

浸炭鋼のねじり強度に及ぼす断面硬さ分布の影響

福本 新吾*・井口 誠*²・小林 一博*³・濱田 兼彰*⁴・佐藤 紀男*⁵・坪田 一一*⁶

Effect of hardness distribution on torsional strength of carburized steel.

Shingo Fukumoto, Makoto Iguchi, Kazuhiro Kobayashi, Kaneaki Hamada, Toshio Sato and Kazuichi Tsubota

Synopsis: Effect of hardness distribution on the torsional strength of carburized steel was investigated. Torsion tests were conducted on through hardened steel and carburized steel. Torsional strength of through hardened and carburized steels has a good relationship with weighted average hardness.

Key words: torsional strength ; carburized steel ; through hardened steel ; weighted average hardness.

1. 緒言

近年、自動車の軽量化、低燃費化およびエンジンの高出力化にともない、自動車部品の小型化および軽量化が求められる、シャフト等に利用される浸炭部品でも、耐ねじり強度特性の向上を目指した各種の鋼種開発、熱処理および加工方法などの開発が行われている。しかしながら、高周波焼入材のねじり強度特性については、断面平均硬さとねじり強度との間に良好な相関性がある^{1)~3)}とされているが、浸炭焼入材の場合も同様の相関性が存在するかどうかは不明であり、かつ浸炭鋼のねじり強度と冶金学的因子の関係についての報告はないようである。

そこで本報告では、合金設計を行う場合の基礎資料とすべく、ねじり強度の把握、およびねじり強度に及ぼす断面硬さ分布などの影響について調査を行ったのでその結果を報告する。

2. 実験方法

本実験に用いた供試材の化学成分をTable 1に示す。SCM420のC鋼をベースに、C量を0.1~1.4%まで9段階に変化させたA~I鋼を100kg真空溶解炉で溶製し、さらにランニング材のSCM420を供試材とした。実験のフローチャートをFig.1に示す。ランニング材のSCM420、A~E鋼、および高炭素鋼であるF~I鋼については鋼塊中心部付近の巨大

炭化物の消滅を目的として軸受鋼に準じたソーキングを行った後、それぞれφ20に鍛伸し、焼ならし後高C鋼についてはさらに焼なましを行い、最小断面がφ12の砂時計型の試験片に加工した。その後、以下の熱処理を行った試験片を作製して静ねじり試験を行い、ねじり強度に及ぼす断面硬さ分布の影響を調査した。

- ① 焼入焼戻処理：[1198K×1.8ks O.Q., 453K×3.6ks A.C.], 供試材A~I鋼, 浸炭層のねじり強度把握
- ② 浸炭処理：[1203K×19.8ks 浸炭→1123K×1.8ks O.Q., 453K×7.2ks A.C.], 供試材A~F鋼, ねじり強度に及ぼす断面硬さ分布の影響
- ③ 浸炭焼入時の冷却速度変更：[水焼入れ, 沸騰水焼入れ, 333K油焼入れおよび373K油焼入れ], 供試材SCM420, 芯部硬さの影響
- ④ 浸炭条件の変更：[Fig.2], 供試材SCM420, 有効硬化層深さの影響

3. 実験結果および考察

3.1 ねじり強度に及ぼす硬さの影響

C濃度の異なる浸炭鋼の表面硬化層各部分の破断ねじり強度を把握するために、C量の異なる供試材A~I鋼の焼入焼戻材を用いて静ねじり試験を行った。横軸にC量、縦軸に静ねじり強度をとりその関係を見ると、Fig.3からC量が0.8%まではほぼ直線的にねじり強度は向上し、それ以上で

* 技術研究所特殊鋼研究室 (現：生産管理部品質管理室)

*² 技術研究所特殊鋼研究室

*³ 技術研究所特殊鋼研究室 (現：広島支店技術課)

*⁴ 技術研究所特殊鋼研究室 (現：SKJ METAL INDUSTRIES CO., LTD.)

*⁵ 技術研究所

*⁶ 技術研究所, 工博

Table 1. Chemical compositions of steels.

Steel	(mass%, N; ppm)									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Al	N
A (0.10C)	0.10	0.25	0.79	0.016	0.015	0.12	1.06	0.20	0.028	147
B (0.15C)	0.15	0.25	0.79	0.015	0.016	0.10	1.05	0.20	0.029	160
C (0.20C)	0.20	0.25	0.77	0.015	0.015	0.11	1.05	0.20	0.030	141
D (0.30C)	0.30	0.26	0.79	0.015	0.016	0.10	1.06	0.20	0.031	153
E (0.35C)	0.35	0.25	0.78	0.016	0.015	0.11	1.04	0.20	0.030	154
F (0.55C)	0.55	0.25	0.79	0.015	0.014	0.10	1.05	0.20	0.033	143
G (0.78C)	0.78	0.23	0.75	0.012	0.015	0.11	1.02	0.19	0.034	142
H (0.97C)	0.97	0.25	0.79	0.012	0.015	0.10	1.04	0.20	0.031	130
I (1.40C)	1.40	0.26	0.79	0.015	0.015	0.10	1.05	0.20	0.036	108
SCM420	0.22	0.26	0.83	0.014	0.012	0.08	1.05	0.15	0.033	162

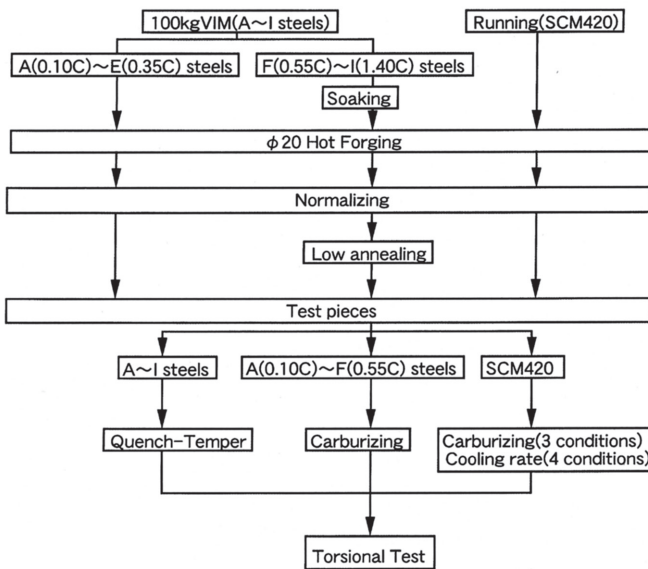


Fig.1. Experimental procedure.

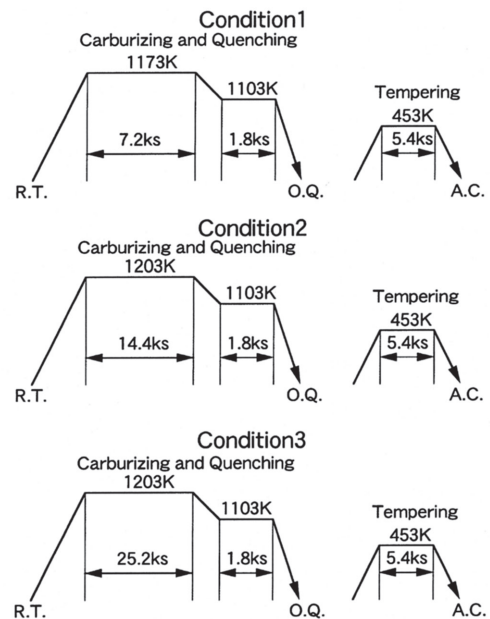


Fig.2. The conditions of carburizing and tempering.

は低下する傾向が認められる。これは残留オーステナイトの影響によると考えられる。そこで、横軸に硬さをとって整理するとFig.4になり、約750HVまで静ねじり強度はほぼ硬さと比例関係にあることが分かる。しかし、高硬さ域では不安定破壊を起こし若干ばらついている。以上の結果から、浸炭鋼の表面硬化層各部分の破断ねじり強度を把握することができた。

3・2 ねじり強度と硬さ分布との関係

種々の断面硬さ分布をもつ浸炭材を用いて、断面硬さ分布とねじり強度との関係を調査した。まず、C量が0.1%~0.55%のA~F鋼を浸炭してねじり試験を行った。得られた断面硬さ分布をFig.5に示す。これによると芯部C量の増大とともに芯部硬さが上昇している。次に、ねじり試験結果をFig.6に示す。横軸に芯部C量を、縦軸に静ねじり強度をとると、芯部C量が増加するとともに、静ねじり強度も向上している。約0.35%Cで静ねじり強度は飽和する傾向が

見られる。また、Fig.7に示すように横軸に芯部硬さをとって整理すると、Fig.6と同様の傾向を示していることが分かる。なお、この場合MOODⅢの破壊形態は見られなかった。

次に、浸炭焼入時の冷却速度を4段階に変化させることにより、Fig.8に示すように芯部硬さを4種類に変化させた試験片を用いてねじり試験を行った。実験結果をFig.9に示す。横軸に芯部硬さ、縦軸にねじり強度をとると、芯部硬さの上昇にともなって、ねじり強度も向上していることが分かる。

さらに、浸炭条件をFig.2のように変化させることにより有効硬化層深さを3種類に変化させた材料を用いてねじり試験を行った。浸炭後の硬さ分布をFig.10に示し、ねじり試験結果をFig.11に示す。この結果から、有効硬化層深さが深くなるにつれてねじり強度は向上していることが分かる。

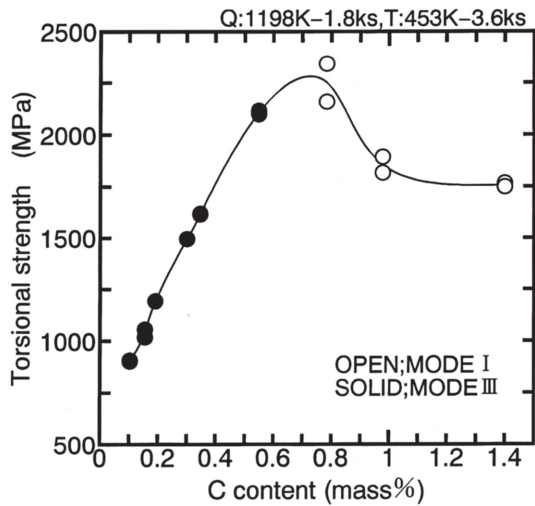


Fig.3. Effect of C content on the torsional strength of hardened steels.

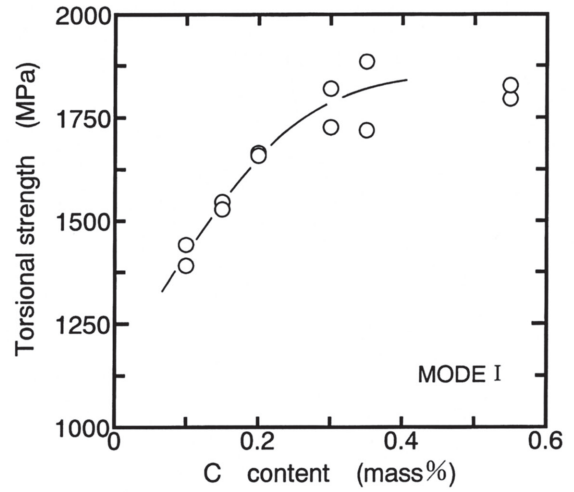


Fig.6. Effect of C content on the torsional strength of carburized steels.

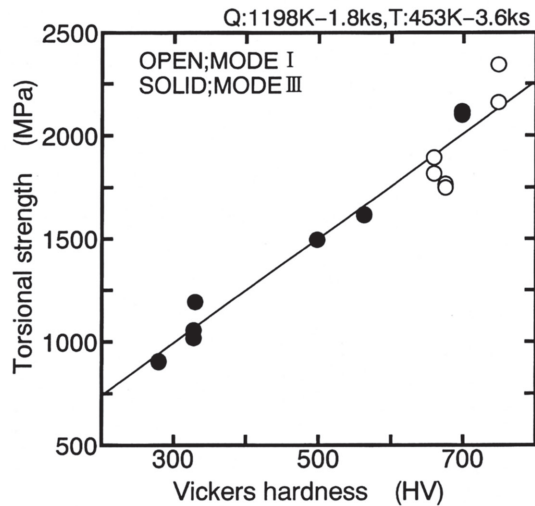


Fig.4. Effect of hardness on the torsional strength of hardened steels.

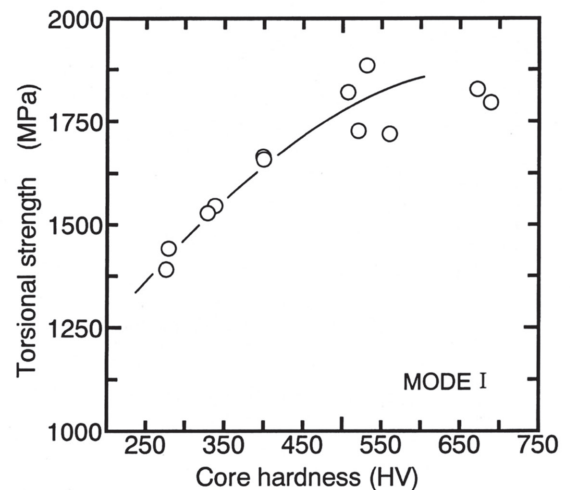


Fig.7. Effect of core hardness on the torsional strength of carburized steels.

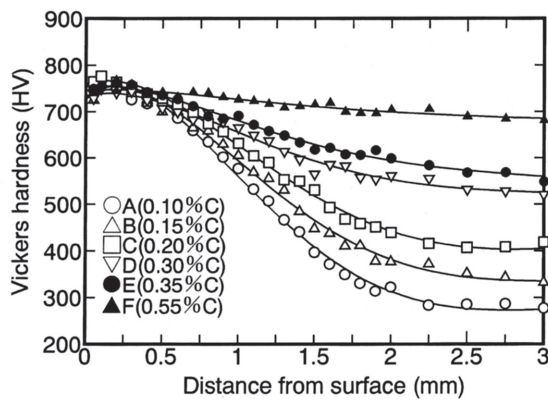


Fig.5. Hardness distributions of carburized steels.

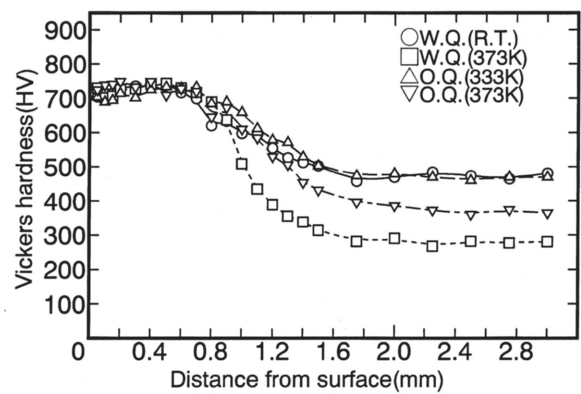


Fig.8. Effect of cooling rate on the hardness distribution of carburized steel (SCM420).

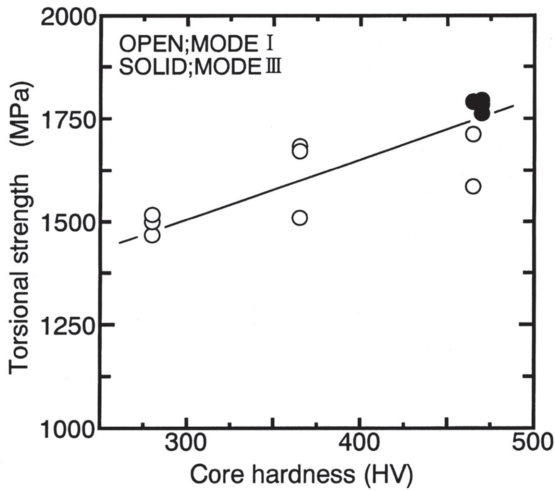


Fig.9. Effect of core hardness on the torsional strength of carburized steel (SCM420) .

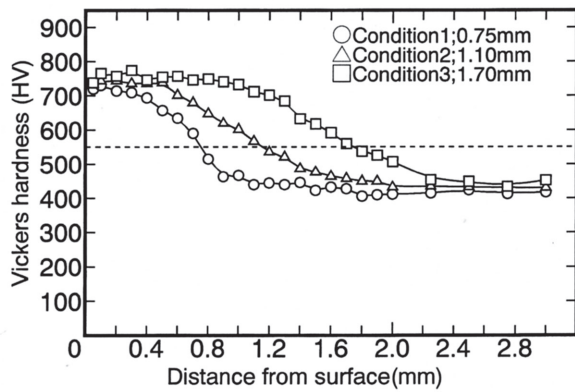


Fig.10. Effect of carburizing conditions on the hardness distribution of carburized steel (SCM420).

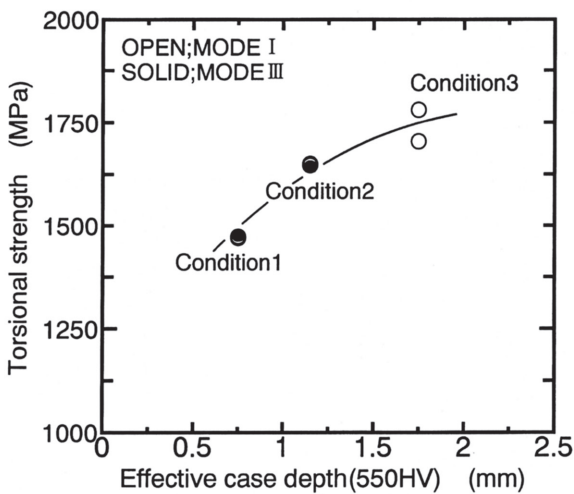


Fig.11. Effect of effective case depth on the torsional strength of carburized steel (SCM420) .

これらのことをまとめると次のようになる。

- ① 焼入焼戻材では、硬さが上昇するとねじり強度は向上する。
- ② C量の異なる材料に浸炭を施した場合、有効硬化層深さおよび芯部硬さの上昇にともないねじり強度は向上する。
- ③ 浸炭後の冷却速度をあげた場合、芯部硬さの上昇にともなってねじり強度も向上する。
- ④ 浸炭時間を長くして有効硬化層深さが深くなるとねじり強度は向上する。

このように、浸炭材のねじり強度は硬化パターンによらず断面内部の硬さが上昇すれば、向上することが分かった。

3・3 ねじり強度の推定

以上の結果から、浸炭層各部分のせん断応力とC量および硬さとの関係を利用してねじり強度の推定を行なった。Fig.5と同一条件でSCM420を浸炭した場合の硬さ分布をFig.12に示す。これをモデル化して考えると、微小部分の硬さ分布はFig.13のようになり、Fig.4に示した焼入焼戻材の硬さとねじり強度の関係を用いて、硬さに対応するせん断強度に置き換えると、この材料ではFig.14のような破断強度分布となる。

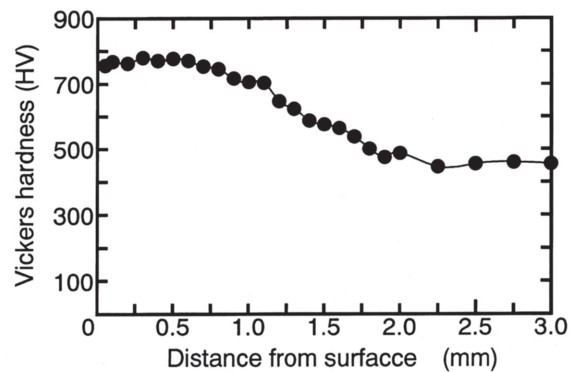


Fig.12. Hardness distribution of carburized steel (SCM420).

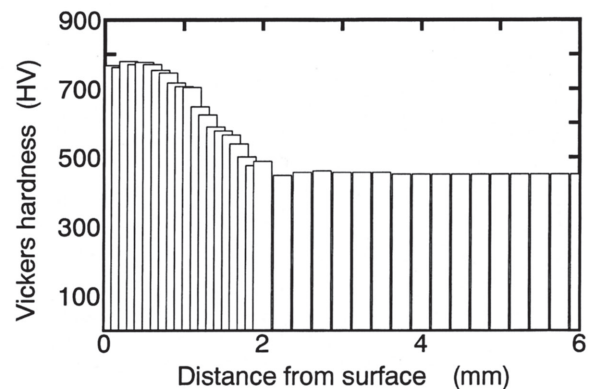


Fig.13. Hardness distribution model of carburized steel (SCM420).

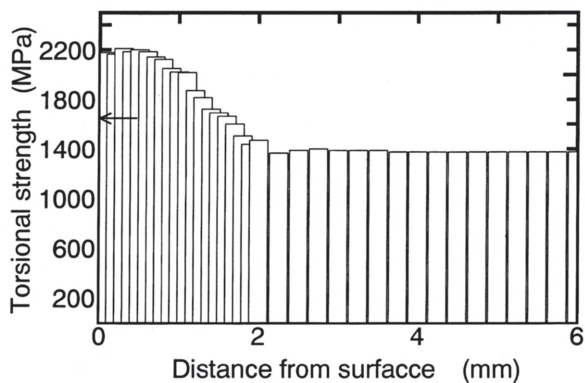


Fig.14. Distribution of torsional strength of carburized steel (SCM420). (Arrow indicates the fracture strength.)

実験における破断応力はFig.14の矢印の応力であり、硬さから求めた最表面の強度よりかなり低い。本実験のような表面硬化材の場合、ねじりによって内部から亀裂が先に発生するとは考えられず、最表面から亀裂が発生すると思われる方が自然である。また、実際の試験片の観察でもこのようになっている。

したがってFig.14のような強度分布を持った材料のねじり強度は、単純に表面硬さによって決まるものではないと考えられる。

そこで高周波焼入用材料によく使われている断面平均硬さの概念¹⁾を浸炭材にも適用して整理した。横軸に重み付き断面平均硬さ、縦軸にねじり強度をとると、Fig.15中に示した一次式で表され、重み付き断面平均硬さとねじり強度とは良く対応していることが分かる。また、本実験から横軸に断面平均硬さ、縦軸にねじり強度をとるとFig.16に示すようになり、MODE1の主応力破壊、MODE3のせん断応力破壊などの破壊形態に関係なく、ねじり強度は断面平均硬さで整理できることが分かった。

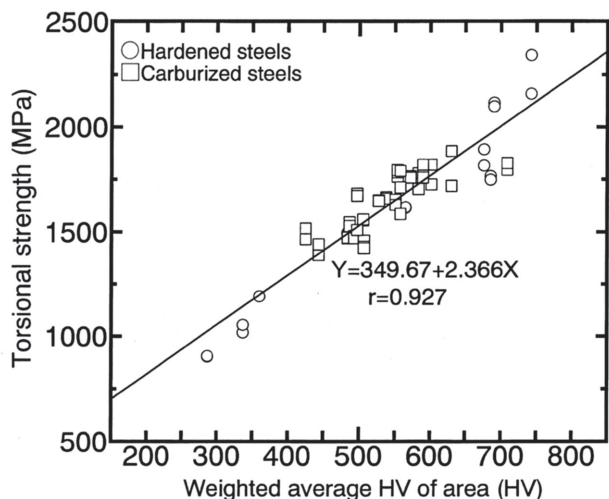


Fig.15. Relation between weighted average HV of area and torsional strength.

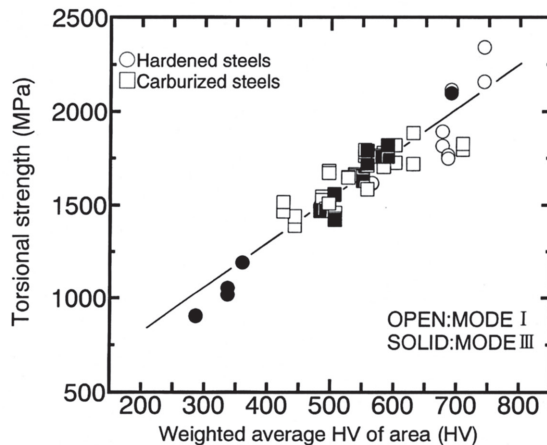


Fig.16. Relation between weighted average HV of area and torsional strength.

4. 結言

浸炭材の静ねじり強度は破壊形態や焼入焼戻し、浸炭などの熱処理方法に関係なく断面平均硬さで整理でき、その関係は $Y=349.7+2.37X$ の式で表せる（Y：ねじり強度、X：断面平均硬さ）ことが分かった。

文献

- 1) 平坂雅人：材料試験技術，37（1992）3，p.173
- 2) 加藤英久，野村一衛工博，花井義泰，脇門恵洋，江見敏夫：CAMP-ISIJ，6（1993），p.1759
- 3) 越智達郎，子安善郎：CAMP-ISIJ，7（1994），p.1748