鋼の焼入性の標準化について (第3報) 組織と機械的性質について*

津 谷 和 男**

Kazuo Tsuya: On the Standardization of Hardenability of Steel (3rd Report). On the Structure and the Mechanical Properties of Standardized Cr Mo Steels. The present study was initiated to investigate the microscopic structure and the mechanical properties guaranteed on standardized steels. The principal results are as follows: (1) The range of tempered hardness specified in the present Japanese Industrial Standards is narrower than the range of tempered Jominy hardness of standardized steels. Thus, a new hardenability band which is narrower than that specified by 2σ is proposed, if the present specified hardness is necessary. (2) The Charpy impact values of standardized steels tempered at 630° are greater than the specified value, whether they are full-quenched or slack-quenched. (3) For the persistence of slack-quenched bainitic structure up to about 40 % causes little loss of tempered hardness and ductility. Thus, the impairment of mechanical properties caused by slight slack-quenching appears to be negligible.

(Received May 28, 1958)

I. 緒 言

第1報⁽¹⁾においては、自動車用鋼の代表的な鋼種である Cr Mo 鋼4種について H バンドを作成し、日本における H バンドの作成方法について検討した。これに引続き第2報⁽²⁾においては、鋼の焼入性が如何なる因子によつても著しく影響されるかを調べ、溶鋼の焼入性を目標とするバンド内に入れる方法、すなわち hardenability control について検討した。このようにして定められた H バンドは、従来の統計的な結果にもとずき一定数 (5~7 % 程度) の溶番が棄てられるように硬度限界を設定したもので⁽³⁾、鋼の製造者の立場からのみ考えられたものである。しかしながら H バンドの根本的な考え方は、常に品質の均一な鋼材を熱処理工場へ供給して熱処理作業を多量生産方式で行おうとするもので、鋼材使用者の必要から生れたものである。それ故第1報で報告された H バンドを、鋼の使用の立場から再検討することが望ましい。すなわち第1報に示された成分規格の鋼、あるいは作成された H バンド内の鋼がどのような機械的性質の分布を示すかを知ること、鋼材使用者が鋼種を選定使用する上に必要である。ま

た設計上鋼材に要求される機械的性質から逆に H バンドに許容される硬度限界を定め、使用者の立場から H バンドの改変を要求することも必要である。

本報はこれらの観点から化学成分で規定された鋼と H バンドで規定された鋼が、各々どのような機械的性質の分布を示すかを調べるとともに、これを JIS に定められた機械的性質の範囲と比較し検討する。またこれらの鋼が如何なる組織を有し、その量がどのような分布を示すか、についても併せて検討している。

II. 試料および実験方法

実験に使用した鋼材は第1報の H バンドの作成に用いたもので 300 溶番の Cr Mo 鋼4種である。これらの鋼の化学成分はすべて JIS の規格内に入っており、結晶粒度は 6 以上の細粒鋼である。焼戻ジョミニ硬度の測定は焼入性試験の場合と同様にジョミニ試験片の両面を約 4 mm 研摩して行つた。また衝撃試験片は、使用済のジョミニ試験片から所要の熱処理を行つたのちに削り出した。試験片の寸法などはすべて JIS に準拠している。なお組織の定量は点算法によつて行つた。すなわち非金属介在物の測定用に作られた格子入り 10 倍接眼鏡 (400 交点) を用いて視野数 5 をとつて測定した。

III. 実験 結果

Cr Mo 鋼4種のうちその焼入性が中程度のものをえら

** 金属材料技術研究所兼機械試験所

* 1958 年 4 月本会東京大会に発表

(1) 津谷: 本誌, **22**(1958), 472.

(2) 津谷: 本誌, **22**(1958), 477.

(3) J. W. W. Sullivan: Met. Progr., **64**(1953), Dec. 91.

び、焼入性硬度曲線と組織の関係を調べてみた。えらんだ溶番の焼入性硬度曲線(焼入温度 855°)は Fig.1 に示し

Fig.1 Correlation of hardenability curve and bainite content on Jominy end quenched bar.

たように第1報で報告した2 σ 法のバンドのやゝ上よりに位置している。これに対して焼入性試験片上の組織は図に示されたようにマルテンサイトとベイナイトで、ベイナイトの量は水冷端から離れるに従つて次第に増加している。この図からも明らかなように Cr Mo 鋼4種に現れる不完全焼入組織はベイナイトであり、その多寡がその機械的性質などを支配するものと考えられる。このベイナイトの量は溶番が異れば当然変化するが、その状況を水冷端から 27.5 mm の位置について調べた結果が Fig.2 である。Fig.2 の下の図は 98 溶番の Cr Mo 鋼4種の 27.5 mm の位置におけるジョミニー硬度のヒストグラムを示したもので、この位置における H バンドの上下両限も併せ示されている。次に Fig.2 の上の図は炭素量が等しく (C 0.4%)

Fig.2 Effect of bainite content on hardness at 27.5 mm from the quenched end.

ジョミニー硬度の異なつた 12 溶番の、ジョミニー硬度 (27.5 mm) とベイナイト量の関係を示したもので、ジョミニー硬度はベイナイト量の増加とともに低下している。

これらの図から判るように水冷端より 27.5 mm の位置では、H バンドの上限近くの鋼はほとんどマルテンサイトのみからなり、下限近くの鋼はベイナイトが 100% 近い割合を占めている。

Fig.3 は 50 溶番の CrMo 鋼4種の焼入性試験片を 630° で 1 hr 焼戻した時の各位置におけるジョミニー硬度の頻度分布を示している。なお図中に黒く示された部分は第1報のバンドから外れた溶番の焼戻硬度である。一般に H バンドで規定される構造用合金鋼は相当高い温度で焼戻して使用されるので、実際に鋼材を使用する時に重要な意味をもつ焼戻硬度がどのような分布を示しているかを調べたわけである。図中矢印で示された点は JIS に規定された硬度範囲の上限および下限を表わしており、焼入端より 20 mm 以上はなれると半数以上の溶番が硬度範囲の下限から外れることが判る。また焼入端あるいは 5 mm の位置の硬度も若干の溶番は下限から外れている。これらの結果から、現在溶製されている Cr Mo 鋼4種の焼戻硬度は完全

Fig.3 Frequency diagrams of tempered hardness on Jominy end quenched bars.

焼入後、規格の焼戻温度範囲の中央 (630°) で焼戻しても、相当数が硬度の下限を割ることが明かで、焼戻温度は中央値よりやゝ低めをえらばねばならないことが判る。また不完全焼入の場合に相当数の溶番が規格の硬度範囲を下廻ることも明らかである。このような焼戻硬度の分布は実際の熱処理部品の硬度分布を知る上に有用と思われるので、焼戻硬度のバンドすなわち焼戻 H バンドともいうべきものを作製してみた。Fig.4 はその結果で第1報で報告した H バンドの場合と同様に硬度分布の $\bar{x} \pm 2\sigma$ の点をつないで作成したものである。バンドの巾は焼入端で Rc 8 程度、も

つとも巾の広い所で Rc 12 程度で、H バンドよりやゝ狭くなっている。すなわち焼戻処理により溶番による硬度のばらつきはやゝ小さくなるのが判る。しかしながらその巾は規格に示された硬度範囲よりはかなり広いので、適当な

Fig. 4 Proposed band of tempered Jominy hardness.

焼戻温度を選定しても焼戻の炉温を一定とする限り、規定された硬度から外れるものができて来る。いいかえるなら H バンドを制定して熱処理を流作業化し、焼戻炉の温度を一定にすると、若干の溶番は現行 JIS の硬度範囲から外れることになり、硬度範囲に入れるためには溶番に応じて焼戻温度を変化させる必要がある、ということになる。それ故 H 鋼に対してこのような硬度範囲の指定を行うためには、H バンドの巾を 2σ で截つて作つたものよりさらに狭くすることが必要と思われる。

次に Fig. 5 はこのような焼戻硬度と組織の関係を 27.5 mm の位置について示したもので、下の図にはこの位置における焼戻硬度の頻度分布が示されている。図により明らかのように焼戻硬度はベイナイト量が 40 % をこすと急激に低下し規格の下限からも外れている。

Fig. 5 Effect of bainite content on tempered hardness at 27.5 mm from the quenched end.

一般に鋼を不完全焼入した時にはその衝撃特性が低下することが知られている⁽⁴⁾ので、CrMo 鋼 4 種の衝撃特性が

(4) 例えば H. J. French: J. Metals, 8 (1956), 770.

不完全焼入によつてどの程度劣化するかを調べてみた。

Fig. 6 はその結果である。図中完全焼入として示されたものは、47 溶番の Cr Mo 鋼を 855° から油焼入後 630° に 1 hr 焼戻し、これよりシャルピー試験片を削り出し常温において衝撃試験を行つた結果である。また不完全焼入として示されたものは、49 溶番の Cr Mo 鋼について一端焼入試験を行い、この試験片を 630° で 1 hr 焼戻したのち、切欠部が水冷端から 27.5 mm の位置になるようにシャルピー試験片を削り出し衝撃試験を行つた結果である。それ故不完全焼入の衝撃値は 49 溶番の鋼の 27.5 mm の位置のシャルピー衝撃値を示している。図の如く不完全焼入のものは点が原点近くに分布しており、同一焼戻硬度においては完全焼入のものより低い衝撃値を示している。図中に規格範囲として示された区域は、規格に定められた焼戻硬度と衝撃

Fig. 6 Toughness of full or slack quenched steels.

値を満足する区域であるが、実験を行つた溶番の点はいずれも焼戻硬度の低い側に外れており、衝撃値の下限を下廻っているものはない。これは前述のように 630° という焼戻温度が現在生産されている鋼に対しては高すぎるためと考えられる。焼戻温度を 630° より幾分低くすれば、さらに多くの溶番が規格の焼戻硬度範囲内に入り、しかも規定の衝撃値を満足するものと思われる。結局この鋼種において不完全焼入を行うと、その機械的性質は衝撃値よりも焼戻硬度が規格から外れるが、これは規定された衝撃値が比較的余裕のある値であるためと思われる。

つぎに Fig. 7 はこのような衝撃特性と組織の関係を

Fig. 7 Effect of bainite content on the toughness of Cr Mo steel.

しらべた結果である (図中の点の傍の数字はベイナイト量を示している)。ベイナイト量の異つた 12 溶番の衝撃特性を Fig. 6 に示された完全焼入焼戻のもの

比較すると図示の如くなる。異つた溶番について比較しているため結果はかなりばらついているが、50 % 以上ベイナイト組織が存在すると明らかに衝撃特性が低下し、点が原点側に近づくことが判る。

IV. 総 括

Cr Mo 鋼 4 種の機械的性質の分布と組織について調べた。この鋼種の 50 溶番について焼戻硬度のバンドを、 2σ で截る方法で作成して現行規格の焼戻硬度範囲と比較したところ、焼戻温度は規格に定められた温度範囲の中央値 (630°) では高すぎる事が判つた。またバンドの中は規格の焼戻硬度範囲よりかなり広いので、焼戻温度を適当にえらんでも H 鋼の焼戻硬度をすべて規格の範囲内に入れることは不可能であることが判つた。すなわち現行の焼戻硬度範囲が鋼材使用者の必要とする条件であれば、H バンドは 2σ の方法で得られるものよりさらに狭くする必要のあることが判る。

つぎに CrMo 鋼の衝撃特性について調べてみると、 630° で焼戻したものは完全焼入のものも、ジョミニ試験片の

水冷端から 27.5 mm に相当する不完全焼入をうけたものも、いずれも規格に定められた衝撃値の限界より高い値を示している。そして不完全焼入鋼は焼戻硬度が低いために規格範囲から外れている。また完全焼入のものと不完全焼入のものを同一焼戻硬度で比較すれば、後者は明らかに前者よりも靱性が劣っている。それ故 H 鋼を熱処理する際に、焼戻の炉温を一定にして流作業式に熱処理を行えば、不完全焼入のものは焼戻硬度が低いために規格から外れるが、焼戻温度を低くして規定の焼戻硬度のものにしようとすれば、衝撃値が低くなり靱性の点で規格から外れるのではないかと思われる。

なお Cr Mo 鋼の焼戻硬度および衝撃特性に対するベイナイト量の影響をしらべたところ、ベイナイトが 40~50 % 以上になると焼戻硬度、衝撃特性がともに低下することが判つた。

終りに本実験の試料について御援助頂いた各製鋼会社に謝意を表します。また実験に協力された吉川克業君に深謝します。