

炭素工具鋼の機械的性質に 及ぼす熱処理の影響*

小林 義一**・森山 実***・堀内 富雄****

Effects of Heat Treatment on the Mechanical Properties of Carbon Tool Steels

Yoshikazu KOBAYASHI, Minorō MORIYAMA and Tomio HORIUCHI

Each of seven carbon tool steels (SK1 to SK7) was heated for two hours at two kinds of austenitizing temperatures, which is 30°C to 50°C above the A_3 -temperature or the A_{cm} -temperature and 37°C above the A_1 -temperature (760°C), as determined from the iron-carbon phase diagram, and was cooled by the three different methods, that is, oil-quenching, air-cooling and furnace-cooling. The following results were obtained by the tensile test.

The tensile strength was higher within the hypoeutectoid composition, as quenched into oil from the austenitizing temperatures of 30°C to 50°C above the A_3 -temperature or the A_{cm} -temperature, but decreased markedly with increasing carbon content in the range of hypereutectoid composition. The maximum tensile strength as quenched into oil from 760°C was lower compared with the maximum tensile strength as quenched into oil from the full austenitizing temperatures.

1. 緒 言

鋼は、熱処理方法により機械的性質と顕微鏡組織が著しく変化する。炭素鋼は、鋼の特性を理解する上で基礎となる鋼材であるものの、その機械的性質と組織に及ぼす熱処理の影響に関する系統的なデータは比較的少ない⁽¹⁾。筆者らは、これらのうち、既に亜共析炭素鋼の場合について報告した⁽²⁾。また、炭素含有量がさらに多い、主に過共析炭素鋼である炭素工具鋼の場合についても報告した⁽³⁾が、今回は主に引張特性について詳細に検討を加えたので、これについて報告する。

2. 実験方法

2-1 試料と熱処理

* 1990年7月 日本産業技術教育学会・第33回全国大会（福島大学）で発表

** 機械工学科 教授

*** 機械工学科 助教授

**** 機械工学科 技官

原稿受付 平成2年9月27日

表1 化学成分

	Chemical Composition / wt. %							
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
SK1	1.37	0.25	0.30	.002	<.001	<.01	<.01	0.01
SK2	1.20	0.24	0.29	.002	<.001	<.01	<.01	<.01
SK3	1.05	0.24	0.29	.002	<.001	<.01	<.01	<.01
SK4	0.93	0.25	0.29	.002	<.001	<.01	<.01	0.01
SK5	0.83	0.25	0.28	.002	<.001	<.01	<.01	0.02
SK6	0.74	0.25	0.28	.002	<.001	<.01	<.01	0.02
SK7	0.63	0.24	0.28	.002	<.001	<.01	<.01	0.01

今回用いた試料は、SK1からSK7までの7種類の炭素工具鋼であり、表1にその化学成分を示す。引張試験片(図1)はJIS 14号A試験片(平行部直径10.0mm)とした。尚、引張試験機の能力から、焼入れ焼戻し(以下、焼戻しと略す)用のみ、平行部直径を7.0mmとした。熱処理は、図2に示すように各試料毎、鉄-炭素系平衡状態図上の A_3 線と A_{cm} 線より30~50°C高い温度と、 A_1 線より37°C高い温度(760°C)の二種類のオーステナイト化温度に加熱し、脱炭を防止するために窒素ガス雰囲気中で2時間保持した後、30°Cのなたね油中への焼入れ、空冷及び炉冷した。尚、焼入れした試料は更に200°Cで2時間保持した後、空冷した。ここで用いる熱処理記号は、焼戻し:OQT, 空冷:NOR, 炉冷:ANNで表し、その後、オーステナイト化温度が A_3 線と A_{cm} 線に沿う時は高温処理としてHを付け加え、また A_1 線に沿う時は低温処理としてLを付け加えた。

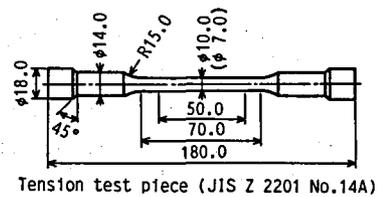
2-2 試験方法

引張試験はインストロン型引張試験機を用い、引張速度 $5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ で試験した。また同時に最大変位2.5 mm, 標点距離50.0mmの差動トランス型伸び計を試験片に取り付け、実変位を測定した。

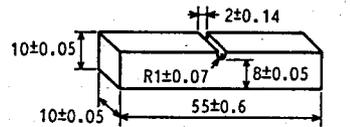
光学顕微鏡組織観察は、試料を5%ピクリン酸アルコール溶液で腐食し、直立型光学顕微鏡で行った。

3. 試験結果及び考察

図3は炭素含有量(以下、炭素量と略す)及びオーステナイト化温度を変化させた時の引張強さを示す。焼戻しの場合、高温処理(OQTH)では、0.9wt.%Cまで



Tension test piece (JIS Z 2201 No.14A)



Impact test piece (JIS Z 2202 No.3)

図1 試験片形状

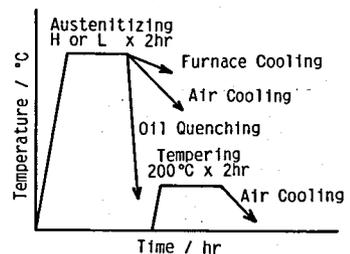
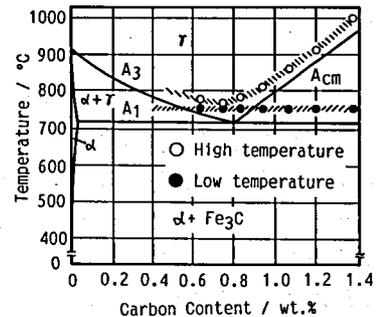


図2 熱処理

は約1500MPa程度で高強度であったが、これを越えると急激に低下した。この原因は、オーステナイト化温度の上昇に伴う、結晶粒の粗大化と残留オーステナイトの増加によるものと推定される。低温処理(OQTL)では全体的に高強度であり、また炭素量が共析組成を越えるとはほぼ一定となった。これらの結果から、より高い引張強さを得るには、亜共析組成では高温処理、過共析組成では低温処理、つまり A_3 線と A_1 線に沿うオーステナイト化温度で熱処理するのが適切であることがわかった。空冷及び炉冷の場合、いずれも高温処理(NORH, ANNH)した試料は低温処理(NORL, ANNL)より高強度であり、また炭素量の増加に伴って引張強さは増し、約1.10wt.%C付近で最高値を示し、さらに低温処理ではいずれも共析組成を越えると一定となった。

図4は炭素量及びオーステナイト化温度を変化させた時のオフセット法⁽⁴⁾による0.2%耐力を示す。焼戻しにおいて、高温処理、低温処理のいずれも共析組成付近で最高値を示した後、低温処理では緩やかに低下するのに対し、高温処理ではやや急に低下した。高温処理での急激な低下の原因は、引張強さの場合と同様であると考えられる。さらに焼戻しの0.2%耐力は、空冷及び炉冷の約2倍の値を示したが、これは弾性限が高いためであると考えられる。空冷において、低温処理では約400MPaではほぼ一定であり、高温処理ではこれをやや上回った。炉冷においては、高温処理、低温処理ともほぼ同じ値を示し、約300~350MPaではほぼ一定であった。

図5は炭素量及びオーステナイト化温度を変化させた時の破断強度を示す。焼戻しの場合、高温処理では0.90wt.%Cまでは高強度であったが、これより炭素量が増すと急激に低下した。この原因も、引張強さの場合と同様に結晶粒の粗大化と残留オーステナイトの増加によるものと推定される。低温処理では炭素量の増加とともに急激に上昇し、0.90wt.%Cで高温処理とほぼ同じ値となり、その後緩やかに低下した。空冷及び炉冷の場合、いずれも高温処理したほうが低温処理より高強度であり、炭素量の増加とともに増し、空冷、炉冷ともほぼ1.10wt.%C付近で最高値を示した。また低温処理ではいずれも炭素量の増加による変化は少なかった。

図6は炭素量及びオーステナイト化温度を変化させた時の真破断強度を示す。焼戻しにおいて、高温処理では0.90wt.%Cまでは高強度であったが、これより炭素量が増すと、急

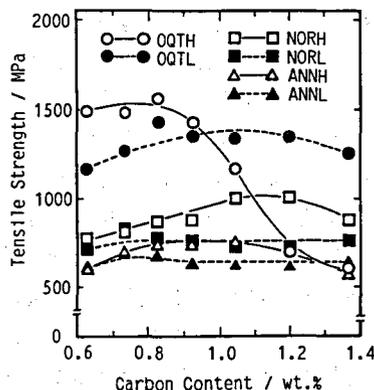


図3 引張強さ

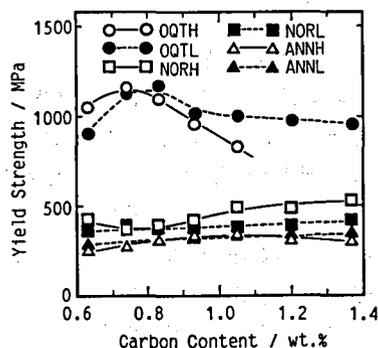


図4 耐力

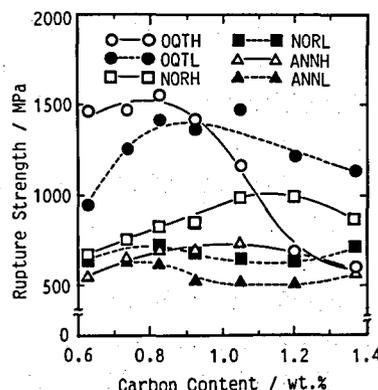


図5 破断強度

激に低下した。低温処理では、炭素量の増加による変化は少なく、約1500MPa前後ではほぼ一定であったが、これは共析組成付近で、絞りが極小となったためである。しかし、高温処理では全体的に絞りが少ないため、破断強度とはほぼ同様の傾向を示した。空冷の場合は、高温処理、低温処理ともに炭素量の変化及びオーステナイト化温度の影響は小さく、いずれも約1000MPa前後であった。炉冷において、真破断強度は高温処理、低温処理のいずれも炭素量の増加に伴って、一旦上昇するものの、過共析組成になると低下した。また炭素量の増加に伴い、高温処理と低温処理の真破断強度の差は拡大した。さらに低温処理したものの真破断強度は、高温処理の場合を上回った。

図7は炭素量及びオーステナイト化温度を変化させた時の静的引張法によるヤング率を示す。焼戻しでは、高温処理、低温処理ともに炭素量の増加に伴い、ヤング率は上昇したが、1.20wt. %Cを越えると高温処理では低下し、また低温処理ではほぼ一定となった。空冷ではいずれの処理でも、ほぼ一定であり、焼戻しと同様低温処理のほうが高温処理より大きい値を示した。炉冷において、高温処理では炭素量の増加に伴い、直線的にわずかに減少したが、低温処理の場合は共析組成付近で最高値を示した。機械設計において、鋼のヤング率は205.8 GPa (21000kgf・mm⁻²)の値が用いられている。一方、従来ヤング率は炭素量の増加とともに減少し、共析組成付近で最低となり、これを越えるとわずかに増加すること、また焼入れすると焼なましのものより低くなると言われている⁽⁶⁾が、今回得られたデータもこれに近い値であるものの、焼戻しの場合はやや低く、測定法の違いがその原因と考えられる。

図8は炭素量及びオーステナイト化温度を変化させた時の絞りを示す。焼戻しにおいて、高温処理では全体的に小さく、炭素量の増加に伴い緩やかに減少し、また低温処理では炭素量が増すと急激に低下し、共析組成付近で高温処理の場合と同程度の極小値を示し、これより炭素量が増すと急増し、1.20wt. %Cで約30%の極大値を示した。空冷において、高温処理では炭素量の増加に伴い、約42%から単調に減少し、また低温処理では炭素量の増加に伴いやや減少し、共析組成付近で極小値を示した後増加し、1.10wt. %Cで約36.7%の極大値を示した。炉冷において、高温処理では炭素量の増加に伴い、約33%から単調に減少し、また低温処理では共析組成付近で極小値の28%を示すまで炭素量の増加に伴いわずかに減少した後急増し、1.05wt. %Cで約47.0%の極大値を示した。

写真1は炭素工具鋼を各種熱処理した時の代表例として、炉冷した試料の光学顕微鏡組織

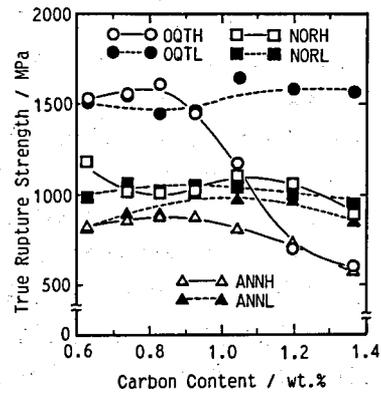


図6 真破断強度

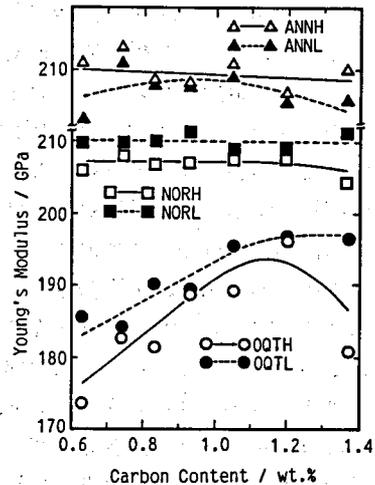


図7 ヤング率

を示し、上段が高温処理、下段は低温処理した組織である。高温処理したものは炭素鋼の標準組織⁽⁶⁾と呼ばれ、亜共析、共析、過共析組織の特徴がよく現れている。また過共析組成では炭素量の増加に伴ってオーステナイト化温度を上昇させたため、組織は粗大化した。さらにSK1では結晶粒内にウィドマンステッテン・セメンタイト⁽⁷⁾が観察されるが、これは結晶粒の粗大化と徐冷中 A_{cm} 線を切る時の冷却速度がやや速く、炭素原子が十分に拡散できなかったためであると考えられる。低温処理において、SK7では高温処理のものより組織はやや細かく、SK5ではパーライト中に球状化したセメンタイトが少量分散している。またSK3では、やや不揃いではあるものの、よく球状化されたセメンタイトが分散した球状パーライト組織となっている。さらにSK1では球状パーライト中に分断された初析セメンタイトが観察された。このように低温処理において、共析組成を越えると組織は球状パーライトとなっているが、これが過共析組成において炭素量の増加とともに絞りが急増する原因であると考えられる。

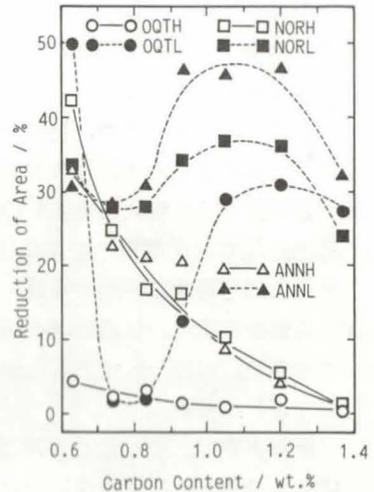


図8 絞 り

4. 総 括

SK1からSK7までの7種類の炭素工具鋼を、各試料毎に2種類のオーステナイト化温度で焼入れ焼戻し、空冷及び炉冷の各種熱処理を施し、引張試験を行ったところ、次のことがわかった。

- (1) 引張強さは、焼入れ焼戻しにおいて高温処理の場合、亜共析組成では高強度であったが、炭素量が共析組成を越えると急減し、また低温処理の場合の最高値は高温処理の場合をや

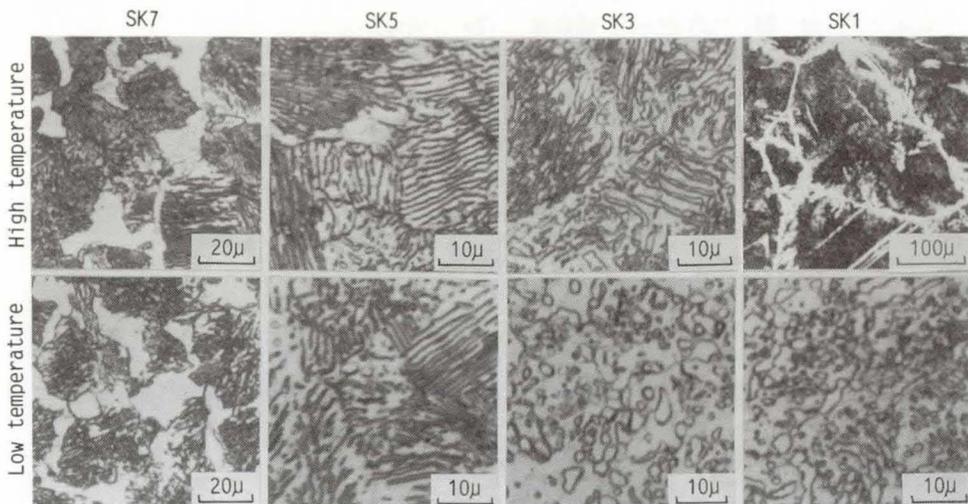


写真1 炉冷の光学顕微鏡組織

や下回ったが、全体的に高強度であった。空冷及び炉冷において高温処理した場合は、炭素量の増加に伴って増加したが、低温処理した場合はいずれも高温処理した場合の最低値でほぼ一定となった。

- (2) 耐力は、炉冷、空冷、焼入れ焼戻しの順に高くなった。また焼入れ焼戻しの耐力は弾性限が上昇するために、空冷及び炉冷の約2～3倍の値を示した。
- (3) 破断強度は、焼入れ焼戻しの場合は高温・低温処理ともに大きく変化した。また空冷の高温処理では炭素量の増加に伴って増加し、1.10wt. %C付近で最高値を示したが、空冷の低温処理及び炉冷の高温・低温処理の場合はいずれもその変化は小さかった。
- (4) 真破断強度は、低温処理の場合はいずれの熱処理においても、炭素量の増加に伴う変化は小さく、ほぼ一定であったが、高温処理した場合の変化はやや大きく、特に焼入れ焼戻しで著しかった。
- (5) ヤング率は、空冷及び炉冷では205～210GPaでほぼ一定であり、また焼入れ焼戻しの場合は全体的に空冷及び炉冷の値より小さく、高温・低温処理のいずれにおいても、炭素量の増加に伴って増加した。
- (6) 絞りはいずれの熱処理においても、高温処理では炭素量の増加に伴い単調に減少したが、低温処理では共析組成を越えると、急激に増加した。

本研究を進めるに当たり、御指導賜りました本校名誉教授片山修一先生に深く感謝の意を表します。また、卒業研究生として実験に協力していただいた香山義彦君（本田技研）、中村太一君（石川島汎用機械）に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 門間改三：鉄鋼材料学，実教出版，132，148（1979）。
- (2) 森山 実，小林義一：日本産業技術教育学会誌，28，13-21（1986）。
- (3) 堀内富雄，小林義一，森山 実：日本産業技術教育学会誌に投稿中
- (4) JIS G 0202 鉄鋼用語（試験），6（1987）。
- (5) 中沢 一：弾性係数分科会報告書，日本機械学会，16（1968）。
- (6) 荒木 透，他：鋼の熱処理技術，朝倉書店，29（1969）。
- (7) 大和久重雄：JIS 鉄鋼材料入門，大河出版，165（1978）。