工具用自硬性鋼熱の處理變形について (第1報)

高炭素高クロム鋼について

横山 均 次* 松倉 恒 夫*

Kinji Yokoyama and Tsuneo Matsukura: On the Deformation in Self-hardening Tool Steels Due to Heat Treatments (1st Report). On the High C High Cr Steel.

The deformation in a self-hardening tool steel containing about 2% of C and 13% of Cr due to heat treatments has been investigated by means of Carl Zeiss universal-measuring-microscope, Leitz dilatometer and Rockwell C-hardness tester. As a result, conditions of heat treatments which give a sufficient hardness for tools with a diminutive amount of deformation were determined, e.g., if the specimens are air-cooled from temperatures between 1050° and 1075° and tempered at 300° to 400°, or air-cooled from 1100° and tempered up to 200°, about 60 in Rockwell C scale with the change in length less than 0.02% is obtained. It was also testified that the change in length in aging at room temperature for the air-cooled or oil-quenched specimens is, if any, extremely small. Furthermore, by the dilatometric measurement, the relation between the deformation caused on tempering hardened specimens and the transformation of retained austenite, which results in an increase in volume, during cooling from the tempering temperatures, was made clear.

(Received June 24, 1949)

* 東京工業大學精密機械研究所

I. 緒 言

C 約 2%, Cr 約 13% を含む高炭素高クロム鋼は空冷によつて容易に硬化すること, 硬化處理に伴う變形が少くかつ安定であること, 耐磨耗性が大きいこと等の種々の特長を有するが故に冷間引拔タイス, ゲージ等に用いられることは周知であるが, この種の鋼は又一般に精密を要する機械部品あるいは工具類の製作に對しても利用せられるべきものと考えられる. この研究はこの種の鋼の熱處理に伴う變形についての基礎的資料を得ようとする目的を以つてなされたものである.

II. 試料及び實驗方法

この研究に使用した高炭素高クロム鋼の成分は次のようである.

C 2.11% Si 0.34% Mn 0.64% P 0.055% S 0.013%
Ni none Cr 13.23% W none

又その變態點は Table 1 に示す通りである.

Table 1 Transformation Points Determined by Means of Leitz Dilatometer.

Transformation on Heating		Transformation on Cooling				
Begin	End	in Furnace		in Air from		
		Begin	End	950°	1050°	1130°
815°	855°	745°	710°	135°§	95°§	45°§

§ Beginning points of Ar'.

熱處理による變形の測定には直徑 8mm×長さ 100mm の棒状試験片を用い, その中央約 80mm の距離に角度 60°×深さ 0.3mm の切込を入れ, その間の長さの變化をカールツァイス社製萬能測微鏡後鏡 (精度 1.5μ) をもつて測定した. 又ライツ社製光學自記式熱膨脹計の實驗には直徑約 4mm×長さ 50mm の棒状試験片を用い, 加熱・冷却による長さの變化を自記させた. 尚又一邊約 10mm の立方體試験片によつてロックウエルの C 硬度の測定を行つた.

III. 實驗結果

(1) 焼入による硬度及び長さの變化 Fig. 1 は 950~1130° の種々の溫度から油冷あるいは空冷した場合の硬度並に長さの變化を測定した結果である. 圖の長さの變化率の+は焼入前に對して焼入後長さの増大することを示し, -はその減少を示す. この結果によれば焼入溫度が 900° では硬化及び膨脹は未だ比較的少いが焼入溫度がそれより高くなるに従つて硬度及び膨脹は漸次増加し 1000° 附近で最大となりそれより更に溫度が高くなればオーステナイトの殘留することが多くなるために硬度及び膨脹は共に減少し, 1130° の焼入によつては 0.1~0.2% の長さの收縮を示している. 又油冷と空冷との結果を比較すれば, 硬度の最大値は兩者略々同等であるが, 變形量は油冷より空冷の場合の方が一般に少いことが知られる.

(2) 常溫時効による長さの變化 この鋼試料を 900°,

Fig. 1 Hardness and Length Changes in Specimens, Oil-quenched and Air-cooled.

1000°, 1075°, 1130° よりそれぞれ油冷あるいは空冷した後常溫に放置した際の長さの變化を測定すれば Fig. 2 の如くなる. 前述のようにこの鋼は時効變形に對して極めて安定であつて, この結果に於てもその變化は極めて少く, 殆んど測定誤差の範圍内にあることが知られる.

(3) 焼戻による硬度及び長さの變化 まづ

Fig. 2 Length-change in Aging at Room Temperature.

Fig. 3 Hardness Change on Tempering the Specimens Oil-quenched from Indicated Temperature.

この鋼試料を 900~1130° の種々の溫度から油冷あるいは空冷した後 700° 以下の種々の溫度に 2 hr ずつ加熱焼戻し

た際の硬度並に長さの變化を測定した結果を Fig. 3~6 に示す。こゝで Fig. 5, 6 は焼入前に對する焼戻後の長さの變化の百分率を示すものである。この結果によれば何れの焼入試料においても 100° 邊の焼戻によつて幾分硬度の増加及び長さの縮小が起つてゐるが、その程度は油冷試料よりも空冷試料の方が幾分少いことが知られる。但し焼入によつて殆んど完全にオーステナイのまゝ常溫まで過冷せられてゐる 1130° 試料ではこの溫度では何等の變化も認められない。それより更に焼戻溫度が昇るに従つて硬度及び長さの變化率は共に 幾分減少を示すが、 $400\sim 500^{\circ}$ 邊に

Fig. 4 Hardness Change on Tempering the Specimens Air-cooled from Indicated Temperature.

Fig. 5 Length-change on Tempering the Specimens Oil-quenched from Indicated Temperature.

においては二次的の硬化並に膨脹が起り且その變化は焼入溫度が高いものほど顯著であることが知られる。

以上によりこの鋼試料では $1050\sim 1075^{\circ}$ 空冷、約 $300\sim$

400° 焼戻あるいは 1100° 空冷約 200° 以下の焼戻を行う場合にロックウェル C 60 程度の硬度と 0.02% 程度の比較的小い變形量が得られることが知られる。

次に焼戻溫度に保持する時間の影響を調べた。今その結果の一例として 1130° 空冷試料について焼戻保持時間を 30min, 1hr, 2hr. とした場合の測定結果を示すと

Fig. 6 Length-change on Tempering the Specimens Air-cooled from Indicated Temperature.

Fig. 7 の通りである。但しこの圖の 2hr 焼戻の曲線は Fig. 4, 6 中の曲線を再録したものである。この結果から焼戻時間が長くなるに従つて二次的の硬化及び膨脹の開始する焼戻溫度は低溫の方へ移つてゐることが認められる。尚又この結果から硬度高く變形の少い熱處理條件として 500° 2hr, 525° 1hr, 550° 30min 焼戻が指摘せられる。

Fig. 7 Effect of Tempering Time on Hardness and Length-change in Specimens Air-cooled from 1130° .

(4) ライト熱膨脹計による實驗 以上述べたようにこの種の鋼材の熱處理による長さの變化はその條件によつて大いに趣を異にするが、それらの變化は各熱處理の加熱・冷却の途中においてどのように起つたかを觀察するためにライト熱膨脹計によつて膨脹曲線を自記させた。今この種の鋼を γ 状態熱より油冷あるいは空冷したときの膨脹曲線に於ては一般に油冷においてはそのマルテンサイト化に伴う膨脹は前者が急激であるのに對して後者は比較的緩かに起

ることが認められ、かくして結局常温に達したときの膨脹量は前項 Fig. 1 に示されたように空冷試料の方が油冷試料よりも小となる。又この油冷あるいは空冷の際の膨脹曲線から見るときは前項 Fig. 3~6 において正方晶マルテンサイトから立方晶マル

Fig. 8 Dilatation Curves on Tempering the Specimens Air-cooled from Indicated Temperature.

常に150~200° 附近と400~450°附近の2段に現われるが、1100° あるいは1150° 空冷のものでは残留オーステナイトが多量となるために550°附近までは殆んど γ 鐵の膨脹係數に相當する直線に従つて膨脹が起り、550~600° 附近では僅かながら收縮が起るのが認められ、更に焼戻温度の上昇によつては $\gamma \rightarrow \alpha$ 状態の變化に相當する膨脹が起り、700°より冷却するときは α 状態の膨脹係數に従つて收縮して常温に至り、焼鈍状態の長さに戻る。

次にここで注意せられることは前項の焼戻による硬度及び長さの變化の測定においては

サイトから立方晶マルテンサイトへの變化の起るところの100° 邊の焼戻による硬度増加及び長さの縮小は空冷試料の方が油冷試料よりも小となつてゐるのは前者の試料は後者の試料よりも Ar' 變態附近の温度で比較的徐冷せられるによるものであると考えられる。次にFig. 8は1000°, 1100°, 1150°より空冷した後700°まで連續加熱して焼戻したときの結果である。圖より明らかなように1000°空冷試料においては炭素鋼などの焼戻の場合と類似した傾向をもち、變化は

Fig. 9 Dilatation Curves Showing the Effect of Tempering on Heating to Several Temperatures.

二次的の硬化及び膨脹は450~550° 邊で起り始めるのに対して、この熱膨脹計による結果は600°以上の温度で膨脹が始まり、而もこの場合假令加熱速度を緩かにしても、それらの温度は決して一致しない。そこで次に焼入、焼戻條件を種々に變えたときの膨脹曲線を求めた。今その一例としてFig. 9は1130°空冷試料を各曲線に附記した温度まで加熱し、その温度に達した後直ちに冷却したときの膨脹曲線を示す。即ち500°, 525°の加熱では冷却曲線上に特に變化は認められないが、550°, 600°, 650°に加熱した場合には冷却曲線上において異狀膨脹が起り、且つその變化の開始温度は焼戻温度が高いほど高温の方へ移動している。更に700°以上の焼戻では加熱曲線上には $A_1(\gamma \rightarrow \alpha + C)$ 變態及び炭化物の析出に相當する膨脹を示すことはFig. 8の通りであるが、冷却曲線上においては何等の變化は起つていない。次に又焼戻時間の影響をしらべた。その一例としてFig. 10は同じく1130°空冷試料を一定温度525°に種々の時間保持した後冷却したときの結果である。圖の曲線に0分とあるのはFig. 9の場合と同様に525°に達した後直ちに冷却した場合であつて、冷却曲線にはやはり變化は現われない。これに對して保持時間を30min, 1hr, 2hrとするときは、その保持時間中に僅かながら收縮或はそれに次いで

の膨脹が起り、それを冷却するときは常温近くで異狀膨脹が起り、その變化の開始温度は又焼戻保持時間の長くなるに従つて高温の方へ移つてゐる。ここで焼戻によつてこのような膨脹曲線を描くことは、その曲線の形から見て、丁度高速度

Fig. 10 Dilatation Curves Showing the Effect of Tempering Time at 525°.

鋼の焼戻の場合と同様に説明せらるべきものと考えられる⁽¹⁾。即ち焼入によつて残留したオーステナイトを焼戻加熱するときは、まず過飽和炭化物の析出が起り、それを冷却するときは冷却の途中において二次的に Ar' 變態を起してマルテンサイトに變化し、それによつて膨脹を起す。而して加熱曲線上600°附近の收縮は時効析出に相當する變化と考えられる。又これを更に高温まで加熱を續けるときは $\gamma \rightarrow \alpha + C$ 變態を起すことは前述の通りである。更にこのような焼戻實驗の結果を綜合して、焼戻條件と焼戻冷却の途中において二次的に起る Ar' 變態との關係を圖

(1) M. Cohen, P. K. Koh, Trans. Amer. Soc. Metals, 27 (1939), 1015.

示すれば Fig. 11 のようである。即ち圖中の點線の左側では残留オーステナイトのマルテンサイト化は全然起らず、

Fig. 11 Relation between the Tempering Time and Temperature, from which on Cooling the Ar¹¹ Change Takes Place.

冷却曲線上膨脹は現れないが、この點線より右側の範圍では冷却曲線上に膨脹が現われることを示すものであつて、これは前項 Fig. 7 において焼戻による二次的硬化並びに冷却の際膨脹の現われる焼戻温度は焼戻時間によつて 550~500° の間に變化することよく一致することが知られる。

以上の結果からこの種の鋼の焼戻に際しては残留

IV. 總 括

(1) 高炭素高クロム鋼について種々の熱処理を施した際の長さの變化をカールツァイス測微器微鏡によつて測定し、且つロックウェル C 硬度測定並びにライツ熱膨脹計による實驗結果と對比してそれらの變化の原因について研究した。

(2) この種の鋼を空冷した場合及び油冷した場合の硬度並びに長さの變化を比較すれば硬化の程度は兩者略々同等であるが、その硬化に伴う變形量は一般に空冷の場合の方が油冷の場合より少い。又兩者の硬化後の常溫時効變形は極めて少い。

(3) この種の鋼試験片に 1050~1075° 空冷、300~400° 焼戻、1100° 空冷 200° 以下の焼戻あるいは 1130° 空冷 503° 2hr, 525° 1hr あるいは 550° 30 min 焼戻處理を施すときはロックウェル C 硬度約 60 が得られ且つその際の長さ變化量は約 0.02% 以下である。

(4) この鋼の硬度並びに變形に對しては、焼入並びに焼戻の條件を適當にすることが必要であるが、その際焼戻によるオーステナイトの分解の様相について特に考慮すべきことが指摘せられる。

終りに種々懇切な御教示を賜つた東京工業大學精密機械研究所佐々木重雄所長、山田良之助先生並びに東北大學村上武次郎先生に對し御禮申上げると共に、熱心に實驗に従事された遠藤元一君に深謝する。尙本研究費の一部は服部報公會よりの援助による。