

# 『マルチハードピーニング』の装置と効果

設備管理部 村上博充

## 1. はじめに

自動車産業を始めとして、製品を軽量化することは、省エネルギーを達成し人類が21世紀も発展して行くための必要不可欠な問題となっている。これは製品の軽量化が、製造段階ばかりでなく、LCAに大きく関わる使用段階や、廃棄段階での省エネルギーをも達成し、さらなる生産の拡大を可能にするからである。

一方で、軽量化を図るためには材料の強化が大きく関係し、この意味で材料強化を目的として行われる熱処理との関わりも大きい。このような背景のもと、開発の先端では、様々な角度からこの材料強化が図られ、熱処理に対する要求も大きく変貌しつつある。製品や部品の機能を満足させるための材料改質技術として、従来の熱処理にこだわらないで、どのような方法と組合せがあるのか、コストも含めたより効果的な方法が盛んに検討されている。

このような状況の中であって、高回転、高負荷のもとに使用される、ギヤーやシャフトなどの疲労強度を飛躍的に高め、材料強化のための強力な手段として注目を集めている技術に、ハードショットピーニングがある。

今回は、この優れた材料強化手段であるハードショットピーニングについて、唯一の最大の欠点であった、表面粗さの低下という問題についても大幅に改善し、さらなる高

強度化を実現するものとして、マルチハードピーニングを紹介する。

## 2. マルチハードピーニング

マルチハードピーニングでは、大きく深い圧縮残留応力を確実に得るためにエアノズル方式を採用し、1段目ではスチールボールを強力に投射する。続けて2段目では、スチールの投射によって荒れた面を整えながら、最表面に圧縮残留応力を与えるべく、細かなガラスビーズを投射する。2段の投射は、1台の装置の中にセットされたそれぞれの専用ノズルから、連続的に行われる。

2段の投射によって混じったスチールとビーズは、分離装置に送られてスチールボールと破砕片、さらにガラスビーズとダストの4種類に分離される。分離後のスチールボールとガラスビーズは加圧タンクに送られ循環再使用される。

図1には、マルチハードピーニング装置の構成を示す。

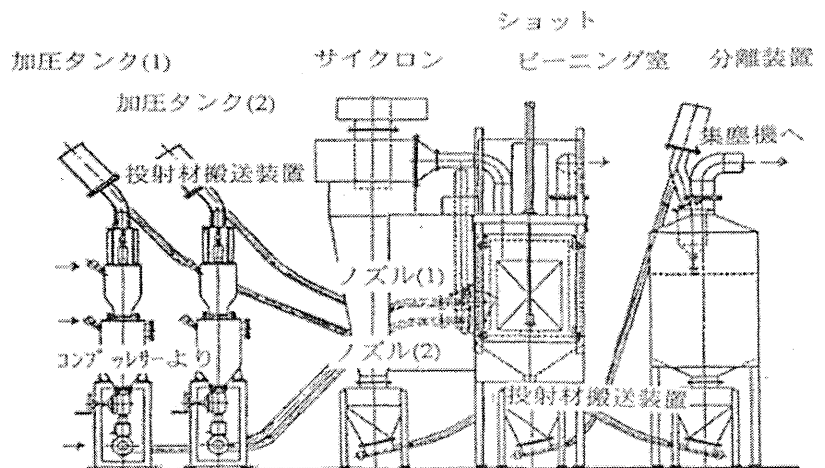


図1 マルチハードピーニング装置の構成

### 3. 装置の詳細

マルチハードピーニングを実施するための装置の構成は、①ノズルとノズルの移動装置、ワークの回転装置などを備えたショットピーニング室、②投射材を加圧し、圧力空気に乗せて加速するための加圧装置、③投射材を分離し再使用を可能にすると同時に、破砕片やダストを取除く分離装置、④ダストを回収する集塵機、⑤大容量の圧力空気を供給するエアークンプレッサー、⑥投射条件を正確に制御し監視する、コントロールパネルとなっている。

#### 3-1 ショットピーニング室

ショットピーニング室には、高速で投射されるスチールやガラス、発生したダストなどを外に出さない安全性と、目的の位置に正確で均一な投射を施す機構が必要とされる。マルチハードピーニングでは、ノズルの移動速度や移動距離、ワークの回転速度、ノズルの投射角度や投射距離などを最適に調節し、目的の位置に精度の高い投射を行うことで、高い圧縮残留応力ときれいな仕上がり肌を得る。また、扉の異常や投射の異常を検知して装置を自動停止する、投射の圧力や量、ワークの回転やノズルの移動を記録に残すなど、安全と品質に関わる配慮も行届いている。

写真1には、マルチハードピーニングのピーニング室を示す。

#### 3-2 加圧装置

加圧装置は均一な投射を得る上で重要な装置である。ショットピーニング品質に大きな影響を与える投射量の調節を可能にし、この量を一定に保つと共に、投射速度を均一に保つ上でも大きな影響を及ぼす。

図2には加圧装置の構造と写真を示す。装置は、投射材が加圧される本タンク、補給する

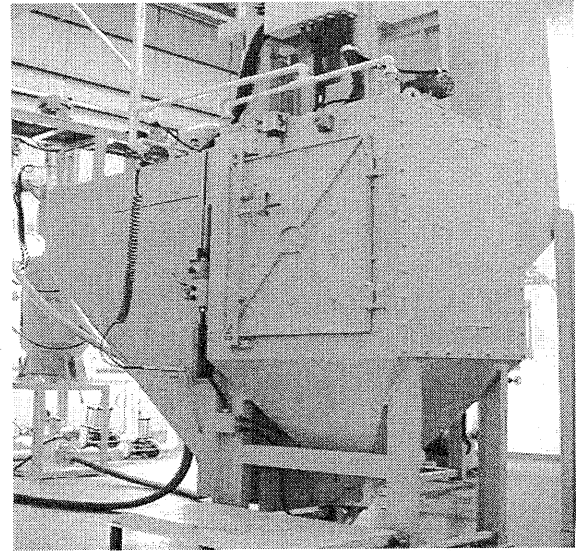


写真1 ショットピーニング室

投射材を一時的にストックするための補助タンク、投射圧と投射量を制御するための機器によって成り立っている。

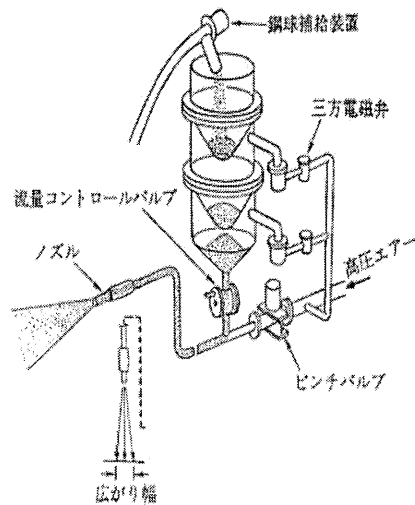


図2 加圧装置

#### 3-3 分離装置

ハードショットピーニングでは、強い投射によってスチールボールもガラスビーズも、その一部が破砕する。そして、ショットピーニング品質は、破砕した投射材の影響を受け大幅に悪化する。マルチハードピーニングでは、混合したスチールとガラスを分離すると同時に、スチールの破砕片をマグネットで確実に除去し、面

粗さを整えるための、ガラスによる2段階投射の品質を確かなものにしていく。

## 4. マルチハードピーニング処理

### 4-1 処理する部品

マルチハードピーニングの効果を大きく発揮できる部品は、大きな負荷の下、高速回転で使用されるギヤー、ピニオン、シャフトなどである。これらの部品は、0.5mm~1.5mm程度に必要な深さの浸炭を施し、表面研磨仕上げした後にマルチハードピーニングする。

特に、ミッションギヤー、デフギヤー等の駆動部に使用される部品では、疲労強度を高めるために有効である。

もちろん、浸炭焼入れされた部品以外のベアリングやバネと言った、疲労強度の要求される部品にも大きな効果が認められる。また、研磨仕上げの無い浸炭焼入れ焼戻しのままの表面でも、大きな圧縮残留応力が得られることが確認されている。

### 4-2 処理の方法

処理する部品は、ショットピーニングを必要とする位置に正確な投射が当たるように、治具に固定し回転軸にセットされる。部品をセットするに当たっては、必要箇所にもっと強い投射がかかるよう、取り付け方法を工夫し、ノズルの角度を調節しなければならない。

次に、必要とされる圧縮残留応力の大きさに従って、投射時間、投射距離を設定する。要求される圧縮残留応力によっては、さらに、投射圧、投射量による調整を行う場合もある。投射材の選定も品質に大きく影響するが、処理品に合わせて、その都度交換しながら使用するのはいずれも実用的でない。

図3には、処理部品のセットと投射の状況の図を示す。

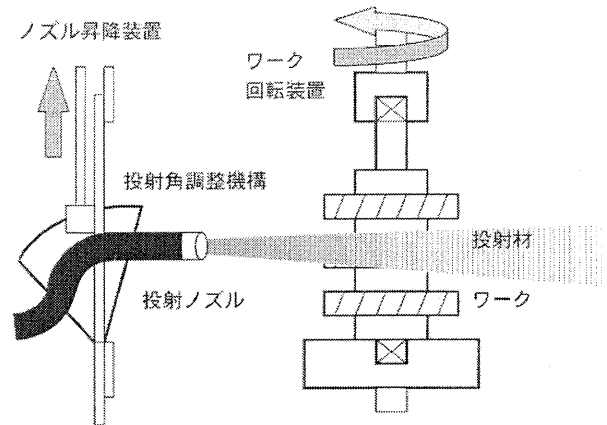


図3 セットと投射の状況

## 5. ピーニングの効果

このようにスチールとガラスを2段に投射して、マルチハードピーニング処理された部品には、最表面から大きな圧縮残留応力で、尚且つ、深い応力分布が得られ、また表面の粗さについても、損なうことなく仕上がっている。

以下には、1.0mm程度に浸炭焼入れ焼戻したSCM415のテストピースを例に、マルチハードピーニングした効果について示す。

なお、例に示すマルチハードピーニングに使用した投射材の条件は、スチールボールのサイズが0.6~0.8mm(測定値)、ガラスビーズのサイズが0.1mm(規格値)となっている。

### 5-1 表面硬さ分布

マルチハードピーニングしたテストピースでは、表面付近で大幅に硬さが上昇し、浸炭焼入れ焼戻しの状態と比べると、表面から0.05mm深さの位置では、HVで100以上の上昇が認められる。また、深さ方向にも0.2mmを超えるところまで、硬さ分布に影響が認められた。

図4には、マルチハードピーニングの前と後の、表面硬さ分布の変化について示す。

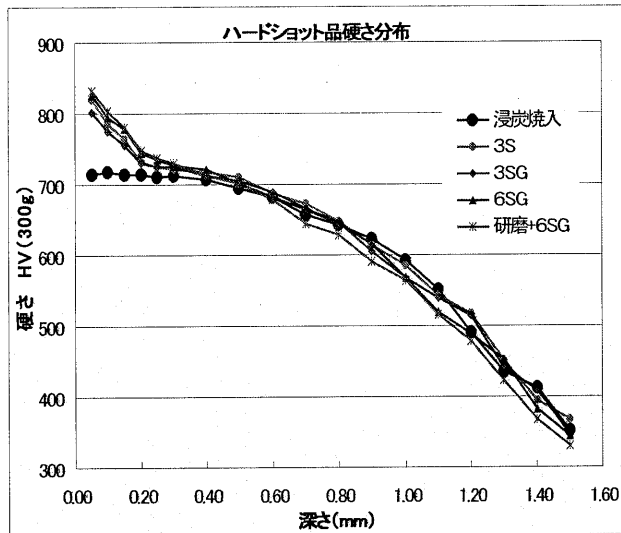


図4 表面硬さ分布

### 5-2 表面圧縮残留応力分布

ハードショットピーニングの品質は、その大部分が、表面に得られる残留圧縮応力の分布によって評価できる。評価の対象となるのは、最大圧縮応力の大きさ、最表近傍における圧縮応力の低下が少ないこと、最大圧縮応力及び圧縮応力の得られる深さである。

マルチハードピーニングでは、1段目の投射によって、最大残留圧縮応力で1200MPa程度が得られ、深さ方向にも0.1mmを超える深まで1000MPa以上が得られている。

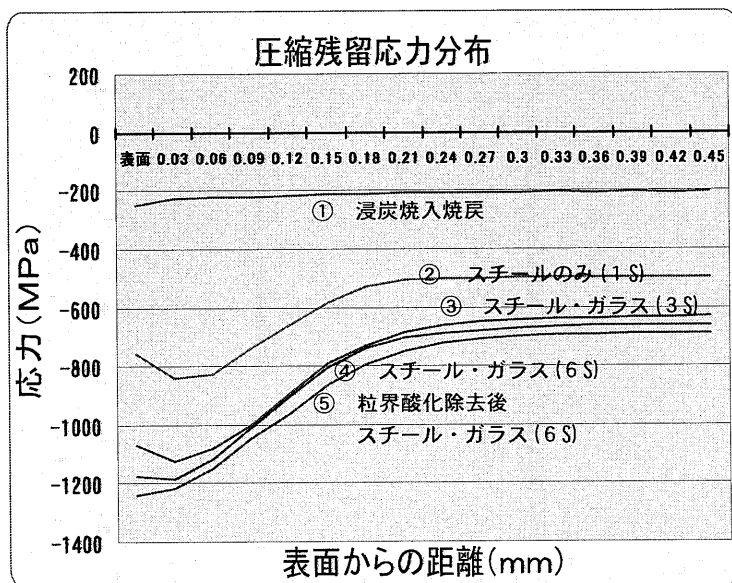


図5 残留圧縮応力分布

さらに、マルチハードピーニングの特徴である2段目の投射を行ったテストピースでは、最表面の圧縮応力の低下も無く、表面から内部に向かって緩やかに低下する、圧縮応力の分布が得られている。

図5には、条件を変えて投射した後の応力分布の結果を示す。

### 5-3 表面粗さ

ハードショットピーニングでは、強い投射によって表面粗さが悪化し、面粗さの悪化が処理品の強度向上を阻害してきた面があった。

マルチハードピーニングでは、処理品の面粗さを整える、2段目の投射を1台の装置の中で連続して行うことで、生産性に与える影響を最小限のままに、良好な表面に仕上げる。

表1には、マルチハードピーニングの前後における表面粗さの変化を示す。また、図6には表面粗さ計による測定結果の例を示す。

ショットピーニング後の表面粗さは、処理品の硬さと、投射材の大きさ、密度、硬さ、速度によって決まるが、マルチハードピーニングでも、結果に示される通りに、2段目の投射材による、予定通りの面粗さに収束している。

これらのことは、最表面の残留圧縮応力が高い上に、表面がきれいであるという、マルチハードピーニングの特徴を良く表している。

### 5-4 表面組織

マルチハードピーニング後のテストピースの組織写真を、写真1に示す。ピーニング後の組織では、残留オーステナイトの減少が認められたが、表面で組織に塑性流動が生じた形跡は認められなかった。組織観察の上では、普通に浸炭焼入れされたものと、大きな

違いは認められなかった。

テストピース SCM415 浸炭焼入焼戻	ピーニング条件 スチール 0.6mm ガラス 0.1mm	処理前 R		処理後 R	
		a	max	a	Max
機械加工面	スチールのみ	0.53	5.32	0.94	8.81
	スチール・ガラス			0.67	6.45
研磨後 浸炭焼入焼戻	スチールのみ	0.33	2.91	0.86	7.18
	スチール・ガラス			0.61	5.19
浸炭焼入焼戻 後 研磨仕上げ	スチールのみ	0.04	0.31	0.83	6.81
	スチール・ガラス 1 S			0.47	4.24
	スチール・ガラス 3 S			0.58	4.62
	スチール・ガラス 6 S			0.56	4.45

表1 表面粗さの変化

きない。

マルチハードピーニングでは、ピーニング品質に直接影響する、圧力、移動、回転、投射流量等の異常は、装置を停止するなど装置上の対策を行う。これと共に、定期的に投射の強さを確認、投射材の形状及び分布の確認し、日常の点検では、作業条件を細かくチェックした作業記録を残すことで、品質を管理し維持する。

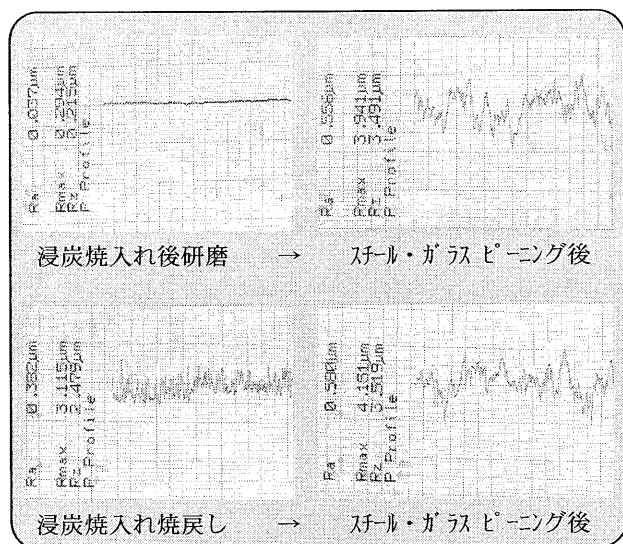


図6 表面粗さ測定結果の例

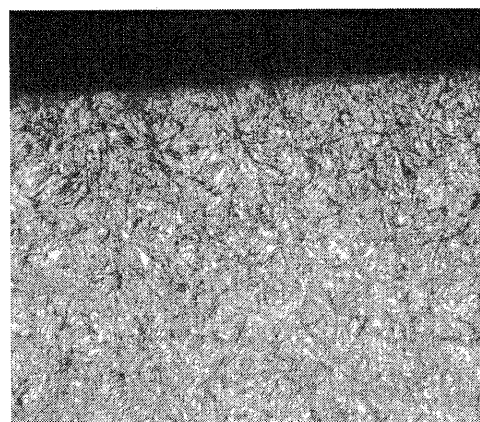


写真1 ピーニング後の表面組織

### 5-5 仕上り肌

写真2には、浸炭焼入れ後、歯面研磨してからマルチハードピーニングした、ギヤの写真を示す。

表面は、非常に微細なディンプルによって、つや消し状になった銀白色を呈している。

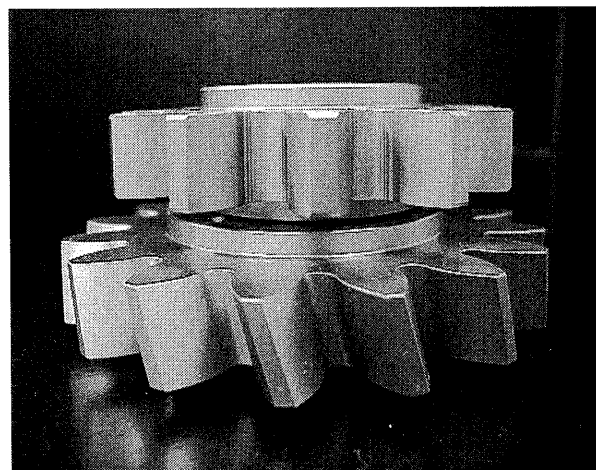


写真2 ピーニング後の仕上り

## 6. ピーニング品質の管理

ハードショットピーニングの品質は、表面の圧縮残留応力の分布や面粗さによって代表される。しかし、浸炭焼入れ等と同様に、全ての部品について、これらの品質を検査することはで

## 7. おわりに

今回は、浸炭焼入れ焼戻しを施した、テストピースを中心に効果を述べたが、表面の圧縮残留応力による疲労強度の向上は、浸炭部品に限

らず、多くの材料や浸炭以外の前処理を施した部品にも効果が認められている。

しかし、これらの材料や部品でも、1段目では材料や部品に合った、適切な強さの投射が必要となるが、仕上げにおいて、良好な面粗さが得られることの必要性は変わらない。

このようなことから、圧縮応力を付与する1段目と、面粗さを整える2段目を、それぞれに調節可能とした、2段ショットピーニングは、今後も様々な分野に、益々増えていくと考えられる。

これらの高強度化、高精度化、軽量低コスト化等の要求に対し、今後も、材料と部品に合わせた、最適なハードショットピーニング技術の応用開発を積極的に進めると共に、このような多段ショットピーニングを、1台の装置で可能にした、マルチハードピーニングが、今後、大いに活躍することを期待する。

#### 参考文献

- 1) 廣瀬正吉 他 ショットピーニングの方法と効果 日刊工業新聞
- 2) 内藤武志 浸炭焼入れの実際 日刊工業新聞
- 3) 当舎勝次 訳 歯車鋼に対する浸炭とショットピーニングの組合せ処理：残留応力への影響  
ショットピーニング技術 13-2 P76
- 4) 渡邊吉弘 他 フルテイング疲労特性に及ぼすショットピーニングの影響  
ショットピーニング技術 12-2 P94
- 5) 相原秀雄 他 材料・熱処理設計の動向と課題 熱処理 38-5 P246
- 6) 渡辺陽一 ここまで来た熱処理 1. 自動車メーカーからのニーズ  
特殊鋼 50-9 P10
- 7) 穂屋下茂 他 浸炭歯車の歯面の改善と面圧強度に関する研究  
精密工学会誌 64-3 P460
- 8) 村上博充 多段式ショットピーニング装置 サモスタデー2000 P8-1