

ニードルピーニングによる金属表面への残留応力付与（第2報）

勝又信行・深澤郷平

Introducing Compressive Residual Stress on Metal Surface by Needle Peening (2nd Report)

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、材料表面に打撃を与え、表面に残留応力を付与する表面改質技術であるが、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。このことについて、SUS316、SUS420J2を対象に効果を確認し、SUS316では処理時間20秒以上で、SUS420J2では5秒以上の処理で -500MPa 程度の圧縮応力を付与できた。またSUS420J2とSUS304のTIG溶接部でピーニング効果の持続性を検討するために、加熱による応力緩和特性を調査した。その結果、SUS420J2は加熱温度573Kまでは応力が維持され、SUS304では加熱温度573Kで応力は初期値から緩和したものの $-300\sim-200\text{MPa}$ を維持した。

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。

前報において、SUS304を対象にこのことを検討し、適切な処理時間を確保することでピーニング処理として有効であることを確認した。本研究では、対象をSUS316、SUS420J2の他にSUS304にTIG溶接したものについてピーニング効果を検討した。

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SUS316、板厚9mmのSUS304、板厚10mmのSUS420J2（プリハードン、30HRC）を用いた。SUS304は、処理面の一部にTIG溶接で幅約4mmのビードを加工し、母材、溶接部での効果の違いを検討した。

ピーニングの効果の検討は、X線回折法による残留応力測定により行った。また、ピーニング効果の持続性を検討する目的で、加熱による残留応力の緩和を調査した。

3. 結 果

3-1 SUS316に対するピーニング効果の検討

図1にSUS316のピーニング処理時間と残留応力の関係を示す。ピーニング処理は、前報と同様に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。供試体には、納品時から $-280\sim-150\text{ MPa}$ の圧縮応力が存在していた。これに3~5秒ピーニングしても残留応力はほとんど変化しなかった。処理時間10秒以上になると明確に応力が変化し、 $-500\sim-300\text{ MPa}$ の圧縮応力が付与できた。処理時間20秒以上になると処理面全体が打撃痕で覆われ、処理むらがなくなると同時に、応力のばらつきも小さくなった。前報のSUS304とSUS316では、被処理材に初期の残留応力の違いがあったが、処理時間30秒以上で同程度の残留

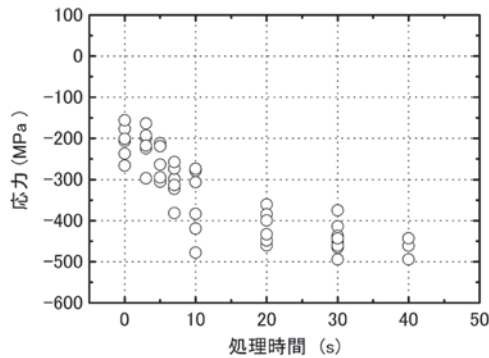


図1 SUS316のピーニング時間と残留応力の関係

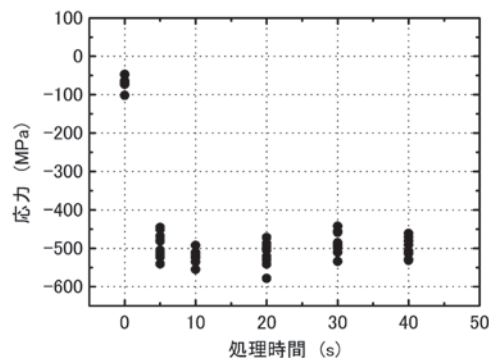


図2 SUS420J2のピーニング時間と残留応力の関係

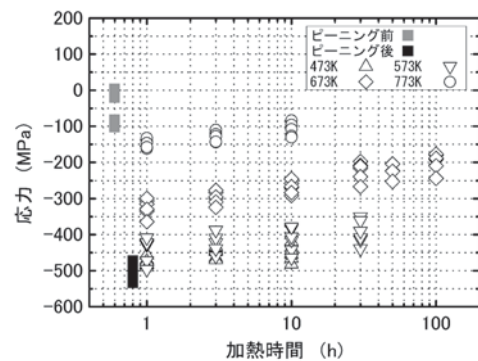


図3 SUS420J2の加熱による残留応力の変化

応力が付与できた。

3-2 マルテンサイト系ステンレスへのピーニング効果

図2にSUS420J2に対してピーニング時間と残留応力の関係を示す。SUS420J2でも、オーステナイト系ステンレスと同様に数秒のピーニング処理で圧縮側の残留応力を付与できた。また、被処理材は30HRCに調質された鋼材を用いたが、ピーニングにより表面に打痕が形成

された。SUS304と異なる点として、処理時間5秒で残留応力は-500MPa前後まで導入でき、処理時間を長くしてもほぼ一定の値であった。また、残留応力の大きさは、オーステナイト系ステンレスと同程度の大きさであった。オーステナイト系ステンレスでは、表面から0.4mmの深さまで加工硬化したが、SUS420J2ではピーニング前後で硬さは変化しなかった。900HVを超えるような高硬度鋼のショットピーニングでは、メディアの種類や硬さ、大きさ、投射速度などを変化させることで、極めて高い残留応力の付与と加工硬化を実現させている²⁾。これに対し、ジェットたがねでは、ニードル材質や線径は専用のもになるため、処理条件の設定は、処理時間、駆動圧力が中心になるため高硬度鋼などでは残留応力の付与が難しくなると考えられる。

SUS420J2は、金型や耐熱部品などとして利用されることがあることから、ピーニングで導入した残留応力が加熱・保持で緩和されることを検討した。その結果を図3に示す。加熱温度473K、573Kの場合、加熱によって残留応力はわずかに減少するものの、その程度はわずかであり、30時間加熱保持した場合でも、-350MPa以上の圧縮応力が残留していた。加熱温度が673Kになると応力の緩和傾向は大きくなり、1時間の加熱でも-300MPa程度まで残留応力は緩和された。その後は保持時間の経過とともにより緩和され、100時間加熱した場合、-200~-250MPaまで応力は小さくなった。さらに加熱温度をあげ、773Kとした場合、初期の1時間で残留応力は、-150MPa程度まで緩和され、10時間加熱すると-100MPa前後まで緩和された。773K、10時間の加熱で残留応力は緩和したものの依然として応力は残留していた。このことから、加工後に行われる応力除去焼きなましの加熱条件を考慮した場合、SUS420J2では773Kでは完全に応力を除去できないと考えられる。またこの温度域への加熱は、炭化物の析出が進行し、耐食性や靱性の低下が生じることから注意が必要である。その一方で、573K以下の加熱は応力の緩和は生じるものの、その傾向は緩やかであることからピーニング効果の持続が期待できると考えられる。

3-3 SUS304溶接部へのピーニング効果と応力緩和特性

溶接部のビード中央部には、引張側の応力が残留することがあり、オーステナイト系ステンレスでは、この残留応力の存在により応力腐食割れを生じることがある。そこで、この溶接部に対するピーニングの効果について検討した。供試材には、幅約50mm、長さ150mm、板厚9mmのSUS304を用い、この中央に幅約4mmのビードをTIG溶接で形成した。

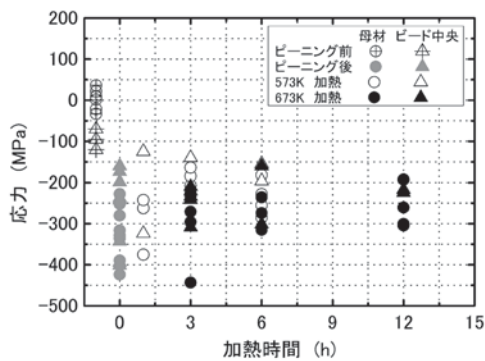


図4 TIG 溶接部の残留応力と加熱による変化

前報で SUS304 に対する処理時間とピーニングの効果について検討した結果、約 25×20 mm の範囲を 30 秒処理した条件が最も圧縮応力を付与できた。しかし、この処理時間は、25×100 mm の範囲を処理する場合 150 秒程度を必要とし、実用上効率的ではないと考えられる。そこで実用上、耐えられる処理時間の目安として、溶接ビードに沿って幅 25 mm、長さ 80 mm の範囲を約 30 秒処理した。残留応力は、ビード中央、ビード中央から左右に 4 mm 離れた母材で測定した。図 4 に測定結果を示す。溶接後（ピーニング前）では、母材で 50～-50MPa、ビード部で-50～-130MPa の応力が生じていた。これにピーニングを行った結果、母材とビード部で-400～-150MPa の応力を付与できた。処理面積に対し、短時間の処理であったことから、応力には大きなばらつきを生じる結果になった。

この残留応力の持続性について検討するために、加熱による残留応力の変化を確認した。加熱温度 573K の場合、1 時間の加熱で残留応力は減少し、3 時間加熱するとビード部、母材部のいずれも-300～-100MPa まで減少した。673K まで加熱すると、573K の場合と同様に 3 時間で-300～-200MPa に応力は緩和し、その後、12 時間保持したときでも同程度の応力を維持していた。応力の測定結果を 573K と 673K で比較した場合、加熱時間 3 時間までは 573K のほうが応力の緩和が大きいようにもみえるが、6 時間では同程度の応力になっていることから、今回の実験ではピーニングの処理むらの影響と考えられ、573K と 673K では同程度の緩和挙動を示すと考えられる。

4. 結 言

SUS316, SUS420J2 それぞれの表面と SUS304 TIG 溶接部について、ジェットたがねによるピーニング効果を検討したところ、次の結果が得られた。

1.SUS316 へのニードルピーニングは、SUS304 と同様に 20×25 mm の面積に対し、30 秒以上の処理で-400MPa 以上の圧縮側の残留応力を付与できた。

2.SUS420J2 へのピーニングは、処理時間 5 秒で-450MPa 以上の圧縮応力が付与でき、それ以上の処理でも応力は変化しなかった。また加熱による応力緩和を調査したところ、573K に加熱・保持した場合、残留応力はわずかに緩和したが、30 時間以上の加熱でも-350MPa 以上を維持した。また 773K に加熱した場合、残留応力は急激に緩和した。

3.SUS304 に TIG 溶接を行い、ビード中央と母材に対してピーニングを行い、加熱による応力緩和挙動を調査した。その結果、673K に加熱した場合、応力は初期値から緩和するものの 12 時間保持した場合でも-300～-200MPa の圧縮応力を維持した。

参考文献

- 1) 勝又信行, 深澤郷平:山梨県工業技術センター研究報告, No.29, p.69-71 (2015)
- 2) 原田泰典, 小濱田卓:塑性と加工, Vol.51, No.592, p.424 (2010)