


(※本報告書は英語で記述してください。ただし、産業利用課題として採択されている方は日本語で記述していただいても結構です。)

 MLF Experimental Report	提出日 Date of Report 平成 30 年 3 月 21 日
課題番号 Project No. 2017A0100 実験課題名 Title of experiment 複雑な塑性加工を施した鉄鋼真直丸棒の残留応力解析 実験責任者名 Name of principal investigator 関根 雅彦 所属 Affiliation 秋山精鋼株式会社	装置責任者 Name of responsible person 相澤 一也 装置名 Name of Instrument/(BL No.) 工学材料回折装置「匠」/BL19 実施日 Date of Experiment ・平成 29 年 5 月 25 日 18 時～28 日 9 時

試料、実験方法、利用の結果得られた主なデータ、考察、結論等を、記述して下さい。(適宜、図表添付のこと)
 Please report your samples, experimental method and results, discussion and conclusions. Please add figures and tables for better explanation.

1. 試料 Name of sample(s) and chemical formula, or compositions including physical form.
試料:3 本 ① 引き抜き加工を施した特殊鉄鋼棒(φ10 mm x 60 mm) 1 本 ② ①に続いてスピナー矯正を施した特殊鉄鋼棒(φ10 mm x 60 mm) 1 本 ③ ②に続いてロール矯正を施した特殊鉄鋼棒(φ10 mm x 60 mm) 1 本 クーポン:7 個 引き抜き加工前の母材から切り出した立方体(1.5mm x1.5mm x1.5mm) 8 個を組み立てたクーポン 1 個 各加工工程後の棒材から切り出した立方体(2mm x 2mm x 2mm)4個を組み合わせたクーポン 6 個

2. 実験方法及び結果 (実験がうまくいかなかった場合、その理由を記述してください。) Experimental method and results. If you failed to conduct experiment as planned, please describe reasons.
<p>弊社は特殊鋼の 2 次加工品をユーザーのニーズ(直径寸法公差、偏径度、真円度のみならず、真直性、キズ、表面粗度など)に対応して生産しており、販売先においてこれら加工品が機械部品のシャフト用などの素材として使用されている。しかし、ユーザーが製品製造のために施す切削加工の後において、棒材に曲りや歪みが生ずることがある。この曲りや歪みによって高精度な真円性、及び真直性に低下をきたすことが弊社の解決すべき大きな課題となっていた。</p> <p>この曲がりや歪の発生原因が塑性加工時に素材内部に蓄積された残留応力が切削時に解放されることにあると考えて、数年前から X 線回折による表面残留応力解析を行ってきた。しかし、X 線回折では棒材の表面近傍における応力しか得られていない。そこで、棒材深部における残留応力分布を明らかにするために、透過能力に長けた中性子を利用して TOF 回折実験を行なった。測定には J-PARC/MLF に設置された BL19 工学材料回折装置「匠」を利用した。無歪クーポンは、引き抜き加工前の母材から切り出した立方体(1.5mm x1.5mm x 1.5mm) 8 個を積み上げたものである。測定は、棒材を縦にセットし、棒材の中心から表面へ向かって 0.5mm ステップでスキャンした。棒材の計測方位の関係を図1に示す。「匠」には入射ビーム方向に対して直交する 2 つの検出器を有しているので、棒材の径方向及び周方向の回折パターンを一度に得ることができ</p>

2. 実験方法及び結果(つづき) Experimental method and results (continued)

る。一方、軸方向の回折パターンを得るために、棒材を横にセットして中心から表面まで同様にスキャンした。当初、鉄(bcc)の残留応力測定において推奨されている211回折線に注視して実験を行った。しかし、棒材が引き抜き加工において一方向に大きなひずみが作用して集合組織が強くなったために、推奨面からの回折強度が非常に小さい(図2を参照)という事態が起きた。そこで、一度に多くの回折線を観測できるTOF法の利点を活かし、即ち、得られる全ての回折線から格子定数を決定することとし、同様に決定したクーポンの格子定数との差からひずみ量を算出することにした。

主応力は、測定で得られた3つの方向(径、周、軸)の主ひずみ量から関係式(1)を用いて求められる。

$$\sigma_{ii} = \frac{E}{1-\nu} \left(\varepsilon_{ii} + \frac{\nu(\varepsilon_{jj} + \varepsilon_{kk})}{1-2\nu} \right) \quad (1)$$

ここで、ヤング率(E)、ポアソン比(ν)をそれぞれ鉄のマクロな値 211.41MPa、0.3 とした。

解析の結果、ロール矯正棒材において、軸方向の応力が全ての測定位置で負の値になるなど、得られた残留応力は現実的ではないことが判った。そこで、大きな外部応力によって素材が塑性変形する引き抜き加工では結晶粒間の相互作用が測定やひずみの算

出に影響を及ぼしていると考え、各工程後の棒材から新たなクーポンを作製して格子定数の測定を行った。新クーポンの格子定数を用いて前述したと同様な方法で解析を行った。得られた棒材の残留応力分布を図3に示す。径方向の表面における応力がほとんど零であること、また、軸面の引っ張り・圧縮のバランスが取れている(図4参照)ことから、十分な精度で残留応力を求めることが出来たと考えている。

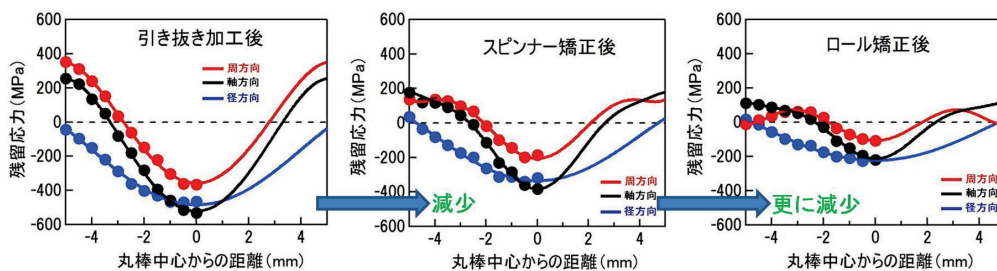


図3. 各工程を施した棒材の残留応力分布

各工程後の棒材中の残留応力を示す。丸印は測定点を示す。丸印の大きさは大凡の測定誤差を表わしている。実線は測定点を滑らかに結んだものである。また、棒材内部の応力分布が直感的に理解できるように実線を各図の右側にも描いている。矯正加工を施すことで残留応力が減少している。

引抜き加工によって生じる内部の残留応力がその後の矯正加工によって大きく低減することを非破壊的手法で明らかにした。また、加工の工程を工夫することで残留応力を効果的に減らせることを定量的に明らかにした。

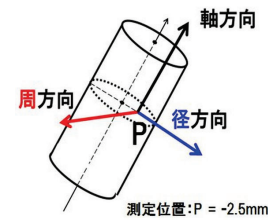


図1. 棒材(φ10mm)の計測方位関係
各測定方向(径、周、軸)は互いに直交している。スキャンは中心から表面方向に0.5mmステップで行った。この図は中心から-2.5mmの位置における測定方位関係を示している。

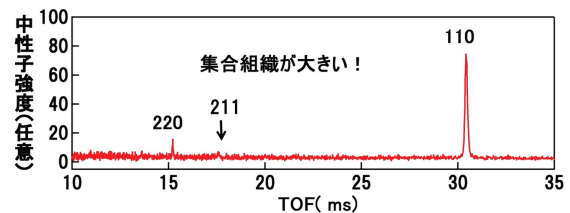


図2. 引き抜き加工後の棒材軸面からの回折パターン

この回折パターンでは110、220回折線のみが観測されているものの、他の回折線は全く見えていない。このことから、引き抜き加工を施した棒材は強い集合組織を持っていることが判る。

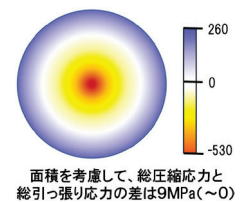


図4. 応力分布

軸面内の軸方向応力分布を示す。圧縮と引っ張りのバランスが取れている(引き抜き加工棒材の軸方向の面)。