

## CO<sub>2</sub>削減に寄与するボルト用鋼(非調質ボルト用鋼KNCH™シリーズ)

松本洋介\*1・高知琢哉\*1

カーボンニュートラル達成に向け鉄鋼材料や部品の製造工程で発生するCO<sub>2</sub>の削減が求められている。自動車部品などの締結に用いられるボルトは、鉄鋼メーカーで製造したボルト用線材を用いて、ワイヤメーカー、ボルトメーカーで軟化焼鈍や焼入れ焼戻しを経て製造されている(図)。当社ではこれらの熱処理を省略できる非調質ボルト用鋼KNCH™<sup>注1)</sup>シリーズ<sup>1)</sup>を開発・商品化している。

軟化焼鈍の省略にはボルト圧造が可能な塑性変形能の確保と、工業的に量産可能な金型寿命を得るための変形抵抗の低減が必要となる。ボルト圧造時の塑性変形を担う転位は鋼中の固溶Nによって移動が阻害され、変形能の低下や変形抵抗の増加を招くことが知られている<sup>2)</sup>。KNCH™シリーズはJIS炭素鋼と比べAlを増量添加し、NをAINとして析出させることで転位の易動度を向上させている。また、ボルトのフランジ部は圧縮変形で成形されるため、圧縮方向の変形抵抗低減、変形能向上が重要となる。そこで、あらかじめ引張方向のひずみを付与することで圧縮方向の変形を容易にする効果(バウシinger効果<sup>1),3)</sup>)を活用している。減面率の増加に伴う引張方向のひずみ増加によりバウシinger効果が顕著となるが、同時に加工硬化でワイヤ強度が上昇するため、変形抵抗は減面率に対して極小値を持つ。変形抵抗の極小値が得られる減面率でワイヤを製造することで優れた冷間鍛造性を得ることができる。これらの成分適正化とバウシinger効果の活用により変形能の確保と変形抵抗の低減を達成し、軟化焼鈍材と同等の冷間鍛造性を実現できる。

いっぽう、焼入れ焼戻しを省略するには線材圧延後の引張強度と、伸線加工およびボルト圧造での加工硬化量を制御する必要がある。そのために最終のボルト強度区分ごとに鋼材の引張強度への影響が大きいC, Si, Mn, Cr添加量を調整した。また、線材圧延温度の低温化によりオーステナイト粒を微細化し、冷却時の相変態を促進させることで、均一なフェライト・パーライト組織として、ボルト圧造後の強度の安定化や硬質組織に起因した割れ発生の防止を図っている。

KNCH™シリーズはボルト引張強度で700~1,000 MPa

級まで実用化している。ただし、ボルト頭部の加工が厳しく、高い変形能が求められるフランジボルト用途としては800 MPa級までにとどまっている。ボリュームゾーンである1,000 MPa級ボルトの非調質化が進めばCO<sub>2</sub>排出量の大きな削減が期待できる。1,000 MPa級非調質ボルトの適用拡大には、変形能の向上に加えて、耐遅れ破壊特性の確保も課題となる。非調質ボルトでは、遅れ破壊において特徴的な粒界破壊が生じないため、調質ボルトより耐遅れ破壊特性では有利であることが知られている。しかし、先行知見は限定的であり、安全性、信頼性を担保する鋼材設計や評価技術の確立が不可欠である。高強度調質ボルトの開発、実用化で培ってきた技術を活用し、非調質ボルトの高強度化の早期実現に取り組んでいる。

そのほか、KNCH™シリーズを含め実用化されている非調質ボルト用鋼は永久伸び<sup>4)</sup>に課題がある。JISではボルトに一定荷重を一定時間負荷し、除荷した際に荷重負荷前後でボルトに伸びが発生してはならないとされている。非調質ボルトは、塑性加工による転位強化を利用しているため可動転位密度が高く、圧造ままでは永久伸びを生じる。そのため、ボルト圧造後に300℃程度で均熱保持し、固溶Cや固溶Nを転位に固着させるブルーイング処理が必須となっており、熱処理工程の完全省略には至っていない。当社ではボルトの永久伸びが金属組織の特定領域で生じていることを突き止め、ブルーイング省略可能な800 MPa級非調質ボルト用鋼を開発している。これによりボルト製造における熱処理工程を完全省略でき、さらなるCO<sub>2</sub>排出量の低減、工程省略が可能となる。

今後、非調質ボルトのさらなる高強度化や変形能向上による適用アイテムの拡大、変形抵抗の低減に伴う金型寿命の向上、熱処理の完全省略を通してCO<sub>2</sub>の削減、カーボンニュートラルの達成に貢献していきたい。

### 参考文献

- 1) 鹿磯正人ほか. R&D 神戸製鋼技報. 2002, Vol.52, No.3, p.52-56.
- 2) 増田智一ほか. R&D 神戸製鋼技報. 2011, Vol.61, No.1, p.52-56.
- 3) 蟹澤秀雄ほか. 日本金属学会会報. 1991, Vol.30, No.6, p.557.
- 4) JIS B 1051, 炭素鋼及び合金鋼製締結用部品の機械的特性. 2019.

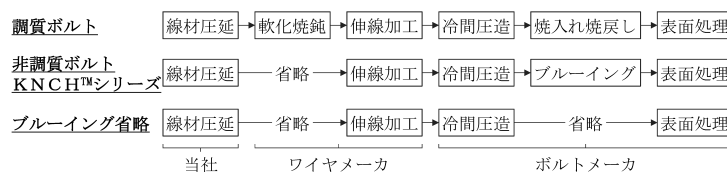


図 ボルトの製造工程

脚注1) KNCHは当社の登録商標(第1644338号)である。

\*1 鉄鋼アルミ事業部門 技術開発センター 線材条鋼開発部