

微粒子ピーニングによるSCM420浸炭材の表面改質

片岡泰弘^{*1}、黒澤和芳^{*2}、河原良尚^{*2}

Surface Modification of SCM420 Steel by Carburizing and Micro Particles Peening.

Yasuhiro KATAOKA, Kazuyoshi KUROSAWA and Yoshihisa KAWAHARA

Tokoname Ceramic Research Center, AITEC^{*1} Industrial Technology Division, AITEC^{*2}

真空浸炭焼入れ・焼戻しを行った機械構造用クロムモリブデン鋼SCM420における金属不良組織である残留オーステナイトの改質と機械的性質の向上を目的に微粒子ピーニングを施した。その結果、表面残留オーステナイトのほとんどを改質できた。また、残留応力、硬さ、表面あらさ、摩擦係数についても大幅に改善し、真空浸炭の問題を解決できた。さらに、汎用のガス浸炭の場合と比較したところ、真空浸炭では微粒子ピーニングの効果が大きかった。

1. はじめに

金属の代表的熱処理の一つに浸炭がある。中でも、真空浸炭は二酸化炭素の放出が少なく環境に優しい、高温短時間処理によりコストが安い、浸炭ガスの製造作業およびそれに要する変成炉が不要、などの利点がある。

しかし、浸炭処理材には、表面硬さが上がらず衝撃力によって破壊しやすい¹⁾という問題点がある。これは、浸炭処理工程において、高温組織のオーステナイトが冷却後も残留し、甚だしい場合には30%以上にも及ぶためである。

また、組織的に不安定な残留オーステナイトは、時間の経過とともに徐々にマルテンサイトへ変態する。その変態は体積膨張を伴い、機械部品の変形や寸法精度の経年変化の原因となる。これらの理由から、一般に残留オーステナイトは金属不良組織と考えられている。

その他、真空浸炭では「すす」の発生を抑えるため、浸炭ガスの量をなるべく少なくする結果、処理量が多くなるとその一部で浸炭不足になり機械的性質にバラツキが生じる。このため、活性炭素を多く含むガス雰囲気中で鋼を長時間加熱し表面層から炭素を拡散させるガス浸炭が主流となっている。

そこで、本研究では、これらの課題に対処して真空浸炭の普及促進を図るために、真空浸炭後に微粒子ピーニングを施すという複合処理により解決を試みた。

一方、微粒子ピーニングは、旧来のショットピーニングに比べ大幅な圧縮残留応力と硬さの上昇、それによる疲労・摩耗特性が改善され、これまで多くの機械部品に

適用されていることから、ガス浸炭焼入れ・焼戻し品にも微粒子ピーニングを行い材料特性について比較検討した。

2. 実験方法

2.1 供試材と浸炭処理法

供試材は、JIS規格の機械構造用クロムモリブデン鋼SCM420を使用した。実験は、この材料を直径30mm、板厚2mmの大きさに加工し、**図1**のパターンで真空浸炭焼入れ・焼戻し処理（以下VCとする）およびガス浸炭焼入れ・焼戻し処理を行った（以下GCとする）。

最高温度に保持する時間は、ガス浸炭の170minに対して真空浸炭では101minとした。浸炭ガスは、真空浸炭ではアセチレンガス、ガス浸炭においてはブタンを変成炉で分解したRXガスを用いた。また、残留オーステナイトを少なくするため、各々の処理は850 または860 に温度を下げてから焼入れ、熱処理時の割れや変形を抑えるため120 または150 の油中に試料を投入した。焼戻しは、真空浸炭では160 ×120min、ガス浸炭においては170 ×90minとした。

2.2 微粒子ピーニング

浸炭処理材を**表1**の条件で三段階に分けて微粒子ピーニングを施した（以下真空浸炭の場合をVCP、ガス浸炭の場合をGCPとする）。これら各々のピーニング処理は、表面層の除去、残留オーステナイトの改質、圧縮残留応力の上昇を目的とした。以上のVC、GC、VCP、GCP材それぞれについて残留オーステナイト

*1 常滑窯業技術センター 応用技術室 *2 工業技術部 加工技術室

量、残留応力、硬さ、表面あらし、摩擦係数を調べた。

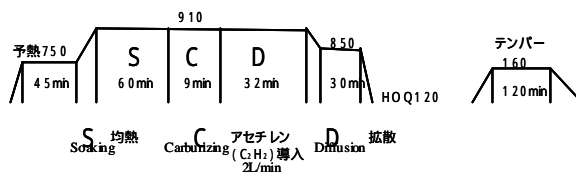
2.3 評価方法

残留オーステナイト量の測定は微小部X線残留応力測定装置を使用し、オーステナイト（相）とマルテンサイト（相）のX線回折強度比から求めた。

残留応力分布は、表面から電解研磨を行いあらし計にて研磨深さを測定後、微小部X線残留応力測定装置を用いて調べた。

摩擦係数の測定は引掻試験機を用い、垂直荷重1.96N、スピード5mm/sec、ストローク:10mm、相手材:SUS304(3mm)の条件で行った。

a) 真空浸炭焼入れ・焼戻しパターン



b) ガス浸炭焼入れ・焼戻しパターン



図1 真空浸炭焼入れ・焼戻しパターンおよびガス浸炭焼入れ・焼戻しパターン

表1 微粒子ピーニング条件

～ を各30sec投射	
炭化珪素ビーズ (SiC)	220 / 0.3MPa (重力)
スチールビーズ (SKH)	300 / 0.5MPa (直圧)
酸化珪素ビーズ (SiO ₂)	300 / 0.4MPa (重力)

3. 実験結果及び考察

3.1 残留オーステナイト量

一般に残留オーステナイトは、硬度低下や寸法精度の経年変化を招くが、残留オーステナイトの量が多いほどその傾向は大きくなる。

そこで、残留オーステナイト量を減らすために通常は焼入れ直後にドライアイスや液体窒素などの低温環境を作り、そこへ急冷を行うサブゼロ処理²⁾が行われる。

他方、残留オーステナイトに冷間加工など外部刺激を与えると、マルテンサイトに変態する。

本研究では、微粒子の衝突作用によりマルテンサイト変態を誘発し、残留オーステナイト量を減らすことを試みた。この方法では、サブゼロ処理と異なり高い圧縮残留応力を付与できるため疲労特性の改善も期待できる。

図2は、各処理材の深さ方向への残留オーステナイト量分布を示す。図2からVC、GC材の表面残留オーステナイト量は、それぞれ14.9vol.%と16.0vol.%であった。これに対して、ピーニング処理により残留オーステナイト量は、VCP材の表面で3.4vol.%、GCP材では3.1vol.%と著しく減少し、表面近傍の残留オーステナイトには効果があった。

他方、VCP材、GCP材の内部では、残留オーステナイトの減少割合が少なく、25μm付近でVC、GC材と同一であり、内部深くには効果が及ばなかった。

しかしながら、より大きな噴射粒子を用いれば、内部深くまで作用し、硬度低下や寸法精度の経年変化を抑えることが期待できる。

また、液体窒素によるサブゼロ処理を行ったところ、表面残留オーステナイト量は4.0vol.%であり、本法による残留オーステナイトの改質効果は十分と考えられた。

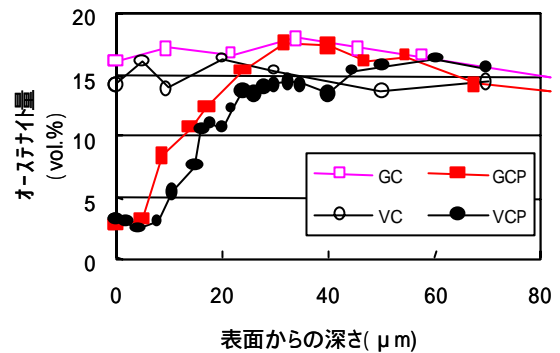


図2 表面からの残留オーステナイト量分布

3.2 残留応力

図3は、各処理材の深さ方向への残留応力分布を示す。X線による残留応力測定は、以前は測定誤差の大きいことや測定に時間がかかることから利用が少なかった。しかし、測定装置の高精度化・高速化によって安定かつ迅速に測定できるようになり、特にショットピーニング処理品を管理する上で不可欠となっている。

図3から、VC、GC材は表面からほぼ一様に-200MPa前後の残留応力に対し、VCP材は表面で-1300MPa、深さ5μmの位置で-1500MPaの最大残留応力が得られた。その後内部へいくほど急激に残留応力は小さくなり、およそ30μmの深さでVC材と変わらなくなった。

また、GCP材は表面で-1220MPa、深さ8μmの位置で-1350MPa、その後ゆるやかに減少し、およそ45μmの深さでGC材と同一の値を示した。

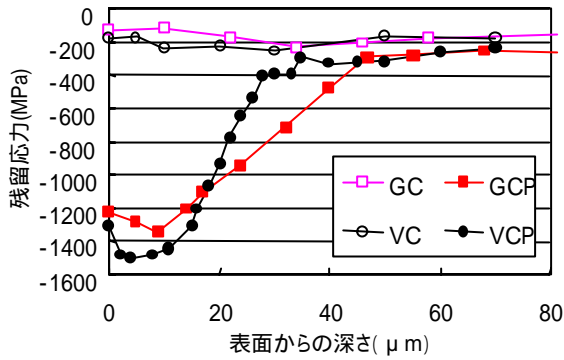


図3 表面からの残留応力分布

一般に、微粒子ピーニングによる残留応力は材料の硬さの影響を受ける。たとえば、靱性を重視して焼戻温度を上げた場合は硬さの向上は得られず、このような材料に微粒子ピーニングを行うと残留応力はあまり大きくなる。後述の硬さの結果から、GC材はVC材に比べ硬さが低いため、微粒子ピーニング後の圧縮残留応力が小さかったと考えられる。

また、この結果から分かるように、微粒子ピーニングによる残留応力のピークはより表面近くに現れる傾向がある。そして、衝突する粒子の大きさと残留応力ピークの深さとは相関があり、粒径が小さいほど表面近くに、逆に粒径が大きいほど内部に残留応力ピークがシフトする。従来の数百μmの粒子を用いたショットピーニングでは、50μm以上内部に残留応力のピークが存在し表面の残留応力はそれほど大きくない。ところが、微粒子ピーニングでは微小な粒径に起因してピークが表面近くにあるため、外部負荷の集中する材料表面の疲労寿命を格段に延ばすことができる。

以上のことから、微粒子ピーニングで目標の残留応力を得るには、ピーニング前の硬さと噴射粉末の粒径をしっかり管理することが大切である。

3.3 硬さ

図4に各浸炭材の硬度分布を示す。浸炭は、有効硬化

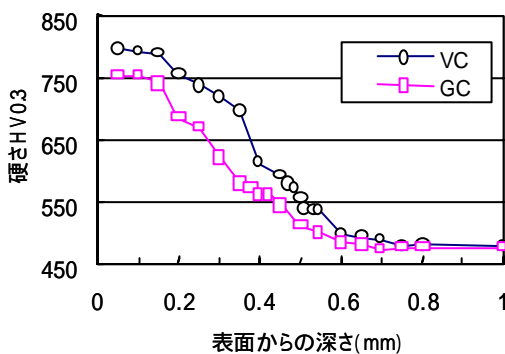


図4 表面からの硬度分布

層深さ0.4mmを目標に行った。また、JISにおいては、断面硬さ550HVまでを有効硬化層としている。一般に断面硬さは材料中の炭素量が多いほど増加することから、有効硬化層は浸炭雰囲気中のカーボンポテンシャル、浸炭温度、浸炭時間によって制御できる。硬度測定の結果、有効硬化層はVC材で0.5mm、GC材で0.42mmが得られ、目標値の0.4mmより深くまで達し、VC材ではさらに浸炭時間の短縮が可能であることが分かる。

図5に微粒子ピーニング前後の硬度分布を示す。一般に微小硬度計を用いたきわめて表層の断面硬さ測定では、荷重数グラム以下の圧子を表層断面に押し込むことが行われている。しかし、実験では微粒子衝突で生じた凹凸の影響でそれが困難であったため、試料を約5度の傾斜をつけて樹脂中に埋め込み研磨調整した。その結果、試料端から数十ミクロン内部に荷重300gの圧子を押し込むことができた。また、圧痕が大きいためバラツキを抑えられる利点がある。

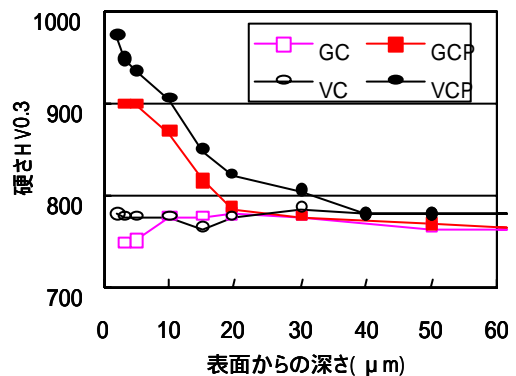


図5 微粒子ピーニング前後の硬度分布

図5の結果から、GC材では深さ10μmで最高硬度784HVであり、それより表層では低下した。また、VC材においても表面から60μmにかけて硬度上昇が見られなく、残留オーステナイトによる硬度低下と考えられた。

一方、微粒子ピーニング材の最高硬度はGCP材で897HV、VCP材で984HVであり、VC材に微粒子ピーニングの効果が大きいことが分かる。この硬度上昇は、微粒子衝突による加工硬化と残留オーステナイトがマルテンサイト化した複合効果により得られた。

3.4 表面あらさ、摩擦係数

表2に各処理材の表面あらさの測定結果を示す。GC材では表面が粗く、ガス浸炭で発生した浸炭異常層の影響と考える。GCP材では表面あらさが改善されたがVCP材に及ばず、ピーニング前の異常層の影響が残る。

表3に摩擦係数の測定結果を示す。GC材の摩擦係数はVC材の2倍近くあり、浸炭異常層の影響と考える。ところが、GCP、VCP材では摩擦係数が著

表2 表面あらさ測定結果 (μm)

	VC	VCP	GC	GCP
RzDIN	2.2	1.5	2.5	1.6
Rt	2.7	1.7	3.8	2.5

表3 摩擦係数測定結果

	VC	VCP	GC	GCP
静摩擦係数	0.21	0.14	0.42	0.17
動摩擦係数	0.18	0.13	0.34	0.13

表4 VCPとGCPとの比較

	VCP	GCP
表面硬さHV0.3	974	897
表面残留応力(MPa)	-1300	-1220
残留オーステナイト量(vol.%)	3.4	3.1
静摩擦係数	0.14	0.17
動摩擦係数	0.13	0.13
表面あらさRzDIN(μm)	1.5	1.6
表面あらさRt(μm)	1.7	2.5

しく改善され、両者の差はほとんどなかった。

以上の結果について、VCP、GCP材を比較してまとめたものを表4に示す。

表4の結果から、VCP材では硬さ、残留応力、表面あらさ、摩擦係数について微粒子ピーニングの効果が大きいことが分かる。また、残留オーステナイト量の減少もGCP材に劣らないと考える。

4. 結び

本研究では、真空浸炭材の問題を解決するために、真空浸炭後に微粒子ピーニングを施した。その結果、金属不良組織である残留オーステナイトを硬く靱性に富むマルテンサイトへ改質できることを明らかにした。また、ガス浸炭の場合と比較したところ、硬さ、残留応力、表面あらさ、摩擦係数の改善効果が大きいことが分かった。真空浸炭ではまた、処理時間を大幅に短縮でき、浸炭ガスの製造作業およびそれに要する変成炉が不要なことから、地球温暖化防止問題と絡めて今後の普及が期待できる。

文献

- 1) 門間改三：鉄鋼材料学，P161(1986)，実教出版
- 2) 門間改三：鉄鋼材料学，P162(1986)，実教出版