

高強度軟窒化用鋼 JAENS[®] および窒化挙動分析技術High Strength Steel for Nitrocarburizing: JAENS[™] and Quantitative Analysis of Nitriding Behavior

1. はじめに

軟窒化処理は表面硬化熱処理の一種で、部品表面から N を浸入させることで主に窒素化合物による硬化層を形成させる。鋼の変態温度よりも低温で熱処理するため、浸炭焼入れ処理等と比べ熱処理ひずみが小さいことが特長である。昨今、部品への高精度化ニーズが高まる中、熱処理後に仕上げ加工を実施せず寸法精度を向上できる軟窒化処理の適用拡大が望まれている。

一方で軟窒化処理は、疲労強度と被削性の両立の観点から適用拡大への課題を有する。疲労強度向上のためには、表層のみでなく窒素拡散が及ばない心部、すなわち素材硬度の上昇が有効だが、素材硬度の上昇は被削性低下を招くジレンマを有する。JFE スチールでは部品の低ひずみ化と低コスト化に貢献すべく、疲労強度と被削性を両立した高強度軟窒化用鋼: JAENS[®]を開発したので紹介する。また、軟窒化用鋼では、表面からの窒素拡散量が硬化層の硬度、ひいては疲労強度に影響するため、これを精緻に把握し、材料ごとの窒化挙動を解明することは重要である。本稿では、軟 X 線分光により窒化挙動を分析した結果も紹介する。

2. 高強度軟窒化用鋼 JAENS[®]2.1 JAENS[®]の設計コンセプト

JAENS の適用ターゲットは、JIS 機械構造用鋼 (SCr420, SCM420 等) を素材として熱間鍛造、切削加工を経て、表面硬化熱処理 (浸炭焼入れ、軟窒化等) を施す部品である。JAENS では軟窒化処理時の加熱温度に着目した。鋼の強化機構の一つに鋼中に微細な炭化物や窒化物の粒子を析出させる析出強化があるが、一般的な軟窒化処理温度は、これら炭窒化物を微細に析出させるのに適した温度である。軟窒化前の切削時点では析出物量を抑え、軟窒化中に析出させることで、被削性と疲労強度を両立できると考え、以下のコンセプトで成分設計を行った。

①微細炭窒化物形成元素の添加

炭窒化物形成元素である V を添加した。V は軟窒化処理中に表面から拡散した N と窒化物を形成することで表層硬度の向上に寄与する。さらに、心部においても鋼中に存在す

る C や N と炭窒化物を形成し高硬度化させる。

②軟窒化前切削加工時の V 炭窒化物析出抑制

V はオーステナイト相中では多くが固溶状態にあり、フェライト相中では炭窒化物として析出する。フェライト相中では高温であるほど析出が促進されるため、Cr, Mn, Mo などの合金元素添加によるオーステナイト→フェライト変態温度の低温化、すなわちベイナイト化により、熱間鍛造後冷却時における V 炭窒化物の析出を減少させ、被削性を確保する。その後の軟窒化時の加熱保持により、V 炭窒化物の微細析出による心部の硬度上昇を達成する。

③ベイナイト硬さ低下

ベイナイト組織はフェライト・パーライト組織と比較して一般に高硬度なため、被削性が悪化することが想定される。そこで C, Si の添加量を低減し、素材硬度を低く抑えている。

以上のコンセプトにより設計された JAENS の化学成分を表 1 に示す。

2.2 JAENS[®]の特長

上記のコンセプトで設計した JAENS を用いて製造された部品は以下の特長を有する。

- ・軟窒化処理のため低ひずみ
- ・浸炭鋼並の高い疲労強度 (図 1)
- ・熱間鍛造ままで優れた被削性

また、窒化処理における窒化ポテンシャル制御¹⁾や、ショットピーニングといった技術と組み合わせることで、さらに高い疲労強度を発揮することを示すデータも得られている。

3. 窒化挙動分析技術

鉄鋼材料のマイクロ/ナノスケールの元素分析には、電子線をプローブした X 線分光法が広く用いられている。近年、寺内らによって開発された電子顕微鏡に搭載可能な軟 X 線

表 1 JAENS[®]の化学組成 (mass%)Table 1 Chemical composition of JAENS[™]

	C	Si	Mn	Cr	Others
JAENS [™]	Reduced	Reduced	1.80	1.25	Mo, V
SCM420	0.20	0.25	0.80	1.15	Mo: 0.20

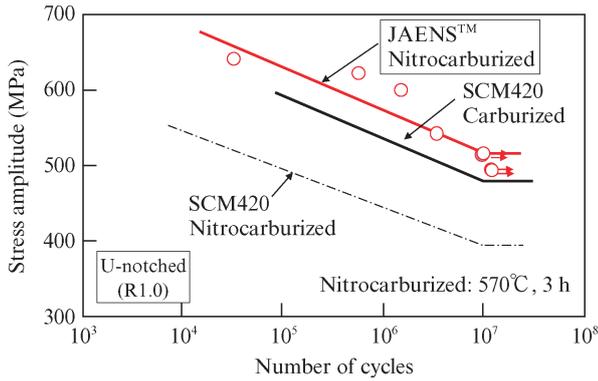


図1 軟窒化したJAENS[®]の回転曲げ疲労試験結果

Fig. 1 S-N curve of nitrocarburized JAENSTM obtained by rotational bending fatigue test

分光 (Soft X-ray Emission Spectroscopy, 以下 SXES) 装置は、軟 X 線領域の組成分析が可能な検出器であり、エネルギー分解能の向上とともに、軽元素の検出感度が向上しているという特長がある²⁾。本稿ではこの SXES を用いて、JAENS の窒化挙動を分析した。

軟窒化により表面硬化させた JAENS および SCM420 丸棒材の断面を切り出し、最表面から内部に向かって SXES 分析を実施した。SXES の窒素信号強度から窒素量の定量を行うため、軟窒化後の SCM420 の表面から約 50 μm ピッチで鋼中窒化物を抽出し、これを吸光光度法によって窒素定量したものを検量線とした。

図2に各供試材の表層硬度分布を示す。表面から深さ0.2 mm までの硬化層の硬度が JAENS は SCM420 より高いことから、軟窒化処理による表面硬化が促進されていると言える。なお、深さ0.5 mm より深い位置でも JAENS は SCM420 よりも高い硬度が得られているが、これは前述したベイナイト組織化および軟窒化時の加熱保持により微細析出した V 炭窒化物によるものである。

図3に SXES により測定された各供試材の軟窒化処理後の表層窒素濃度分布を示す。JAENS では表面から深さ0.2 mm までの硬化層中の窒素濃度が高く、図2の硬度分布ともよく対応しており、窒素化合物形成量の増加が硬度上昇をもたらしたことが定量的に把握できる。

このことから、JAENS は SCM420 と比べ、軟窒化処理により表層に多くの窒素を導入でき、その結果として高い表層硬度を得られるという特長がある。

4. おわりに

高強度軟窒化用鋼 JAENS[®]および SXES による窒化挙動分

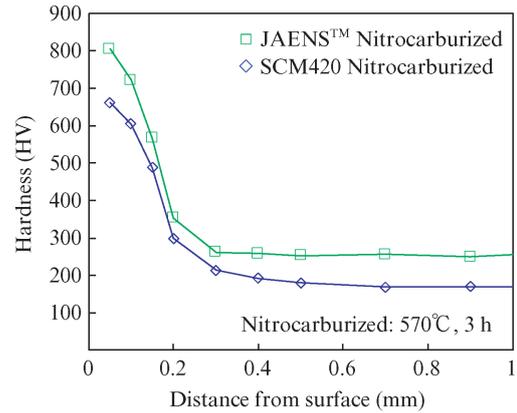


図2 JAENS[®]および SCM420 の軟窒化後の表層硬度分布

Fig. 2 Hardness profiles of nitrocarburized JAENSTM and SCM420

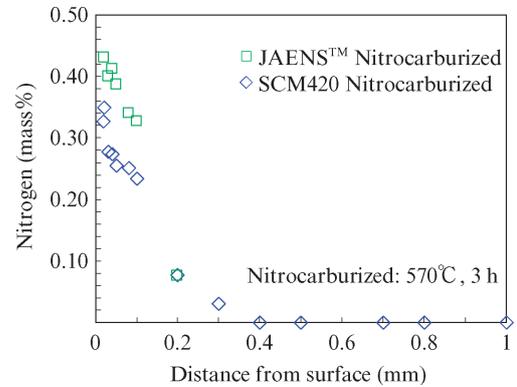


図3 JAENS[®]および SCM420 の軟窒化後の表層窒素分布

Fig. 3 Nitrogen content at surfaces of nitrocarburized JAENSTM and SCM420

析について紹介した。

JAENS は自動車や建設産業機械等のギアやシャフトに適用可能である。従来鋼の浸炭焼入れ材と比べ、より低ひずみ・低コストとなり、今後の適用部材拡大が期待できる。

参考文献

- 1) 河田一喜. 窒素を活用した表面改質. 表面技術. 2016, vol. 67, no. 1, p.22-26.
- 2) 寺内正己. 電子顕微鏡を用いた価電子 (結合電子) 状態分析技術の開発. 顕微鏡. 2011, vol. 46, no. 2, p. 105-110.

〈問い合わせ先〉

JFE スチール 棒線事業部 棒線商品技術部 倉敷商品技術室
TEL: 086-447-2721 FAX: 086-447-2723