

(様式第5号)

旋削加工により誘起された表面変質層を有する  
オーステナイト系ステンレス鋼の表面近傍における残留応力測定  
Residual stress measurement of austenitic stainless steel with machined surface  
layer induced via lathe turning

永石尚昭<sup>1</sup> 帆秋圭司<sup>1</sup> 平井智紀<sup>1</sup> 香田和則<sup>2</sup>  
Naoaki Nagaishi<sup>1</sup> Keiji Hoaki<sup>1</sup> Tomonori Hirai<sup>1</sup> Kazunori Koda<sup>2</sup>

1; 佐賀県工業技術センター 2; (株)香田製作所  
1; Industrial Technology Center of Saga 2; Koda Manufacturing

- ※1 先端創生利用(長期タイプ)課題は、実施課題名の末尾に期を表す(I)、(II)、(III)を追記してください。
- ※2 利用情報の公開が必要な課題は、本利用報告書とは別に利用年度終了後2年以内に研究成果公開(論文(査読付)の発表又は研究センターの研究成果公報で公表)が必要です(トライアル利用を除く)。
- ※3 実験に参加された機関を全てご記載ください。
- ※4 共著者には実験参加者をご記載ください(各実験参加機関より1人以上)。

## 1. 概要 (注: 結論を含めて下さい)

著者らは、切削加工時に生じる「表面変質層」を利用し、ステンレス鋼製品を高強度化する加工技術の確立に向けて検討を行っている。この加工技術の有効性を検証するために、加工面極表層に着目したX線残留応力測定を行った。著者らが検討した加工条件で旋削されたSUS316Lの加工面に対し、侵入深さ一定法を適用して残留応力測定を行った結果、加工面極表層には-600MPaの強い圧縮応力が残留していることを明らかにした。

### (English)

The authors investigated a processing technique in order to improve the strength of stainless-steel products by utilizing the “machined surface layer” induced via machining. In this work, X-ray residual stress measurement focusing on machined surface layer was conducted to evaluate the effectiveness of the processing technique. Measurements using the constant penetration depth method revealed that strong compressive stresses of -600 MPa remained in the extreme surface layer of the machined surface.

## 2. 背景と目的

佐賀県工業技術センターでは、切削加工時に生じる「表面変質層」を利用し、特殊な表面処理を施すことなくステンレス鋼製品を高強度化する加工技術の開発および実用化に向けて佐賀県内企業と共同研究に取り組んでいる。これまでの取組の中で、①高機能な表面変質層を誘起するための加工方法、②表面変質層によるオーステナイト系ステンレス鋼の疲労強度向上効果を明らかにしてきた。現在、オーステナイト系ステンレス鋼の耐SCC(Stress Corrosion Cracking, 応力腐食割れ)性への影響について検証を進めている。

SCCは、環境・材料・応力の影響が重畳した場合に生じる現象であり、特に応力が“引張”であればき裂進展の駆動力になる。逆に“圧縮”であれば、SCCは発生しえない。

本加工技術によって加工されたオーステナイト系ステンレス鋼丸棒の残留応力は、“圧縮”の値を示すことをラボ向けの残留応力測定装置によって確認しており、耐SCC性を向上する効果があることが期待される。しかし、測定の原理から推測するに、ラボ向けの残留応力測定装置で得られる値は、表面～深さ約10 $\mu$ mの平均値であることが疑われる。本加工技術が耐SCC性へ与える影響を正確に

評価するには、より表面近傍の残留応力の値が必要である。

そこで本課題では、本加工技術によって加工された領域の極表面近傍の残留応力の取得を目的とし、シンクロトロン放射光を用いたX線残留応力測定を実施した。

### 3. 実験内容（試料、実験方法、解析方法の説明）

試験片加工の概要、および試験片形状を図1に示す。オーステナイト系ステンレス鋼SUS316L(固溶化熱処理材)の丸棒断面を本加工法で加工した領域(図1 ハッチング部)を測定面とした。

測定はBL15で行った。X線のエネルギーは7keVとし、回折面は $\gamma$ -Fe(311)とした。 $2\theta \approx 109.4\text{deg.}$ の回折X線をソーラースリットを介してシンチレーションカウンターで計測した。X線エネルギーおよび材料の組成から推定されるX線侵入深さは $1\mu\text{m}$ であり、多軸ゴニオメーターの $\omega$ 軸、 $\chi$ 軸の制御でX線の侵入深さを一定に保ちつつ、 $\psi$ 角を変化させる「侵入深さ一定法」を適用し、 $\Delta d/d - \sin^2\psi$  プロットから応力値を得た。

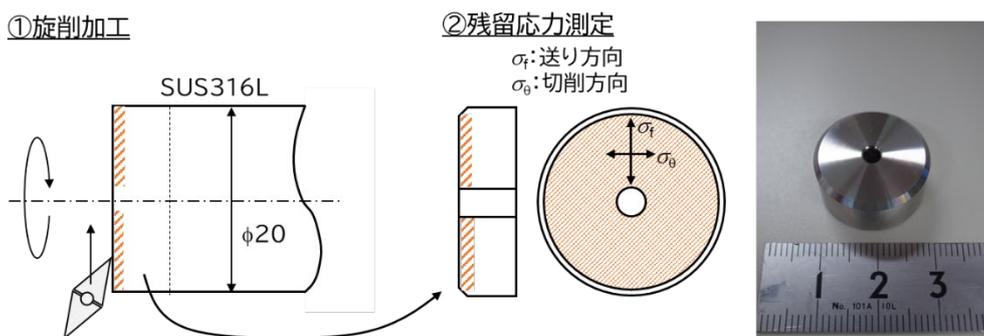


図1 試験片加工の概要と試験片形状

### 4. 実験結果と考察

侵入深さ一定法による測定の一例として、チップ送り方向(半径方向)に注目して測定した結果を示す。 $\sin^2\psi$ 毎のピークプロファイルを図2に示す。 $\sin^2\psi$ が大きくなるにつれピーク位置が高角側にシフトしていることから、半径方向には圧縮応力が残留していることがわかる。この結果から得られる $\Delta d/d - \sin^2\psi$  プロットを図3に示す。最小二乗法により近似曲線を求め、その傾きに応力定数 $K$ を乗じた結果、半径方向の残留応力は $-596\text{MPa}$ であった。

一方、比較のために同じ試験片を一般的な方法( $\psi$ のみ変化、侵入深さは制御されない)で測定した結果、 $\Delta d/d - \sin^2\psi$ プロットが曲線となったため、残留応力の決定に必要な傾きの算出が困難であった。これは、加工面から試験片内部に進むにしたがって残留応力が変化していることを意味しており、本試験片のように表面改質された領域における特定の深さ位置の残留応力を測定する場合、侵入深さ一定法の適用が重要であることを示唆する結果を得た。

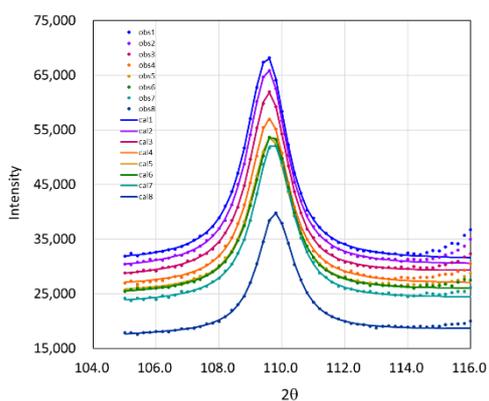


図2  $\sin^2\psi$ 毎のピークプロファイル

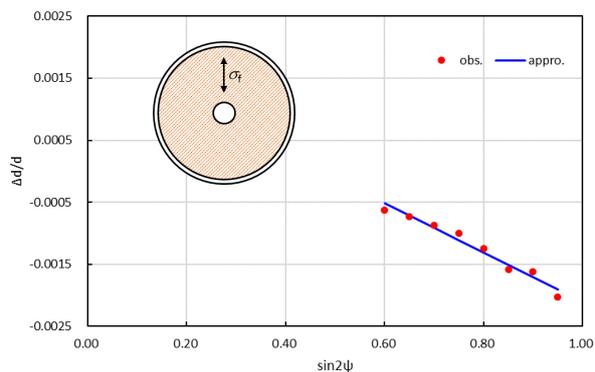


図3  $\Delta d/d - \sin^2\psi$ のピークプロファイル

### 5. 今後の課題

今回の実験により、侵入深さ一定法を用いることで、特定の深さ位置における残留応力の測定が可能であることが明らかになった。今後はより深い位置の残留応力の把握や、丸棒表面に対しても同様の手法が適用可能か検証する必要がある。

## 6. 参考文献

- ・佐野雄二, 正木清孝, 秋田貢一, 久保達也, 佐藤眞直, 梶原堅太郎. レーザピーニング処理した材料の高エネルギー放射光による非破壊評価. Japanese Soc Synchrotron Radiat Res 2008;21:270-8.
- ・理学電機株式会社. X線回折ハンドブック. 2000.

## 7. 論文発表・特許

無し

## 8. キーワード

X線残留応力測定, 侵入深さ一定法, 表面改質材

9. 研究成果公開について (注: ※2に記載した研究成果の公開について①と②のうち該当しない方を消してください。また、論文(査読付)発表と研究センターへの報告、または研究成果公報への原稿提出時期を記入してください(2018年度実施課題は2020年度末が期限となります)。

長期タイプ課題は、ご利用の最終期の利用報告書にご記入ください。

|                |        |   |    |
|----------------|--------|---|----|
| ① 論文(査読付)発表の報告 | (報告時期: | 年 | 月) |
| ② 研究成果公報の原稿提出  | (提出時期: | 年 | 月) |