

# ニードルピーニングによる金属表面への残留応力付与

勝又 信行・深澤 郷平

## Introducing Compressive Residual Stress on Metal Surface by Needle Peening

Nobuyuki KATSUMATA and Kyohei FUKASAWA

### 要 約

構造物の製造工程で生じる残留応力の対策として、ピーニングは効果的な手段として知られている。ピーニングは、材料表面に衝撃力を与える表面改質技術である。この表面に連続打撃を加える手段として、ジェットたがねによる効果を検討した。市販のステンレス板 SUS304 表面にニードルピーニングを行ったところ、処理時間 3 秒でも効果が見られ、10 秒以上の処理で $-300\text{MPa}$ 以上の圧縮応力を付与できた。また、ピーニングにより加工硬化も生じ、その効果は、表面から 0.5mm までおよんだ。

### 1. 緒 言

構造物の製造工程において、曲げや溶接は必要不可欠の加工である。これらの加工が施された部位には、加工に伴う残留応力が生じる。構造物に生じた残留応力、特に引張側の応力は、疲労や耐食性の低下による応力腐食割れを招くことが知られている。

この対策として、材料表面に衝撃力を与えるピーニングは有効な手段であり、ショットピーニングやハンマーによる打撃などが利用されている。このピーニングは、冷間加工を利用した表面改質の一種であり、表面に衝撃力を与え、局所的な強変形による応力の付与と加工硬化層が形成でき、疲労強度や耐摩耗性が改善される。

ところで溶接現場などでは、溶接スケールなどの剥離に硬鋼線（ニードル）を束ね、これを圧縮空気などで駆動させる、通称、ジェットたがねが工具として用いられている。この工具は、毎分 3000 回以上、硬鋼線で表面を打撃することからピーニング効果が期待できる。しかし、この工具によるピーニング効果について検証した報告は少なく、残留応力を付与する効果は未知である。そこで、この工具によるピーニング効果を検証した。

### 2. 実験方法

ジェットたがねは、日東工器 JEX-24 を使用し、たがね先端部には、 $\phi 2\text{mm}$ の硬鋼線を取り付けた。試験材には、板厚 3mm の SUS304 板を用い、処理面積を一定にするためにビニルテープで約  $20 \times 25\text{mm}$ の大きさにマスキングし、この内側を所定時間処理した。

ピーニングの効果は、表面観察、残留応力測定、硬さ測定により行った。ピーニング前後の残留応力の測定は、

X 線回折法により行った。このときの応力測定条件を表に示す。応力の測定は、処理前、処理後のほかに表面から板厚方向への応力分布の測定を行った。

### 3. 結 果

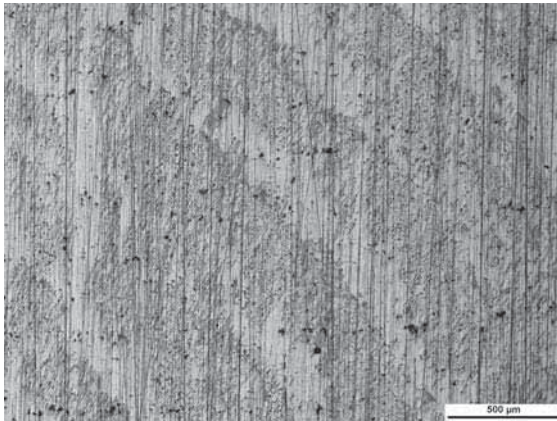
#### 3-1 ピーニング時間と残留応力の関係

図 1 に処理時間ごとの表面観察結果を示す。ピーニングにより表面に打撃痕が生じ、処理時間が 3, 5, 7 秒では処理むらが認められたが、20 秒以上になるとほぼ全面が打撃痕で覆われた。また、ピーニングを行うと処理面が凸になるように試験片に反りが生じた。

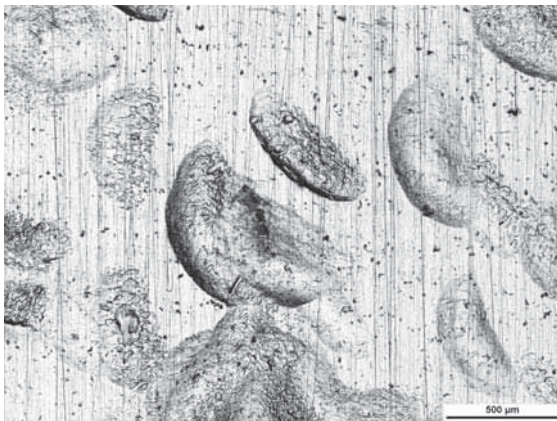
図 2 にピーニング時間と残留応力の関係を示す。ピーニングにより表面に圧縮側の残留応力が付与され、その大きさは処理時間の増加に伴い、より大きな圧縮応力が付与された。処理時間 3s では、 $-150\text{MPa}$ 程度であったが、処理時間が 10s 以上になると $-300\text{MPa}$ 程度まで増加し、処理時間 30s で最も大きな圧縮応力になった。この残留応力は、今回用いたステンレス板の厚さが 3mm と

表 1 X 線応力測定条件

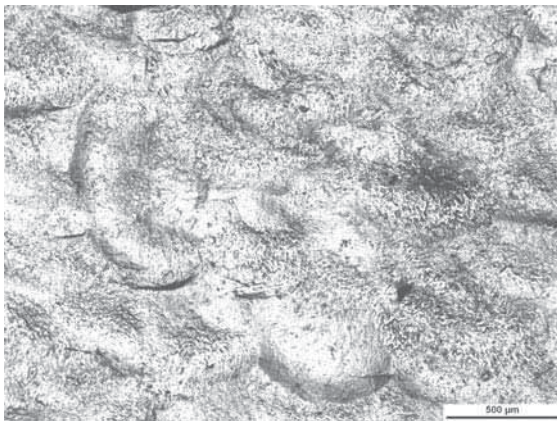
管球	Cr
管電圧	30kV
管電流	30mA
コリメータ径	2mm
回折面	(311)
回折角	$149.6^\circ$
測定時間	40s



(1) 処理前



(2) 処理時間 5s



(3) 処理時間 20s

図1 処理前後の表面観察結果

いうこともあり、処理後に反りが生じていたため、この反りの発生により応力が開放されていることが考えられる。構造物などで被処理物が十分に拘束されている場合はこれよりも大きな応力になると考えられる。このことを確認するために、ピーニングによる反りの影響を受けにくい板厚 8mm の SUS304 板の表面に 30s のピーニングを行ったところ、処理前後で試験片の反りはほとんどなく、また応力は -500MPa 前後であった。このことから、

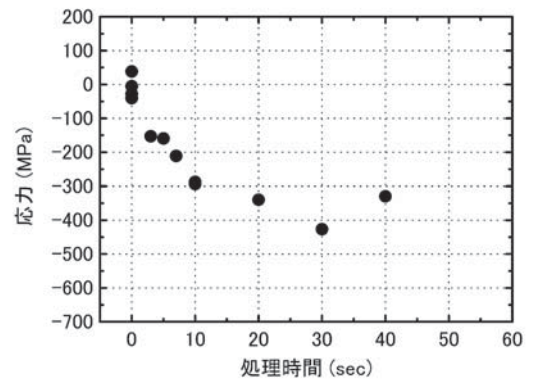


図2 処理時間と表面残留応力の関係

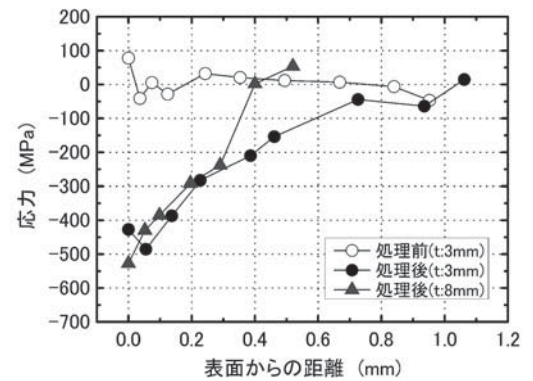


図3 表面からの応力分布

薄板の場合、反りの発生が応力を減少させていることを確認できた。

表面からの圧縮応力の付与状態を確認するために、試料表面を電解研磨し、応力を測定した結果を図3に示す。板厚 3mm, 8mm のいずれにおいても残留応力は、表面近傍から内部に向かうに従って徐々に減少した。板厚 3mm では、電解研磨により表面を除去する過程でピーニングにより生じた反りが徐々に減少し、応力が開放されている様子がうかがえた。電解研磨を繰り返し行くと表面から 0.7mm 程度除去すると反りの減少はとまり、そのときの応力はほぼ零になった。また、板厚 8mm の場合、表面からの除去過程で試験片の反りの変化はほとんどなかった。表面からの応力分布は、表面から圧縮応力は徐々に低下し、表面から 0.4~0.5mm になるとほぼ零になった。この板厚方向の応力分布が、3mm と 8mm で異なった原因として試験片の硬さの影響が考えられる。板厚 3mm の試験片の硬さは 200HV 程度なのに対し、板厚 8mm の試験片の硬さは 300HV 程度であった。ショットピーニングでは、材料の硬さが応力の付加に影響する

から 0.7mm 程度まで残留応力が存在していた。

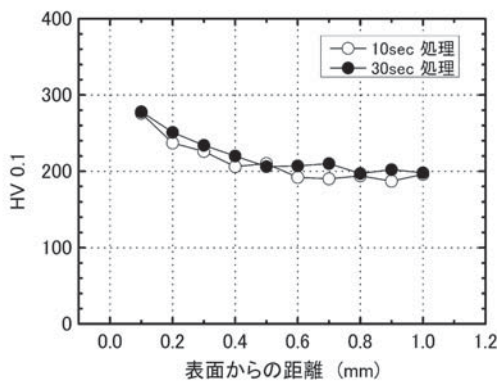


図4 表面からの硬さ分布

ことが知られ、一般的に高強度・高硬度になるにつれ効果が低くなるためである<sup>1)</sup>。

### 3-2 ピーニングによる表面硬化

一般的にピーニングを行うと、加工硬化の影響で硬くなることが知られている。本研究で用いた SUS304 は、加工硬化しやすい材料であり、ピーニングによる表面硬化が期待できる。そこで表面からの硬さ分布の測定を行った。図4に表面からの硬さ分布測定結果を示す。試験片の初期の硬さは、200HV以下であったが、処理面では270HV程度まで硬化し、この値は処理時間によらず、処理時間10s、30sで同程度であった。板厚内部方向への硬さは、表層から内部に向かうにつれ徐々に低下し、約0.5mm程度の深さまで加工硬化の効果が確認できた。

本研究で用いた SUS304 は、準オーステナイト系ステンレスであり、加工硬化の際にマルテンサイト変態を起こすことが知られている。そこでマルテンサイト変態の有無について X線回折により確認したところ、マルテンサイトはほとんど発生していないことを確認した。

## 5. 結言

オーステナイト系ステンレス SUS304 表面にジェットたがねを用いた残留応力の付与について検討したところ、次の結果が得られた。

1.ピーニング処理で表面に一様に打撃痕をつけるために要する時間は、20s以上必要であった。また表面の残留応力は、処理時間とともに増加し、処理時間30sで400MPa以上が得られた。

2.表面からの残留応力の状態を測定したところ、残留応力は表面から内部方向に向かうにつれ順次減少し、表面

3.ピーニングにより、SUS304は加工硬化により硬さが増加し、処理前の200HV以下から処理後では270HVまで硬さが増加した。このときの硬さの増加は、加工硬化によるもので、加工誘起マルテンサイトの形成はみられなかった。

## 参考文献

1) 原田 泰典, 小濱田卓: 塑性と加工, Vol51, No592, P.424 (2010)