

## 論 文

UDC 669.14.018.25 : 539.4.016.3 : 621.785.6.014

## 合金工具鋼(SKD11)の焼入加熱時間と機械的性質の関係\*

杉山道生\*\*・山本長邦\*\*

鮒谷清司\*\*\*・古沢浩一\*\*\*\*

## Relationship Between Austenitizing Time and Mechanical Properties of the Alloy Tool Steel SKD11

Michio SUGIYAMA, Nagakuni YAMAMOTO,

Kiyoshi FUNATANI, and Koichi FURUSAWA

## Synopsis:

In the earlier paper, the relationship between the austenitizing time and the mechanical properties of high-speed tool steels was reported. In this paper, a similar relationship for the alloy tool steel SKD11 which is austenitized at 960°~1 080°C for 10~3 000sec and tempered at 150°~550°C has been studied by the same methods as in the previous paper. The results obtained are as follows;

1. The preferable mechanical properties of the steel SKD11 for cold working are generally obtained in the hardness range of Rockwell C58 to 60 (Hv 650 to 700) and in the bend strength of over 350 kg. These properties can be obtained by the next heat-treatments. A: Austenitized for a long time at lower temperature near 1 000°C and tempered between 150° and 200°C. B: Austenitized for a short time at higher temperature between 1 040° and 1 080°C and tempered between the same temperatures as A. C: Austenitized for a long time at 1 040° to 1 080°C and tempered above 500°C.

2. Degrees of austenitizing in the microstructure seems to become larger in the order of B→A→C. Specimens by the treatment A are almost completely austenitized and those by B include some residual ferrite in austenite. Those by the treatment C are completely austenitized and have partial grain growth.

3. A specimen by A which has been austenitized for 3 000sec at 960°C and tempered at 150 °C has the most preferable mechanical properties for cold work tools. This has been confirmed by industrial tests.

(Received Mar. 9, 1973)

## 1. 緒 言

冷間金型用材料として、もつとも一般的に利用されている合金工具鋼 SKD11 は、熱処理条件によつてその金型の寿命が著しく左右される。そのため種々の焼入温度における機械的性質の変化とか<sup>1)~8)</sup>、顕微鏡組織<sup>9)</sup>、炭化物の溶込み<sup>10)</sup>あるいは残留オーステナイト ( $\gamma_R$ ) の挙動<sup>11)</sup>などについてすでに詳しく調べられ、適切な焼入温度と指針<sup>11)</sup>が与えられている。また焼入加熱に際して加熱時間の影響も無視できない重要な要因であり、高速度工具鋼 (SKH9)<sup>12~14)</sup>、熱間金型用工具鋼 (SKD61)<sup>15)</sup>、合金工具鋼 (SKS2)<sup>17)</sup>、軸受鋼 (SUJ2)<sup>18)19)</sup>、炭素鋼<sup>20)~28)</sup>などの、焼入加熱時間と機械的性質や物理的性質の関係についてすでに報告されている。しかしSKD11については断片的な報告は散見される<sup>29)</sup>が、系統的

な研究は見当らない。本研究は前回の SKH9 と同様<sup>14)</sup>、SKD11 について焼入温度と加熱時間を種々かえて、焼入れおよび焼もどし後の機械的性質について調査したものである。

## 2. 試料および実験方法

## 2.1 試料

試料は合金工具鋼 SKD11, 5 mm  $\phi$   $\times$  70 mm のドリルロッドを用いた。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

\* 昭和47年10月本会講演大会にて発表

昭和48年3月9日受付

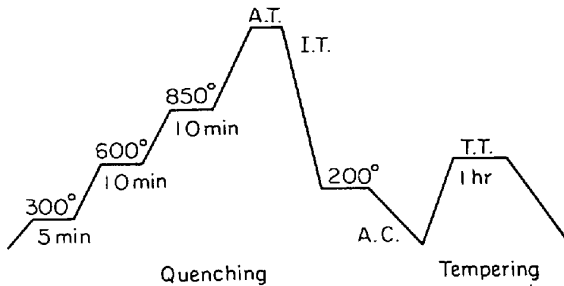
\*\* 大和精工(株)

\*\*\* トヨタ自動車工業(株) 工博

\*\*\*\* 名古屋工業大学 工博

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

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu
1.56	0.31	0.42	0.020	0.012	0.10	11.80	1.00	0.30	0.04



A. T. = Austenitizing temperature (960, 1000, 1040, 1080°C)  
 I. T. = Immersing time (10, 30, 100, 300, 1000, 3000 sec)  
 T. T. = Tempering temperature (150, 200, 300, 400, 500, 550°C)

Fig. 1. Program of heat treatment.

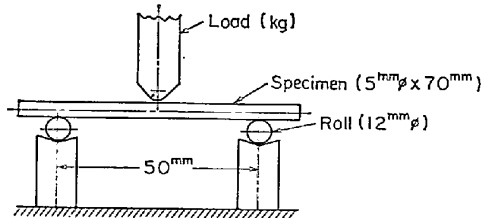


Fig. 2. Bend test and specimen.

分に予熱したのち、塩浴炉で焼入温度に加熱し、200°Cの恒温塩浴に熱浴焼入れを行なった。焼入温度は960°Cから1080°Cとし、低温長時間加熱および高温短時間加熱の影響を調べるため、浸漬時間は10~3000 secの広範囲にとつた。焼もどしは150~550°Cの塩浴中で各1 hr 加熱を行なった。

### 2.3 試験方法

抗折試験は、同一条件で熱処理した各5本の試験片を前回と同様<sup>14)</sup>、インストロン型試験機(テンシロン)で支点間距離50 mm, 中央に一点集中荷重を加えたときの最大破断荷重(抗折荷重)および最大たわみ量を測定して平均値を求めた。試験片は熱処理後洗浄した状態で抗折試験に使つた。Fig. 2に抗折試験方法を示す。

硬さは、試験片の切断面をビッカース硬度計(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に焼入れおよび焼もどし後の、かたさ、抗折荷重およびたわみ量と焼もどし温度の関係を示す。960°, 1000°, 1040°C 焼入れでは浸漬時間が長くなるほどかたさが上昇しており、焼入温度の高いものほど高い値を

示し、1040°C, 1000~3000 sec のものは焼入状態で約 Hv 800 となり最高かたさを示し、焼もどしにおける二次硬化もつとも顕著に現れている。1080°C 焼入れでは300 sec のものが最高かたさを示し、1000~3000 sec のものは二次硬化を示す焼もどし温度が高温側に移つている。

960°C 焼入れにおける抗折荷重は、焼入状態および低温焼もどしでは浸漬時間の影響があまり顕著でないが、高温焼もどしでは浸漬時間の長いものほど高い。また焼入状態に比べて低温焼もどしをしたものは、抗折荷重が著しく上昇している。1000°C 以上から焼入れたものは焼入状態においても浸漬時間の影響が明りようにでており、浸漬時間の長いものほど低い。焼もどしによる抗折荷重の変化は、浸漬時間が短いと150~200°C の低温焼もどしで最大値を示し、浸漬時間が長くなると低温焼もどしでも抗折荷重が上がるが、550°C 焼もどしでさらに著しく上昇している。これらの中に相当するところでは、200~300°C の低温焼もどしと550°C 付近の高温焼もどしにおいて、抗折荷重の極大値が認められる。この傾向を示す曲線は、960°C · 3000 sec, 1000°C · 1000 sec, 1080°C · 30 sec 焼入れのものである。これらの曲線は、山中・日下らの焼もどし温度と抗折荷重の関係<sup>1)</sup>や、沢・西村・鈴木らの焼もどし温度とシャルピー衝撃値の関係<sup>2)</sup>と同様の傾向を示している。

960°C 焼入れにおけるたわみ量は、焼入れおよび焼もどしともに浸漬時間の長いものほど低い値を示し、高温焼もどしをすると全体に高くなつている。1000°C 以上から焼入れたものは、960°C 焼入れのものに比べて全体に低くなるが、その傾向は非常に小さい。

### 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. 4は焼入れ後焼もどしをしない場合の、かたさ、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。かたさは960°C および1000°C では3000 sec で最高値を示すのに対し、1040°C では1000 sec, 1080°C では300 sec で最高値を示している。960°C における抗折荷重は浸漬時間にほとんど影響しないが、1000°C 以上では浸漬時間が長くなるにつれて低くなつている。SKH9 の場合には、1160~1240°C の加熱において、抗折荷重、たわみ量ともに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、その傾向は

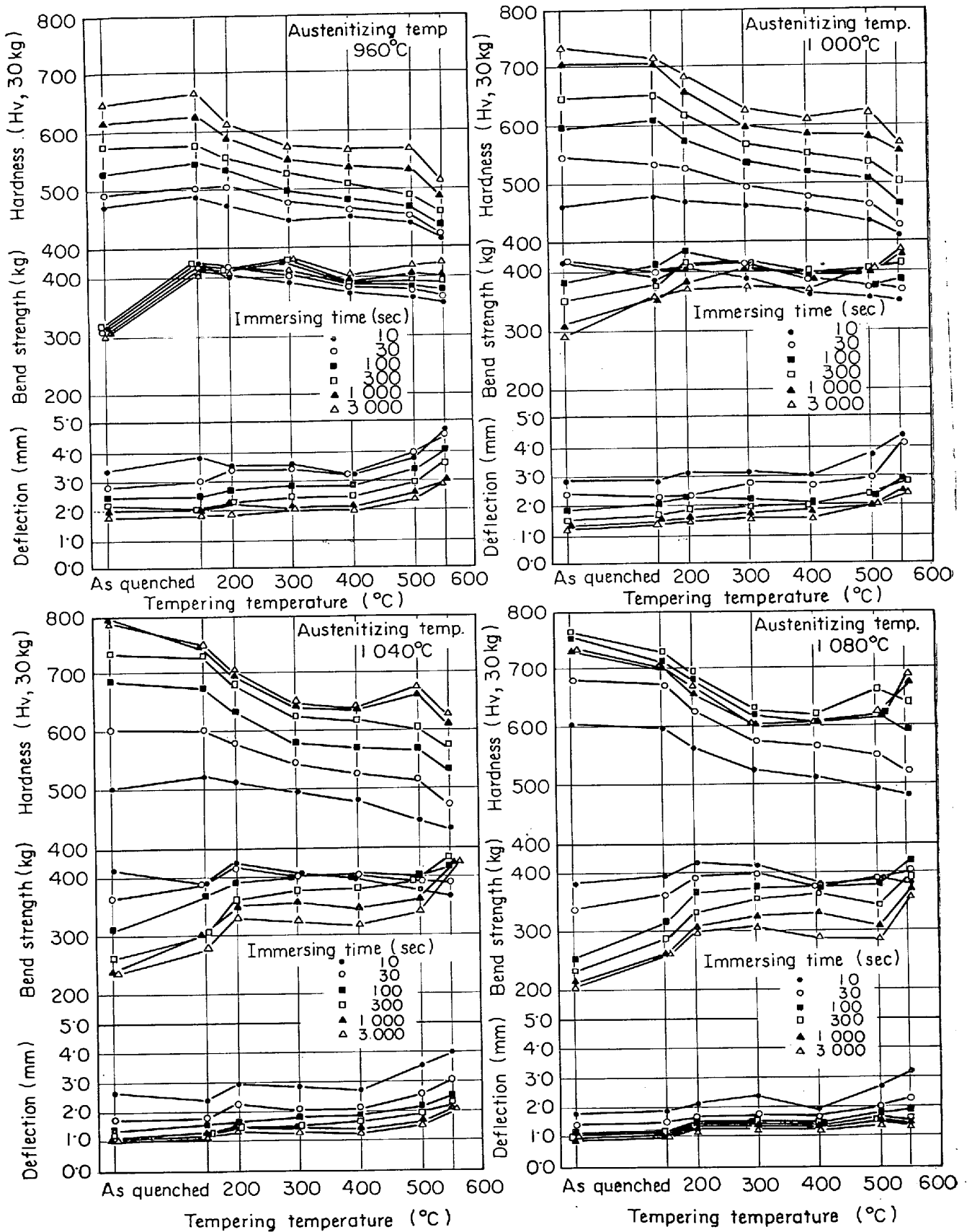


Fig. 3. Mechanical properties of specimens, quenching from austenitizing temperature at 960~1080°C after immersing indicated time, and tempering.

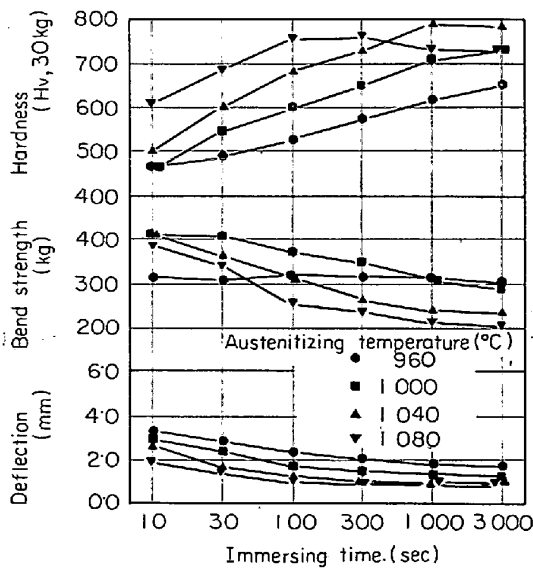


Fig. 4. Effect of immersing time on the deflection, bend strength and hardness of as-quenched specimens.

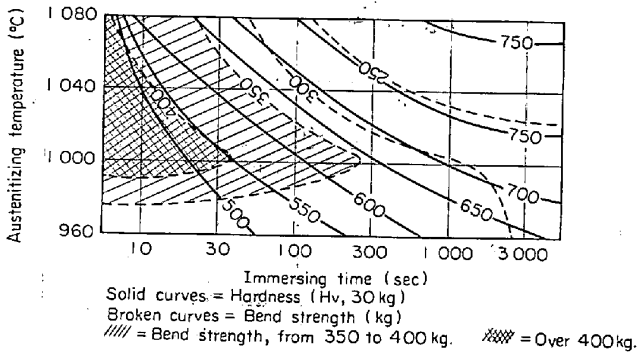


Fig. 5. Effect of austenitizing temperature and immersing time on the hardness and the bend strength of as-quenched specimens.

焼入温度が低いほど顕著である<sup>14)</sup>。しかし SKD11 の場合には、浸漬時間が長くなっても、抗折荷重、たわみ量とも上昇は認められない。たわみ量は浸漬時間が長いほど、焼入温度が高いほど低くなっている。

Fig. 5 は焼入れのままで得られるなど硬度—抗折荷重の関係を、焼入温度と浸漬時間の関係について求めたものである。実線は等硬度曲線を示し、破線は等抗折荷重曲線を示している。斜線部は抗折荷重 350~400 kg の範囲を、クロス斜線部は 400 kg 以上の範囲を示している。これは金型に適した熱処理条件を考察するため、とくに抗折荷重の高い領域を明示したものである。図中、たとえば浸漬時間 30 sec のところでは 960°C・30 sec の点のかたさが Hv 450~500 で抗折荷重が 300~350 kg の範囲にあり、1000°C・30 sec の点は Hv 500~550 で抗折荷重 400~450 kg の範囲にあることを示している。

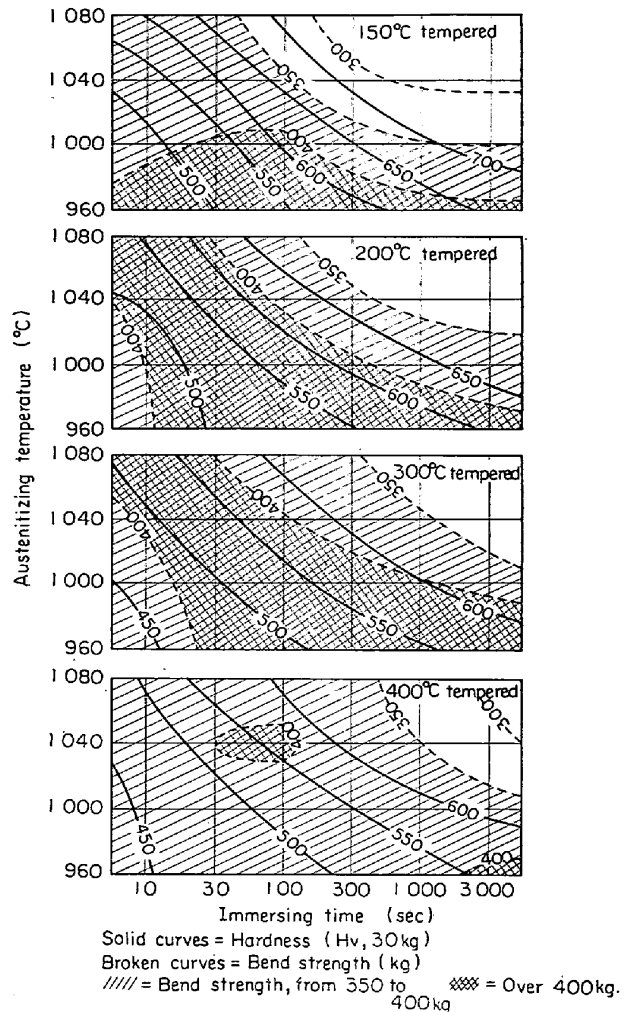


Fig. 6. Effect of austenitizing temperature and immersing time on the hardness and the bend strength of quenched and 150~400°C tempered specimens.

また 1020°C・1000 sec のものは、Hv 700~750、抗折荷重 250~300 kg の範囲にあることがわかる。1080°C・100 sec および 300 sec、1040°C・1000 sec および 3000 sec を含むかたさの範囲は Hv 750 以上の領域を示し、上部の等硬度曲線 Hv 750 より上側すなわち 1080°C・1000~3000 sec の高温長時間の領域は Hv 700~750 の範囲にある。

### 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

SKD11 を用いた冷間金型は、大部分低温焼もどしを行なって使用される。焼もどし温度は一般に 150~200°C<sup>11)</sup>あるいは 200~300°C<sup>30)</sup>が推奨されている。これらの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を、かたさと抗折荷重の関係について求めると、Fig. 6 のようになる。

150°C で焼もどすと 960~1000°C の低温加熱した

ものに抗折荷重 400 kg 以上の高い領域があり, 350 kg 以上の範囲も焼入まま (Fig. 5) のものに比べて広がっている。一般に冷間金型は, かたさ HRC 58~60 (Hv 650~700) に熱処理し使用されている。このかたさ範囲で抗折荷重 350 kg 以上の領域を金型適正焼入範囲とすると, 焼入まま (Fig. 5) のものには重なるところが存在しないが, 150°C 焼もどしをすると, 1030°C・30 sec, 1040°C・100 sec, 1000°C・300~1000 sec, 960°C・3000 sec の付近において, 金型適正焼入範囲が存在する。とくに 960°C・3000 sec の低温長時間加熱したものは, かたさ, 抗折荷重ともに高く, 金型に適した熱処理である。200°C で焼もどすと抗折荷重 400 kg 以上の領域が, 低温加熱から高温短時間側まで広がっており, 金型適正焼入範囲は 150°C 焼もどしよりやや長時間側にずれて, その範囲が広がっている。300°C 焼もどしでは抗折荷重 400 kg 以上の領域が狭くなり, 400°C 焼もどしではその領域がさらに狭くなる。一方, かたさも 200~400°C 焼もどしで低くなり, 300~400°C 焼もどしでは金型適正焼入範囲は存在しなくなる。

3.4 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

SKD11 による冷間金型を, 二次硬化を生ずる温度よりも高温で使用することは少ない。しかし SKD11 の温間金型を 510°C で焼もどし, 窒化して使う例もあり<sup>31)32)</sup>, 高温焼もどし後の機械的性質におよぼす焼入条件を調べ

ることは興味ある問題である。Fig. 7 に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を示す。500~550°C で最高かたさを示すのは, 高温長時間側にあり, Hv 650~700 の値である。したがって Hv 700 以上を必要とする金型には高温焼もどしは利用できない。500°C で焼もどすと低温長時間側に抗折荷重 400 kg 以上の高い領域が認められる。この領域より左側の低い部分では  $\gamma_R$  の分解による硬化よりも焼もどし軟化が大きく, かたさは Hv 550 以下で, 抗折荷重の上昇も生じていない。また右側の低い部分は未分解の  $\gamma_R$  があるため<sup>1)</sup>, 抗折荷重は非常に低い。550°C で焼もどすと再び抗折荷重 400 kg 以上の領域が広がる。その位置は 200°, 300°C 焼もどしのものよりさらに長時間側にある。金型適正焼入範囲は 500°C 焼もどしでは 1080°C・300 sec, 1040°C・1000 sec を通る狭い領域に認められ, 550°C 焼もどしでは 1030°C・300 sec 以上の長時間側に認められる。

Fig. 8 は 550°C 焼もどしをした場合の, かたさ, 抗折荷重, たわみ量と浸漬時間の関係を示している。1080°C 焼入れのものは, 500°C 以下の焼もどしでは浸漬時間 300 sec で最高かたさを示すが, 550°C 焼もどしでは浸漬時間の増加に伴いかたさが上昇している。これは  $\gamma_R$  が分解<sup>1)</sup>してマルテンサイトにかわつたためである。しかし抗折荷重は 100 sec のとき最高値になり, それ以上浸漬時間の長いところでは低下している。1040°C 以下に焼入れたものは, 浸漬時間が長いほどかたさ, 抗折荷重ともに上昇している。

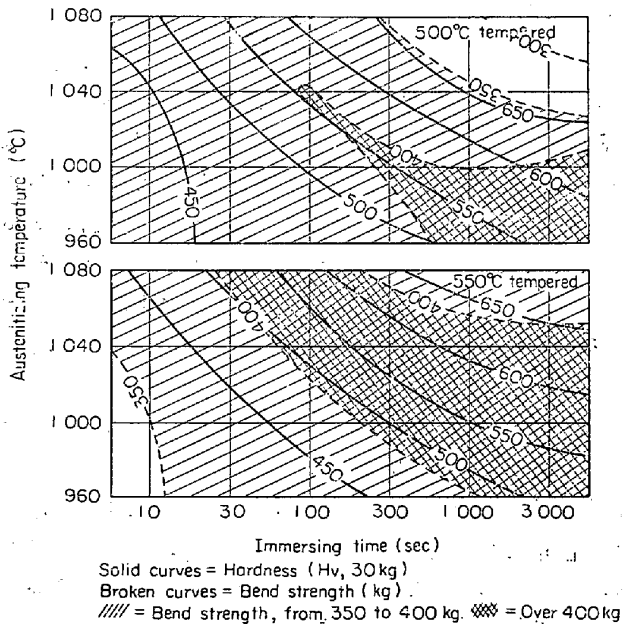


Fig. 7. Effect of austenitizing temperature and immersing time on the hardness and the bend strength of quenched and 500~550°C tempered specimens.

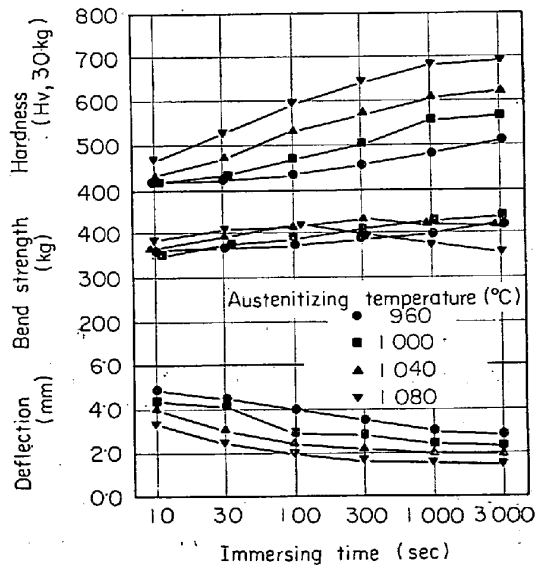


Fig. 8. Effect of immersing time on the deflection, bend strength and hardness of quenched and 550°C tempered specimens.

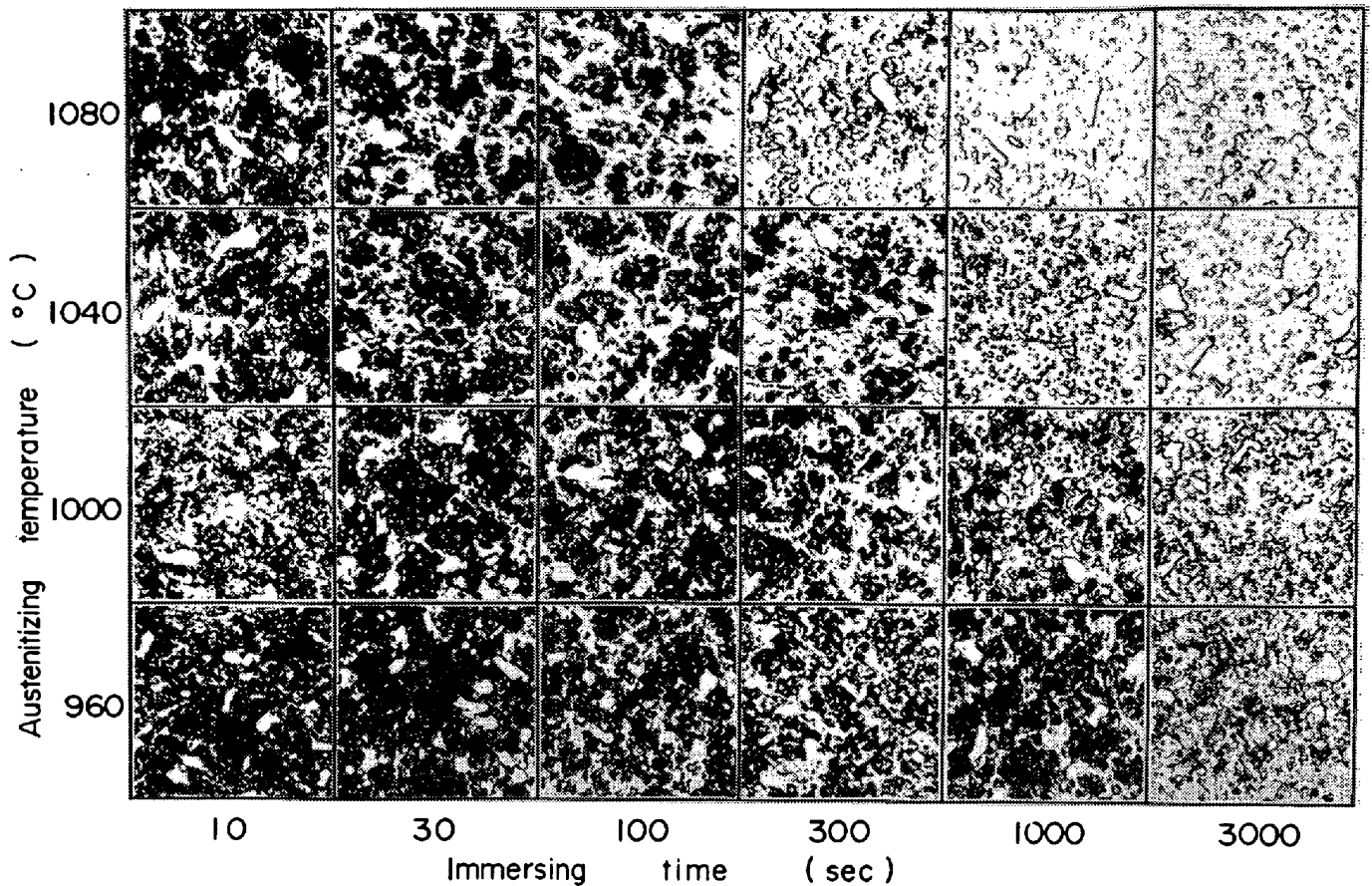


Photo. 1. Microstructures of as-quenched specimens.  $\times 800$

#### 4. 考 察

Photo. 1 は焼入組織におよぼす焼入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、 $960^{\circ}\text{C}$  の場合 10~3000 sec,  $1000^{\circ}\text{C}$  の場合 10~1000 sec,  $1040^{\circ}\text{C}$  の場合 10~300 sec,  $1080^{\circ}\text{C}$  の場合 10~100 sec のものである。この領域では炭化物の溶込みと基地のオーステナイト化が進行している状態であり、焼入温度が低いほど、また浸漬時間が短いほど焼なまし状態の組織が多く残っている。黒い部分は不完全焼入状態のトラスタイトであり、ネット状に白くなっているのは焼入れによつて変態したマルテンサイトと  $\gamma_{\text{R}}$  である。白い粒子は未溶解炭化物である。完全焼入組織の得られる直前の熱処理条件は  $960^{\circ}\text{C} \cdot 3000 \text{ sec}$ ,  $1000^{\circ}\text{C} \cdot 1000 \text{ sec}$ ,  $1040^{\circ}\text{C} \cdot 300 \text{ sec}$ ,  $1080^{\circ}\text{C} \cdot 100 \text{ sec}$  のものである。これらの焼入組織は低温長時間加熱の方が高温短時間加熱のものより完全焼入組織に近いが、焼入かたさは高温短時間加熱の方が高い。また焼もどしによる二次かたさも高温短時間加熱の方が高い (Fig. 3)。このことより不完全焼入れの場合においても高温になるほど炭化物の溶込み

量が多いものと考えられる。低温焼もどしにおいてかたさ・抗折荷重ともに高くて金型に望ましい適正焼入範囲のものは、これらの完全焼入組織の得られる直前のものである (Fig. 6)。同様の傾向は炭素鋼や浸炭鋼を急速短時間加熱したものにも認められている<sup>26,33)~35)</sup>。完全焼入れの領域は  $960^{\circ}\text{C}$  では 3000 sec 以下には認められない。  $1000^{\circ}\text{C}$  では 3000 sec 以上,  $1040^{\circ}\text{C}$  では 1000 sec 以上,  $1080^{\circ}\text{C}$  では 300 sec 以上のものである。この領域の組織はマルテンサイト +  $\gamma_{\text{R}}$  + 炭化物よりなつている。炭化物の溶込み量は焼入温度が高いほど、浸漬時間が長いほど多い。

Photo. 2 は  $150^{\circ}\text{C}$  焼もどし後の試料を 5% Picral + 1% HCl 溶液と 5% FeCl<sub>3</sub> 水溶液で腐食させ「結晶粒界を出現させたものである。不完全焼入れおよび完全焼入れ直前のものは、結晶粒界が現われず、 $1000^{\circ}\text{C} \cdot 3000 \text{ sec}$ ,  $1040^{\circ}\text{C} \cdot 3000 \text{ sec}$  のものは一部出現し、 $1030^{\circ}\text{C} \cdot 1000 \sim 3000 \text{ sec}$  のものは明りように現われている。JIS G551 による結晶粒度は、 $1080^{\circ}\text{C} \cdot 1000 \text{ sec}$  の場合約 10,  $1080^{\circ}\text{C} \cdot 3000 \text{ sec}$  の場合約 9.4 であり、高温長時間加熱による結晶粒の粗大化が認められる。とくに炭化

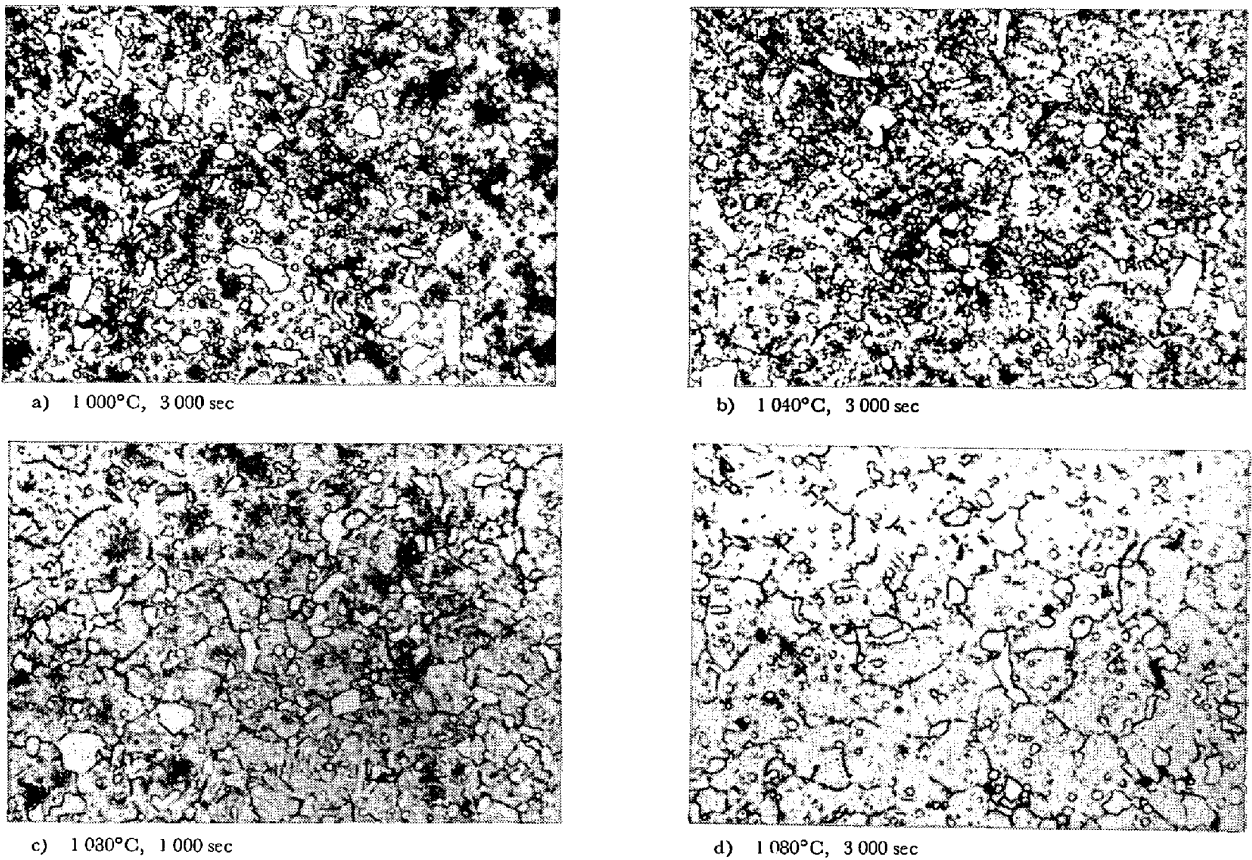


Photo. 2. Microstructures of 200°C marquenched from the indicated austenitizing heating and 150°C tempered specimens. Etched in 5% Picral-HCl and 5% FeCl<sub>3</sub> solution. ×800

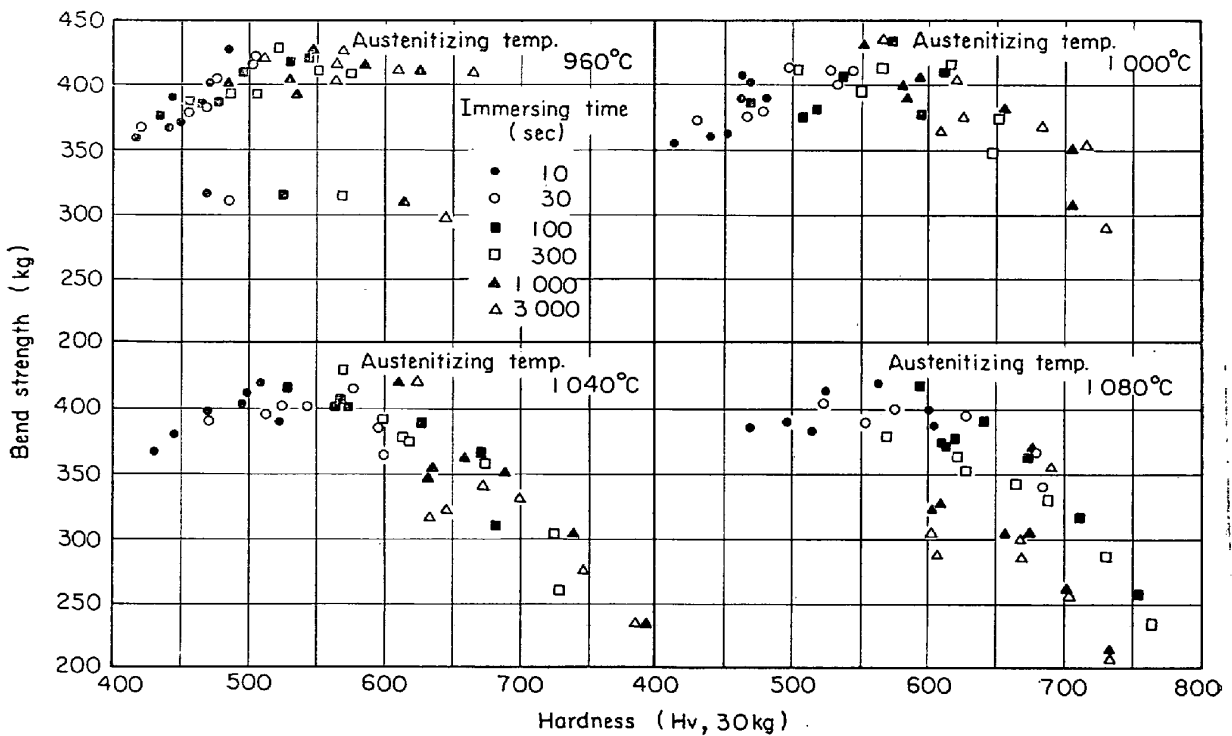


Fig. 9. Relation between hardness and bend strength of quenched and tempered specimens.

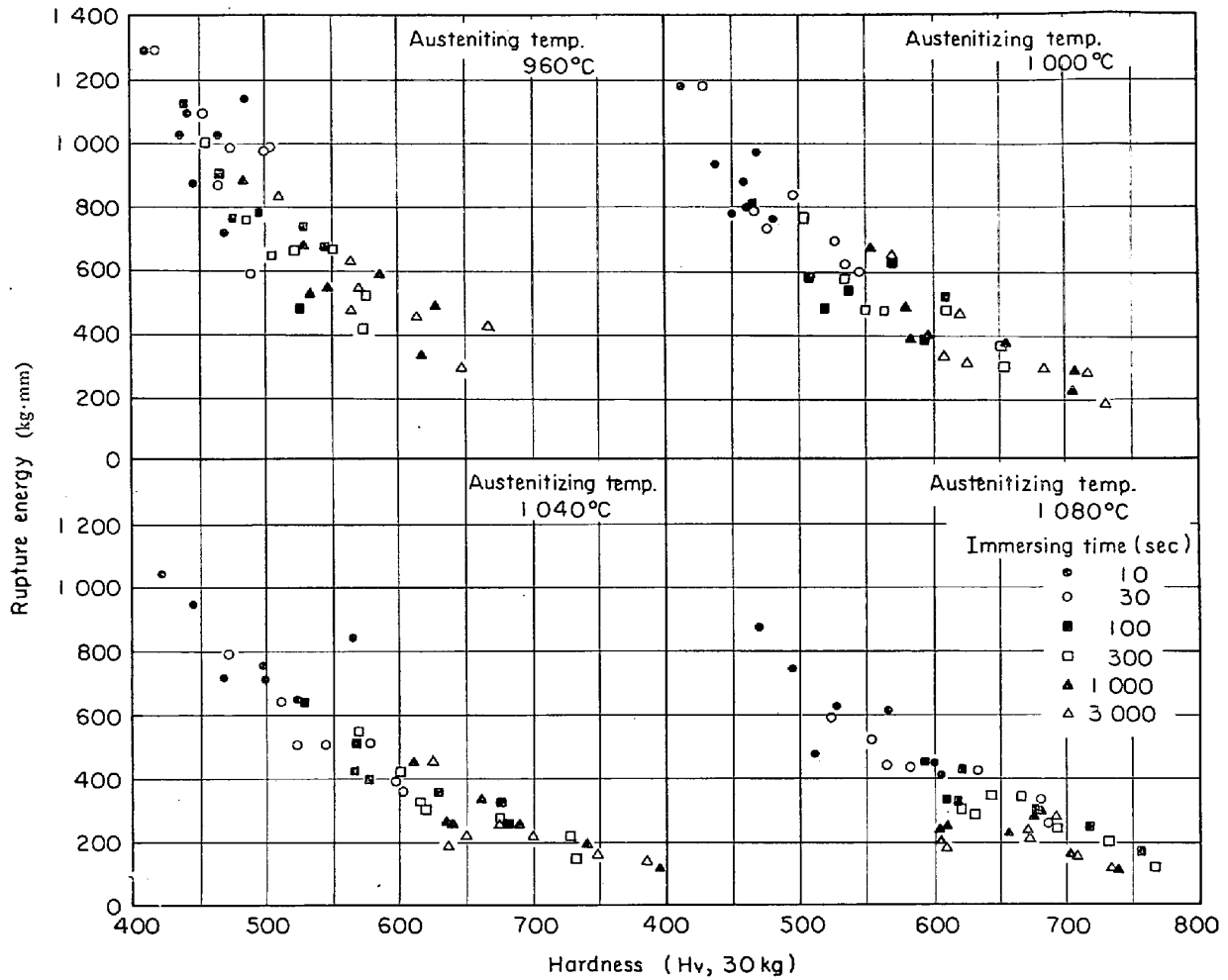


Fig. 10. Relation between hardness and rupture energy of quenched and tempered specimens.

物の溶込み量が多いほど結晶粒の粗大化が著しい。ゆえに焼入温度が高い場合には保持時間が長すぎないように注意が必要である

Fig. 4 の焼入状態における機械的性質と組織との間には、かたさの影響がもつとも敏感にあらわれている。このかたさは炭化物の溶込み量の増加と基地のマルテンサイト化の進行によつて上昇し、 $\gamma_R$ の増加によつて減少している。すなわち 960°, 1000°C では浸漬時間の増加に伴つてかたさが上昇しており、炭化物の溶込み量の多い 1000°C の方がかたさの上昇勾配が大きい。1040°C では 1000 sec まで、1080°C では 100 sec までかたさの上昇が認められるが、浸漬時間がさらに長くなると、結晶粒は粗大化し、 $\gamma_R$ の増加によつて、かたさが低下している。1080°C・1000~3000 sec のものは、かたさの低下が顕著で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。

Fig. 9 はかたさと抗折荷重の関係を、Fig. 10 はかたさと破壊エネルギーの関係を求めたものである。抗折荷重

は Hv 550 付近において最高値を示し、その前後では低くなっている。抗折荷重が最高値をしているのは、1000°C・1000~3000 sec 焼入れ・550°C 焼もどし、1000°C・100 sec 焼入れ・200°C 焼もどし、960°C・300 sec 焼入れ・300°C 焼もどし、1040°C・300 sec 焼入れ・550°C 焼もどしをしたものである。これらのうち、1000°C・3000 sec 焼入れ・550°C 焼もどしをしたものは、オーステナイト化完了直後のものであり、その他のものは完了直前のものである。したがつて、かたさよりもじん性を重要視する場合には、オーステナイト化完了直前の組織のものが優れている。破壊エネルギーは抗折荷重・たわみ曲線の面積をプランメータで測定した結果であり、かたさの上昇に伴つて低くなっている。

Fig. 11 は金型に適した機械的性質として、かたさ Hv 650 以上、抗折荷重 350 kg 以上の範囲に入る試料について、かたさと抗折荷重およびかたさと破壊エネルギーの関係を示したものである。図中の数字は試料番号を表わし、その熱処理条件は Photo. 3 に示してある。ただ



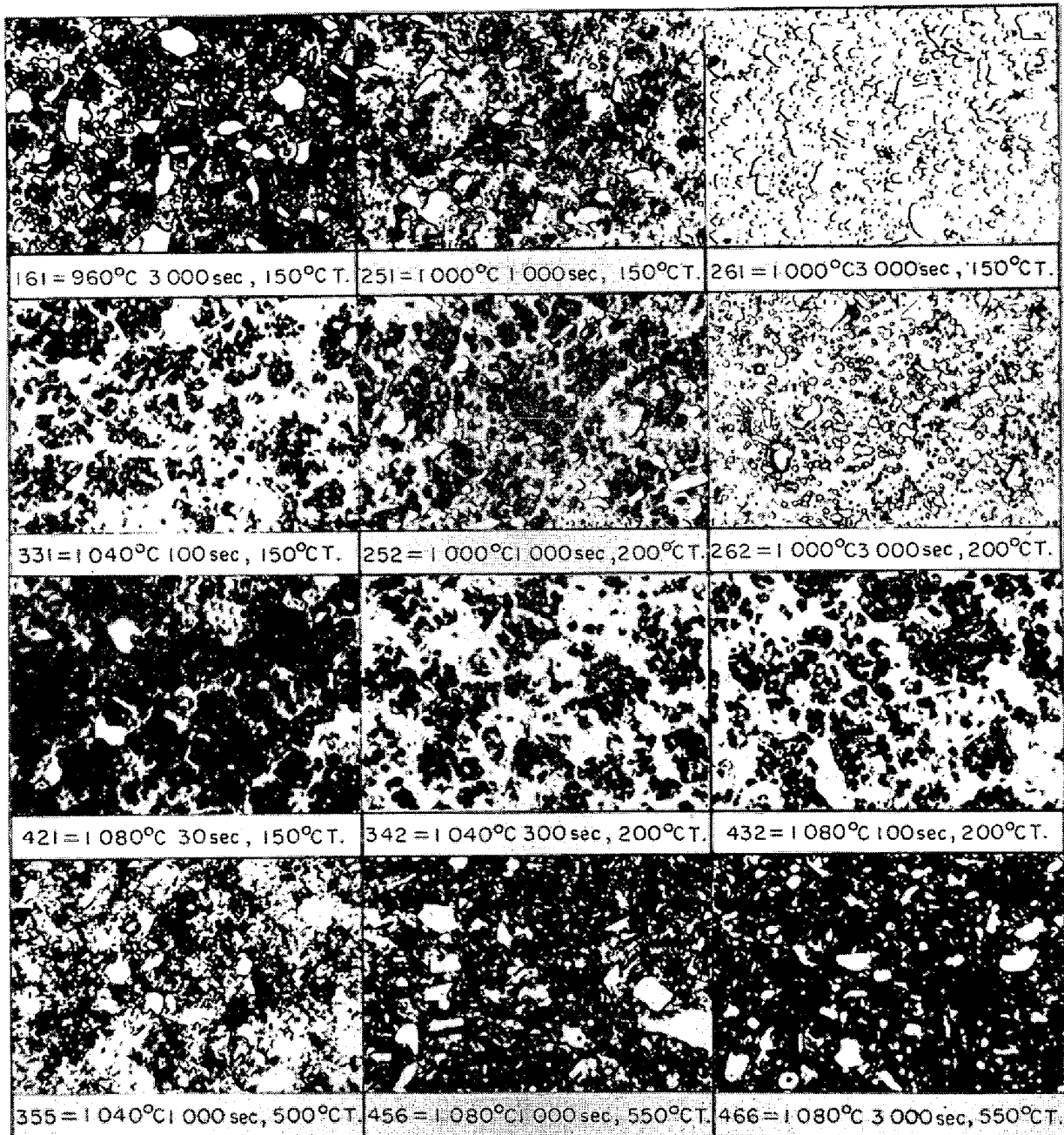


Photo. 3. Microstructures of preferable mechanical properties for cold work tools.  $\times 800$   
(Hardness: over Hv 650, Bend strength: over 350 kg)

し試料番号 241 は、1 000°C・300 sec 焼入れ・150°C 焼もどしをしたものでかたさが Hv 650 に近い値を示しているので参考として図示してある。Photo. 3 は Fig. 11 の試料の焼入・焼もどし組織である。Fig. 11 において試料番号 161 すなわち 960°C・3 000 sec 焼入れ・150°C 焼もどしをしたものは、ほかの熱処理条件のものに比べて、抗折荷重、破壊エネルギーともに著しく優れている。この試料の焼入組織は Photo. 1 に、焼もどし組織は Photo. 3 に示すように、オーステナイト化が完了する直前の組織である。Photo. 3 において完全焼入れ後に焼もどしを

したものは、1 000°C・3 000 sec 焼入れ・150°C および 200°C 焼もどし、1 040°C・1 000 sec 焼入れ・550°C 焼もどし、1 030°C・1 000 sec および 3 000 sec 焼入れ・550°C 焼もどしをしたものである。その他のものは、完全焼入れ直前のものを 150~200°C で低温焼もどしたものである。

現在広く利用されている金型は、完全焼入れ後に低温焼もどしをして使用する場合がもつとも一般的であるが Photo. 3 に示すような焼入・焼もどし組織を得るような熱処理をしたもの、すなわち完全焼入れ直前および直後

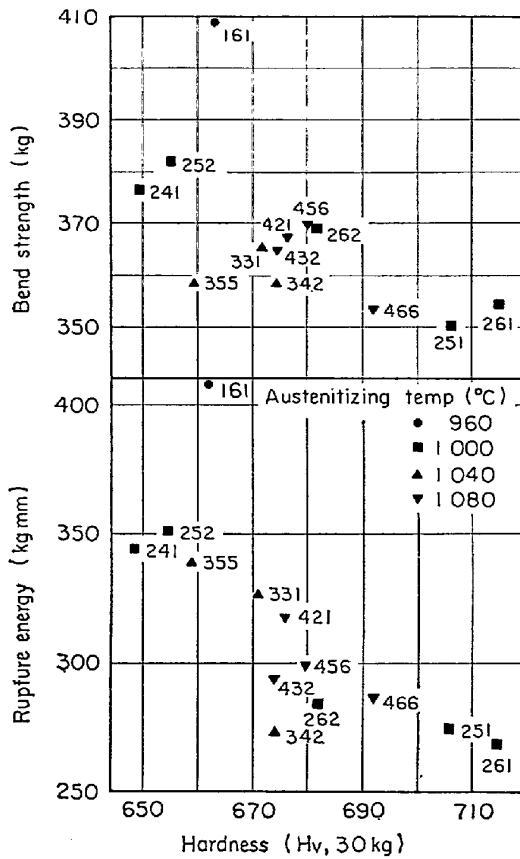


Fig. 11. Relation between hardness (over Hv 650) and bend strength (over 350 kg) or rupture energy of quenched and tempered specimens.

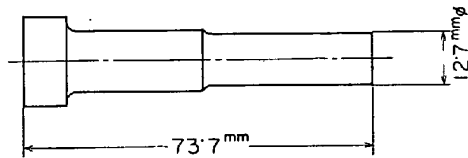


Fig. 12. Specimens of industrial test.

のものを低温焼もどししたものが、金型に適した機械的性質を示すことが、本研究により明らかになった。Table 2は Fig. 12 に示すような冷鍛用パンチを、低温長時間加熱後焼入れを行ない低温焼もどしをした場合(A)と、高温焼入れ・高温焼もどしをした場合(B)について実用試験を行なった結果を示したものである。被加工材は SCr4 を球状化焼なましした 12 mm  $\phi$   $\times$  90 mm の材料を用いた。AパンチはBパンチに比較して寿命が非常に長い。またAパンチの破壊状態は、焼付き、縦割れ、R部切損などであり、Bパンチはすべて縦割れである。(Fig. 3の焼もどしかたさに比べて Table 2のかたさが低いのは、材料の化学成分が異なり、熱処理条件が違うためである。) Fig. 10よりA、Bパンチの破断エネルギー

Table 2. The life of punches made of SKD11 heat-treated like A or B

	A	B
Austenitizing Tempering	980°C $\times$ 50 min 200°C $\times$ 4 hr double tempered	1040°C $\times$ 10 min 500°C $\times$ 1 hr double tempered
Hardness (HRC)	52.5 (Hv 553)	56.0 (Hv 615)
Life	23 000	300
Rupture energy (kg. mm)	about 600	about 400

ー(じん性)を評価すると、Aパンチは約 600 kg $\cdot$ mm、Bパンチは約 400 kg $\cdot$ mm でAパンチはBパンチに比較して破断エネルギーが約 200 kg $\cdot$ mm 大きく、じん性の優れていることが明らかである。

### 5. 結 言

合金工具鋼 SKD11 を用いた金型の寿命は、熱処理条件により著しく左右される。本研究ではこれらの金型に適した熱処理条件を求めるため、焼入温度・浸漬時間および焼もどし温度をかえて、その機械的性質を調査した。結果をまとめるとつぎのようになる。

(1) 焼入温度が低い場合は、オーステナイト化が遅く、960°C では 3 000 sec で完全な焼入組織に近くなるが、炭化物の溶込み量が少なく、焼入かたさは約 Hv 650 で低い。

(2) 焼入温度が高い場合は、1 080°C  $\cdot$  300 sec のものでオーステナイト化が完了し、浸漬時間をさらに長くすると、結晶粒の粗大化および焼入かたさの低下が生じる。

(3) 焼入状態における抗折荷重は全体に低く、400 kg 以上の領域は短時間加熱で、未溶解炭化物が多く残存しているものであり、オーステナイト化の不完全な不完全焼入組織のものに認められる。

(4) 抗折荷重は低温焼もどしによつて著しく増加し 150°C 焼もどしでは低温短時間側に、200°C 焼もどしでは低温長時間側から高温短時間側の広い間分に、高い領域が認められる。

(5) 300~500°C の焼もどしでは、抗折荷重は徐々に低くなり、550°C 焼もどしにおいて高温長時間加熱のものに、再び高い領域が認められる。

(6) 一般に冷間金型はかたさ H<sub>R</sub>C 58~60(Hv 650~700) に熱処理されている。このかたさ範囲で抗折荷重が 350 kg 以上のものはつぎの3グループに分けられる。

A : 低温長時間加熱焼入れ後低温焼もどししたもの

B : 高温短時間加熱焼入れ後低温焼もどししたもの

C : 高温長時間加熱焼入れ後高温焼もどししたもの

(7) A, B, Cの顕微鏡組織はB→A→Cの順にオーステナイト化が進行し, Aはオーステナイト化完了直前, 直後のものである.

(8) Aのうちで 960°C · 3 000 sec 焼入れ · 150°C 焼もどしをしたものは, とくに優れた機械的性質を示す. 実用化試験の結果からもこのことが実証される.

終わりに臨み抗折試験の実施にあたり, 終始ご指導下さった名古屋工業大学金属工学科田中一英博士に深甚なる謝意を表する次第である.

#### 文 献

- 1) 山中, 日下: 鉄と鋼, 41(1955)6, p. 613
- 2) 沢, 西村, 鈴木: 鉄と鋼, 53(1967)7, p. 920
- 3) 新持, 浦野: 日本金属学会会報, 8(1969)2, p. 117
- 4) 出口, 伊藤: 日本金属学会会報, 7(1968)9, p. 516
- 5) 小柴, 永島: 鉄と鋼, 38(1952)7, p. 37
- 6) 浦野, 芥川: 鉄と鋼, 54(1968)10, p. 189
- 7) 松本, 武内, 大原, 寺島, 木村: 鉄と鋼, 54(1968)10, p. 190
- 8) 日下, 水野, 須藤, 玉沢, 長谷川: 鉄と鋼, 55(1969)11, p. 156
- 9) P. PAYSON: The Metallurgy of Tool Steels, (1962), p. 30, p. 37, [John Wiley and Sons, Inc.]
- 10) 佐藤, 西沢, 村井: 鉄と鋼, 44(1958)5, p. 565
- 11) JIS G 4404-1972, 合金工具鋼鋼材, [日本規格協会]
- 12) 辻見, 氷見: 鉄と鋼, 44(1958)9, p. 1087
- 13) K. BUNGARDT and O. MÜLDERS: Arch. Eisenhüttenw., 35(1964), p. 1079
- 14) 杉山, 山本, 古沢, 田中: 鉄と鋼, 56(1970)6, p. 751
- 15) 渡辺: 鉄と鋼, 50(1964)4, p. 671
- 16) 渡辺, 荒木: 鉄と鋼, 51(1965)5, p. 1023
- 17) 山中, 西村, 浅村: タップの熱処理改善専門部会研究報告, (1962), p. 98
- 18) 武田, 岩間, 荒川, 山本: 鉄と鋼, 49(1963)1, p. 47
- 19) 武市, 門瀬, 中川: 鉄と鋼, 52(1966)10, p. 1627
- 20) 藤村, 村松: 日本金属学会誌, 36(1972)1, p. 85
- 21) 藤村, 村松: 日本金属学会誌, 36(1972)4, p. 352
- 22) 飯島: 日本金属学会誌, 26(1962)7, p. 412
- 23) 大和久, 赤須: 日本金属学会誌, 25(1961)8, p. 515
- 24) 大和久, 赤須: 日本金属学会誌, 26(1962)8, p. 518
- 25) 大和久, 赤須: 日本金属学会誌, 27(1963)6, p. 266
- 26) 大和久, 飯島: 日本金属学会誌, 18(1954)6, p. 362
- 27) 美馬, 堀, 中桐: 日本金属学会誌, 24(1960)12, p. 805
- 28) 美馬, 堀: 日本金属学会誌, 25(1961)5, p. 309
- 29) 相沢: 日特技報, 1(1965)1, p. 37  
あるいは野村: 熱処理, 8(1968)2, p. 112
- 30) P. PAYSON: The Metallurgy of Tool Steel, (1962), p. 263, [John Wiley and Sons, Inc.]
- 31) Metals Handbook, 8th Edition, Vol 2, (ASM), (1964), p. 230
- 32) 小川: 特殊鋼, 21(1972)11, p. 58
- 33) 内藤, 彦根: 鉄と鋼, 57(1971)1, p. 37
- 34) 内藤, 木林, 彦根: 鉄と鋼, 57(1971)12, p. 1775
- 35) 内藤, 木林: 鉄と鋼, 59(1973)1, p. 85
- 36) NAITO, KIBAYASHI: Trans. ISIJ, 12(1972)6, p. 454