

高強度ボルト用鋼

High Strength Bolt Steel

松本 斉 / Hitoshi Matsumoto ・ 小倉製鉄所 開発室

中里福和 / Fukukazu Nakasato ・ 小倉製鉄所 専門部長 工博

櫛田隆弘 / Takahiro Kushita ・ 総合技術研究所 鋼管・鋼材研究部 主任研究員

要 約

近年、エンジンの高出力化、軽量化に伴い、引張り強さが $1\,300\text{N/mm}^2$ 以上の高強度ボルトが求められている。しかしながら、 $1\,200\text{N/mm}^2$ を超える強度レベルのボルトは、悪条件が重なれば、遅れ破壊を起こす可能性があり、耐遅れ破壊性の向上が不可欠である。ここで紹介する高強度ボルト用鋼(ADS2.3.)は、耐遅れ破壊性を向上させるミクロ組織的因子(鋼中不純物レベル、炭化物形態、結晶粒径など)を系統的に調査して得られた鋼であり、従来鋼(JIS SCM440)に比べて、優れた耐遅れ破壊性を有していた。

Synopsis

Recently, to enable high performance and weight reduction of engines, a demand has arisen for the development of higher strength bolts with $1\,300\text{N/mm}^2$ or greater tensile strength.

However, such high strength bolts with tensile strength exceeding $1\,200\text{N/mm}^2$ are not immune to delayed fracture, so they need improvement to delayed fracture resistance.

Newly-developed steels (ADS2.3.) control grain-boundary properties, by means of impurity reduction, grain refinement and changed carbide morphology, are superior in delayed fracture resistance to JIS SCM440.

1. 緒 言

近年、エンジンの高出力化、軽量化に伴い、引張り強さが $1\,300\text{N/mm}^2$ 以上の高強度ボルトのニーズが高まっているが、それにもかかわらず、高強度ボルト範囲は限られている。その阻害要因となっているのが遅れ破壊と呼ばれる現象である。遅れ破壊は、静的応力下におかれた材料が、突然脆性的に破壊する現象であり、引張り強さが $1\,200\text{N/mm}^2$ の鋼材で問題となる¹⁾。この遅れ破壊という現象に関し、従来の研究から、次のような知見が得られている：通常の焼入れ、焼戻し鋼の場合、遅れ破壊の破面形態が旧オーステナイト粒界割れである²⁾、旧オーステナイト粒界へのフィルム状セメンタイト(300～400℃焼戻し)析出によ

り、遅れ破壊クラックの伝播速度が増大する³⁾。したがって、耐遅れ破壊性の向上には、焼戻し温度上昇による鋼中炭化物の形態制御、鋼中不純物低減や、細粒化による粒界性状制御が有効であることが示唆されている⁴⁾。

こうした知見に基づき、耐遅れ破壊性に優れた高強度ボルト用鋼(ADS2.3: ADS: Anti-Delayed Fracture Steel)の開発を行なったので、以下にその特性について紹介する。

2. 開発のコンセプト

開発鋼の成分設計の考え方を第1表に、化学成分を第2表に示す。

第1表 耐遅れ破壊性向上のための成分設計

Table 1 Alloy design for improving delayed fracture resistance

Item	Effect
Low P, low S, low Mn	Strengthening grain boundary
Nb, (V) addition	Fine prior-austenite grains
(V) addition	Fine and uniform carbides distribution
High Mo (V) addition	High temperature tempering

第2表 開発鋼の化学成分 (mass%)

Table 2 Chemical compositions of developed steels

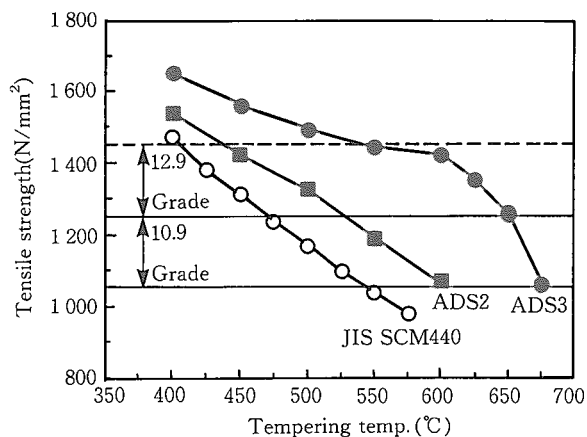
Steel	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Nb	V	Remarks
ADS2	0.34	0.28	0.37	0.008	0.005	1.26	0.40	0.026	Tr.	Developed
ADS3	0.49	0.28	0.31	0.009	0.004	1.02	0.68	0.034	0.32	
JIS SCM440	0.39	0.17	0.82	0.025	0.010	1.11	0.16	Tr.	Tr.	Conventional

- (1) ADS-2はP, S, Mnの低減による粒界偏析の軽減, Nb添加による細粒化, Cr, Mo増量による高温焼戻し(450℃以上)を目的としている⁹⁾。
- (2) ADS-3は, 上記に加え, C, Mo増量, V添加によりさらなる高温焼戻し(550℃以上)を目的としている。
- 上記の成分設計に加えて, いずれの鋼においても, 精錬, 鋳込, 圧延, 2, 3次加工の各工程において, 耐遅れ破壊性を考慮した造り込みがなされている。

3. 開発鋼の性能

(1) 焼戻し性能曲線

開発鋼(ADS2, 3)およびJIS SCM440の焼戻し性能曲線を第1図に示す。開発鋼(ADS2, 3)はJIS SCM440と比較し, 焼戻軟化抵抗が増しており, とくにMo, V量の高いADS-3では, 軟化抵抗が大幅に増えている。



第1図 焼戻し温度と引張り強さの関係

Fig.1 Effect of tempering temperature on tensile strength

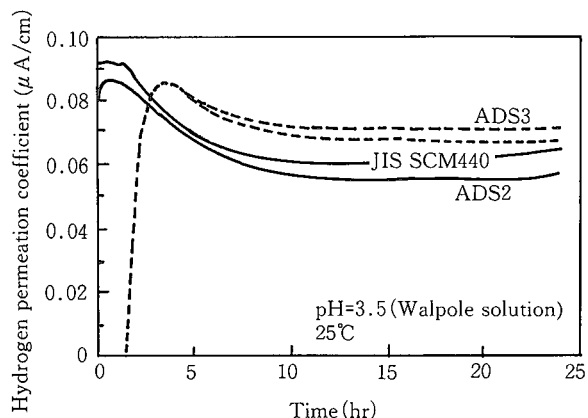
(2) 耐遅れ破壊性

開発鋼の耐遅れ破壊性評価は, 所定の引張り強さに焼入れ, 焼戻しし, 陰極チャージ定荷重試験法⁶⁾(試験片: 切欠付丸棒引張り試験片, 応力集中係数: 5)により実施した。水素の添加条件は, pH=3.5ワルポール水溶液中で, 水素透過試験を実施し, そこで得られた最大値 $0.1\mu\text{A}/\text{cm}$ (第2図)の条件を採用した。(低合金鋼の隙間腐食部は, pH=3.5まで低下することが知られており⁷⁾, この条件が実環境の最苛酷環境をシミュレートしている。)

この条件での遅れ破壊発生限界応力を, 引張り強さで整

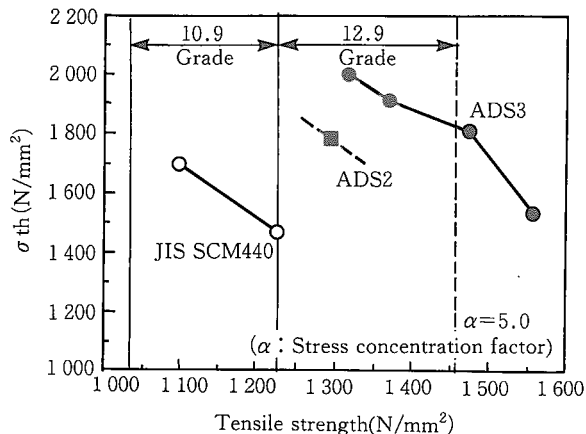
理した結果を第3図に示す。同一引張り強さで比較すると, 開発鋼の遅れ破壊発生限界応力は, JIS SCM440に比べ高くなっており, 耐遅れ破壊性が向上しているのは明らかである。特に, 焼戻し温度の高温設定可能なADS-3においては, ADS-2よりも優れた耐遅れ破壊性を有している。

また, 遅れ破壊試験後の破面写真を, 写真1に示す。JIS SCM440は旧オーステナイト粒界割れを呈しているのに対して, ADS-3は高強度にも関わらず擬劈開状の粒内割れを呈している。つまり, ADS-3は明らかに粒界強化されており, 優れた耐遅れ破壊特性を有していることが明らかである。



第2図 pH = 3.5ワルポール浴での水素透過挙動

Fig.2 Electrochemical hydrogen permeation measurement in walpole solution of pH = 3.5



第3図 遅れ破壊発生限界応力(σth)に及ぼす引張り強さの影響

Fig.3 Effect of tensile strength on delayed fracture strength (σth)

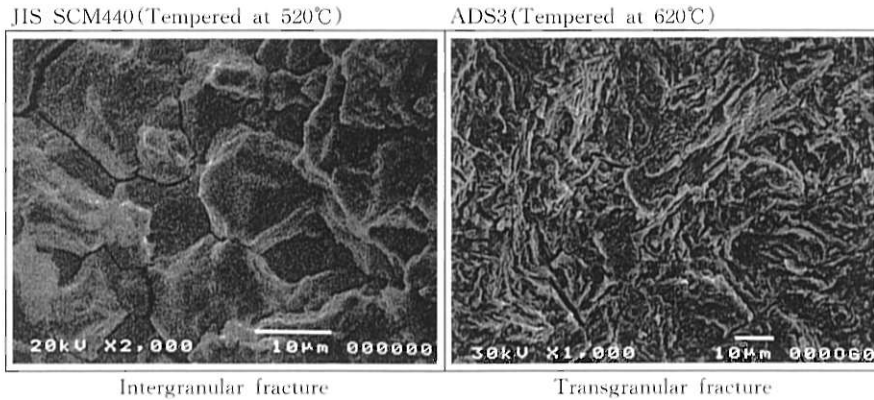


写真1 遅れ破壊破面写真

Photo 1 Fractographs of delayed fracture surface

4. 結 言

ここで紹介した ADS-2においては、自動車用エンジンボルトとして需要家においても良好な評価を得ている⁸⁾。また、ADS-3については、汎用の高強度ボルトとして、今後の活躍が期待されている。

このような高強度ボルトの適用範囲を拡大し、自動車の軽量化、低燃費化に寄与していきたい。

問合せ先
小倉製鉄所
開発室
☎093-561-8093 松本

参考文献

- 1) J. P. Hirt and H. H. Johnson : Corrosion, 32 (1976), p.3
- 2) F. Nakasato and M. Takahashi : Met. Technol., 7 (1980), p.449
- 3) 中里福和, 寺崎富久長 : 鉄と鋼, 61 (1975), p.841
- 4) 津村輝隆, 中里福和, 藤田通孝, 鎌田芳彦, 大谷泰夫 : 住友金属誌, Vol.39 No.2 (1987), p.107
- 5) 津村輝隆, 中里福和, 上田孝行, 村井暢宏 : 住友金属誌,

Vol.40 No.1 (1988), p.19

- 6) 梶田隆弘, 松本齊, 倉富直行, 津村輝隆, 中里福和, 工藤越夫 : 鉄と鋼, 82 (1996), p.297
- 7) 岡田秀弥 : 第20回腐食防食討論会講演集, (1973), p.305
- 8) 加納秀一, 高島隆雄, 山本明, 山田洋輔 : 日野技報 (1991), p.2