

冷間鍛造非調質ボルト用鋼(NHF-S) Special Steel Wire Rod for High-Strength Bolt

1. NHF-Sの概要

特殊鋼棒線材は引抜、鍛造、切削などの二次加工や焼鈍、焼入れ・焼戻しなど様々の熱処理工程を経て自動車などの重要部品に使用されています。これらの二次加工及び熱処理工程は多くの労力、コスト、エネルギーを必要とするので、経済性を向上するため、これらを省略できる棒線材の開発が強く要求されていました。

このような背景から、これまで材料開発にほとんど活用されていないバウシinger効果に着目し、ボルト成形加工時の変形抵抗が著しく低い非調質線材NHF-S (Nippon Steel Low Carbon High Tensile Cold Forming Wire Rod-Special) を商品化することに成功しました。その化学成分及び線材での引張特性を表1に示します。

NHF-Sは引張強さ700~900MPa級のボルト用としての機械的特性を満足しており、ボルト成形時の変形抵抗は従来の炭素鋼(0.45C)の球状化焼鈍材にほぼ同等で、画期的なボルト用非調質線材として、需要家から好評を得ています。

2. NHF-S開発の経緯

自動車用ボルトとしては引張強さ800MPa以上のJIS8.8が最も多用されています。これは図1に示すように、中

炭素鋼(0.45C)線材を球状化焼鈍により柔らかくしてからボルトに冷間成形し、最後に焼入れ・焼戻し処理して所定の強さと靱性を付与しています。この球状化焼鈍及び焼入れ・焼戻しを省略する非調質線材として、低炭素鋼をベースにNbの炭窒化物の析出硬化により強靱化した低C-Nb鋼、更には固溶強化や細粒化などを組合せたボルト用非調質線材が開発されてきました。

これら既開発の線材は冷間伸線によって所定のボルト強さまで強化したあと成形加工されるため、球状化焼鈍を行う従来の調質鋼に比較して極めて強い線材を冷間鍛造することとなり、工具寿命が著しく低下し、ボルト製造工程でのコスト高及び生産性の低下を招き実用化が期待通り進みませんでした。

冷間加工用工具は、加工時の反力による疲労で寿命となるため、被加工材の変形抵抗が高いほど寿命は短くなります。冷間鍛造前に線材の強さを高めておくことが非調質線材の特徴であるから、変形抵抗が従来の調質鋼より著しく高くなることは宿命と考えられていました。

しかし、図1に示すように、ボルト冷間圧造の前工程として線径及び強さを整えるための伸線加工が行われるため、圧造時の変形抵抗は一種のバウシinger効果によって線材強さの割りには低下すると判断されました。バウシinger効果は一方に塑性変形を与えた後、続いて反対方向に変形するとその際の流動応力が低下する現象

表1 NHF-Sの化学成分と機械的性質

	化学成分 (%)				機械的性質				製品寸法 (mm)
	C	Si	Mn	P・S	引張強さ(MPa)	降伏強さ(MPa)	伸び(%)	絞り(%)	
NHF55-S (NHF540-S)	0.18/0.25	0.10/0.30	0.70/1.70	≤0.0030	≥540/750	≥300	≥15	≥60	φ5.5~18
NHF60-S (NHF590-S)	0.18/0.25	0.10/0.30	0.70/1.70	≤0.0030	≥590/800	≥350	≥15	≥60	φ5.5~13

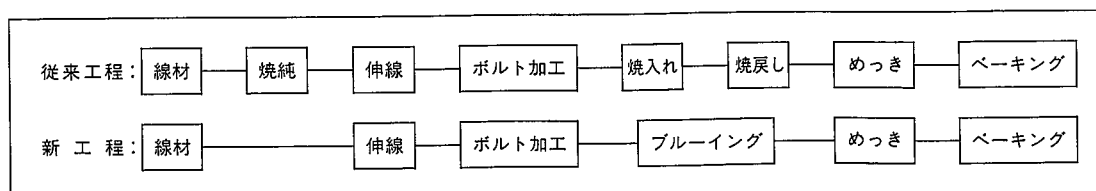


図1 ボルト用線材の加工工程 (JIS 8.8ボルトの例)

であります。そのため、変形抵抗の低減策としてこのバウシinger効果の増大を図ることにしました。

ボルト製造過程におけるバウシinger効果の発生量について詳細な検討を行い、非調質線材において高いバウシinger効果を得る条件を見出すとともに、生産ラインにおける製造方を確立しました。

3. NHF-Sの特長

(1) 高バウシinger効果による圧造時の低変形抵抗

開発鋼の特長は、従来の非調質線材では得られない高いバウシinger効果を確保していることです。なお、伸線材におけるバウシinger効果の測定方法は、図2に示すように、圧延材の変形抵抗曲線を引張側に平行移動させた場合の変形抵抗曲線と伸線材の変形抵抗曲線の応力差を測定し、真歪1.0(63%圧縮)の値を用いました。

バウシinger効果の発生量に及ぼす化学成分の影響を図3に示します。各試験材はほぼC量で整理可能であり、

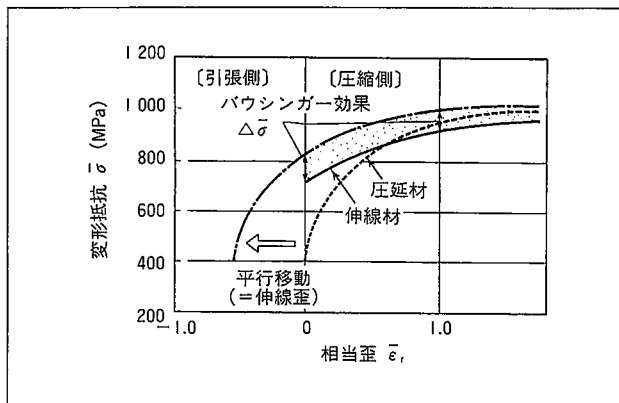


図2 伸線材におけるバウシinger効果の測定方法

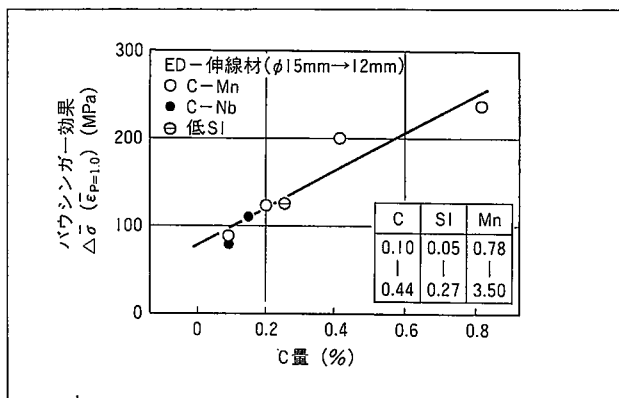


図3 バウシinger効果に及ぼすC量の影響

C量の増加とともにバウシinger効果は増加し、Nb炭窒化物やMn, Siの影響は少ないです。また熱間圧延後の冷却速度の影響を図4に示します。前に述べましたようにC量によりバウシinger効果の絶対値は異なるが、冷却速度が速くなるにつれて増加します。

C量増及び急冷によりバウシinger効果が増加する原因はフェライト量が少なくなることによるものと考えられます。すなわち予変形中に導入されるフェライト中の転位密度は、フェライト分率の減少に伴い増加します。バウシinger効果の発生はこの転位の集積に基づく逆応力に起因するものと考えられるため、バウシinger効果を高めるにはフェライト中の転位密度を増加する方が有効であります。

これまでの結果より、高バウシinger効果鋼には1) 高C (フェライトクリーン)、及び2) 熱延後の加速冷却が望ましいということになります。

この結果に基づき、800MPa級ボルト用非調質線材として設計した0.2C-1.5Mn-加速冷却(冷却速度7.0°C/s; ED-熱湯冷却)線材と従来の非調質線材である0.1C-0.04Nb-衝風冷却(冷却速度5.5°C/s; Stelmor)線材、及び従来の調質鋼であるS45Cの球状化焼鈍材の伸線後の圧縮変形抵抗を測定しました。変形抵抗曲線を図5に示します。なお比較する歪量はボルト頭部がヘッディング加工時に受ける歪量にほぼ等しい真歪1.5(圧縮率78%)としました。これよりバウシinger効果を積極的に活用することにより、変形抵抗を従来の非調質線材に比べ100MPa低く、ほぼS45Cの球状化焼鈍材に匹敵するほど低減できることを確認しました。

この変形抵抗の低減量から予測される工具寿命の延長

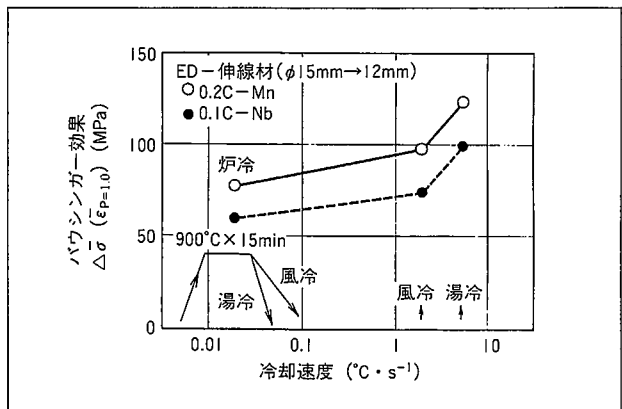


図4 熱間圧延後の冷却速度とバウシinger効果の関係

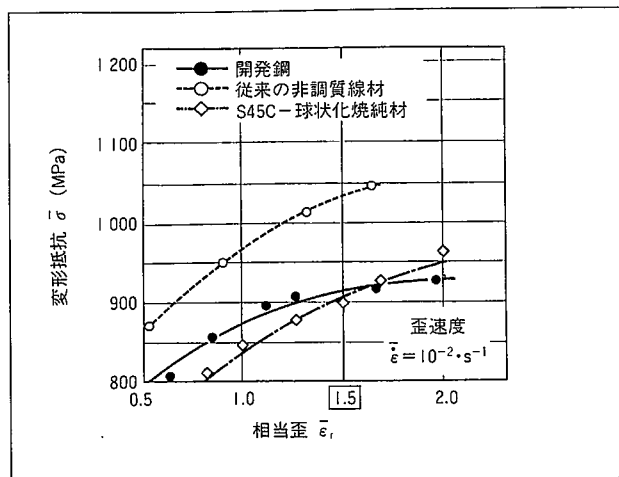


図5 伸線材の圧縮変形抵抗

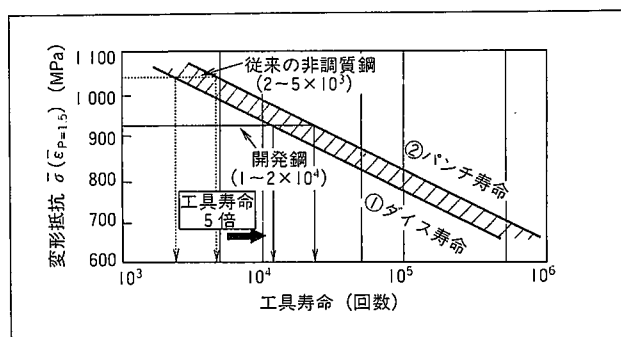


図6 六角ボルト掘込成形時の素材変形抵抗と工具寿命の関係

量を、図6に示す戸田らの求めた六角ボルトの工具寿命曲線から求めると、①ダイス寿命及び②パンチ寿命は約5倍と飛躍的に向上することが期待できます。

(2) 機械的特性の均一化

非調質線材ではボルトに成形した後の熱処理を省略するため、熱延線材での強さばらつきがそのままボルトに持ち越されます。そのため強さばらつきが大きいと平均強さを規格強さ以上に高める必要があり、このことも工具寿命の低下の原因になっています。従来の非調質線材は衝風冷却(Stelmor)により製造されるため、線材重なり部の冷却速度むらにより、強さばらつきが生じるのに対し、NHF-Sは冷却速度の均一性が高い熱湯浴による膜沸騰冷却のため、強さばらつきも極めて小さく、焼入れ・焼戻し材並みを達成しています。

4. NHF-Sの製造実績と用途

これまでの基礎実験結果にもとづき、0.20C-1.50Mn鋼を270t転炉で溶製し、線材圧延・熱湯浴冷却を施した後、15mmφから12mmφ(減面率36%)に伸線し、8.8級として必要な800MPa以上の引張強さに調整し、ボルトメーカーで冷間圧造・ねじ転造によってM12×1.25×P60六角ボルトを実際に製造しました。NHF-Sは通常の調質ボルト生産速度で10000個のボルトを製造したが、圧造時の割れ、その他の製造上の問題はありませんでした。次に冷間鍛造後350℃×30分のブルーイング処理(ソルト)を行い、JIS法に準じて性能を調査しました。表2に示すように試作ボルトはJIS規格を十分に満足する特性を有しており、圧造時の変形抵抗が低く、調質型のボルトと同等の機能を有するボルト用非調質線材を得ることに成功しています。

開発鋼は引張強さ700~900MPa級の自動車用ボルトに多用されており、更に幅広い分野への適用が期待されます。

ボルト用非調質線材では、従来公表されていないバウシinger効果を活用した冷間圧造時の変形抵抗の低い非調質線材を開発しました。本開発鋼は現在開発が十分になされているとは未だ一般に言い難い引張強さ700~800MPa級ボルトの非調質化において、低い変形抵抗と優れた機械的特性を示し、社会的ニーズである省エネルギーに大きく寄与することが期待できます。

表2 NHF-Sから製造したボルトの性質

機械的特性	NHF-S	JIS 8.8級*
引張強さ (MPa)	861	800/1 000
降伏点 (MPa)	800	最小640
破断伸び GL=5d (%)	14.8	最小12
くさび引張強さ (MPa)	852	最小800
衝撃エネルギー (J)	86	30
頭部打撃強さ	頭部と円筒部との付け根に割れ目が生じない	
心部硬さ HRC	23.4	20/30

* JIS B1051

お問い合わせ先
棒線営業部 棒線商品技術室
Tel(03)3275-7893