

工具鋼 SKD 11 の圧縮特性

田 中 義 勝*

Compressive properties of tool steel SKD 11

Yoshikatu TANAKA

要 旨

工具鋼 SKD 11 の圧縮特性について、試験温度および焼入温度を変化させ、その影響について検討した。温間の圧縮試験においては、圧縮耐力および最大圧縮応力は減少し、塑性変形量は増加する傾向を示した。

焼入温度 1020℃ の場合が、温間における試験においても、室温試験の場合と同様、最大の圧縮強度を示した。

Synopsis

The effect of testing temperature and quench hardening temperature on the compressive properties have been studied for tool steel SKD 11.

The maximum compressive stress and yield stress decreased, and plastic deformation increased at warm temperature test.

Steels quenched from 1020℃ showed highest compressive strength at warm temperature compression test similar to those of room temperature tests.

1. 緒 言

冷間工具鋼の機械的性質に関しては多くの報告がある^{1)~5)}。しかし、それらは殆んど室温における硬さ、曲げ特性等の性質に関するものである。冷間工具鋼は、原則として室温において使用される材料であるから当然のことである。

ところが工具鋼は非常に苛酷な条件下で使用されることが多いために、冷間加工においても、工具は使用中にある程度の温度上昇が起こると云われている⁶⁾⁷⁾。また、近年は変形抵抗の低減、変形能の向上、あるいは機械的性質の改善等の観点から、温間塑性加工についても検討されている^{8)~10)}。この場合には、当然工具材料も温度上昇することになる。従って、工具材料について、室温における機械的性質について考慮しただけでは充分とは云えず、温間における機械的性質についても考慮

する必要があるとの観点から、工具鋼 SKD 11 の温間静的曲げ特性、衝撃値等について検討した結果を報告した¹¹⁾。

工具鋼は実際の使用条件の下では、圧縮荷重を受ける場合が多いので、圧縮特性を知ることが重要である。ところが、圧縮試験は種々の困難を伴うために報告例が少ない¹²⁾。本報は、前報と同じ鋼種について、特殊な圧縮試験装置を製作して、温間および室温で圧縮試験を行ない、室温から 600℃ までの温度について、圧縮強度、変形量等について検討した結果について報告する。

2. 実 験 方 法

実験に使用した試料は、市販の工具鋼 SKD 11 で、 $\phi 28$ mm の圧延棒鋼である。その化学成分を Table 1 に示す。素材を旋盤により、Fig. 1 に示すような形状寸法に切削し、その後上下両端面を正しく平行に、かつ平行部の中心軸に直角になる

* 助教授 機械工学科

Table 1 試料の化学成分 (wt%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
1.40	<0.40	<0.50	11.00	0.80	0.20
-1.60			-13.00	-1.20	-0.50

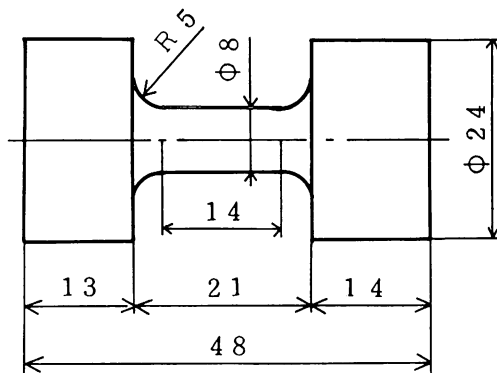


Fig. 1 試験片形状

よう研削加工した。

熱処理は SKD 11 の最も一般的な焼入温度である 1020℃40 分加熱，空冷焼入，200℃焼戻しを行なった。焼入には真空加熱炉を，焼戻しにはオイルバスを使用した。この鋼種の焼入れにおいては，加熱温度および加熱時間によって炭化物の溶解の程度および残留オーステナイト量が異なるので，焼入・焼戻し後の機械的性質も異なる²⁴⁾。そこで，1020℃焼入と比較のために，炭化物の溶解があまり進行しない低温焼入(960℃)と，炭化物の溶解が十分に進行するが，残留オーステナイト量が多くなる高温焼入(1080℃)についても検討した。

圧縮試験は Fig. 2 に示す圧縮試験装置を使用し，油圧式万能試験機により行なった。Fig. 2 の圧縮試験装置は，ラム上部より万能試験機により加圧すると，ガイド部に沿って垂直に試験片を押すことができ，試験片に座屈を生ずることなく，圧縮変形を与えることができるようになっている。変形量は，ラムの移動量を変位計により検出し，X-Y 記録計に荷重と同時に記録される。このように記録された荷重-変形量線図をもとに，0.5%耐力($\sigma_{0.5}$)，最大圧縮真応力(σ_{max})，最大変形量(ϵ)を求めた。また，600℃までの温間での圧縮試験もできるように，抵抗発熱式加熱炉をも備えている。

圧縮は，ひずみ速度 0.1~0.2%/sec で行なった。温間試験においては，圧縮試験装置の加熱炉内を所定の温度に保持しながら試験片を装入し，12 分間加熱の後試験した。装入後 12 分という加

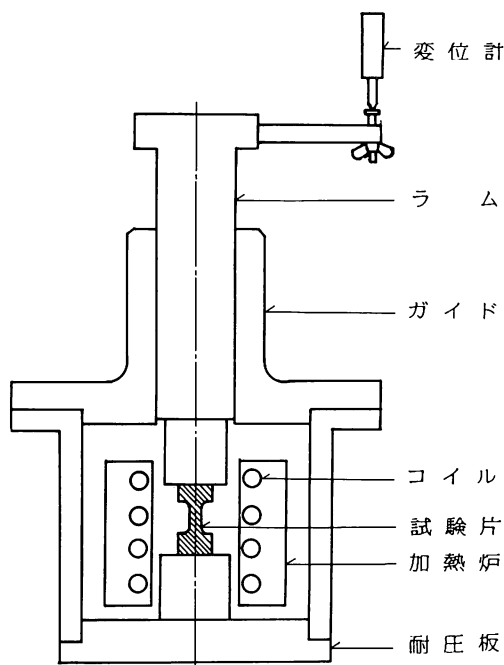


Fig. 2 圧縮試験装置

熱時間は，装入された試験片が炉の設定温度に到達するまでに要する時間である。

室温圧縮試験は，温間圧縮試験と比較するために，それぞれの温度に 12 分間加熱の後，室温に戻してから試験した。

3. 実験結果および考察

3. 1 試験温度と圧縮特性

Fig. 3 は 1020℃焼入材の，温間圧縮試験における荷重-変形量線図を示したものである。他の条件の圧縮試験の場合もこの図とほぼ同様である。

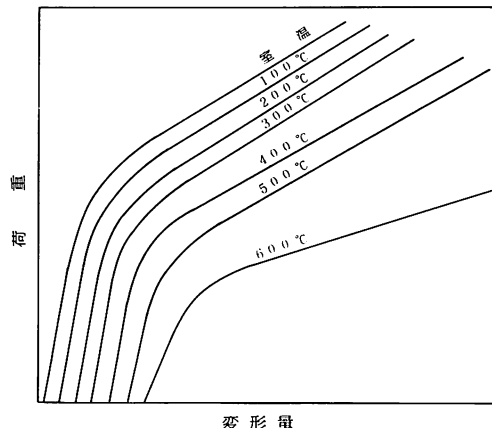


Fig. 3 荷重-変形量線図

塑性変形が始まってからも、荷重は直線的に増加しており、座屈なく変形が進んでいることを示している。試験温度が高くなると耐力は低下し、特に 600℃では著しい低下が見られる。これは後で述べる二次硬化後の急激な軟化のためである。

Fig. 4 は試験温度と 0.5%耐力($\sigma_{0.5}$)、最大圧縮真応力(σ_{max})、ひずみ(ϵ)の関係を示す。また、加熱後室温に戻してから試験した場合の、加熱温度と $\sigma_{0.5}$ 、 σ_{max} 、 ϵ との関係を Fig. 5 に示す。Fig. 4 では試験温度が高くなるにつれて、 $\sigma_{0.5}$ 、 σ_{max} 共に次第に低下している。これは Fig. 6 に示す温間硬さの変化と良く類似しており、二次硬化は認められない。一方、 ϵ は逆に次第に増加している。

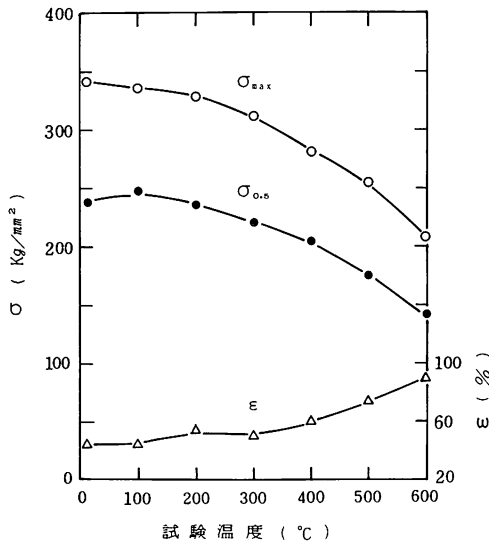


Fig. 4 試験温度と圧縮特性の関係(1020℃焼入)

Fig. 5 では、加熱温度が高くなっても $\sigma_{0.5}$ 、 σ_{max} 共に低下が少なく、特に 500~550℃加熱では、二次硬化が著しく現われて強度が増加している。この様子も、Fig. 6 に示す室温での硬さ試験結果と非常に類似している。室温試験では、温間試験に比べて ϵ の変化も少なく、これにも 500~550℃で二次硬化の影響が現われている。

Fig. 4 と Fig. 5 では、同じ温度に加熱したことにより、組織はほぼ同じものと考えられるが、試験時の温度が異なるため相違が現われ、室温試験では二次硬化が現われるが、400℃以上の温間試験では二次硬化よりも、温度による軟化の方が著しく現われている。このことから、本鋼種では室温試験の結果から温間の圧縮特性を推量することは困難であることがわかる。また、温間では二次硬化が現われないので、300℃以上の温度での加工に

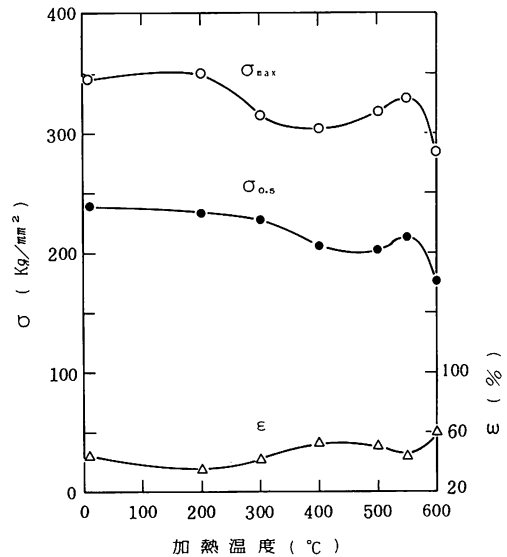


Fig. 5 加熱温度と圧縮特性の関係(1020℃焼入)

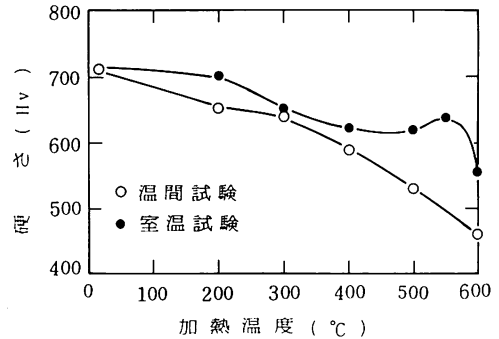


Fig. 6 加熱温度と硬さの関係

工具材料として使用することは不適当であると云える。

Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6 より硬さと $\sigma_{0.5}$ 、 σ_{max} 、 ϵ との関係を示すと Fig. 7 のようになる。Fig. 7 より、 $\sigma_{0.5}$ 、 σ_{max} は温間試験、室温試験の区別なく、また、二次硬化前後の区別もなく、硬さと直線的な関係があり、硬さと共に変化することがわかる。 $\sigma_{0.5}$ と H_v の関係はかなり良い直線性を示しているが、 σ_{max} と H_v の関係は少しバラツキが大きい。これは塑性変形が大きくなるにつれて、僅かながら座屈の傾向が現われる場合があることによると考えられる。

硬さと圧縮応力との関係は、前報¹⁾における静的曲げ試験結果の、硬さと曲げ応力との関係とは異なっている。硬さと曲げ応力との関係では、直線関係とはならず、高硬度側では、硬さが増加しても曲げ応力の増加はない。この相違は、曲げによる破壊は引張応力側から発生するものであり、延

性の乏しい高硬度材料では、引張強度と圧縮強度では異なることを示している。

一方、変形量は硬さの増加につれて減少する。この場合も温間試験、室温試験とも差はない。

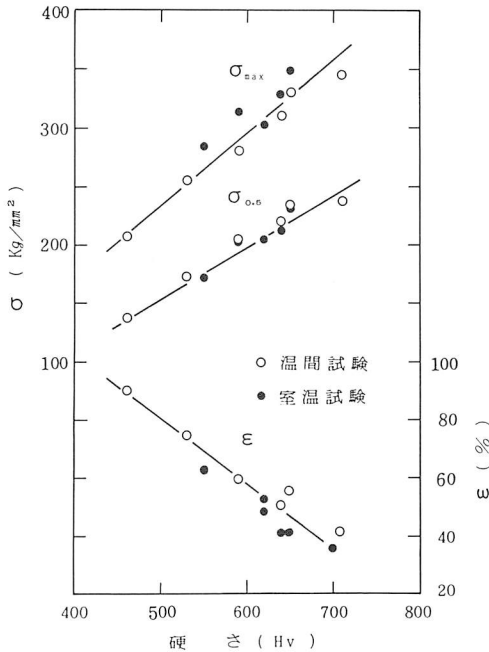


Fig. 7 硬さと圧縮特性の関係

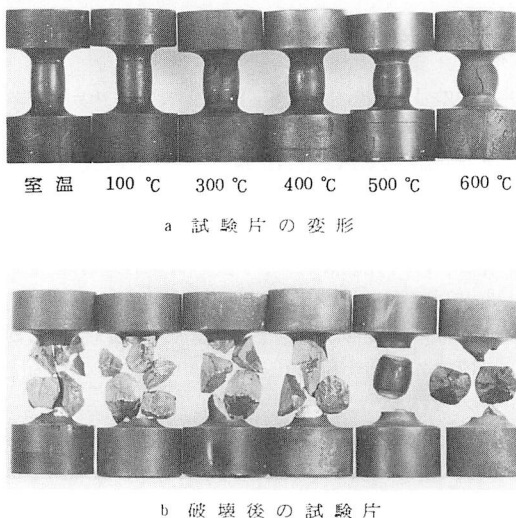


Fig. 8 試験片の変形および破壊の様子

Fig. 8に温間圧縮試験における試験片の変形および破壊の様子を示す。aは破壊開始時の形で、bは破壊後である。圧縮試験は一般的には円柱状の試験片で行なうが、高硬度鋼では、耐圧面積を大きくする必要から、本実験のような形状が用いられることが多い。

試験片の変形・破壊の進行は Fig. 9 に示すように、塑性変形が進行して、平行部のふくらみ変形がある量に達した時、上下の拘束部との接点である R 部に最初に A のようにき裂が発生する。このき裂は軸に対し 45°方向に内部に進行している。その直後に B のように平行部に 45°方向にき裂が発生し、続いて C のように破壊に至るのが一般的な例である。このように R 部の拘束は破壊の発生に密接な関係があることがわかる。このような変形・破壊の様子は、室温圧縮実験においても、また、焼入温度の異なる場合も同様である。

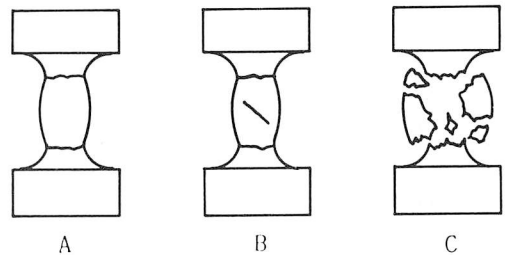


Fig. 9 試験片の破壊の進行の様子

3. 2 焼入温度と圧縮特性

適正な温度で焼入された SKD 11 は焼戻し過程で二次硬化現象が現われる。適正温度は約 1020°C とされている。この温度では焼入加熱時の炭化物のマトリクスへの固溶が充分であり、かつ、残留オーステナイトも少ないので、最も高い焼入硬さが得られ、二次硬化も起る。

これに対し、低温焼入の場合は、焼入加熱時の炭化物の固溶が少ないため、マトリクスの硬さが低いので充分な焼入硬さは得られず、また、二次硬化も僅かしか現われない。

一方、高温焼入の場合は、焼入加熱時の炭化物の固溶は充分であるが、残留オーステナイトが多くなるために充分な焼入硬さは得られない。しかし、炭化物の固溶は多いので二次硬化現象は顕著である。

Fig. 10 は 1020°C 焼入と、低温および高温焼入材の焼戻温度と硬さの関係を示したもので、焼入硬さおよび二次硬化の相違が明瞭である。

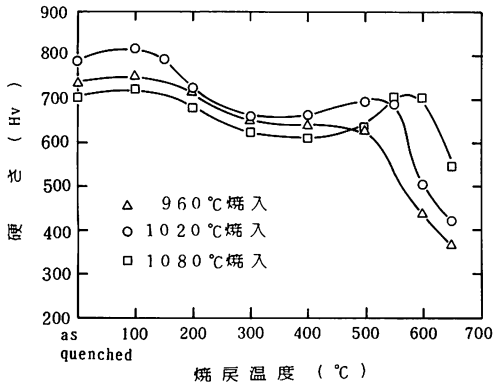


Fig. 10 焼戻し温度と硬さの関係

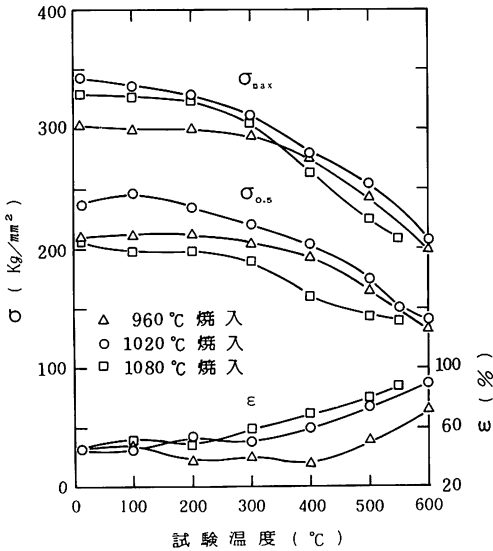


Fig. 11 焼入温度および試験温度と圧縮特性の関係

Fig. 11 は上記 3 種の焼入温度の試験片の温間圧縮試験結果を示したものである。温間圧縮試験では、二次硬化現象は殆んど現れないために、試験温度の上昇につれて $\sigma_{0.5}$ ・ σ_{max} 共に、ほぼ焼入硬さの順のまま低下する。また、 ϵ は試験温度の上昇につれて大きくなるが、炭化物の固溶量の順になっている。

Fig. 12 は加熱後、室温に戻した後の試験結果を示したもので、Fig. 11 とは大きく異なっている。すなわち、焼入加熱時に炭化物の固溶量が多い、1020℃、1080℃焼入材では 500～550℃における二次硬化による圧縮応力の上昇が顕著に現われるが、960℃焼入では二次硬化は僅かしか現れない。 ϵ にも炭化物の固溶量の順に二次硬化の影響が現われている。

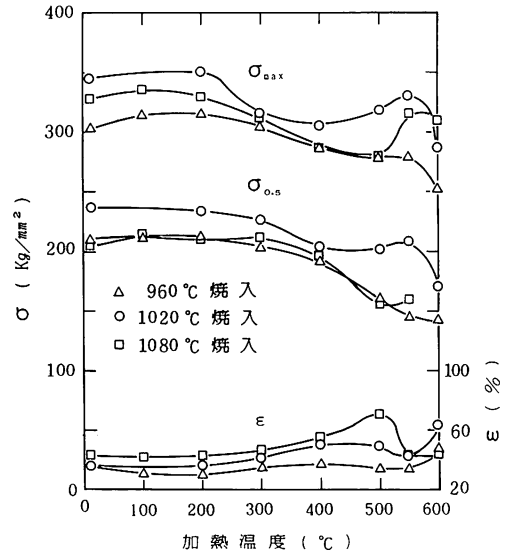


Fig. 12 焼入温度および加熱温度と圧縮特性の関係

4. 結 言

SKD 11 について試験温度および焼入温度と圧縮特性について検討し、次の結果を得た。

(1) 温間圧縮試験においては、試験温度の上昇につれて、圧縮耐力、最大圧縮真応力は低下し、変形量は増加する。このことは、二次硬化の影響が大きく現われる加熱後室温試験の結果とは著しく異なる。

(2) 圧縮耐力、最大圧縮真応力および圧縮ひずみは、温間試験、室温試験の区別なく硬さと共に変化する。

(3) 低温焼入、高温焼入材を比較すると、二次硬化の影響が現われる室温試験では、圧縮特性に大きな差が生ずるが、温間試験では二次硬化の影響が僅かなので、明らかな差は生じない。

本実験を行なうにあたり、実験装置の製作等に御協力頂いた、機械工学科実習工場の諸氏に感謝する。

文 献

- 1) 森本忠興：鉄と鋼，57 (1971) 116
- 2) 杉山道生，山本長邦，鮎谷清司，古沢浩一：鉄と鋼，60 (1974) 85。
- 3) 西村富隆：日特技報，10 (1975) 51。
- 4) 澤繁樹，西村富隆，山内直行：日特技報，

- 10 (1975) 71。
- 5) 岡林邦夫, 富田恵之, 山口俊雄: 鉄と鋼,
63 (1977) 98。
- 6) 田村清, 富田正一: 塑性と加工, 18 (1977) 28。
- 7) 高石和年, 前田順三: 塑性と加工, 21 (1980)
430。
- 8) 益田亮, 大橋宣俊: 塑性と加工, 17 (1976) 738。
- 9) 山木博一: 塑性と加工, 17 (1976) 659。
- 10) 関口秀夫, 小畠耕二, 小坂田宏造, 久保勝司:
塑性と加工, 24 (1983) 873。
- 11) 田中義勝, 岩瀬谷正男: 苫小牧工業高等専門学校紀要, 16 (1981) 19。
- 12) 澤繁樹, 西村富隆, 山内直行: 日特技報,
11 (1976) 20。

(昭和61年11月29日受理)