

1. はじめに

ショットピーニングは球形のショット粒を秒速数十メートルから百数十メートルの速度で部材表面に投射することにより部材表面に塑性変形を起こす冷間加工方法とされるが、近年、ショットピーニング加工時の被加工面の温度がA₃変態点を超えるとの指摘がなされている¹⁾。しかしながら、ショットピーニング加工時の被加工面の温度を実際に測定した例は報告されておらず、また、温度上昇に必要なショットピーニングの諸条件も明らかになっていない。本研究では熱電対式温度計でショットピーニング被加工面の温度を測定し、これまでに得られているサーモグラフィ（赤外線熱画像装置）の測定結果と比較した。また、ショットピーニング加工後の部材について削食量、X線残留応力測定で得られる $2\theta - \sin^2\psi$ 線図から温度変化に関する検証を行った。

2. 実験方法

2・1 試験片 ショットピーニング加工に供する円筒試験片は硬度の異なる2種類を用意した。低硬度試験片は機械構造用炭素鋼S48Cを873Kで焼鈍したもの（以下S48C焼鈍材と呼ぶ）、高硬度試験片は肌焼き鋼SCM420に浸炭処理を施したものの（以下SCM420浸炭材と呼ぶ）を用意した。熱処理後の試験片品質を表1に示す。

Table 1 Work Piece

	Surface (HV)	Core (HV)	Effective Depth(mm)
S48C Annealed	220	240	/
SCM420 Carburized	720	300	

2・2 ショットピーニング条件 ショットピーニング加工装置は直圧式のエアノズルタイプを使用した。表2にショットピーニング条件を、表3にはショット粒の種類、粒径、硬さおよびアークハイト値（投射圧0.5MPa時）を示す。なお、本研究のショットピーニングは被加工面の温度測定を目的としているため、被加工面の温度上昇を検知しやすいように試験片は回転させず、同一箇所連続して投射した。

2・3 温度測定方法 図1に熱電対による温度測定の概要を示す。熱電対は被加工面の反対側から所定の深さに埋め込み、銀ペーストで固定した。そして1回60秒のショットピーニングを繰り返し行い、熱電対が損傷して測定不能となるまで続けた。

Table 2 Shotpeening Conditions

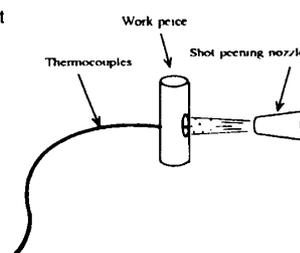
Peening Time	60sec
Injecting Volume	10kg/min
Diameter of Nozzle	9.0mm
Distance	110mm

Table 3 Shot Media

	Type	Hardness (HV)	Dia (mm)	Arc Height (mmA)
1	Rounded Cut Wire	820	0.62	0.65
2	Rounded Cut Wire	820	0.25	0.24
3	Steel Beads	840	0.15	0.12
4	Stainless Beads	240	0.15	0.065

測定結果は熱電対がダメージを受ける前までの最も温度が上昇した値を採用した。熱電対にショット粒が直接衝突した場合は温度変化もそれまでと異なる挙動を示すことから、別途、熱電対に直接ショットピーニングを施し、その温度変化挙動を観察した。

Temperature measurement during shotpeening



Affairs of buried thermocouples

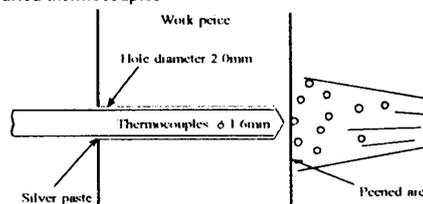


Fig.1 Outline for temperature measurement

3. 実験結果

3・1 温度測定結果 温度測定結果は最大変化量をパラメータとして図2に示す。なお、2つの測定方法の間では較正を行っている。すべての条件において昇温量は熱電対の結果がサーモグラフィを上回った。またサーモグラフィによるSCM420浸炭材の温度測定結果は温度上昇がほとんど認められず、逆にわずかながら温度の低下が認められるものもあった。これはショットピーニング加工中、被加工面にはショット粒が投射されると同時に常に空気が吹き付けられ表面が冷却されていることを示しており、ショットピーニング加工による温度上昇のピーク位置は最表面よりやや内部に存在すると推察される。

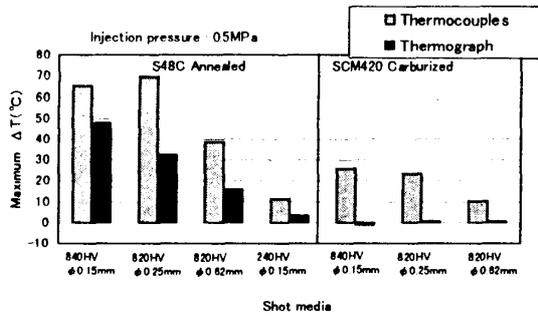


Fig. 2 Comparison of the maximum temperature change

3・2 熱電対への直接ショットピーニング 熱電対を150HVのニッケル合金で测温接点を囲んだ部材と考え、熱電対に直接ショットピーニングを施し温度を測定した。結果を図3に示す。

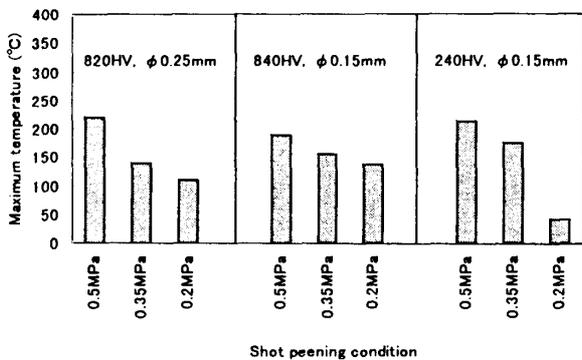


Fig. 3 Temperature measurement result in case of shotpeening to thermocouples

熱電対に直接ショットピーニングした場合の温度測定結果は他の部材の温度測定結果に比べ高い値を示した。投射圧0.5MPaで約220℃まで温度が上昇し、投射材による差は認められなかった。

3・3 削食量 S48C焼鈍材とSCM420浸炭材において、温度変化量の他に部材表面の被削食量にも大きな差が認められる。最大削食深さをパラメータとして図4に示す。削食量と温度変化量には明確な相関は認められないが、個々の投射材では削食量の増加に伴い昇温量が増加する。被加工面の温度上昇は削食によるところが大きいと考えられる。

3・4 $2\theta - \sin^2\psi$ 線図のゆがみ 冷間圧延した材料表面は塑性変形により結晶方位分布が著しく偏って異方性を有しており、X線応力測定に際して $2\theta - \sin^2\psi$ 線図が多項次曲線になることが知られている。今回のショットピーニングは同一箇所連続して60秒間の投射を行ったため被加工面では冷間圧延に相当する塑性変形が起きているか、もしくは A_3 変態点を超える発熱のため異方性は解消され $2\theta - \sin^2\psi$ 線図のゆがみは小さくなると考えられる。よって、被加工面の $2\theta - \sin^2\psi$ 線図のゆがみを調べることで、ショットピーニング加工中の温度上昇を推測することができる。図5にSCM420浸炭材の $2\theta - \sin^2\psi$ 線図を最小自乗法で直線近似したときの標準偏差をゆがみを表す代表値として、その深さ分布を示した。Steel beads(840HV, φ0.15mm)および

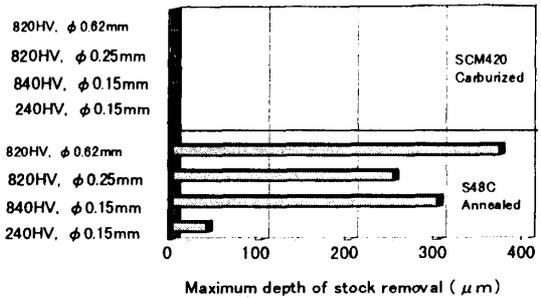


Fig. 4 Maximum depth of stock removal

鋼玉(840HV, φ0.15mm)および

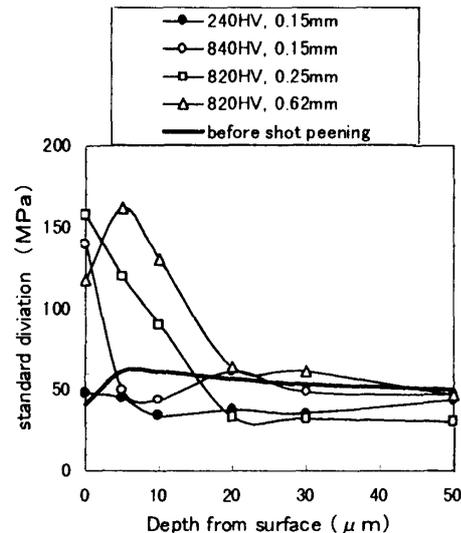


Fig. 5 Standard deviation of $2\theta - \sin^2\psi$ Rounded cut wire(820HV, φ0.25mm)の標準偏差は表面で最も大きい。内部ほどゆがみは改善されるがその傾きは粒径との相関があり塑性変形域深さが粒径によって決まることを示している。これは冷間加工の特徴であり、ピーニング被加工面の温度が A_3 変態点を超えることは無いと考えられる。

参考文献

- 1) 製法特許第1594395号