熱処理したCr-Mo鋼の機械的性質に対する 液圧処理の影響について*

金 武 典 夫** 津 村 利 光***
斎 藤 進 六**** 宇佐美 亘**

Norio Kanetake, Toshimitsu Tsumura, Shinroku Saito and Wataru Usami: Effect of the Hydrostatic Pressure Treatment of Mechanical Properties of Heat-treated Cr-Mo Steel. Changes in the mechanical properties of heat-treated steel by hydrostatic pressure have not fully been made clear. In this report, according to the "hydrostatic pressure treatment" in which contraction is first given by hydrostatic pressure and then restored to normal pressure, the hardened Cr-Mo steel, 0.41% C, 0.97% Cr, and 0.28% Mo was tempered at 150°~450°C, and then given a hydrostatic pressure treatment of 2000~6000 kg/cm² to examine the change of mechanical properties of steel. The results obtained are as follows:

(1) The surface hardness of the steel is increased by the hydrostatic pressure treatment, when the hardened steel is tempered at less than approx. 350°C. When tempered at 400°~450°C, however, its effect is not found.

(2) The tension strength of the flat material is affected by the hydrostatic pressure treatment, when tempered at less than 200°C. But, by tempering at 200°~400°C, no effect is observed.

(3) The tension strength of the notched material is more easily affected by the hydrostatic pressure treatment than that of the flat material. When the hardened steel is tempered at less than 200°C, the tension strength increases by the hydrostatic pressure treatment. When tempered at less than 250°C, it increases and decreases. By tempering at 300°~350°C, it decreases slightly. When tempered at 400°C, no effect is observed.

(4) The behavior of the residual strain of the notch flute bottom caused by the hydrostatic pressure treatment has been investigated.

(5) The effect of the hydrostatic pressure treatment upon the Charpy impact value agrees well with the behavior of tension strength of notched material.

(6) Within the limits of 1~20 min, the effect of the hydrostatic pressure treatment time upon the mechanical properties is constant.

(Received July 4, 1968)

I. 緒 言

近来、超高圧下における金属の相転移⁽¹⁾や、鋼の焼入れ

に対する圧力の影響⁽²⁾などについて種々研究されている。

また、液圧(静水圧)を加えた状態での鋼や非鉄合金の引張り、圧縮、ねじりなどの強さの挙動についても明らかにされつつあり、材料が液圧により延性に富むようになるこ

** 株式会社鬼頭製作所(Kito Mfg.Co., Ltd., Kawasaki)

*** 神奈川大学(Kanagawa University, Yokohama)

**** 東京工業大学工業材料研究所(Research Laboratories of Engineering Materials, Tokyo Institute of Technology, Tokyo)

* 1961年4月本会東京大会に一部発表

(1) 広根: 金属学会会報, 2(1963), 683.

(2) たとえば: E. Scheil and W. Normann: Arch. Eisenhütt., 30(1959), 751.

となどが報告されている^{(3)~(5)}。

さらに熱処理しない炭素鋼に液圧を加えた後のその降伏現象の変化についても検討されている⁽⁶⁾。しかしながら、焼入焼もどした鋼に液圧を加え、さらに常圧にもどしたものの機械的性質については、あまり研究されていないようである。このように鋼に全周から、液圧による均一な圧縮力を加えた後は、組織やひずみに変化があり、機械的性質も影響をうけることが考えられる。著者らは、液圧を加えて機械的性質を変えることを前記の液圧下における強さの挙動の場合と区別するために液圧処理と仮称して一連の研究を行なつてきた。

本報では、熱処理する機械部品の材料として、比較的多く使用されている Cr-Mo 鋼 SCM 4 について、焼入れのまま、ないし低温焼もどしをした状態に 2000~6000 kg/cm² の液圧を加えた後のかたさ、引張強さ、衝撃値などの機械的性質の変化や、材料の切欠部に対する液圧処理の影響について報告する。

II. 実 験 方 法

試料は JIS の Cr-Mo 鋼 4 種 SCM 4 で Table 1 に化学成分を示す。この試料を 850°C で焼なまし後試験片に切削

Table 1 Chemical composition of specimens

Kind of steel	Composition (%)						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
SCM 4	0.41	0.29	0.81	0.018	0.007	0.97	0.28

加工した。試験片は Fig.1 のように平滑引張試験片、60°V 形切欠溝付引張試験片ならびにシャルピー衝撃試験片である。これらの試験片は中性塩浴中で 850°C に加熱後十分に攪拌している油中に焼入れした。焼もどしは、150°~450°C に各 60 min 加熱後空冷した。

Fig.2 は液圧装置で、内径 36 mm、深さ 185 mm のピストン・シリンダ方式のものである。圧力は摩擦によるロスが無視できる程度なので (加圧力) / (プランジャ面積) (kg/cm²) で表わした。液体は比較的体積圧縮の少ないグリセリンを用い、試料は液中につるした。試料は熱処理後ただちに室温において 2000~6000 kg/cm² の液圧処理を行なつた。圧力に保持する時間、すなわち、液圧処理時間は、機械的性質に対する液圧処理時間の影響を検討するために 0.5~20 min 保持したもののほかはすべて 1 min とした。液圧を加えた後常圧にもどしてから、かたさ、静的引張り

および衝撃の各試験を行なつた。なお、60°V 形溝付引張試験片については、溝底部に円周方向に巾 1.2 mm 抵抗 60 Ω のストレインゲージをはり、各応力に対する残留ひずみを静的電気抵抗線ひずみ計で測定した。

III. 実 験 結 果

1. かたさに対する液圧処理の影響

Fig.3 は、焼入れのままおよび 150°~450°C に焼もどしてから液圧処理した場合の表面かたさである。焼入れのままや、焼もどし温度が約 350°C 以下では、液圧処理により表面かたさは増加し、たとえば 200°C 焼もどしでは 6000 kg/cm² で H_RC 2.5 の増加がある。しかしながら、400°~450

- (3) P.W.Bridgman: *Large Plastic Flow and Fracture*, McGraw-Hill Book Co., (1952).
- (4) H.Pugh: ASTM Spec.Tech-Publ., No.374 (1964), 368.
- (5) 西原, 田中, 西原(守), 村松: 材料, 13 (1964), 37.
- (6) S.V.Radcliffe: ASTM Spec.Tech.-Pable., No.374 (1964), 141.

℃焼もどしでは、かたさの変化はほとんど認められなくなる。

Fig.3 Influence of hydrostatic pressure treatment on surface hardness

2. 引張強さ, 伸び, 絞りに対する 液圧処理の影響

Fig.4 は、平滑引張試験片を焼入れのままおよび焼もどし後液圧処理した場合の引張強さの挙動をまとめて示したものである。液圧処理により、焼入れのままおよび 150℃～200℃焼もどしでは強さの変化が認められるが、焼もどし

Fig.4 Influence of hydrostatic pressure treatment on tensile strength

温度 250℃ 以上ではほとんど変化はない。

また、Fig.5 は一例として 200℃焼もどしについて、液圧処理したときの引張強さ、伸び、絞りの変化を示したものである。液圧処理を行なうと、引張強さおよび伸び、絞

りともに向上する。

3. 切欠部の引張強さに対する 液圧処理の影響

Fig.6 は、60°V形溝付引張試験片を焼入れおよび焼もどしの後液圧処理した場合の静的引張強さである。ここに

Fig.5 Influence of hydrostatic pressure treatment upon tensile strength, elongation and reduction of area (Tempering temperature: 200°C)

Fig.6 Influence of hydrostatic pressure treatment on tensile strength (Notch groove)

引張強さは、(破壊までに耐える最大荷重)/(切欠溝の原断面積)で表わしたものである。切欠部の引張強さは、焼入れのままと 200℃焼もどしまでは液圧処理で増加し、250℃焼もどしでは増加してつぎに減少、300℃～350℃焼

もどしではわずかに減少, 400°C 焼もどしでは変化は認められない。さらに切欠溝底部のひずみの挙動の一例として

Fig. 7 Stress-Residual strain diagram of circumferential direction at the bottom of notch groove (Tempering temperature: 200°C)

Fig. 8 Stress-Residual strain diagram of circumferential direction at the bottom of notch groove (Tempering temperature: 350°C)

Fig. 7 は 200°C 焼もどし, Fig. 8 は 350°C 焼もどし後液圧処理を行なったものについての切欠溝底部の円周方向の応力-残留ひず線図である。200°C 焼もどしでは, 液圧の高いほど残留ひずみは大きい。これに反して, 350°C 焼もどしでは, Fig. 8 のように残留ひずみは液圧の高いほど少なくなっている。

4. 衝撃値に対する液圧処理の影響

Fig. 9 は, 各焼もどし温度におけるシャルピー衝撃値に

対する液圧処理の影響を示したものである。焼もどし温度約 250°C 以下については液圧を 2000~4000 kg/cm² 加え

Fig. 9 Change of impact value by tempering

た方がシャルピー衝撃値は高くなる。つぎに 300~350°C 焼もどしでは, 液圧処理により衝撃値は低下する。400°C 焼もどしではもはや液圧処理の影響はほとんど受けない,

5. 機械的性質に対する液圧処理時間の影響

以上は, いずれも液圧処理時間は 1 min である。液圧処理において, その処理時間の機械的性質に対する影響としては, 各焼もどし温度で 2000~6000 kg/cm² の液圧処理について検討した。Fig. 10 は結果の一例であるが, 液圧処理

Fig. 10 Influence of hydrostatic pressure treatment time on mechanical properties (Hydrostatic pressure: 4000 kg/cm². Tempering temperature: 200°C)

の影響を受けやすい 200°C 焼もどしの場合で、4000kg/cm² で液圧処理したときの機械的性質に対する液圧処理時間の影響をみたものである。液圧処理時間が 1 min 以上になると機械的性質に対する影響は一定となる。このことは他の焼もどし温度と液圧処理でも同様であつた。

IV. 考 察

液圧処理の特長は、試料の全周から均一な圧縮力を加えることである。焼入焼もどしをした SCM 4 に液圧処理を行なうと、表面かたさ、引張強さ、伸び、絞り、衝撃値などの機械的性質が変化することが明らかとなつた。ただ、液圧処理の機械的性質に対する影響としては、350°C 焼もどし程度までであり、400°~450°C の焼もどしではもはや影響は受けなくなる。

Fig. 4 の平滑材と Fig. 6 の切欠材のそれぞれの引張強さに対する液圧処理の影響をみると、切欠材の方が液圧処理の影響をうけやすい。ここでとくに興味のあることは、Fig. 6 で焼入れのままおよび 200°C 焼もどしまでは液圧処理で引張強さは増加し、300°~350°C 焼もどしでは逆に減少することである。このことは、Fig. 9 の衝撃値に対する液圧処理の影響でもほぼ同様なことがいえる。また、切欠溝底部の残留ひずみの挙動をみると、Fig. 7 の 200°C 焼もどしの場合には、液圧処理により残留ひずみが大きいことは低い応力で降伏するためである。また、Fig. 8 の 350°C 焼もどしでは、液圧処理により逆に高い応力で降伏するようになる。すなわち、200°C 焼もどしでは延性が増し、350°C 焼もどしでは脆化の傾向となり、衝撃値に対する液圧処

理の影響と対応している。Fig. 11 は SCM 4 の焼もどしにおける示差膨張曲線である。この鋼では、焼もどしの第 1 段階は約 70°~200°C で起こり、第 2 段階における残留オーステナイトの分解による膨張はほとんどみとめられず、第 3 段階では著しい収縮が約 250°~400°C にみとめられる。焼もどし後液圧処理を行なうと、焼もどしの第 1 段階では、引張強さ、延性ともに増加の傾向となる。これは、焼もどしによる ϵ 炭化物の析出、および焼入ひずみの減少化による延性の向上、さらにこの状態で液圧処理を行なつたため微細な炭化物の周りでの転位の挙動によることなどの組合わされた結果と思われる。また、焼もどし第 3 段階では、液圧処理により引張強さはあまり変化せず、ただ脆化が進行する。 θ 炭化物とその他の炭化物の析出した状態における液圧の影響が第 1 段階と異なっており、これらについては原因が明確ではない。さらに 400°~450°C 焼もどしでは、炭化物は全面に分布し組織的にも均一化しているため、もはや液圧処理の影響は受けにくくなる。

V. 総 括

熱処理した鋼に液圧を加えた後の機械的性質の変化についてはあまり明らかにされていない。本報では、液圧を加えてから常圧にもどしてその機械的性質を変えることを液圧処理と仮称して、Cr-Mo 鋼 SCM 4 を焼入焼もどし後 2000~6000kg/cm² の液圧処理を行ない、機械的性質の変化について検討し、つぎのような結果を得た。

(1) 表面かたさは、焼入れのままおよび約 350°C 以下の焼もどしでは液圧処理により増加する。400°~450°C 焼もどしではその影響はほとんどみとめられない。

(2) 平滑材の引張強さは、200°C 以下の焼もどしでは液圧処理の影響をうけるが、250°~400°C 焼もどしでは影響はほとんどみとめられない。

(3) 切欠材の引張強さは液圧処理の影響を平滑材よりもうけやすく、焼入れのままおよび 200°C 焼もどしまでは液圧処理により引張強さは増加する。250°C 焼もどしでは増加して減少する。300°~350°C 焼もどしではわずかに減少、400°C 焼もどしでは影響はみとめられない。

(4) 切欠溝底部の残留ひずみは、200°C 焼もどしでは、液圧処理により残留ひずみは増加し、350°C 焼もどしでは逆に減少する。

(5) シェルビー衝撃値に対する液圧処理の影響も切欠材の引張強さの挙動と一致している。

(6) 液圧処理時間の機械的性質に対する影響は 1~20 min の範囲内においては一定であつた。

Fig. 11 Differential dilatation curve