形(面内ひずみ)が小さいため相当塑性ひずみが2ロールミルによる圧延より小さくなり、オーステナイト組織微細化には不利に作用することが示されている。

図4は、中心部の再結晶の進行状況を定量化した結果である。先に述べた理由により、3ロールミルによる圧延

では中心部で面内ひずみが最小となり、この部分での結晶粒径が最も大きい。その理由は図4から明らかとなり、この部分での再結晶率が小さいため再結晶による組織微細化が十分達成されていないことによる。一方、2ロールミルによる圧延では中心部分で100%再結晶が終了しており、その結果、十分な程度のオーステナイト組織の微細化が達成されている。

表1 計算条件

Material	S45C
Initial bar radius	15mm(3mm)
Flow stress	$\bar{\sigma} = 128\bar{\epsilon}^{0.21}\dot{\bar{\epsilon}}^{0.13} (MPa)$
Friction coefficient	$\mu = 0.3$
Mesh system(Deformation)	$N_x = 10(15), N_y = 5, N_z = 4 + 8 + 2$
Heat transfer coefficient(Roll)	$H = 30000 (W / m^2 K)$
(water)	$H = 709.49 (W / m^2 K)$
Specific heat	$c = 996 (J / kg K)$
Thermal conductivity	$\kappa = 23.6 (W / Km)$
Mesh system(Temperature)	$N_x = 40(60), N_y = 10$
Initial temperature	1000°C
Initial grain size	80μm
Speed at entry of pass1	3m/s (56m/s)

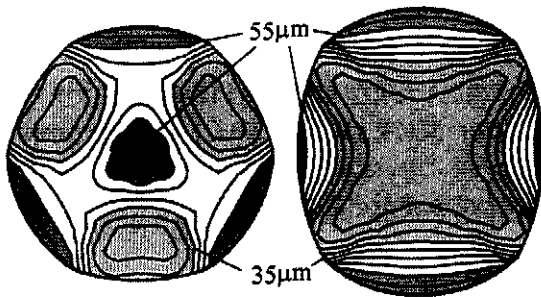


図3 4パス圧延後のオーステナイト結晶粒径分布

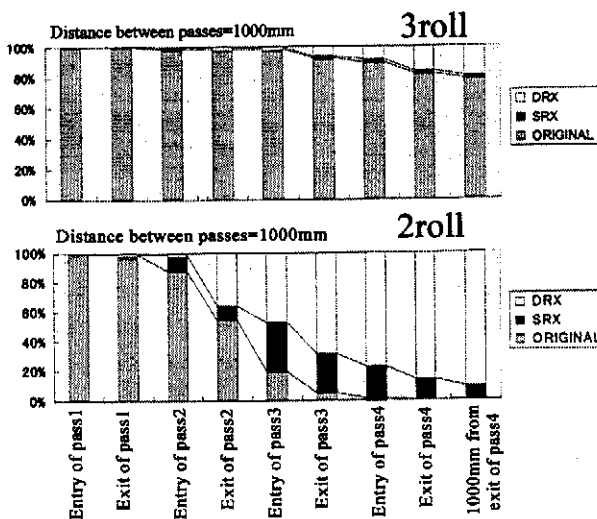


図4 中心部での再結晶率の比較

4. まとめ

熱間加工内部組織変化を対象とした統合解析システムを構成し、棒線材圧延加工を対象事例としてその有効性を示した。既に本文にて示した統合解析システムは、棒鋼圧延時の結晶粒粗大化機構の解明⁵⁾、熱間自由鍛造の組織予測ならびに実験による検証⁶⁾、などの研究に発展しており、数多くの結果が得られている。また、本研究にて提示した手法は、およそ全ての熱間塑性加工に適用が可能である。

ただし、実用的な組織予測手法として確立するためには、いまだ解決すべき問題も多い。例えば、
 1) 冷却変態生成組織解析手法との融合、
 2) 材料機能発現機構の解明とその定量化、
 3) 内部組織-機械的特性の関係の定量化、
 などは、近い内に解決がはからなければならない問題である(図5参照)。これらを解決するためには、大学・国研の研究者と民間企業との共同プロジェクトの組織化が必要であろう。

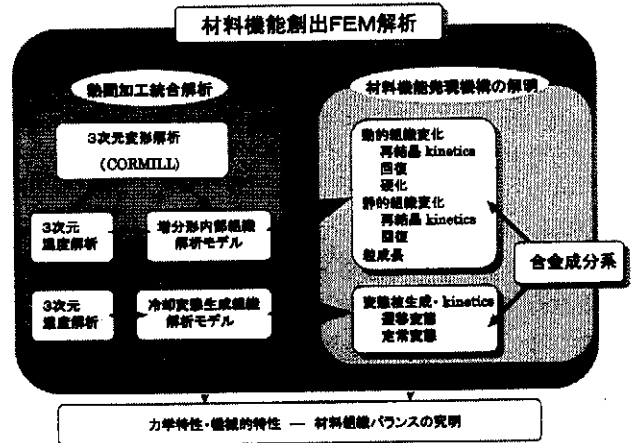


図5 材料機能創出FEM解析

謝辞

天田金属加工機械技術振興財団の本研究へのサポートについて、深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) J. Yanagimoto, K. Karhausen, A. J. Brand & R. Kopp: *Trans. ASME, J. Manufact. Sci. Eng.*, 120-2(1998), 316.
- 2) J. Yanagimoto & J. Liu: *ISIJ International*, 39-2(1999), printing.
- 3) 柳本 潤・伊東隆史: 48回塑加連講論、(1997), 289.
- 4) 柳本 潤・伊東隆史: 平10春塑加連講論、(1998), 503.
- 5) 柳本 潤・劉 金山: 49回塑加連講論、(1998), 3.
- 6) 柳本 潤・木内 学・杉山澄雄・柳田 明・O. Lopez: 49回塑加連講論、(1998), 95.