

非調質鋼への微粒子ピーニング適用効果

黒澤和芳^{*1}、河原良尚^{*1}、土井昭典^{*1}

Effect of Micro-particle Shot Peening on Microalloyed Steels

Kazuyoshi KUROSAWA, Yoshihisa KAWAHARA and Akinori DOI

Industrial Technology Division, AITEC^{*1}

機械構造用として用いられる鉄鋼は、総てにおいて所定の形状に加工された後熱処理を行って実用に供されている。熱処理を施すことにより数倍の強度と耐久性を付与するためである。しかし、高熱（800以上）による変形の問題が生じ、また、エネルギーも大量に消費している。最近、特定ユーザーに限定されるが、この熱処理を省略可能な材料、非調質鋼が用いられるようになってきた。ここでは、この非調質鋼に対し、微粒子ピーニングを施し、その疲労強度が向上することを確認した。

1. はじめに

従来の機械構造用部品の多くは素材である棒鋼や線材を1200以上に加熱して熱間鍛造し、部品の形状に成形した後、調質処理（焼入れ焼戻し）を施し、組織を焼き戻しマルテンサイトあるいはソルバイトとして強度を与えて使用している。しかし、炭素鋼にVやNbを添加して鍛造後の冷却時に調質と同等の組織変化を起こさせ、調質処理を省略することを可能にした鋼が開発された¹⁾。

初期の非調質鋼は、調質鋼と比較して靱性が低いため、高い靱性を必要とする足廻り部品への適用は見送られてきた。その後、非調質鋼の高靱性化が研究開発され²⁾、また、組織もフェライト・パーライト型からベイナイト型へと発展し、最近では車輪駆動関係部品にも適用されるようになってきた³⁾。

さらに、最近では被削性を向上させた非調質快削鋼も開発された⁴⁾。熱処理を必要としない非調質鋼は、省エネルギーなど環境対応型材料といえる。しかし、この材料は靱性など動的応力に対する機械的性質に不安があり、一般に使用されてはいるが、特定ユーザー向けに出荷されている。しかし、最近になって、各特殊鋼メーカーから靱性を大幅に改善した非調質快削鋼を開発し発表している⁵⁾。ところで、筆者らは、アルミニウム合金に対して微粒子ピーニングを施し、疲労特性が向上することを報告した^{6, 7)}。また、浸炭鋼に対しても同様の効果を確認した⁸⁾。微粒子ピーニングは金属材料の表面に作用し、結果として圧縮残留応力を示すことが多い。表面の圧縮残留応力は疲労特性の向上につながることはよく知られている。

本研究では、一般に用いられていない非調質鋼に対し、微粒子ピーニングを施し、その疲労特性の改善に寄与するかを検討した。

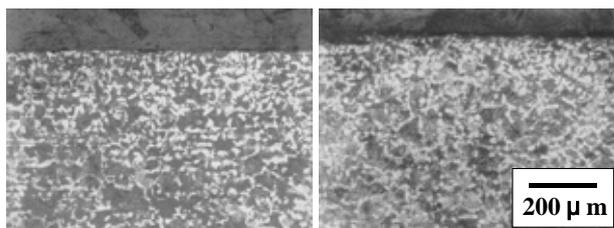
2. 実験方法

2.1 供試材

機械構造用炭素鋼 S45C および S40C 並びにそれに相当する非調質鋼（M45 および M40 と呼ぶ）について微粒子ピーニングの効果を検討した。供試材の化学組成を表1に示す。なお、非調質鋼について表に示す元素以外の成分については詳細は不明である。写真1に S45C および M45 の組織を示す。組織的には大きな違いはないが非調質鋼の方が細かい組織になっている。

表1 供試材の化学組成（wt%）

	C	Si	Mn	その他
S40C	0.40	0.25	0.60	
S45C	0.45	0.25	0.60	
M40	0.40	0.25	0.75	希土類元素微量添加
M45	0.45	0.25	0.75	希土類元素微量添加



S45C

M45

写真1 S45C および M45 の組織

2.2 微粒子ピーニング

予めそれぞれの試料について微粒子ピーニングを施して残留応力を測定し、疲労試験を行う試料の微粒子ピーニング条件を検討した。未処理のものは表面の残留応力が -270MPa であるのに対し、噴射圧力を 0.2~0.6MPa としたときの表面の残留応力は -610~-640MPa であり、噴射圧力 0.2MPa 以上で飽和し、表面の圧縮残留応力は最大となることが分かった。また、噴射時間を 5~120s として残留応力を測定したところ、-600~-710MPa となり、5 秒以上でほぼ最大となることが分かった。その結果を踏まえ、今回の実験では 30s 噴射することとした。

次に、深さ方向の残留応力の変化について図 1 に示す。約 25 μm まで圧縮残留応力の増加が認められた。微粒子ピーニングにおいては、粒子の衝突エネルギーについては上限があり、25 μm がほぼ限界であると考えられる。

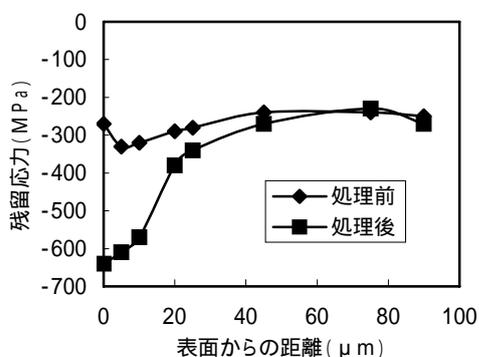


図 1 M40 における微粒子ピーニングの深さ方向の残留応力分布

3. 実験結果及び考察

小野式回転曲げ疲労試験を未処理の S40C、S45C、M40、M45 および微粒子ピーニングを施した M40、M45 について行った。M40 の疲労試験結果を図 2 に示す。S40C の疲労強度は 333MPa であったが、それに相当する非調質鋼では 284MPa と低い結果を得た。これに微粒子ピーニングを施すと図 2 に見られるように疲労強度は 382MPa と飛躍的に向上した。

また、図示していないが、S45C においては、255MPa と低い、それに相当する非調質鋼では 353MPa であり、微粒子ピーニングによって 372MPa と向上した。この材料は炭素量が多く、切欠きに敏感であることから、試験片の加工精度特に表面粗さの影響を受けたためと考えられる。疲労強度の向上は微粒子ピーニングにより未変態の組織がマルテンサイト化あるいは残留オーステナイトが分解したためと考えられる。今回の場合、S40C 相当の非調質鋼 M40 に未変態の組織が多くあったと推測される。

S40C 相当の非調質鋼 M40 材料において飛躍的に疲労強度が改善されたことから、非調質鋼の応用が可能になり、

省エネルギーにも寄与できると考えられる。

写真 2 に M40 の疲労試験後の破面を示す。通常、疲労試験機による破面においては微細でピッチの均一なストライエーションが観察されるが、今回の場合ストライエーションのうねりが見られ、必ずしも均一な負荷になっていないことが分かる。これは試験片の加工精度が必ずしもよくなかったことを示しており、今後の研究においてさらにこれら問題を追求することを考えている。

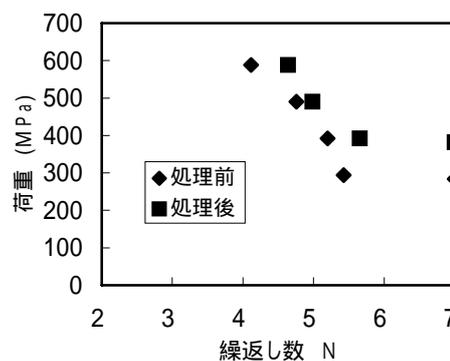


図 2 M40 の疲労試験結果

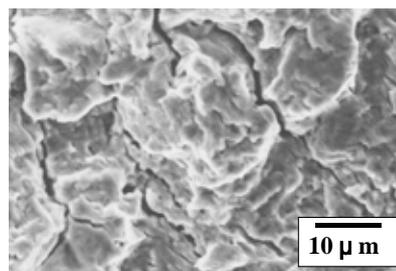


写真 2 疲労試験後の破面

4. 結び

S40C 相当の非調質鋼即ち M40 において S40C、微粒子ピーニングにより疲労強度が飛躍的に向上した。これが未変態の組織の分解によるものかどうか判断が難しいが、表面性状が改善されたことは間違いない。

本研究の結果から、現在は一般に市販されていない非調質鋼について多種多様な用途に応用し、省資源省エネルギーを図ることが可能になるかもしれない。当該鋼が、今後一般にも用いられる可能性がある。

文献

- 1) 近藤信行ほか：川崎製鉄技報，16(3)，51(1984)
- 2) 井上幸一郎、中村貞行：電気製鋼，67(1)，56(1996)
- 3) 高田啓督、子安善郎：金属，65(3)，199(1995)
- 4) 橋村雅之ほか：新日鉄技報，(378)，68(2003)
- 5) 例えば、非調質強靱鋼：大同特殊鋼技術資料 No. SD8301
- 6) 片岡泰弘：表面技術，52(2)，191(2001)
- 7) 黒沢和芳：熱処理，42(4)，217(2002)
- 8) 例えば、片岡泰弘、黒澤和芳、来川保紀：愛知県産業技術研究所報告，1，5(2002)

