

# 焼入工具鋼の靱性に關する研究 (第1報) 炭素工具鋼について

山田 良之助\* 横山 均 次\*

Ryōnosuke Yamada and Kinji Yokoyama: An Investigation on the Toughness of Some Quenched Tool Steels (Part 1) Carbon Steels. Statical bending test, measuring breaking load, deflection and energy absorbed by test piece, was adopted to measure the toughness of some kinds of quenched carbon tool steels. This method of test is sufficiently applicable in distinguishing the effect of quenching temperature and tempering temperature on toughness.

(Received July 13, 1949)

## I. 緒 言

工具鋼は焼入或いは低温焼戻した實際使用状態に於ては十分高い靱度をもつと同時に又靱性に富むことが望ましい。而してその靱性の程度を實驗的に求めるには種々の方法がある。Louerssen & Greene<sup>(1)</sup> 及び市原博士はこの目的のために衝撃振り試験を行った。而して市原博士は種々の工具鋼に關する研究結果について砂谷博士の破損の法則を基として考察を行い、衝撃振り試験は切斷するのに變形を伴い易く従つて少しの粘さでもその區別を與えるによつて、焼入工具鋼のような脆い材料に對する粘さの試験方法として適當であると説明した。しかしながらこれらの研究では極く低温の焼戻状態の工具鋼の靱性の比較は明らかでなく、又焼入のままの状態については實驗がなされていない。

本研究ではこの目的のために静的曲げ試験を行った。これは日本標準規格において鑄鐵の靱性を試験するために静的曲げ試験を行うように規定されているのと同様の理由によるものである。即ち焼入鋼の場合も鑄鐵の場合と同様、静的曲げ試験における撓み或いはそれと略々直線的の關係にあるところの曲げ荷重又は曲げ強さを測定することによつて、その靱性を判斷することが出来る筈であると考える。よつて第1報として種々の工具用炭素鋼について種々の條件で焼入した場合及びそれを比較的低温で焼戻した場合について曲げ試験を行い、實際使用状態の靱脆性を研究した結果を報告する。

## II. 實驗装置方法及び試料

Fig. 1はこの研究で用いた静的曲げ試験装置及び得られる荷重-撓み線圖の説明圖を示す。圖においてAは鋼製の臺であつて、その上に直徑8mm×長さ130mmの棒状試験片をのせ、その全體を10t、アムスラー式萬能試験機の球面座上に置く。又アムスラー試験機に嵌め込んだ別の金具

\* 東京工業大學

- (1) G. V. Luerissen, O. V. Greene, Amer. Soc. Test. Materials, **33** (1933), 313; Trans. Amer. Soc. Steel Treat., **22** (1934), 311; Trans. Amer. Soc. Metals, **23** (1935), 861.
- (2) 市原, 本誌, **2** (1938), 552; **5** (1941)188.
- (3) 砂谷, 東北大學工學報告, (1924), 1.

Bによつて試験片の兩支點より等距離の2點を押して荷重するようにする。又撓み量を測定するには臺Aに固定した板金Cに取付けられたダイヤルゲージD(1/100mm目盛)による。即ちダイヤルゲージのスピンドルに直角に取付けられたレバーEを少しく上に押上げた状態で試験片の中央上側に軽く接して置いた後一定の荷重速度 2.5kg/secをもつて荷重したときの指針の動きを讀みとる。このようにして同一熱處理状態に對して3本或いは2本の試験片について曲げ試験を行った。

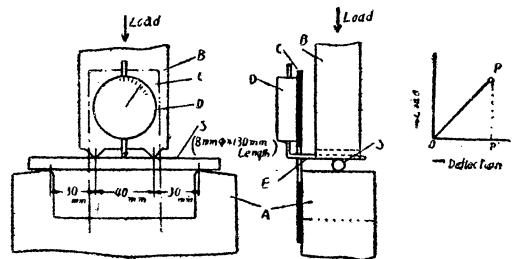


Fig. 1 Schematic Sketch of Apparatus used for Statical Bending Test and Load-Deflection Curve.

かくして得られる荷重-撓み線圖は一般に圖の右に示したようになる。即ち多くの場合荷重は撓み量に略々比例して増加し最大荷重Pに達して破壊が起る。圖の面積OPPをプランニメーターで測定して破壊までに要したエネルギーを求めた。

次にこの實驗に用いた鋼試料は何れも市販のものであつて、その成分及び焼入前の熱處理及び組織状態はTable 1に示す通りである。このように熱處理を行った鋼材から上述の寸法の曲げ試験片を旋削し、焼入或いは焼戻を行った後曲げ試験に供した。焼入には鹽浴爐を用い、全部25°の水に焼入した。

なお本研究では上記の丸棒試験片についてロツクウェルC硬度の測定並びに顯微鏡組織試験を行った。

## III. 實驗結果並びに考察

### (i) 焼入温度及び時間の影響

およそ工具鋼は焼入後適當に低温焼戻した状態で使用するものである。しかしながらその靱脆性を明らかにするた

Table 1

Steel	Composition (%)					Heat Treatment	Structure Prior to Quenching
	C	Si	Mn	P	S		
R	0.70	0.25	0.45	0.035	0.023	830°, fc	Normal Structure
S	0.93	0.20	0.42	0.014	0.017	800°, fc	Ditto
TA	1.18	0.34	0.42	0.013	0.014	950°, ac	Ditto §
TG						930° oc, Reheated 650 ~ 750°, fc	Globular Cementite
UA	1.48	0.21	0.41	0.020	0.011	1030°, ac	Similar to Steel TA
UF						930°, fc(Slowly)	Cementite globulized (Incompletely)

fc: Cooled in Furnace  
ac: " " Asbestos Wool  
oc: " " Oil

§ Proeutectoid Cementite separates in Net Work, but not along Cleavage in Needle.

めには先ず焼入状態の靱脆性から論ずるのは當然である。よつて本研究では先ず Table 1 の各鋼について焼入條件を種々に變えたときの影響について實驗した。

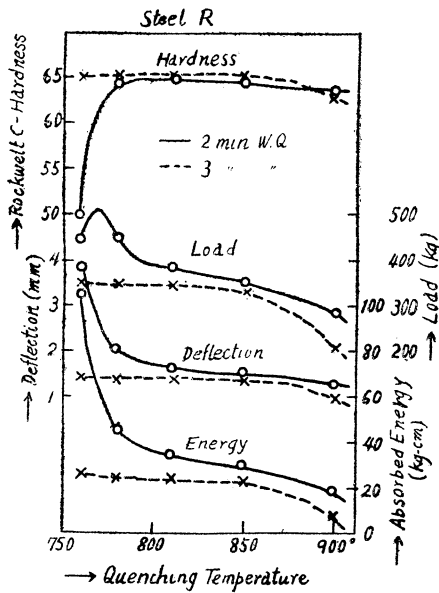


Fig. 2 Relation between Quenching Temperature and Mechanical Properties of Steel R.

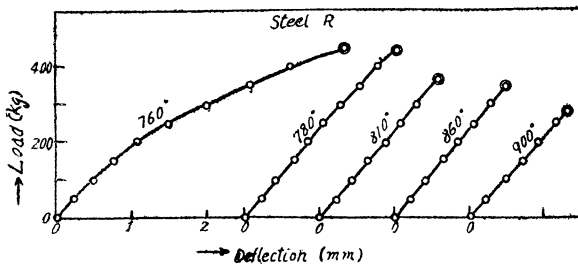


Fig. 3 Load-deflection Curves of Steel R Water-quenched from Indicated Temperatures.

Fig. 2 は鋼材試料 R を種々の温度の鹽浴爐に挿入して、2分或は3分間保持した後直ちに水冷したものゝ硬度及び曲げ試験性質を示す。實線の曲線は2分加熱の場合であり、又點線は3分加熱の場合を示す。又 Fig. 3 はこの場合の荷重-撓み線圖を示す。この結果によれば2分加熱の760°では未だ焼入は十分ではなく、焼入組織の中には多量の地鐵及びパーライトが混合している。従つて硬度及び曲げ荷重は低く Fig. 3 に見るごとく試験片は著しく彎曲した後破壊するために撓み、エネルギーは大きく現われるようになる。更に780°焼入においては尙加熱は十分でなく焼入後は少量の地鐵が混在しているために焼入硬度は未だ十分とは言えない。更に810°焼入となれば組織は微細な一樣なマルテンサイトとなり最高硬度に達し、曲げ試験性質の値はそれに対応して稍々低下する。焼入温度がそれより高くなるときはマルテンサイトの粗大化、オーステナイトの残留のために硬度及び曲げ試験性質値は共に減少を示す。尙こゝで Fig. 3 に見られるように荷重-撓み曲線は一般に焼入温度が高くなるために従つてその傾斜は緩かとなるものであることに對應して撓みの減少は荷重従つてエネルギーの減少の著しいのに対して比較的緩かとなっている。

次に鹽浴爐に保持する時間を3分とした場合には760°でも十分に焼が入るようになり、それより850°邊までは殆んど一定の焼入が出来るが、900°になると漸く過熱の影響が現われてマルテンサイトの粗大化が著しく、硬度及び曲げ試験性質値共に急に減少する。又この種の鋼試片を780°の一定温度に保つた鹽浴爐中に種々の時間保持して水冷したものゝ曲げ試験の結果を示せば Fig. 4 の通りである。この結果によれば一般にこの程度の大さの試験片に對して最もよい焼入を行うためには大體2~3分というところの加熱が最も適當であつて、それより時間が短いと靱性は却つて大となるが硬度は低くなり、それより加熱の時間が長くなると硬度もおちるが靱性もわるくなることがわかる。

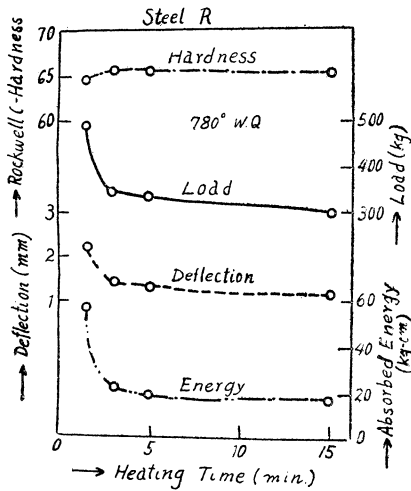


Fig. 4 Relation between Holding Time at Quenching Temperature (780°) and Mechanical Properties of Steel R.

次に鋼材 S, 鋼材 TA, TG, 鋼材 UA, UF について同様に 2 分間加熱して水焼入した場合の結果はそれぞれ Fig 5, 6, 7 に示すようである。変化の傾向は何れも前述の

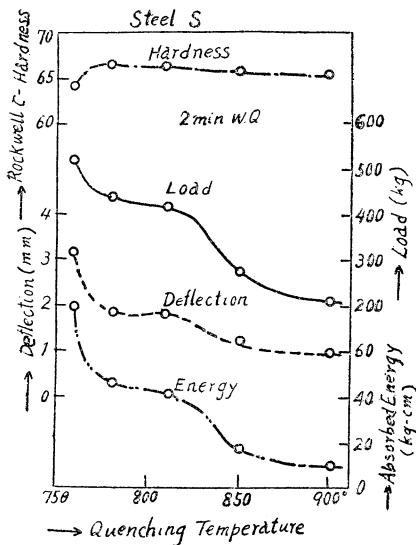


Fig. 5 Relation between Quenching Temperature and Mechanical Properties of Steel S.

Fig. 3 の場合と同様と見做されるものであつて、大體 3 段の変化が起つてゐることが認められる。即ち 760° 邊 (球状炭化物組織もつ鋼材 TG では 780° 邊) の焼入では加熱不十分の範圍であつて、硬度低く、曲げ試験の結果は何れも比較的高い。それ以上 780~810° 又は 850° 邊 (鋼材 TG では 810~850° 邊) は焼入最適温度ともいふべき温度範圍であつて、硬度は十分高くかつ相當高い曲げ試験の結果を示している。それ以上の温度は過熱温度範圍であつて、マルテンサイトの針門組織は粗大となり、硬度は幾分低下し、曲げ試験性質値は急に劣化する。又炭化物の球状

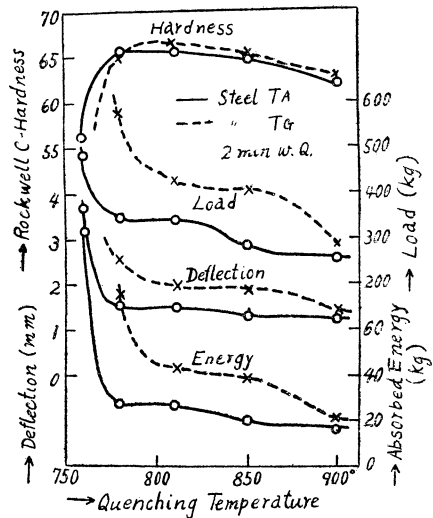


Fig. 6 Relation between Quenching Temperature and Mechanical Properties of Steel T.

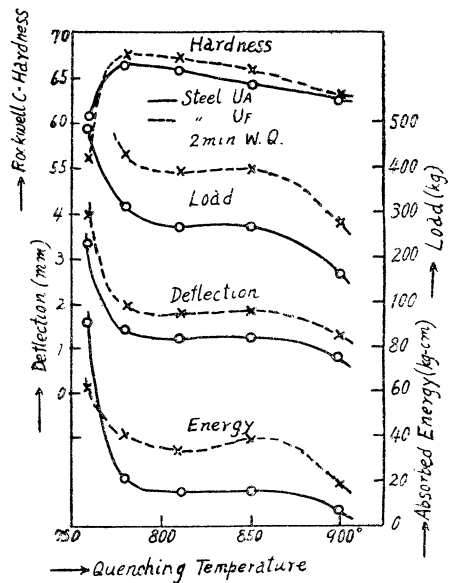


Fig. 7 Relation between Quenching Temperature and Mechanical Properties of Steel U.

化した鋼 TG 或いは炭化物が一部球状化した鋼材 UF ではそれが球状化していない鋼材 TA, UA に比べて焼入硬度及び曲げ試験性質の値は一般に高くなつており且つ相當する焼入温度範圍は高温の方へ移つてゐる。

(ii) 焼入後の常温時効の影響

鋼材 R, S, TG, UA の試験片を 780° 2 分間加熱、水冷した後常温に放置したときの硬度、曲げ試験性質の変化について實驗した結果を示せば Fig. 8 の通りである。焼入鋼は常温時効の間に硬化するものであることは既に知られてゐるが<sup>(1)</sup>、本實驗においても又そのような結果になつて

(1) 横山, 鐵と鋼, 19 (1933) 196

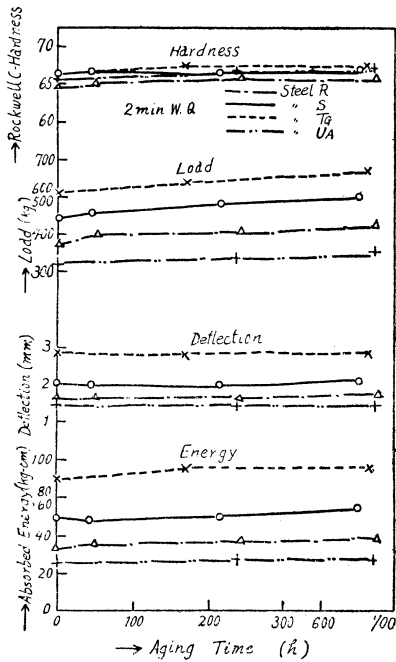


Fig. 8 Change of Mechanical Properties during Aging at Room Temperature.

いる。又曲げ試験の結果を見るに常温時効による硬化に伴つて荷重は増加し、撓みは殆んど變化なく、従つて破壊までの吸収エネルギーは僅かながら増加の傾向を示している。このような焼入鋼の時効による曲げ強さの變化については S. Steinberg 及び W. Subow<sup>(2)</sup> が 0.95% 炭素鋼試料について研究を行つているが、その結果によれば曲げ強さは時効によつては増大を示していることは本実験の結果と一致している。このように焼入鋼は時効によつて硬さが大となるにかかわらず靱性も亦大となることは興味ある事柄であつて特に焼入鋼を工具等に使用する際に實際問題として重要である。

(iii) 焼戻温度及び時間の影響

鋼 R780° 3分水冷, 1, 3, 10 時間焼戻した場合, 鋼 S780° 2分水冷した後同様に 1, 3, 10 時間焼戻した場合, 鋼 TA, TG 780° 2分水冷 1時間焼戻した場合, 鋼 UA, UF 780° 2分水冷 1時間焼戻した各試験片について行つた曲げ及び硬度試験の結果はそれぞれ Fig. 9, 10, 11, 12 に示す通りである。又この場合の荷重-撓み線圖の一例として鋼 S780° 2分水冷 1時間焼戻の場合の結果を示せば Fig. 13 のようである。これらの結果によれば焼戻による曲げ試験性質の變化の傾向は何れの鋼材の場合においても大體同様と見做されるものであつて、100° 邊の極く低温焼戻によつては  $\alpha M \rightarrow \beta M$  に相當して硬度が稍々増大する傾向が明瞭に認められるのに對しては、荷重は少しく増大し、撓みは大して變化はなく、それによつてエネルギーは増加す

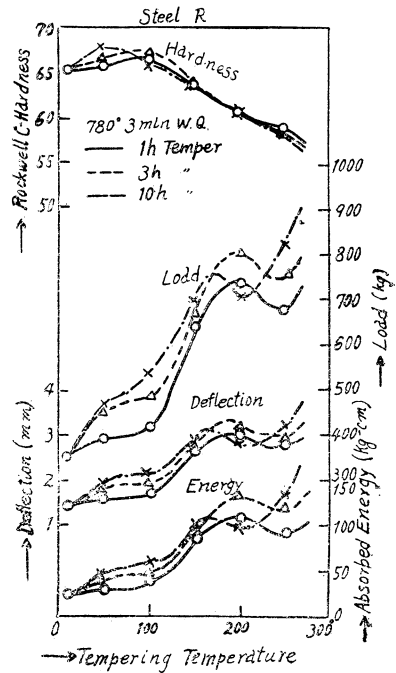


Fig. 9 Effect of Tempering on Mechanical Properties of Steel R.

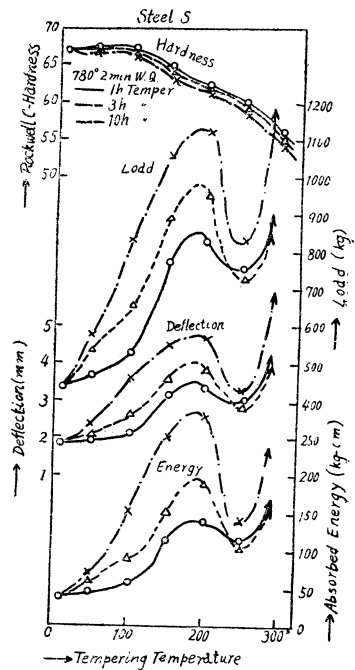


Fig. 10 Effect of Tempering on the Mechanical Properties of Steel S.

る。これは常温時効變化に相當するものであると考えられる。それより焼戻温度が高くなり、200° 邊まではマルテンサイトの焼戻が進行し、内部應力も漸次解消するに從つて硬度は急に低下するのに對しては、又荷重-撓み線圖の

(2) S. Steinberg u. Subow, Stahl u. Eisen, 51(1931), 911.

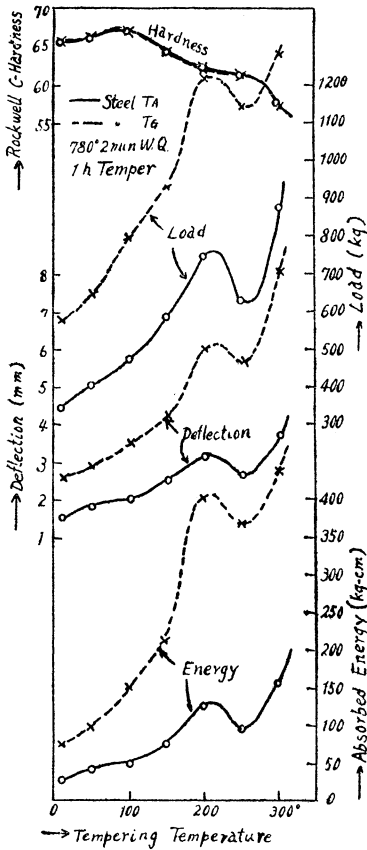


Fig. 11 Effect of Tempering on the Mechanical Properties of Steel T.

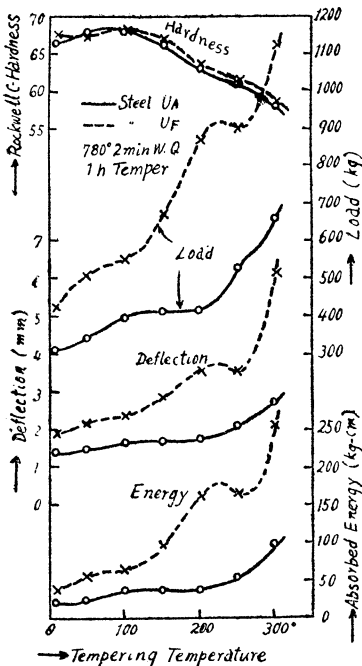


Fig. 12 Effect of Tempering on the Mechanical Properties of Steel U.

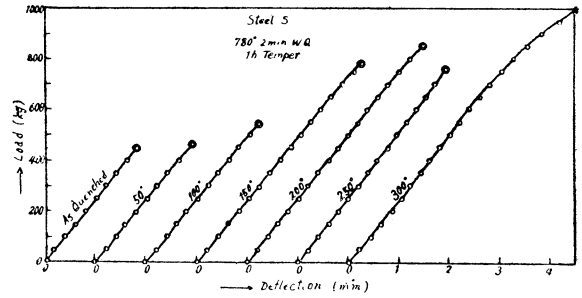


Fig. 13 Load-deflection Curves of Steel S after Tempering at Indicated Temperature.

傾斜は急となりかつ試験片はかなり彎曲して後破壊が起るようになる。250° 附近の焼戻によつては 残留 オーステナイトの分解に相當して軟化は一時緩かになり、それに従つて脆化が起り、曲げ荷重、撓み、エネルギーの曲線上に谷が出来る。又この場合には荷重-撓み 曲線は殆んど眞直に上つたまま破壊が起つている。それ以上の焼戻温度では トルースタイト、ソルバイトの生成が一路進行するために軟化は著しく、靱性は著しく増大し、荷重-撓み 曲線は著しく彎曲し試験片を破壊することは出来なくなる。

尙上掲 Fig. 9, 10 によつて鋼材 R, S の試験片を 1, 3, 10 時間焼戻を行った場合の焼戻時間の影響を見るに、焼戻時間が長くなるに従つて、焼戻の變化は一般に低温の方に移動する傾向が認められる。

こゝで又鋼 TA, TG, 鋼 UA, UF の實驗において特に注目されることは焼入前の熱處理履歴によつて焼入後の靱性が著しく異なることである。即ち Fig. 11, 12 に示すごとく焼入前 Ac<sub>m</sub> 變態附近からアスベスト綿中で冷却して Fe<sub>3</sub>C が網狀に粗大に析出した鋼 TA 及び UA は Fe<sub>3</sub>C を細かく一様に粒狀化した TG 或いは焼鈍して Fe<sub>3</sub>C を略々球狀とした鋼 UF に比べて焼戻後の硬度は略々同等であるに拘らず靱性は著しく劣つてゐることが認められる。一般に工具鋼は焼入前に球狀化 Fe<sub>3</sub>C の組織状態として置くことが普通であるが、本研究の結果からそのような炭化物球狀化處理は焼入、焼戻を行った實際使用状態の靱性の點においても頗る有利であることが知られる。

#### IV. 總 括

(1) 炭素約 0.7, 0.9, 1.2, 1.5% を含む 4 種の工具用炭素鋼の實際使用時の靱性を比較し、その品位を判定する方法を研究する目的をもつて靜的曲げ試験を行い、且つその結果を硬度及び顯微鏡組織試験の結果と對比して考察した。

(2) これらの鋼を焼入する際には硬度及び靱性に關して最適な焼入温度範圍が認められ、かつ硬度及び靱性がそれより劣るところの過熱温度範圍と區別される。

(3) これらの鋼は焼入後の常溫時効によつては硬度は大となると同時に靱性も増加する。

(4) これらの鋼を焼入後焼戻す際には 100° 邊の 焼戻温

度では常溫時効變化に相當して硬度の増大に伴う靱性の増加が起り、それ以上焼戻溫度では軟化に相當する靱性の著しい増大が起るが、250° 邊では一時脆化が認められる。

(5) 球狀炭化物組織の鋼は標準組織の鋼に比べて焼入後及び焼戻後の状態において常にその硬度は略々同等であるにかかわらず靱性は著しく優れている。