



強せん断変形による 内部組織変化の物理シミュレーション

東京大学生産技術研究所 柳本研究室

Chair for Hyper-functional Forming
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo
Prof. Dr.-Eng. Jun Yanagimoto



研究背景

加工性に優れた高強度材料には、社会からの強い要求がある。高強度化には金属材料の結晶粒径微細化が有効である。結晶粒を微細化したUFG(Ultra-Fine Grain)金属を生成する方法としてSPD(Severe Plastic Deformation: 巨大ひずみ加工)プロセスがあり、このプロセスは「温間冷間加工の再結晶ルート」と「熱間加工の相変態ルート」に大別される。加工性に優れた高強度鋼を生成するには相変態ルートが有用であるが、研究例は少ない。本研究では、相変態ルートのSPDプロセスが鉄鋼ナノ組織形成に及ぼす影響を明らかにするために、せん断加工を利用した新たな物理シミュレーション手法を提案する。本研究は、科学研究費新学術領域研究「バルクナノメタル(領域代表者: 京都大学辻伸泰教授)」・計画研究A02エ班「バルクナノメタル創製の計算機・物理シミュレーション(課題番号22102005)」の一部として行われたものである。

SPD(Severe Plastic Deformation)プロセス

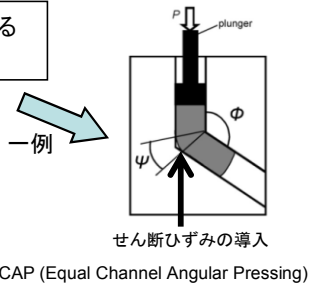
金属材料に大加工(ひずみ4以上)を加えることで結晶粒を微細化する方法。

Hall-Petchの式(粒径 d)

$$\sigma_y = \sigma_0 + A d^{-1/2} = \sigma_0 + \frac{A}{\sqrt{d}}$$

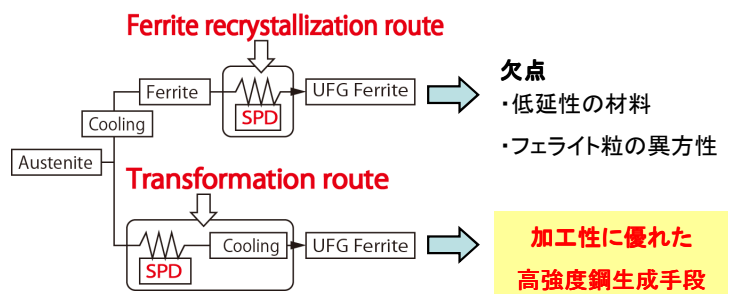
金属結晶粒の微細化

高強度金属の生成手段

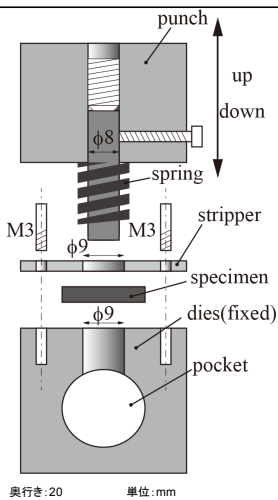


せん断ひずみの導入
ECAP (Equal Channel Angular Pressing)

SPDプロセスの2ルート



中止めせん断加工試験法



金型・試験片形状

【特徴】

- ・打ち抜き試験だが、パンチを途中で止めることにより試験片にせん断変形を与える。
- ・押し込み深さ及びクリアランスを変更することでひずみ量を変更できる。

【材質】SUS304

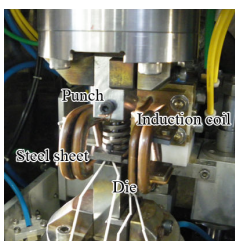
【試験片】

素材: Nb添加鋼
組成: 0.15%C, 0.2%Si, 1.4%Mn, 0.03%Nb
Ae3変態点: 819.5°C
寸法: 50×18×3 mm

【せん断加工】

クリアランス: 0.5mm
押し込み深さ: 2mm

高歪速度付与試験機



【装置概要】

加熱: 誘導加熱
温度測定: 熱電対
温度制御: PID制御

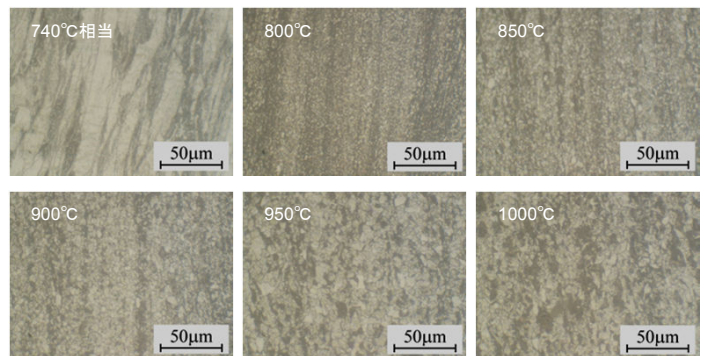
中止めせん断加工後の試験片



せん断領域の組織を観察

試験結果

ひずみ速度20sec⁻¹/空冷の条件で740℃から1000℃まで加工温度を変化させ試験を行った。



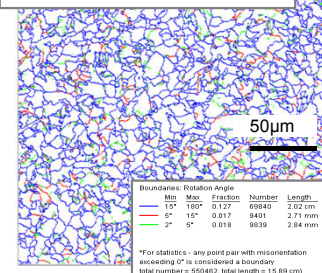
| 加工温度 | 740℃相当 | 800℃ | 850℃ | 900℃ | 950℃ | 1000℃ |
|-------------|---------|------|------|------|------|-------|
| 平均粒径(A)[μm] | 展伸(微細化) | 2.74 | 3.30 | 3.46 | 3.68 | 4.01 |
| 平均粒径(B)[μm] | 展伸 | 3.21 | 3.08 | 3.87 | 5.35 | 5.22 |

- ・加工温度が低くなるに連れて微細化が進んだ。
- ・740℃相当(変態点以下)では粒に展伸がみられた。

900℃試験内部組織観察(ひずみ速度2.0sec⁻¹/空冷)

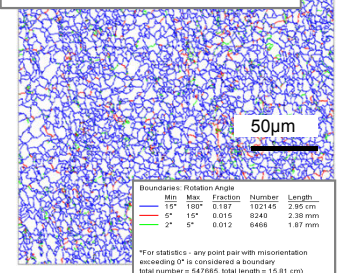
比較部(温度変化のみ)

粒界方位差15°以上の占有率: 78%



せん断部(温度変化+せん断加工)

粒界方位差15°以上の占有率: 87%



相変態ルートにより大角粒界が9割近くを占める組織が得られた。