

ねじり矯正加工を施した鉄鋼真直丸棒の残留応力解析

秋山精鋼株式会社 関根雅彦

1. 概要

弊社は精密機械、電子機器の構成部品に使用される鉄鋼真直丸棒を特殊鋼（快削ステンレス鋼、快削鋼、中炭素鋼、高炭素鋼など）から生産している。この棒材は、巻き線を素材としており、引抜き、スピナー矯正、ロール矯正などの複雑な塑性加工工程やねじり矯正加工を加えた工程を経て鉄鋼真直丸棒として成形される。出荷された丸棒が直径寸法、真円度、真直度において優れたものであっても、ユーザーが製品作製のために平面切削加工を施す際に生じる棒材の曲りやひずみによって高精度の真円性、真直性を低下させる結果を招く場合が存在することが大きな問題となっており、弊社のみならず産業界としても解決しなくてはならない極めて重要な課題となっている。

弊社は加工棒材の高品質化によって顧客の満足度を上げて市場占有率を上げたいと考えており、平面切削加工を施した際に生ずるひずみと関連している内部残留応力の低減が本質的な解決に繋がると考えている。そこで、内部残留応力をX線回折によって測定しているが、その値と中性子ビームによる非破壊的な測定との比較検討を行うために、第1段階として2017A期にBL19「匠」装置を使って、直径10mmの丸棒について引抜き、スピナー矯正、ロール矯正の連続塑性加工工程の各工程における残留ひずみを非破壊法により測定した。その結果、3方向（丸棒の周、径、軸方向）の残留応力分布が矯正加工工程の進展につれて顕著に緩和されていく様子を定量的に捉えることができた。

その後、伸線機で引抜き加工を行った後にねじり矯正加工を加えた工程で製造した丸棒は製品の切削加工後の真円性、真直性がさらに良く保たれることが試験結果で明らかになって来た。ねじり矯正は図1に示すように複数のコマを押し込み、材料に曲率を与え、コマ全体を回転させながら矯正する加工方法である。伸線材に多軸方向からひずみを与えることで、引抜き加工によって生じた表面および内部の不均一なひずみを均一化することを目的としている。また、社内でXRDや切断時のひずみ測定手法によって定量的な評価を実施したところ、ねじり矯正後の切削加工による変形量は、従来の、引抜き、スピナー矯正、ロール矯正の連続塑性加工工程のそれに比べて半分程度であることも判明した。

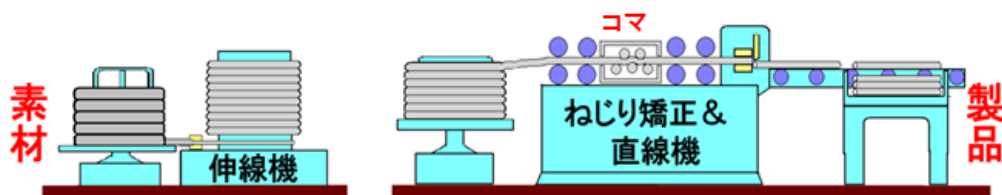


図1 伸線機、ねじり矯正&直線機の2台による真直棒の製作工程模式図

そこで、非破壊的な手法である中性子ビーム実験によって、引抜き加工にねじり矯正加工を加えた工程で製造した丸棒についての残留ひずみ分布をゲージボリューム $1\times 1\times 1\text{mm}^3$ で測定し、残留応力分布を導出してねじり矯正加工の効果を検証する必要があるが出てきた。XRDによる定量的評価は表面応力解析、もしくはスリット法やHeyn-Bauer法などの破壊的な手法に依っているのみで、本格的な直接解析が不可能であるからである。また、前回の中性子回折実験結果と詳しく比較検討する必要があるが出てきたので、今回の実験を実施するに至った。

2. 実験

今回の実験では、図2に示すように約250mmのねじれピッチを持つ矯正加工鉄鋼真直棒（弊社オリジナル鋼種ASK-2600（SUM24Lベース鋼）、直径10mm）について、ピッチ内の基準位置から0、62.5、

125mm の位置（位相 0 度、90 度、180 度の位置）の 3 箇所から中心軸方向へ 0.5 mm 毎に中性子回折実験を行い、丸棒の周、径、軸方向の格子定数を Rietveld 解析に依って導出した。また、比較のためにねじり矯正前（伸線加工後）の丸棒についても中間部において同様の測定を行った。

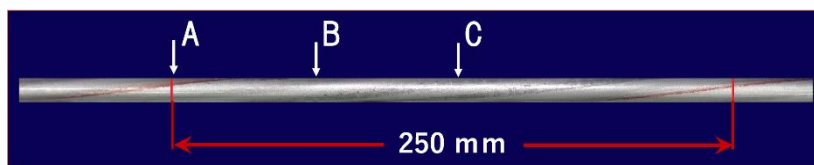


図2 ねじり矯正加工を施した $\phi 10$ mm 真直棒の写真
棒材表面の赤曲線は、“ねじり”の軌跡を示す。ピッチの長さは約 250 mm。
A, B, C の矢印はねじりの位相 0, 90, 180 度におけるひずみ測定場所を示す。

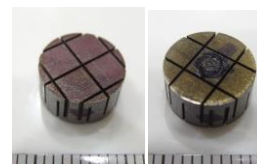


図3 クーポン試料
左図は表側、右図は裏側。

無ひずみ標準試料（クーポン）は上記の測定箇所 4 ヶ所に対応させてワイヤーカッターで切り出した高さ 5mm の円板に図 3 で示すように表裏から 2 mm 間隔でスリットを入れたものである。（図 3）。このクーポンについてもひずみ試料と同様な回折実験を行い、丸棒の周、径、軸方向の d_0 格子定数を Rietveld 解析に依って導出した。この 2 種のデータから残留ひずみ分布を 3 方向で算出し、フックの法則により丸棒の周、径、軸方向の残留応力を 30MPa 程度の精度で導出した。試料の丸棒は伸線材であるため大きな集合組織が存在して回折強度の偏向が見られ、また、ケージボリュームの小ささのために回折強度が弱かったため、得られたすべての回折ピークを利用した Rietveld 解析において実行困難な場合もあったが、注意深い解析を実施した。利用した装置は BL19-TAKUMI であり、加速器出力 533kW で 3 日間の測定期間を要した。

3. 結果

導出した残留応力を図 4 に示す。伸線加工材からねじり矯正加工材に移ると、半径方向、周方向、軸方向の 3 方向残留応力が概ね ± 60 MPa 以内であり、矯正前の値の約 1/5 程度まで大幅に減少していることが分った。また、半径方向の丸棒表面近傍での応力は誤差の範囲（ ± 30 MPa 程度）でゼロになっており、軸方向全域での力学的バランスも良いことが明白で、解析は成功していると判断できる。

以上の解析結果から、「ねじり矯正加工を加えた工程で製造した丸棒は製品の切削加工後の真円性、真直性が非常に良く保たれる」という試験結果を残留応力の側面から証明することができた。

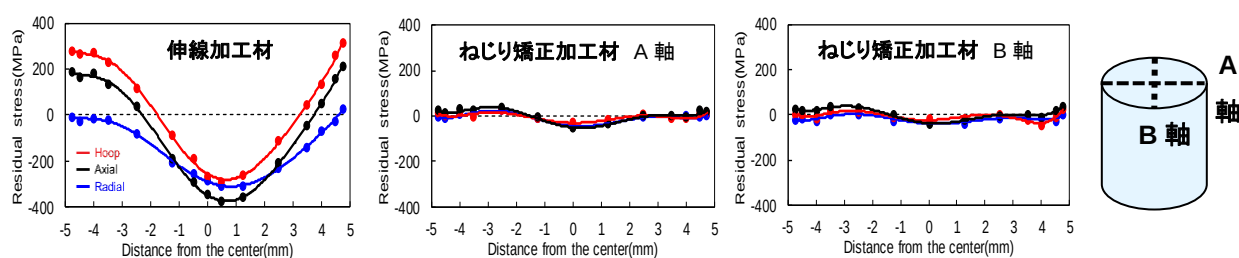


図4 伸線加工およびねじり矯正加工を施した鉄鋼真直丸棒の残留応力

測定結果の左図は伸線加工を施した真直丸棒。中央及び右の図はねじり矯正加工を施した真直丸棒。A 軸、B 軸は直行する軸。

4. 結論

本実験から以下のことが明らかになった。

- ① ねじり矯正加工鉄鋼真直棒の半径方向、周方向、軸方向内部残留応力を表面から中心軸方向へ 0.5 mm 毎に導出することができた。
- ② 得られた応力値は 3 方向とも概ね ± 60 MPa 以内で矯正前の値の約 1/5 程度まで大幅に減少していることが分り、ねじり矯正丸棒製品は切削加工後に真円性、真直性を非常に良く保つ事を証明した。