

ファイバーレーザー加工により表面改質したステンレス鋼の冷間鍛造加工時における溶着改善に関する研究開発

富山大学 都市デザイン学部 材料デザイン工学科

教授 会田 哲夫

(平成 28 年度 一般研究開発助成 AF-2016228)

キーワード：ステンレス鋼，冷間鍛造，テクスチャ

1. 研究の目的と背景

現在，ステンレス鋼の需要生産量は増加傾向にあり，その小型加工品の大量生産時には冷間鍛造が主に用いられている¹⁾．近年ではプレス機や潤滑油の発展によって，この冷間鍛造に一層期待が高まっている²⁾．メリットとしては，工程数が少なく省コスト，生産効率が高いことが挙げられる．しかしながらこの手法は金型内部や供試材表面に発生する凝着，かじり等の表面欠陥がある．従来のステンレス鋼の冷間鍛造では，熱伝導率の低さ故に，ある条件下においてステンレス鋼部品として強度の低下や製品本来の性能を発揮できない，かじりや凝着の発生が問題視されている²⁾．

他方，熱処理やコーティングに代表されるような表面改質技術の一種として，表面テクスチャが注目されている．これは，動圧の発生，潤滑油の供給，摩耗粉・異物の排出やトラップ等のメリットが挙げられ，レーザーに代表される表面微細加工技術の進歩やナノスケールからマクロスケールの加工プロセスにおける摺動要素(トライボ要素)の改善・応用開発への強いニーズがある³⁻⁵⁾．

そこで本研究では，トライボ特性の向上が期待されるデインプル状表面テクスチャを供試材 SUS430 に作製し，表面テクスチャの効果の評価，また鍛造後の供試材表面を観察することで，表面テクスチャ付与の影響評価を行った．

2. 実験方法

2.1. ファイバーレーザー加工

本実験で使用したファイバーレーザー加工機は，株式会社 IHI 検査計測製のレーザー波長 1070~1080nm，連続発振 (CW) でデインプル状の凹表面テクスチャは供試材

を小型旋盤に固定した状態で回転させ，その上方からファイバーレーザー加工機にて 50Hz~500Hz，送り量 0.5mm/rev~2mm/rev，出力 0.5kW~4kW，回転数 250rpm~1000rpm と変化させて作製した．表面テクスチャの観察は，デジタルマイクロスコープを用いて供試材の上部，中部，下部における周囲長さ，面積の測定した各寸法を Fig.1 に示す．

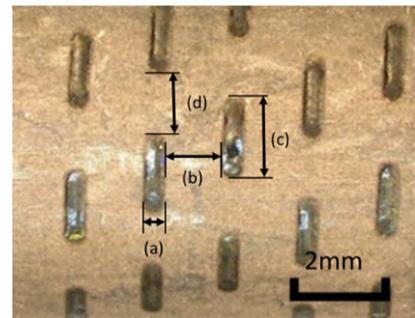


Fig.1 供試材・テクスチャ拡大図

2.2. 複合化サーボプレス機械

Fig.1 に本実験で使用した供試材の鍛造前後の寸法，デインプル状表面テクスチャの拡大図を示す．使用する供試材はフェライト系ステンレス鋼に当たる SUS430 であり，表面は化成皮膜処理を施した．鍛造前の寸法は外径 13mm，内径 6 mm，長さ 28.5mm．鍛造後は，上部外径 13.2mm，下部外径 9.15mm 内径 5.1mm 長さ 48.1mm となる．この供試材上下部の寸法より断面積を算出し，断面減少率を 70%とした．



Fig.2 テクスチャの有無による鍛造前後の試料外観

本実験では金型内部の温度を測る際に、金型下部に熱電対を取り付けた。また荷重変化はサーボプレス機械に接続されているPCの解析ソフトを用いて記録した。実験条件は主に表面テクスチャ付与の有無、潤滑油、金型の断面減少率をそれぞれ変化させて実施した。使用した試料表面テクスチャは、送り量1mm/rev、周波数100Hzを用い、皮膜処理とレーザー加工の前後付与による影響を調査した。

2.3. 非接触3次元形状測定機

ZYGO Corporation製の非接触3次元形状測定器を用いて供試材表面に光を照射して生じた干渉縞の焦点深度を計測し、鍛造後のテクスチャの状態について算術平均粗さ、最大高さを測定した。測定方向に対して垂直に固定し、測定範囲は鍛造後曲率部の始点から供試材端面までとした。

測定条件は、対物レンズ2.75倍、ZOOMレンズ1倍、観察視野6.05mm×6.05mm、サンプリング間隔5.906μm、垂直分解能0.005nmである。本測定においてディンプル状表面テクスチャは円筒状の供試材に付与し、且つ直径は1~2mmと大きいため特殊処理を行った。(a)Signal Over Sampling処理は、供試材の最高点を基準値として深さを正確に測る処理、(b)シリンダー平滑化-形状除去処理は、円筒状態の供試材を解析により平滑化表示させる処理。(c)Stich処理は、観察視野を繋げる処理であり、本測定では供試材端面まで測定するために接合部20%×測定視野3回分の処理を行った。

3. 実験結果および考察

3.1. ファイバーレーザー加工

Fig.3は周波数100Hz、回転数500rpm、送り1mm/rev

の時の出力変化によるテクスチャの形状への影響を示す。出力を増加させるとテクスチャの幅(a)、深さが増加する傾向があった。周波数を増加させると、溝と溝の間隔(d)や溝の長さ(c)が狭くなり、テクスチャの個数が増加する傾向にある。Fig.4では出力0.5kW、送り0.5mm/revにおける回転数、周波数変化によるテクスチャの形状への影響を示す。回転数を増加させると、テクスチャの個数が減少し、テクスチャの長さが増す傾向にある。Fig.5では、出力0.5kW、回転数500rpmの時の送りおよび周波数の変化によるテクスチャの形状への影響を示す。送り量を増加させると、溝の間隔(b)が広くなり、テクスチャの個数が増加している。

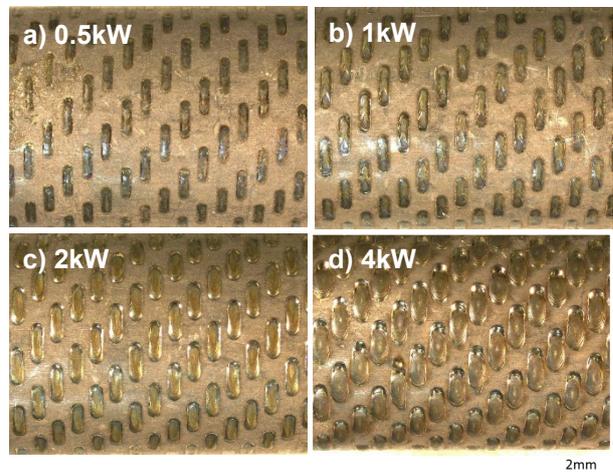


Fig.3 出力変化によるテクスチャ

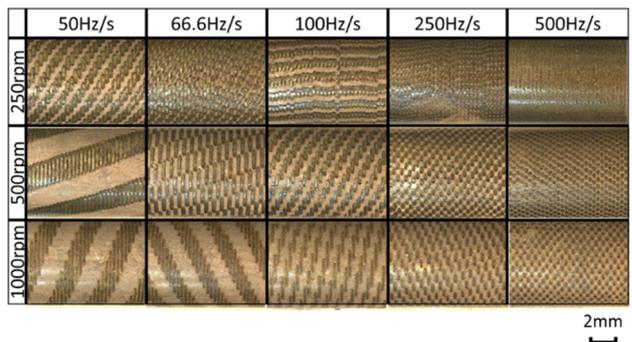


Fig.4 回転数変化によるテクスチャ

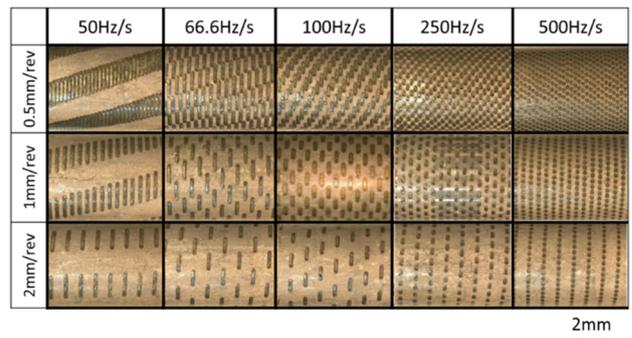


Fig.5 送り量変化によるテクスチャ

Fig.6 に、出力変化による金属の溶融部分有無の面積、および周囲長さを示す。4kW における溶融部分を含んだ場合と含まなかった場合の面積の比較をすると、約 5000 μm^2 差が出ていることがわかる。出力を上げることで、テクスチャの深さが深くなり、金属の溶融部分が増し、回転による遠心力に伴い外径の寸法に影響が出ているといえる。このことから、冷間鍛造加工の際に、荷重に影響が出ると予測される。

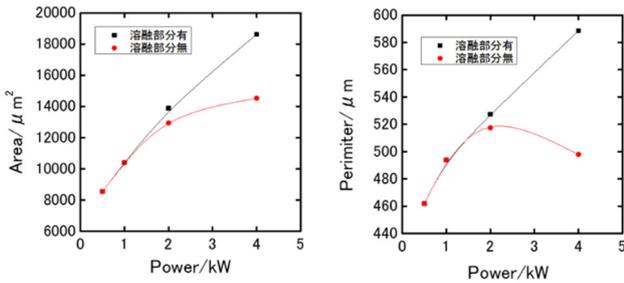


Fig.6 出力変化による面積および周囲長さ

次に、Fig.7 に回転数変化による面積、周囲長さを示す。回転数が高いほど、面積および周囲長さは大きくなる傾向にある。500Hz では、回転数に関係なく面積、周囲長さは同じような結果となった。Fig.8 に送り量変化による面積、周囲長さを示す。周波数における面積および周囲長さに変化がないことから、0.5 mm/rev から 2mm/rev での送り速度に依存しないことがわかる。

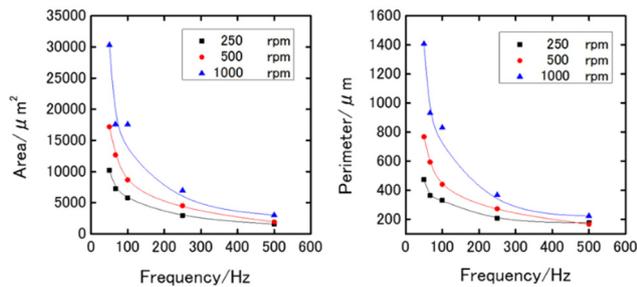


Fig.7 回転数変化による面積および周囲長さ

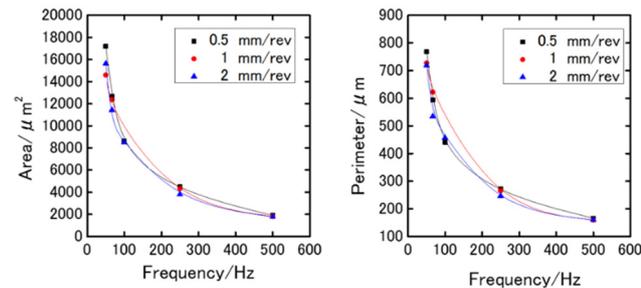


Fig.8 送り量変化による面積および周囲長さ

以上のことから、回転数、周波数、送り速度を変えることで、テクスチャの個数や配列を変えることができ、より潤滑しやすいテクスチャの形状の選択ができることがわかった。そこで、冷間鍛造加工用の供試材にはテクスチャの条件として、出力：0.5kW、回転数：500rpm、周波数：100Hz、送り速度：1mm/rev とした。この条件は Fig.5 からわかるように、テクスチャが互い違いに配置されており、冷間加工中に潤滑剤が途切れない可能性がある。

3.2. 複合化サーボプレス機械

Fig.9 に複合化成形サーボプレス機の実験における(潤滑剤-プレス油①、断面減少率 - 70%(T0)、表面形状-通常時の荷重の変化、Fig.10 に断面減少率-70%(T0)時の金型内部温度の変化を示す。

本実験では先行研究のかじり発生条件に倣い、Fig.9 の波形グラフの最大荷重点を抜粋して比較を行った。また Fig.10 の波形グラフでは、使用した金型毎に熱電対の記録開始時間と複合化サーボプレス機実験の開始時間・終了時間を合わせることでピーク箇所を抽出し、それぞれの鍛造時の最大温度(以下、金型温度)を抜粋して比較を行った。

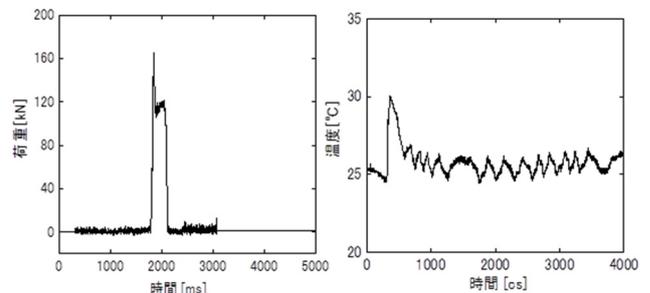


Fig.9 荷重の変化 Fig.10 金型内部温度の変化

Fig.10 に、断面減少率 85%(T3)時における潤滑剤と表面形状ごとのラム速度と a)最大荷重、b)金型温度との関係を示す。ラム速度は 100%の 197mm/sec とした。ラム速度が増加するにつれ、最大荷重および金型温度は低くなる傾向にあるが、ラム速度 50%(98.5mm/sec)時においてテクスチャを施したレーザー皮膜 2 種の供試材は、最大荷重、金型温度共に減少している傾向にある。このことから、テクスチャを施した供試材はラム速度 50%(98.5mm/sec)時の冷間鍛造において、最もテクスチャのオイルポット効果が発揮されるのではないかと考えられる。

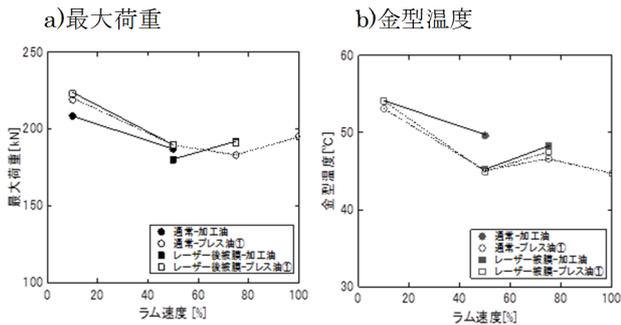


Fig.10 潤滑剤・表面形状ごとのラム速度の関係 (断面減少率 85%) a)最大荷重, b)金型温度

3.3. 非接触 3 次元形状測定機

Fig.11 に表面形状ごとの鍛造後表面の a)算術平均高さ, S_a , b)最大高さ, S_z , また Table 1 に測定表示された断面減少率 85%(T3), 潤滑剤-プレス油①条件における表面粗さパラメータを示す。テクスチャごとに鍛造後表面の算術平均高さ, S_a に大きな違いは見られないが, いずれも表面形状-通常(テクスチャ無し)時と比較して 500nm 以上低くなった。また, 最大高さ, S_z は 50Hz のみが突出して表面形状-通常(テクスチャ無し)時と比較して約 20000nm 大きくなった。

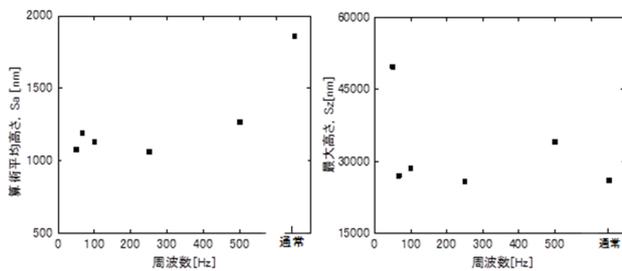


Fig.11 表面形状ごとの表面粗さ

Table 1 表面粗さパラメータ(断面減少率-T3, 潤滑剤-プレス油①)

	50Hz	66.6Hz	100Hz	250Hz	500Hz
表面粗さ					
形状					
拡大図					

4. 結論

本研究では, SUS430 供試材にディンプル状表面テクスチャを作製し, 表面テクスチャの効果の評価, また鍛造時の条件を変化させることで, 冷間鍛造時やその供試材表面にどのような影響を及ぼすか調査した結果, 以下のことが明らかになった。

- (1) 回転数, 周波数, 送り速度を変えることで, テクスチャの個数や配列を変えることができ, より潤滑しやすいテクスチャの形状の選択ができる。
- (2) ラム速度が増加するにつれ, 最大荷重および金型温度は低くなる傾向にあるが, ラム速度 98.5mm/sec 時ににおいてテクスチャを施したレーザー皮膜 2 種の供試材は, 最大荷重, 金型温度共に減少する。
- (3) 鍛造後表面はテクスチャ付与したものはテクスチャ無と比較し算術平均高さ, S_a が 500nm 以上低くなった。

謝辞

本研究は, 公益財団法人天田財団の平成 28 年度一般研究開発助成 AF-2016228 の支援を受けて実施した研究であり, ここに記して, 心より深く感謝の意を表する。

また本実験を遂行するにあたり, 月星製作所(株) 太田昌幸氏, 山本将之氏, 富山県産業総合研究開発センター 清水孝晃氏, 山岸英樹氏, 富山大学工学部卒研究生米谷拓稔君, 伊藤龍希君, 横江真吾君の多くの方々にご協力頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 産業新聞, ISSF 総会 世界的に需要拡大続く, 2018 年 5 月 24 日刊行。
- 2) 飯久保知人, 図解入門よくわかるステンレスの基本と仕組み, (2010). p. 22, 23, p. 62, p. 82, p. 152.
- 3) 井ノ原忠彦, (株)リプス・ワークス, プラスチック金型徹底ガイド レーザー微細加工とその応用, (2017), 12.
- 4) 村田順司, 鎌本繁夫, 獅子原祐樹, 泉貴士, 遠山護, トライボジスト第 63 巻第 3 号(2018), 201-208.
- 5) 安部洋平, 森謙一郎, 畑下文裕, 柴孝志, Witthaya DAODON, 塑性と加工(2015), 56-658, 972-978.