

高速度工具鋼の焼入加熱時間と機械的性質の関係*

70568

杉山道生**・山本長邦**・古沢浩一***・田中一英****

Relation between Austenitizing Time and Mechanical Properties of High-Speed Steel

Michio SUGIYAMA, Nagakuni YAMAMOTO,
Kōichi FURUSAWA and Kazuhide TANAKA

Synopsis:

In the earlier paper dealing with the underhardening of high-speed steel of 6-5-4-2 type, the effects of the austenitizing temperature and the holding time at the temperature on the mechanical properties were reported. And then the time was constant, that is, 45 sec.

The present work was undertaken to determine the effects of heating temperatures and times of wider ranges than those of the previous work, e. g. the austenitizing temperatures were 1160°C and 1200°C for press tools and 1240°C for cutting tools, and the immersing times were 10~3000 sec and tempering temperatures were 200~625°C.

The results obtained are as follows:

- (1) If underhardening is employed for press tools (1160°C for quenching and 300°C for tempering), the longer the immersing time the better the bend strength.
- (2) In case of cutting tools, a good abrasive resistant property is obtained when the steel is tempered at 550°C, and a high bend strength is associated with the hardness values of Hv 800~850.
- (3) If better toughness rather than red hardness is required for tools, the tempering temperature should be as high as 600°C. By this tempering the range of bend strength over 400 kg is very wide.
- (4) When quenched hardness are about Hv 800, microstructure is consisted of residual carbides and the mixture of martensite and austenite. And this structure is obtained when immersing time is over 300 sec at 1160°C, 100 sec at 1200°C and 30 sec at 1240°C.
- (5) The higher the temperature and the longer the time of immersing, the larger the austenite grains grow. And particularly, when austenitizing temperature is higher, the effects of immersing time on austenite grain-size are remarkable.
- (6) When the austenitizing temperature is low or immersing time is short, the grain-boundary disappears by the low tempering. But in case of the high temperature and long immersing time, the grain-boundary disappears by the tempering at about 500~525°C.

(Received Aug. 19, 1969)

1. 緒 言

1.1 研究の目的

高速度工具鋼は、特殊炭化物を多く含んでいるため、焼入焼もどし条件によつて炭化物の溶け込み状態が異なり、切削工具や金型の機械的性質に種々の変化をあたえる。著者らは、前回の報告において、高速度工具鋼SKH9の焼入加熱温度、焼もどし加熱温度を大幅に変化させた場合の機械的性質について述べたり、それは冷間鍛造金型として、どのような熱処理条件がすぐれた性質を示すかを知るためである。このさい、焼入加熱保持時間は文献および経験から一応45secに一定した。

今回はこの研究を基礎にして、浸漬時間の影響について10~3000secの間の調査を行なつた。それは金型な

どの熱処理に適用される低温長時間加熱焼入れ、および切削工具類に適用されている高温短時間加熱焼入れが、その機械的性質にあたる影響を調べるためである。

1.2 従来の研究状況

高速度工具鋼の浸漬時間に関する研究は従来あまり行なわれていない。焼入加熱温度と浸漬時間の関係²⁾、あるいは、浸漬時間による残留炭化物量の影響³⁾についての論文は2~3見受けられる。しかしこれらの論文は焼入れについてのみであつて、焼もどし後の性質に関してはふれていない。一方 K. BUNGARDT らは6-5-4-2型の

* 昭和44年5月 東海支部講演会にて発表
昭和44年8月9日受付

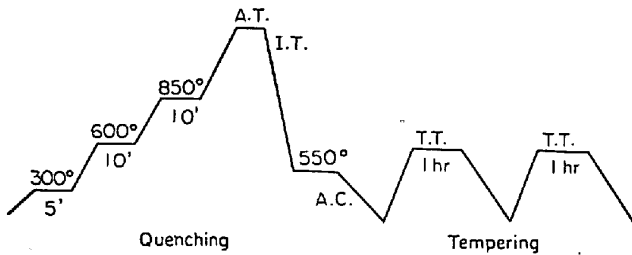
** 大和精工(株)

*** 名古屋工業大学 工博

**** 名古屋工業大学

Table 1. Chemical composition (wt%) of specimens.

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	V	Cu
0.83	0.26	0.27	0.017	0.018	0.10	4.11	6.26	5.51	1.97	0.04



A. T.; Austenitizing temperature (1160, 1200, 1240°C)
 I. T.; Immersing time (10, 30, 100, 300, 1000, 3000 sec.)
 T. T.; Tempering temperature (200, 300, 400, 500, 525, 550, 575, 600, 625°C)

Fig. 1. Program of heat treatment.

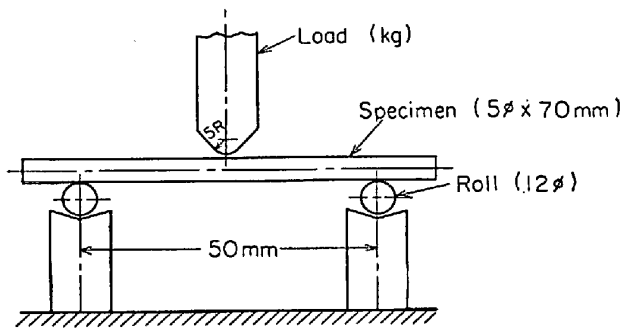


Fig. 2. Bend test and specimen.

高速度工具鋼を用いて、浸漬時間を 60~360 sec に変えて種々の温度から焼入れた後 550°C で焼もどしをした試料の、機械的性質と浸漬時間の関係について、詳しい論文を発表している²⁾。この論文はわれわれにとって非常に参考になる論文ではあるが、金型を処理する場合の資料としては、焼入加熱時間の範囲が狭すぎるという点などで不備である。

2. 試料および実験方法

2-1 試料

試料は 6-5-4-2 型の Mo 系高速度工具鋼 SKH9, 5φ x 70 mm を用いた。Table 1 に化学成分を示す。

2-2 熱処理方法

試料の熱処理プログラムを Fig. 1 に示す。試料は十分に予熱したのち、塩浴炉で焼入加熱温度に加熱し、550°C の恒温塩浴炉中に熟浴焼入れを行なった。焼入加熱温度は、冷間鍛造金型やポンチなどのアンダーハードニング (underhardening) として利用されている 1160, 1200°C および切削工具類に利用されている高温用として 1240°C の 3 種類を選んだ。浸漬時間は低温加熱焼入

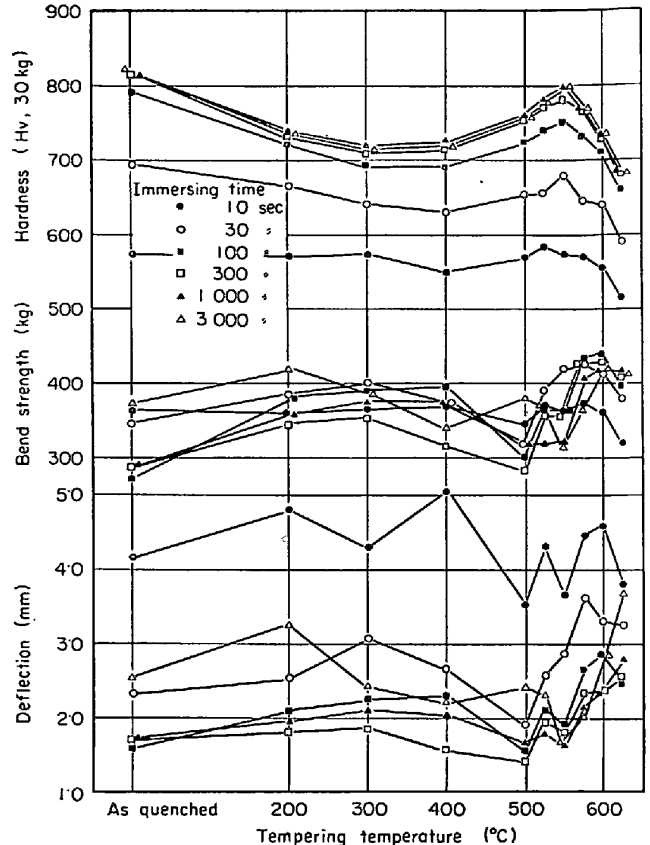


Fig. 3. Mechanical properties of specimens, quenching from austenitizing temperature at 1160°C after immersing indicated time, and tempering.

れにおける長時間の影響および高温加熱焼入れにおける短時間の影響を調べるため 10~3000 sec の広い範囲の時間を用いた。焼もどしは、200~625°C の間を選び、500°C 以上の二次硬化付近の焼もどしは、25°C ごとに行なった。焼もどし回数は 2 回繰り返した。

2-3 試験方法

抗折試験は、インストロン型試験機 (テンシロン) で前回と同様、スパンは 50 mm で中央に一点集中荷重を加えたときの、最大破断荷重および最大たわみ量を測定した。Fig. 2 に抗折試験方法を示す。

硬さ試験は、試験片の切断面中央付近を、ピッカース硬度計で 30 kg 荷重で測定した。

3. 実験結果

3-1 焼もどし特性曲線

Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5 は、焼入れ後焼もどしをした

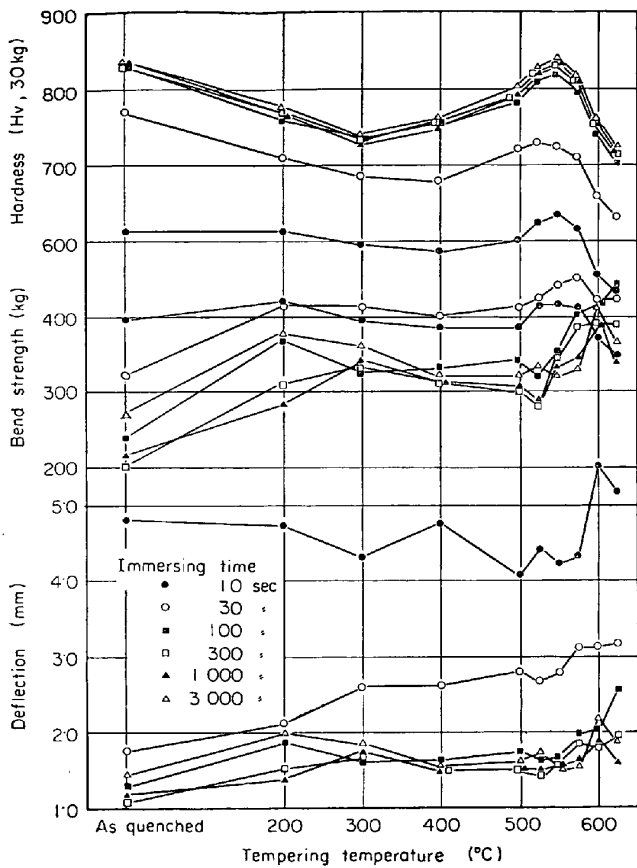


Fig. 4. Mechanical properties of specimens, quenching from austenitizing temperature at 1200°C after immersing indicated time, and tempering.

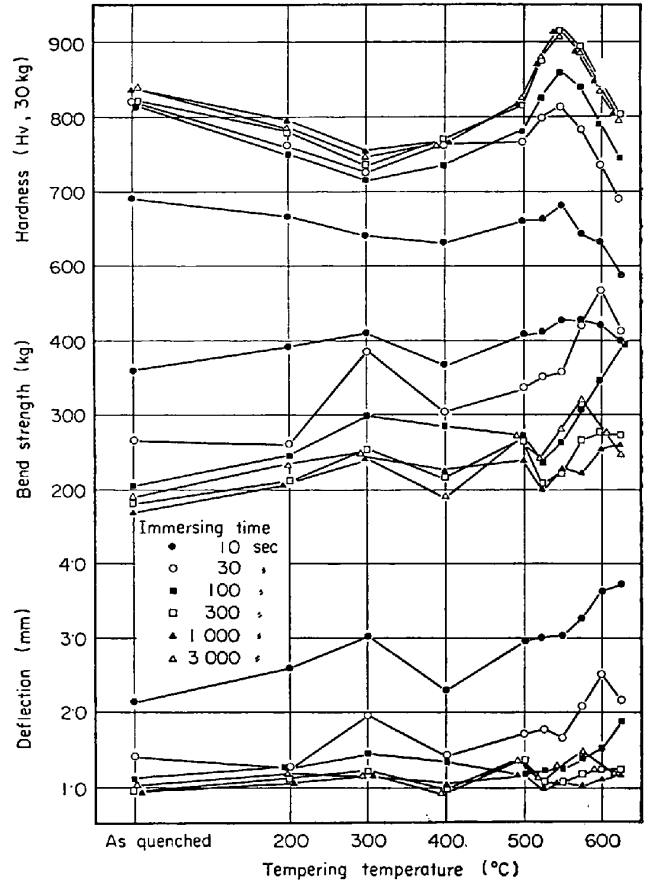


Fig. 5. Mechanical properties of specimens, quenching from austenitizing temperature at 1240°C after immersing indicated time, and tempering.

場合の、硬さ、最大破断荷重およびたわみ量と焼もどし温度の関係を求めたものである。焼入硬さおよび焼もどし硬さをみると、1160°C 焼入れの場合には 300 sec 以上で完全に焼入れされており、100 sec 以下では焼入硬さが低くまた焼もどしによる二次硬化も不十分である。同様に 1200°C 焼入れの場合には 100 sec 以上で、1240°C 焼入れの場合には 30 sec 以上で完全焼入れされている。抗折荷重とたわみ量は、大体同じ傾向を示している。完全焼入れされている場合には、300°C までは抗折荷重、たわみ量ともに上昇し、500~525°C 付近で極小となり、550~600°C になると、再び上昇している。前報の研究では、浸漬時間が 45 sec の短時間であったため、500~525°C における抗折荷重の極小点は明りように現われなかつたが、今回は浸漬時間が長くまた焼入加熱温度が高いため、この極小点が明りように現われている。この結果は、新井・小松らの報告において、抗折荷重⁶⁾、引張強さ⁷⁾、圧縮強さ⁸⁾にも認められ、また沢・西村・伊藤らは、静的および衝撃曲げ応力、静的および衝撃振り応力について調査した結果、500~525°C に極小

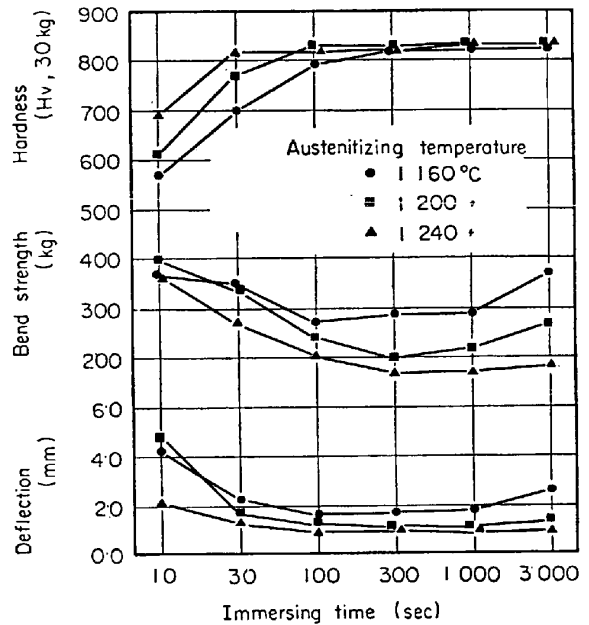


Fig. 6. Effect of immersing time on the deflection, bend strength and hardness of as quenched specimens.

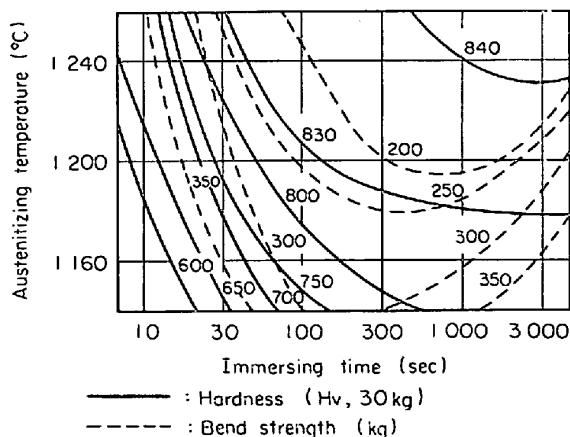


Fig. 7. Effect of austenitizing temperature and immersing time on the hardness and the bend strength curves of as quenched specimens.

点の現われることを報告している⁹⁾。しかし浸漬時間が短くて不完全焼入れの場合には 500~525°C 付近の極小点は、明りようには現われていない。

3.2 焼入れ後の機械的性質におよぼす、浸漬時間の影響

Fig. 6 は、焼入れ後焼もどしをしない場合の、硬さ・抗折荷重およびたわみ量と、浸漬時間の関係を示している。完全焼入れされたものの硬さは、焼入加熱温度、浸漬時間に関係せず一定値 Hv 820~840 である。一方抗折荷重、たわみ量は、300 sec 付近で最低となり、それ以上浸漬時間が長くなると逆に上昇している。その傾向は、焼入加熱温度が低いほど顕著である。Fig. 7 は、焼入れのままで得られる等硬度—等抗折荷重の関係を、焼入加熱温度と浸漬時間について求めたものである。完全焼入領域は、Hv 800 の曲線より右側である。

3.3 低温焼もどし後の機械的性質におよぼす浸漬時間の影響

低温加熱焼入れしたものを 300°C 付近で焼もどすと、衝撃値が非常に高くなるので、一般にアンダーハードニング処理として、金型などの焼入・焼もどしに应用されている¹⁰⁾¹¹⁾。このような点を考慮して、300°C 焼もどしにおける機械的性質におよぼす浸漬時間の影響を調べた。Fig. 8 は 300°C 焼もどしの機械的性質におよぼす焼入条件の影響を示している。完全に焼入れされたものは、300°C で焼もどすと、硬さは Hv 700~750 で焼入加熱温度および浸漬時間の影響はあまり顕著に認められないが、抗折荷重は 1160°C および 1200°C 焼入れのものが 350~400 kg で、焼入れしたままのものより著しく上昇している。特に浸漬時間が 100~1000 sec のものにこの傾向が著しい。Fig. 9 は焼入れ後 300°C で焼もどした場合の、等硬度—等抗折荷重の関係を、焼入加熱

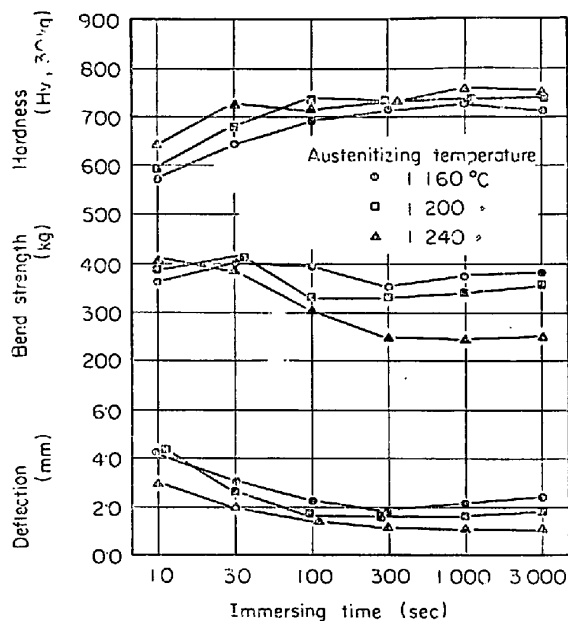


Fig. 8. Effect of immersing time on the deflection, bend strength and hardness of quenched and 300°C tempered specimens.

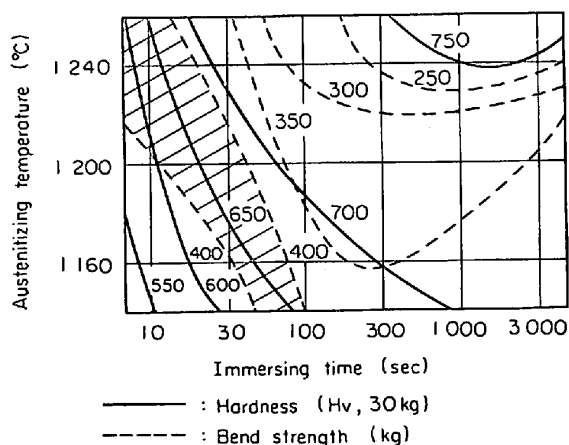


Fig. 9. Effect of austenitizing temperature and immersing time on the hardness and the bend strength curves of quenched and 300°C tempered specimens.

温度と浸漬時間について求めたものである。浸漬時間が短いところには、抗折荷重が 400 kg をこえる部分もあるが、硬さは Hv 650 付近で金型の熱処理には好ましくない。硬さが Hv 700 以上で、抗折荷重が 350 kg 以上の範囲は、高温短時間加熱と低温長時間加熱の部分に認められる。複雑な形状をした金型を熱処理する場合には、低温長時間加熱した後、焼入れし、低温焼もどしをするとよい結果が得られることを示している。

3.4 二次硬化焼もどし後の機械的性質におよぼす浸漬時間の影響

焼もどし硬さは、焼入れ後 400°C 付近までは徐々に

減少しているが、400°C 以上になると急速に増加し、550°C で最高硬さになる。この最高硬さになったときの焼もどし温度は、焼入加熱温度および浸漬時間の影響は受けず一定温度 (550°C) であった。Fig. 10 は、550°C で焼もどしをしたものの機械的性質におよぼす焼入条件の影響を示している。1160° および 1200°C 焼入れのものは、浸漬時間が増すと硬さは徐々に増加し、抗折荷重は減少している。一方 1240°C 焼入れのものは、300 sec で硬さが最大になり抗折荷重が最低になる。浸漬時間が 300 sec 以上になると硬さは減少し抗折荷重は増加している。Fig. 11 は、焼入れ後 550°C で焼もどした

場合の、等硬度—等抗折荷重の関係を、焼入加熱温度と浸漬時間について求めたものである。一般的に言うならば、切削工具類のように耐摩耗性を必要とするものは、550°C 焼もどしで二次硬さが最も高くなるようにするのが好ましいが、硬さと抗折荷重の相互関係を見ると、硬さ Hv 800 以上、抗折荷重 300 kg 以上の範囲で焼入加熱温度、浸漬時間を選定すると、すぐれた結果が得られる。

3.5 高温焼もどし後の機械的性質におよぼす浸漬時間の影響

550°C 以上で焼もどしをすると、硬さは低下するが、抗折荷重は 600°C 付近で最大値を示す。Fig. 12 は

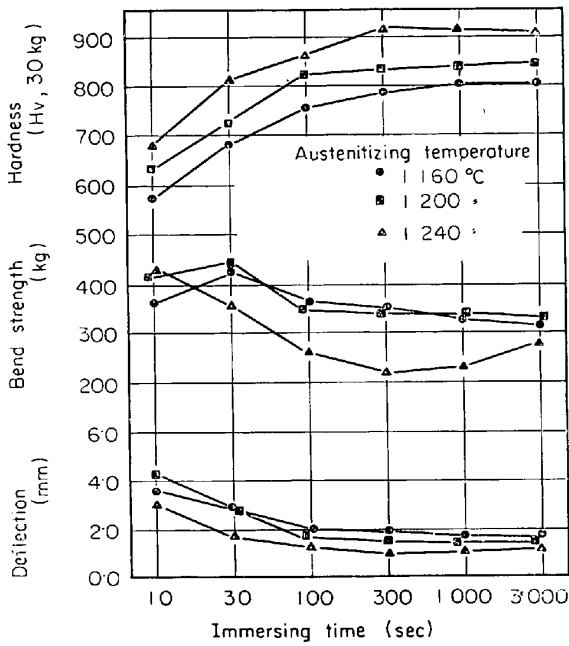


Fig. 10. Effect of immersing time on the deflection, bend strength and hardness of quenched and 550°C tempered specimens.

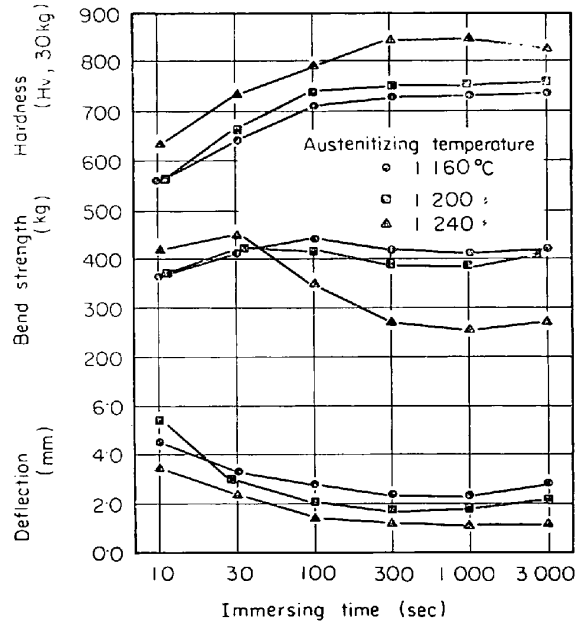


Fig. 12. Effect of immersing time on the deflection, bend strength and hardness of quenched and 600°C tempered specimens.

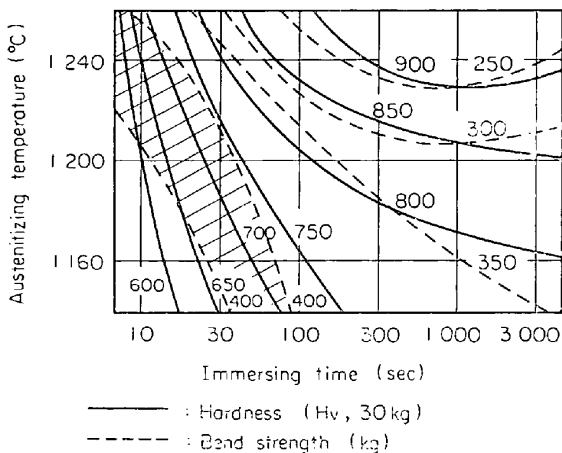


Fig. 11. Effect of austenitizing temperature and immersing time on the hardness and the bend strength curves of quenched and 550°C tempered specimens.

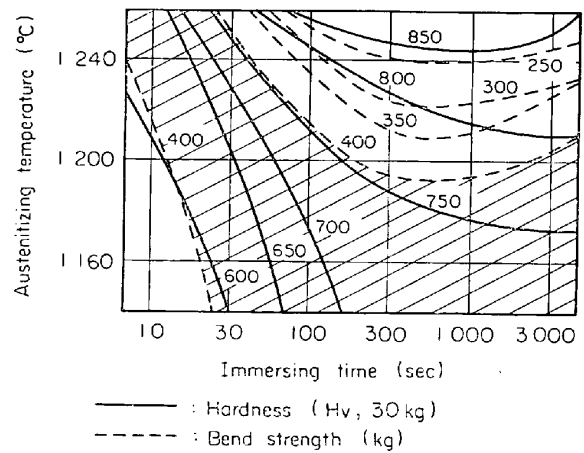


Fig. 13. Effect of austenitizing temperature and immersing time on the hardness and the bend strength curves of quenched and 600°C tempered specimens.

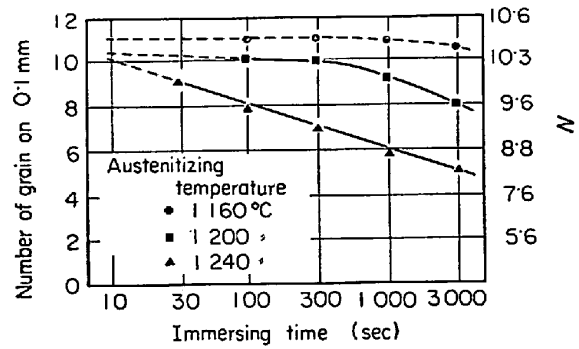
600°C で焼もどしをしたものの機械的性質におよぼす焼入条件の影響を示している。また Fig. 13 は焼入れ後 600°C で焼もどした場合の、等硬度一等抗折荷重の関係を、焼入加熱温度と浸漬時間について求めたものである。全実験試料で抗折荷重が最も高い値を示したのは 1 240°C, 30 sec 加熱後焼入れし、600°C で焼もどしをしたものである。しかし測定値のバラツキが大きく、実際に応用するためにはさらに詳しく調査する必要がある。

4. 考 察

以上の機械的性質におよぼす焼入加熱温度、浸漬時間および焼もどし温度の影響を、顕微鏡組織との関連性について考察した。Photo. 1 は焼入組織におよぼす、焼入加熱温度と浸漬時間の影響を示したものである。不完全焼入れの領域は、1 160°C の場合 10~100 sec, 1 200°C の場合 10~30 sec, 1 240°C の場合 10 sec のものが相当している。この領域は、焼入れしたままの硬さが Hv 800 以下の領域 (Fig. 7) と一致している。この領域は浸漬時間が短いため炭化物が十分に固溶できず、焼なまし状態の組織が残っている。完全焼入れの領域は、1 160°C → 300 sec 以上, 1 200°C → 100 sec 以上, 1 240°C → 30 sec 以上のものである。この領域の組織はマルテンサイト+残留オーステナイト+炭化物よりなっている。炭化物の溶け込み量は、焼入加熱温度が高いほど、浸漬時間が長いほど多くなっている。結晶粒は、1 160°C の場合にはわずかに現われはじめているが、1 200°C になると 100 sec 以上で明りように現われている。また浸漬時間が長くなると、結晶粒が若干成長している。1 240°C の場合には 30 sec 以上で粒界が現われ、浸漬時間が長くなると、著しく成長し粗大化している。Fig. 14 は、この傾向をグラフに表わしたものである。1 160°C のものは推定値を点線で示した。1 160°C では結晶粒の成長はほとんどないが 1 200°C では 300 sec 以上で成長している。1 240°C では 30 sec 以上で対数時間に対して直線的に成長している。この実験に用いた試料の場合には、

$$Z = -2 \log T + 12 \dots\dots\dots (1)$$

Fig. 6 の焼入状態における機械的性質と組織との間には抗折荷重の影響が最も敏感にあらわれている。この抗折荷重は、炭化物の溶け込みと残留オーステナイト(γ_R)の増加によつて上昇し結晶粒の成長によつて減少する。浸漬時間が短いところでは、焼なまし状態のソルバイトの溶け込みが進むに従つて、抗折荷重、たわみ量は減少



n : number of grain in 1 mmsq.
 $n = 2^{N-2}$ (JIS G 0551) N : grain size number

Fig. 14. Effect of immersing time on austenite grain size for specimens quenched from indicated austenitizing temperature.

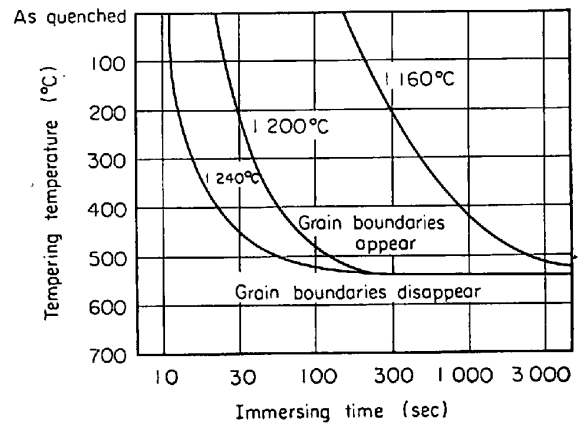


Fig. 15. Effect of grain boundary appear-disappear curves on austenitizing temperature, immersing time and tempering temperature. Etching solution, 10% nitric acid alcohol.

していく。浸漬時間が長くなると、1 160°C の場合には一次炭化物の溶け込みと γ_R の増加に伴つて抗折荷重、たわみ量が上昇するが、1 200°C の場合には結晶粒の成長がおこっているため上昇の程度が少ない。1 240°C の場合には、炭化物の溶け込み、 γ_R 量の増加があるにもかかわらず結晶粒の成長が著しいため、抗折荷重、たわみ量の増加は認められない。

焼入組織に認められる結晶粒界は、焼もどし温度が高くなるに従つて消失する。これは焼もどしが進行すると針状マルテンサイトと炭化物の析出によつてエッチングされやすくなるためである。Fig. 15 は、10% ナイタルでエッチングした場合、粒界が消失する焼もどし温度と、焼入加熱温度、浸漬時間の関係を求めたものである。焼入加熱温度が低い場合、あるいは浸漬時間が短い場合には低温焼もどしでも粒界は消失するが、一般には 500~525°C で消失している。これは抗折荷重、たわみ量の急激な減少を生ずる温度と一致している。

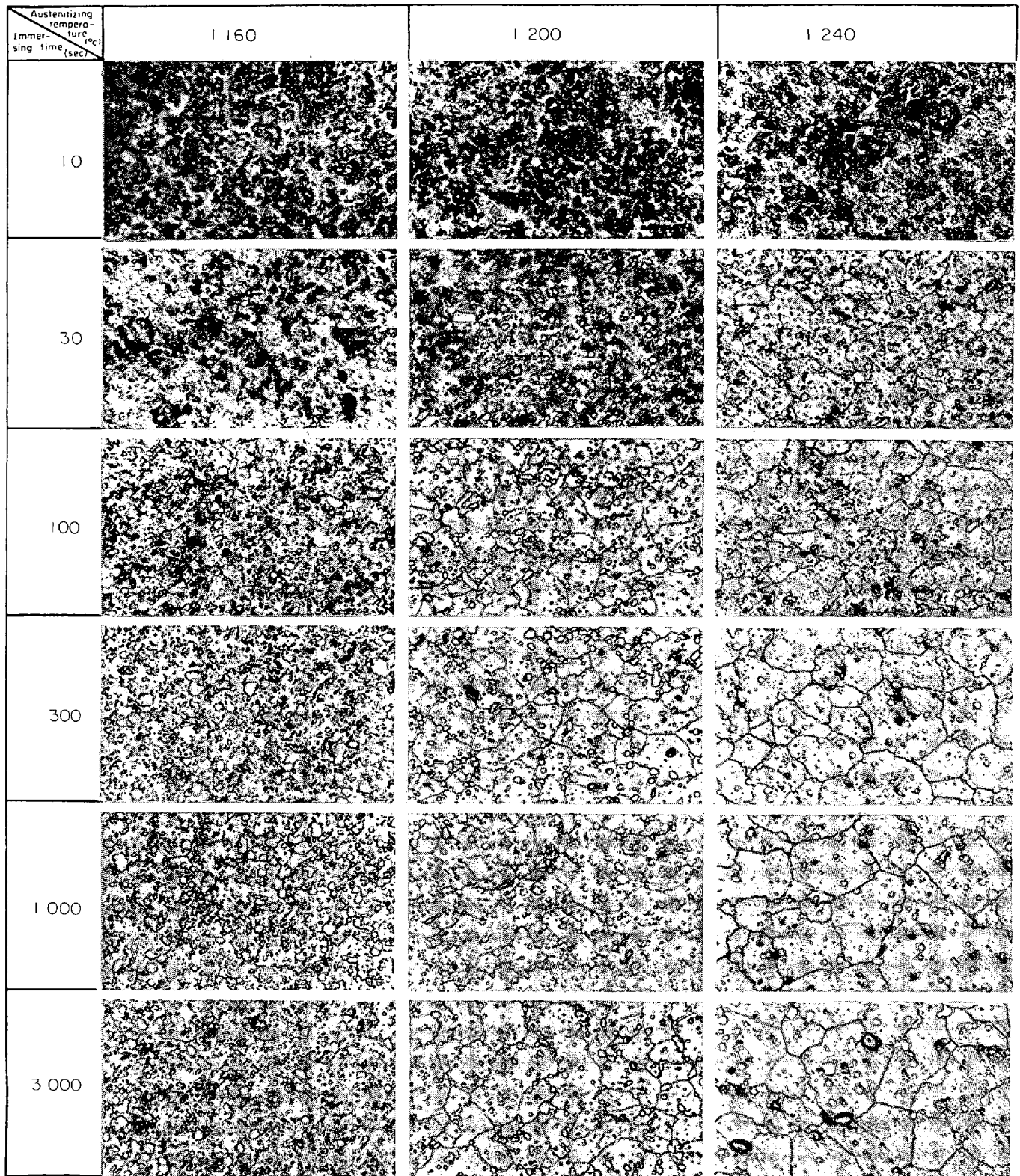
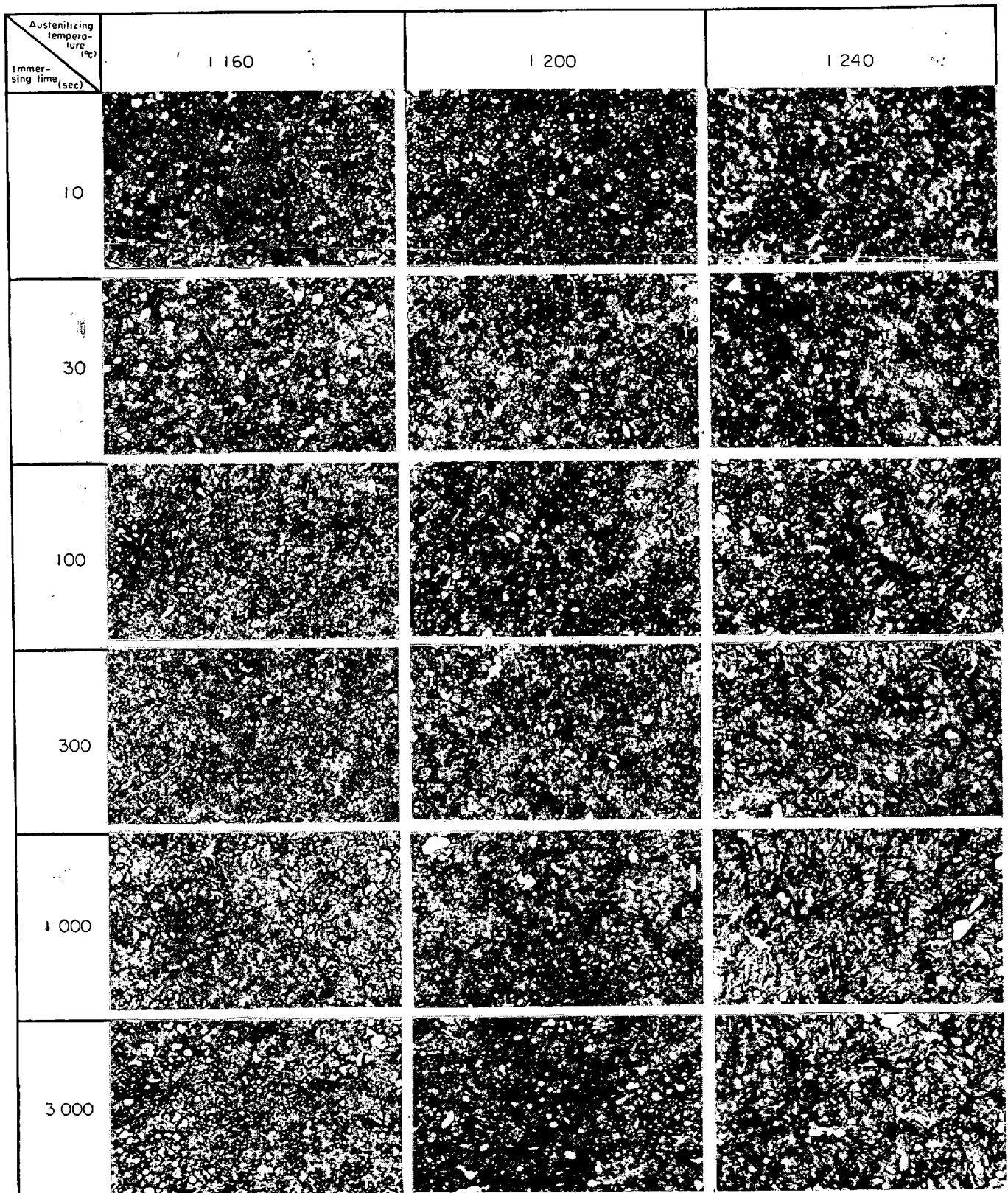


Photo. 1. Microstructures of quenched specimens. ×800

Photo. 2. Microstructures of 600°C tempered specimens. $\times 800$

600°Cで焼きもどした、場合焼きもどし組織は、焼入加熱温度および浸漬時間によつて Photo. 2 のように変化している。すなわち不完全焼入れのものを焼きもどすと焼なまし組織に似ており、低温加熱(1 160°C) および短時間加熱 (1 200°C → 100 sec, 1 240°C → 30 sec) のものは、細かな針状マルテンサイト組織となり、高温長時間加熱になると粗い針状マルテンサイトとなつている。K. BUNGARDT らが、焼きもどしによる強度(曲げ強度、へき開強度、曲げ降伏強度など)は結晶粒の大きさ、焼きもどし後の微細炭化物の析出量などとの関係があると報告している⁹⁾ ように、1 240°C - 30 sec 焼入れ 600°C 焼きもどしのいわゆる高温短時間焼入れのものがすぐれた抗折荷重を有しているのは、炭化物の析出量が多く結晶粒が微細であることによるものである。

5. 結 言

高速度工具鋼 SKH9 は、靱性のすぐれた材料として切削工具に広く利用されている。しかし最近では、冷間鍛造金型などの衝撃を受ける工具としても使われるようになり、赤熱硬さの向上を主体にした熱処理方法では不十分で、粘さ、抗圧力、衝撃値などの幅広い観点より、熱処理方法を再検討してみる必要がある。本研究では、これらの切削工具や金型に適した熱処理条件を知るために焼入加熱温度、浸漬時間および焼きもどし加熱温度を変えて、その機械的性質を調査した。結果をまとめると次のようになる。

(1) 金型の熱処理に利用される低温加熱焼入れ→低温焼きもどし、つまりアンダーハードニングにおよぼす焼入浸漬時間の影響は、長時間側ですぐれた機械的性質を示す。

(2) 耐摩耗性を要求する切削工具の場合には、550°C 焼きもどしで Hv 800~850 の範囲がすぐれた機械的性質を示す。これらの性質を得るための切削工具や金型の

焼入加熱温度、浸漬時間の関係は、Fig. 11 によつて知ることができる。

(3) 特に靱性を要求する場合には、高温焼きもどしがよい。600°C 焼きもどしの場合には、抗折荷重 400 kg 以上の領域が著しく広い。(Fig. 13 参照)

(4) 焼入組織が「マルテンサイト+ γ_R +炭化物」の均一な組織になるときの硬さは、Hv 800 付近である。またこのような組織を得るための最小浸漬時間は、1 160°C で 300 sec (5 min) 1 200°C で 100 sec (1~2 min) 1 240°C で 30 sec であつた。

(5) 焼入れ後の結晶粒度は、焼入加熱温度が高いほど、また浸漬時間が長いほど大きい。高温焼入れの場合、浸漬時間による結晶粒の粗大化は特に著しい。

(6) 結晶粒界は、焼入加熱温度が低い場合や浸漬時間が短い場合、低温焼きもどしで消失するが、焼入加熱温度が高く、浸漬時間が長い場合には、500~525°C の焼きもどしで消失する。

なお本研究は、計画と考察を杉山・古沢が担当し、測定は主に山本が行ない、田中は、抗折試験を指導した。

文 献

- 1) 杉山, 古沢: 鉄と鋼, 53 (1967) 7, p. 938
- 2) 山中, 日下, 北原: 鉄と鋼, 43 (1957) 7, p. 720
- 3) " : " , 44 (1958) 8, p. 836
- 4) 辻, 永見: 鉄と鋼, 44 (1958) 9, p. 1087
- 5) K. BUNGARDT and O. MÜLDERS: Arch. Eisenhüttenw., 35 (1964), p. 1079
- 6) 新井, 小松: 鉄と鋼, 54 (1968) 10, p. 193
- 7) " : " , 54 (1968) 10, p. 194
- 8) " : " , 55 (1969) 3, p. 270
- 9) 沢, 西村, 伊藤: 鉄と鋼, 52 (1966) 4, p. 677
- 10) 新持, 清水, 渡辺: 鉄と鋼, 51 (1965) 11, p. 2089
- 11) P. PAYSON: The Metallurgy of Tool Steels, (1962), p. 205, [John Wiley and Sons, INC.]