

---

## 特 殊 鋼 特 集

---

ヤスキ析出形熱間工具鋼 PHD .....	53
ヤスキ黒鉛鋼 YGS1 および YGS2 の諸性質 .....	58
Cr-Ni オーステナイト 鑄鋼のクリープ破断強度に及ぼす組成の影響 ...	63
鉄合金の窒素 Snoek ピーク測定結果と二、三の応用例 .....	69
13Cr 鑄鋼の溶接性 ——再現熱影響部の切欠靱性—— .....	77
真空形直読式発光分光分析装置による高合金鋼の分析 .....	81

---

# ヤスキ析出形熱間工具鋼 PHD

Yasuki Precipitation-hardening Hot Work Die Steel PHD

中 村 信 夫\* 浦 野 元 一\*\*  
Nobuo Nakamura Motokazu Urano

## 要 旨

近年、自動車工業などの分野で、量産精密型打にメカニカルプレスの利用は欠かせないものとなってきている。ヤスキ・プレス型鍛造用型鋼 PHD 鋼はこの種のプレスの型鋼として開発されたもので、その主成分は、0.2C-3Ni-3Mo である。本鋼は炭素量の低いことによって、耐ヒートチェック性を増大し、ニッケルによってじん性を向上させている。Mo は熱間強度を高くし、熱戻脆性をなくし、モリブデン炭化物の析出硬化作用により強度および耐摩耗性を付与している。この析出硬化作用が本鋼の最大の特長であって、焼入状態は通常の切削が十分可能なかたさにあるので、焼入後一次焼戻で型彫し、使用中あるいは使用前の局部加熱のみで、内部が十分なじん性を保持したまま、型面のかたさを上昇して過酷な使用に耐えうる状態となる。そのため熱処理による変形はほとんど問題とならず、精密型用鋼として理想的である。

## 1. 緒 言

近年、自動車工業、航空機工業その他の分野で、クランクシャフト、コネクティングロッド、リングギヤなど多数のものの量産精密型打にメカニカルプレスの利用は欠かせないものとなってきている。この種メカニカル鍛造プレスはその特性上ドロップハンマーに比べて低速で型打するので、1,100~1,300℃にも加熱された被鍛造材が比較的長時間ダイス表面にとどまる。そのために、ドロップハンマーに比べて、型表面の温度上昇が大きく、それだけ型の条件は過酷となる。

この過酷な条件に耐えるため、普通のドロップハンマー用型鋼として使用されている SKT4 やヤスキ DM 鋼などの Ni・Cr・Mo 系型用鋼よりもさらに高度の型用鋼が要望される。

ヤスキ・プレス型鍛造型鋼 PHD 鋼はこのようなメカニカルプレスの型用鋼として開発されたものであって、ここにその内容を報告するしだいである。

## 2. PHD 鋼の化学組成とその特長

PHD 鋼の化学組成は表 1 に示すとおりであって、低 C であるこ

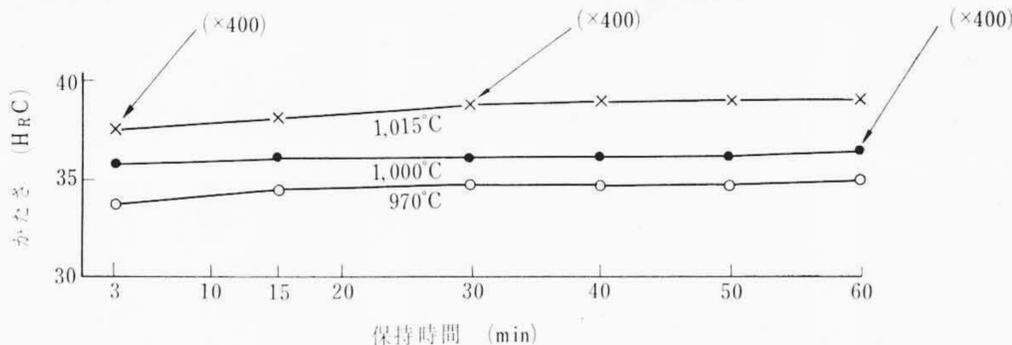
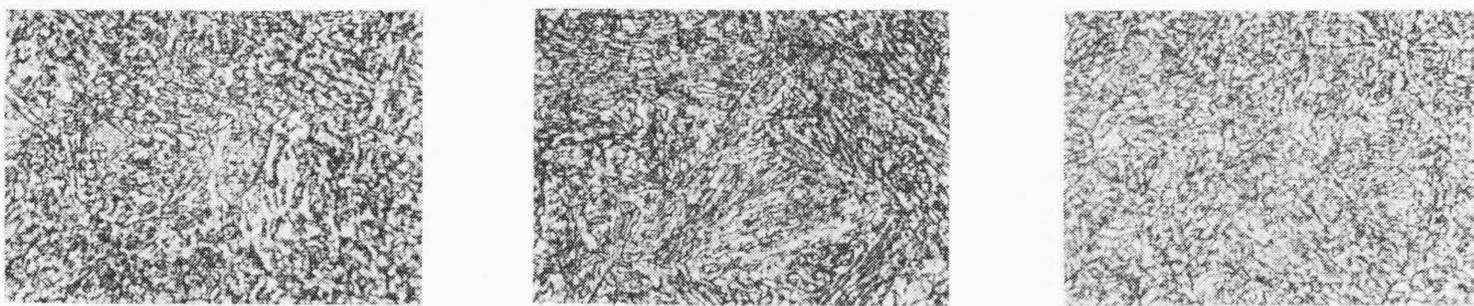
とが耐ヒートチェック性に対して有利であることは周知である。Ni はじん性の向上に効果がある。Mo は、本鋼の主役をなすものであって、熱間強度を上昇し、熱戻脆性をなくし、しかも Mo 炭化物の析出硬化作用により強度とともに耐摩耗性を与えている。

本鋼の最大の特長は、上述のように Mo 炭化物の析出硬化作用であって、焼入状態あるいは低温焼戻(一次焼戻)状態では通常の切削が十分可能な程度のかたさにあり、使用中あるいは使用前の局部加熱によって、内部は十分なじん性を保持したまま、必要部分のみのかたさを上昇することができる点にある。したがって、その特性に適応した本鋼の使用法として、

表 1 PHD の 標 準 規 格

化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	変態点 (°C)	Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>
	0.15 ~0.25	0.20 ~0.35	0.40 ~0.80	0.030 以下	0.020 以下	3.00 ~3.50	3.00 ~3.50		705	809
熱処理温度 (°C)	焼なまし		焼 入		一次焼戻		二次焼戻			
	660~690 徐冷		1,000~1,015		200 空冷		550~570 空冷			
かたさ	焼なまし H <sub>B</sub> 235 以下		焼入一次焼戻 H <sub>S</sub> 50~55		二次焼戻 H <sub>S</sub> 59~65					

(注) 二次焼戻は原則として彫刻面の局部表面焼戻とする。



各焼入温度に保持後空冷  
試料: C 0.19, Si 0.22, Mn 0.57, Ni 3.48, Mo 3.48, 20角

図 1 焼入温度、保持時間の影響

\* 日立金属株式会社安来工場 工博

\*\* 日立金属株式会社安来工場

焼入→一次焼戻→型彫り→仕上げ→(表面局部焼戻)→型打

なる形がとられる。表面局部焼戻は予熱と兼ねることがある。

焼入・一次焼戻状態は、この処理後に加工が行なわれ、型の大部分がこのままの状態で使用されるので、適なかたさ、強度および最高のじん性を有するものでなくてはならない。また、使用中あるいは使用前の局部加熱による析出硬化は、耐摩耗性、耐ヒートチェック性などの点から十分大きくなければならない。このような

本鋼の特性について、順次詳細にのべてゆく。

### 3. PHD 鋼の熱処理特性

#### 3.1 焼入特性

本鋼は、上述したように、一次焼戻状態がたいせつであり、しかも、後述するように、一次焼戻処理で性質をコントロールすることがほとんど不可能であるので、焼入処理がことさら重要な意味をもってくる。

##### 3.1.1 焼入温度と保持時間

0.19% C, 20 mm 角の試料を加熱温度 970, 1,000, 1,015°C (900°C まで 65°C/h 以後急熱), 保持時間 3, 15, 30, 60 min にとって、空冷したときの、かたさおよび代表的なミクロ組織を図1に示す。

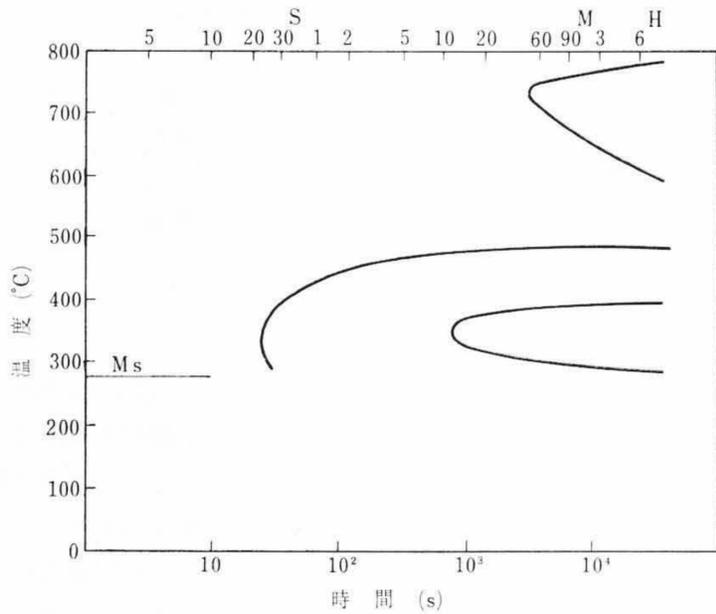
970°C では溶け込みが不十分である。1,000°C においては 30 min 保持で良好な焼入組織が得られ、60 min 保持でも結晶粒の粗大化は著しくない。1,015°C となると、短時間保持で良好な組織が得られる。この温度以上では結晶粒が粗大化しやすいので、注意を要する。

この結果から、焼入温度は 1,000°C が適当であり、1,015°C まで温度を上げるときには、保持時間を短時間に押えるほうが安全である。

##### 3.1.2 質量効果

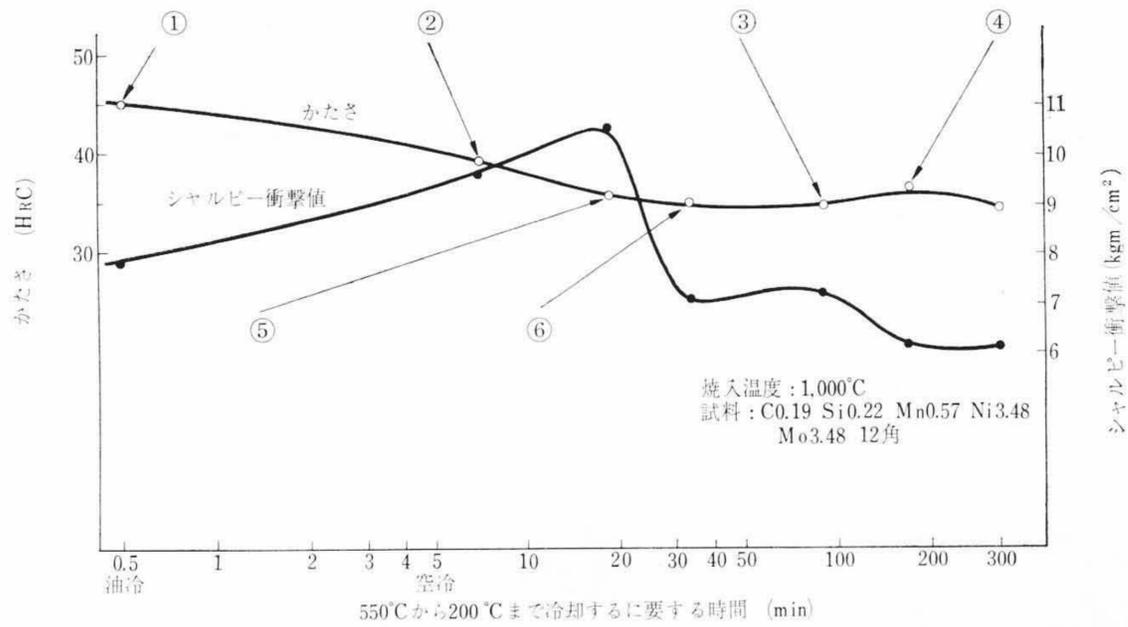
実用のダイブロックには種々の大きさがあるので、この大きさに伴う焼入時の冷却速度の相違が、かたさ・組織・じん性などに大きく影響する。

図2に、求めた PHD 鋼の恒温変態図を示す。これにより、PHD



オーステナイト化: 1,015°C × 3min  
試料: C 0.19, Si 0.22, Mn 0.57, Ni 3.48, Mo 3.48

図2 恒温変態図



焼入温度: 1,000°C  
試料: C 0.19 Si 0.22 Mn 0.57 Ni 3.48 Mo 3.48 12角

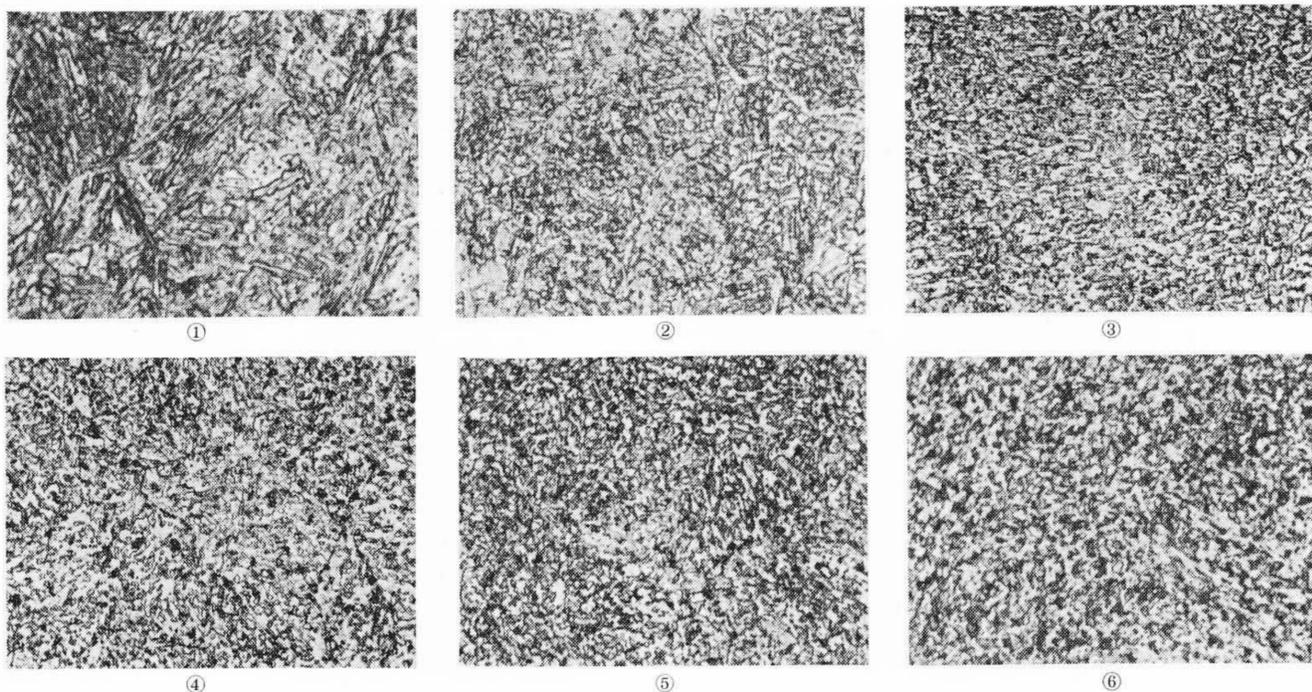


図3 焼入時の冷却速度の影響

鋼の焼入性を判定すると、パーライト変態はいかなる場合でも、まず問題なく避けられると考えられる。しかしベーナイト変態開始の鼻はかなり左に寄っており、普通の焼入法でこの鼻にひっかからずに、完全にマルテンサイト変態を行なわせることはかなりむずかしい。

このことから、PHD焼入鋼の性質は、生成したベーナイトの量および形態によって支配されると考えられる。そこで、種々の冷却速度で焼入した試料のかたさ、組織およびじん性を調べてみると、550℃から200℃まで冷却するに要する時間との間に、図3のような関係が求められた。

油冷ではマルテンサイトが大部分で一部下部ベーナイトが現われているが、550℃から200℃まで冷却するに要する時間(以下冷却時間と呼ぶ)約7minの空冷の組織は上部ベーナイトも多く、それに下部ベーナイトとわずかにマルテンサイトが現われている。さらに冷却時間が長くなるにしたがって、上部ベーナイトがほとんどを占め、これがくずれた形となる。

冷却時間20min程度までは、かたさの減少とともにじん性は増加するが、20minを越すと、かたさにはほとんど変化なく、じん性のみが急激に低下する。これは析出分の粒界あるいはへき開面優先析出の効果が現われてきていると考えられる。しかしながら、その値はかなり高く、通常の熱間型用鋼と比べて遜色ない。冷却時間3h付近でやや硬度の上昇がみられるのも、冷却過程で

の析出に原因するものであろう。

この関係から、冷却速度による焼入鋼の性質の変化がほぼ明らかとなろう。実際のダイブロックでは、加工上および強度上の問題から、焼入かたさをHs50~55(HrC 36.6~40.8)にする必要がある(一次焼戻ではほとんど変化しない)。このかたさ範囲はじん性の点からも好都合であることがわかる。そのために、品物によって、焼入時の冷却法を変え、冷却時間(550℃→200℃)を6min~20min程度(C量によって多少変わる)にコントロールすることが重要となってくる。

### 3.2 焼戻過程

図4に各温度に2時間保持した場合の、焼戻温度とかたさおよびシャルピー衝撃値、図5、6に焼入ままと最高かたさに焼戻された場合の電子顕微鏡組織およびシャルピー破面を示す。

かたさの焼戻温度による変化は500℃まで非常に少ないが、500℃以上の焼戻で急激に上昇し、560~570℃でピークに達する。これを越えると過析出となり、硬度の低下はいちじるしい。ピークかたさは焼入温度が高いほうが高い傾向にあり、低めの温度で長時間焼戻すほうが高く出る傾向にある。

シャルピー衝撃値は200℃焼戻まではやや増大するが、350℃焼戻では低下し、450℃焼戻でやや回復するも、析出硬化が進むにつれて急激に低下する。過析出となれば、硬度の低下とともにじん性は大きくなる。

組織的には、焼入ままだ粒内に微細な析出炭化物が比較的ランダムに分布している。粒界と思われる線に沿う炭化物その他の析出物はほとんど見られない。565℃焼戻材では焼入組織よりも粒内の析出物が多く、方向性をもってきており、明らかにへき開面に沿って析出している。また粒界にも析出物が顕著に現われている。

シャルピー破面は焼入ままのものについては、“dimple”で代表されるように、延性破面を示している。しかし、565℃焼戻材では、一部に延性様破面もみられるが、大部分が脆性様破面を呈している。これらはそのままシャルピー衝撃値に現われている。

以上の関係から、焼戻温度による性質の変化がほぼ明らかにされたと考える。

実際問題として、ダイブロックは焼入のままでは、急冷にともなう内部応力を残し、不安定であるので、焼入直後焼戻を施しておくことが必要である。この焼戻、すなわち一次焼戻処理はじん性の点からみて、200℃とすることが妥当であろう。ひずみ取りの意味から、450℃焼戻も考えられるが、100mm角程度の試料を用いて、200℃と450℃焼戻した場合の表面残留応力を測定してみると、そ

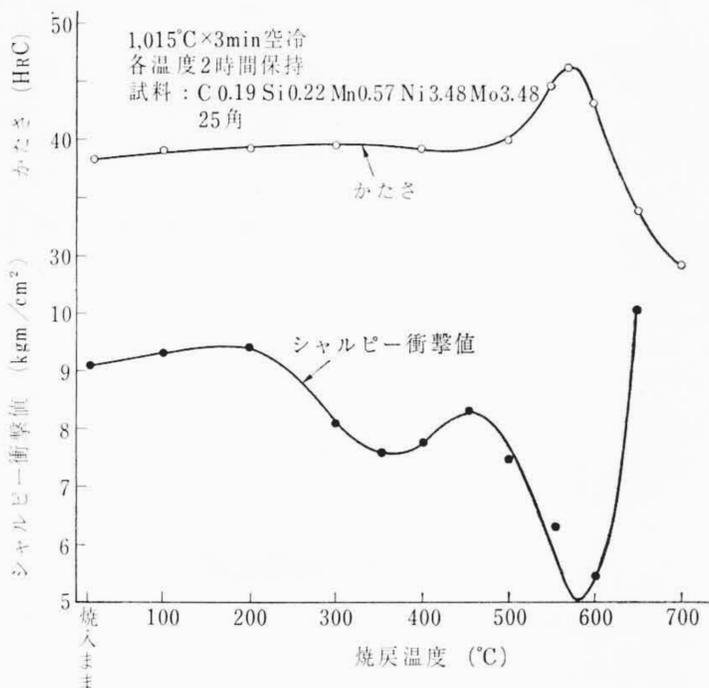
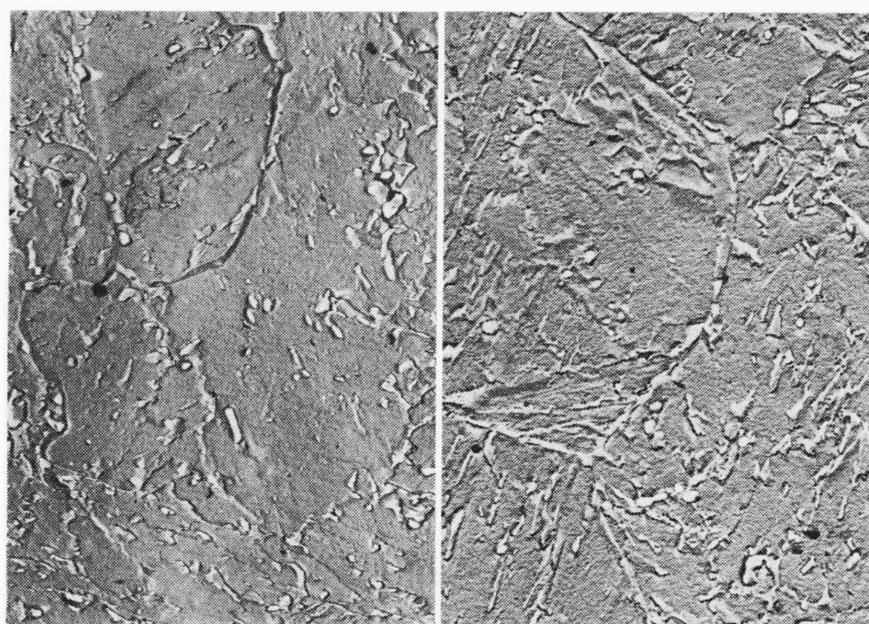


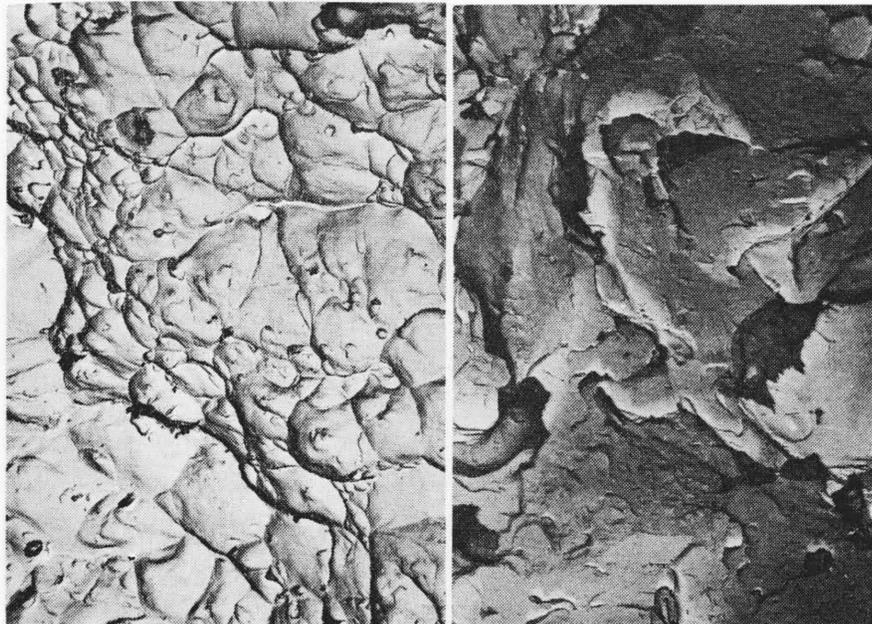
図4 焼戻温度の影響



1,015°C空冷まま (×3,000)

565°C焼戻 (×3,000)

図5 焼入ままおよび焼戻材の電子顕微鏡組織



1,015°C空冷まま (×3,000)

565°C焼戻 (×3,000)

図6 焼入ままおよび焼戻材のシャルピー破面の電子顕微鏡組織

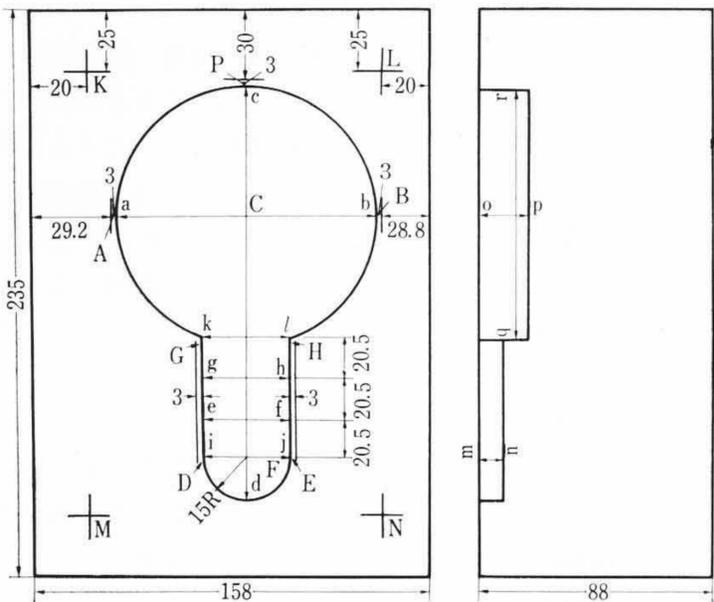


図7 火炎加熱試料

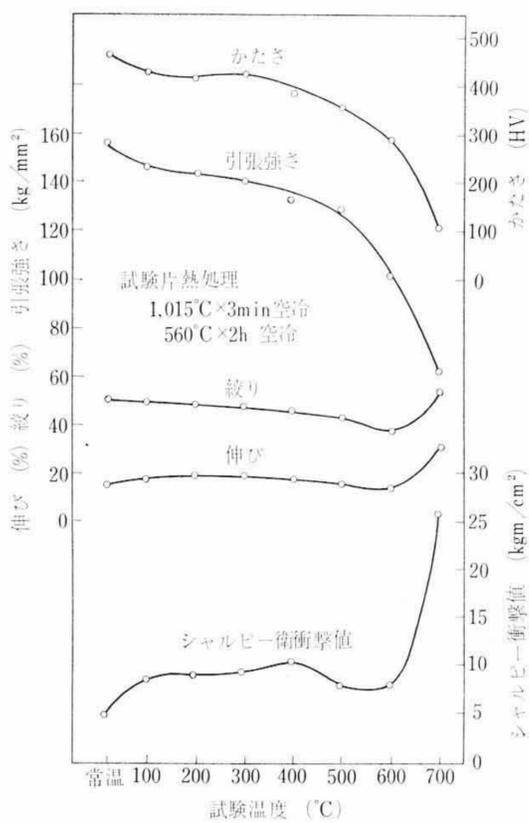


図8 熱間機械的性質

の相違は大差なかった。450°C 焼戻のほうが1~2 kg/mm<sup>2</sup>程度低いだけであった。

このように、一次焼戻処理法は一定のものとして得ないので、一次焼戻処理によって、本鋼の性質、とくにかたさをコントロールすることができない。この意味において、前述したように焼戻時の冷却を適当にし、かたさをコントロールすることが重要となるのである。

本鋼が適当な焼戻温度ならびに冷却速度でもって焼戻され、一次焼戻も適切であるならば、使用中のあるいは使用前の局部加熱によって、図4のような最高かたさ約 HRC 45程度を、表面の必要部分にのみ得ることができ、しかもほかの部分は高じん性を保有したまままであって、型全体としてすぐれた性能を発揮できることが期待される。

### 3.3 局部加熱による変形

一般に鋼は熱処理することによって変形を生ずる。しかしながらPHD鋼は焼戻・一次焼戻後に型彫されるので、焼戻による変形は問題でない。ただ、型彫後の局部加熱によって析出硬化するときの変形は調べておく必要がある。

ここでは、図7のような型に、プロパン・空気炎によって表面硬化を行なった場合の一例について、その変形を表2、かたさ変化を表3に示す。

表2 変形測定結果

測定箇所	Flame 加熱前 (mm)	Flame 加熱後 (mm)	変形量 (mm)
a - b	100.075	100.090	+0.015
c - d	175.050	175.035	-0.015
k - l	30.030	30.025	-0.005
g - h	30.030	30.025	-0.005
e - f	30.030	30.025	-0.005
i - j	30.030	30.025	-0.005
o - p	14.945	14.945	0
m - n	6.045	6.045	0
q - r	100.085	100.087	+0.002

表3 硬度測定結果 (Hs)

測定箇所	Flame 加熱前	Flame 加熱後
A	52.5	60
B	50.5	61
C	51.0	64
D	52.0	61
E	51.5	62
F	51.0	60
G	51.0	64
H	51.0	65
P	51.0	61
K	51.0	57
L	51.5	56
M	52.5	57
N	52.5	55

表4 耐ヒートチェック性

鋼種	熱処理	かたさ (HRC)	N (個)	L (mm)	$\bar{l}$ (mm)	$l_2$ (mm)	$l_5$ (mm)
PHD	1,000°C x 30 mm 空冷 570°C x 1時間 空冷	45.7	147	11.79	0.080	0.775	0.425
DAC	1,030°C x 30 mm 空冷 620°C x 1時間空冷2回	45.2	145	12.83	0.102	0.825	0.550
DM	850°C x 20 mm 油冷 600°C x 1時間 空冷	39.3	72	15.40	0.214	0.975	0.500

N (個): チェックの総個数  
 L (mm): チェックの総長さ  
 $\bar{l}$  (mm): チェックの平均長さ = L/N  
 $l_2$  (mm): 2番目に長いチェックの長さ  
 $l_5$  (mm): 5番目に長いチェックの長さ  
 検鏡距離: 30 mm  
 DAC: 0.4C-1Si-5Cr-1.4Mo-0.8V  
 DM: 0.55C-1.65Ni-1.2Cr-0.35Mo-0.15V

## 4. PHD鋼の熱間性質

PHD鋼は熱間が使用されるので、熱間の性質を調べておく必要がある。とくに硬化した部分が高温にさらされるので、本項では硬化した状態の熱間性質を示す。

### 4.1 熱間強度およびじん性

560°Cで焼戻して析出硬化させた試料の熱間引張試験、熱間シャルピー衝撃試験および熱間かたさ試験の結果を図8にまとめて示す。この結果をみると、熱間強度は普通のドロップハンマー用型鋼として使用されているNi・Cr・Mo系鍛造用型鋼より強く、5%Cr系熱間ダイス鋼にくらべても、とくに高温において高めである。またじん性値も熱間型鋼として十分なる値を有している。

### 4.2 耐ヒートチェック性

繰返し加熱冷却を受ける型面は、微小クラック(ヒートチェック)の発生しやすい条件下にある。このヒートチェックは型表層部の熱疲労に粒界の選択酸化現象なども加わって発生ならびに拡大するものとされており、これが型全体の致命的な破壊を招く原因ともなりうる。

このようなヒートチェックに対する抵抗性をみるために、14φ x 15 lの試験片を700°C 鉛浴15s → 20°C 水浴2s → 放冷43sなる急熱急冷サイクル(1サイクル当り60s)を2,000回繰返し試験片に発生したクラックを検鏡した。その結果を示したのが表4である。

表5 エンドミルによる切削試験結果

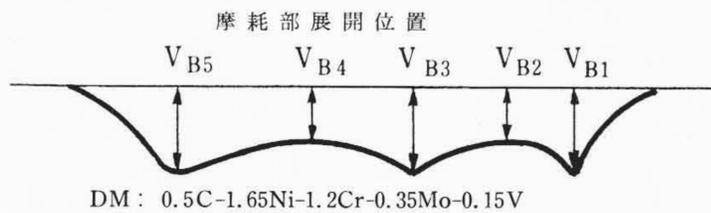
鋼種	熱処理	かたさ (Hs)	寸法 (mm)	摩耗幅 (mm)
PHD	1,000°C 空冷 200°C 空冷	51	200×200×410	0.7
SKD61	1,030°C 油冷 635°C 空冷	50	65×115×300	0.6
SKT4	850°C 油冷 610°C 空冷	50	200×200×200	0.4

SKD61 : 0.4C-1Si-5Cr-1.4Mo-0.8V  
SKT4 : 0.55C-1.65Ni-0.85Cr-0.35Mo

表6 生産フライスによる切削試験結果

鋼種	熱処理	かたさ (Hs)	寸法 (mm)	V <sub>B1</sub>	V <sub>B2</sub>	V <sub>B3</sub>	V <sub>B4</sub>	V <sub>B5</sub>
PHD	950°C油冷* 300°C空冷*	52	140×300×200	0.55	0.35	0.40	0.30	0.35
DM	850°C油冷 650°C空冷	52	140×300×200	0.59	0.42	0.43	0.37	0.38
外国製DM相当		52	140×300×200	0.63	0.40	0.38	0.37	0.38

\* 特殊な場合



PHD 鋼は Ni・Cr・Mo 系鍛造用型鋼よりチェック数は多いが、チェックの長さは短く、5% Cr 系熱間ダイス鋼に匹敵する耐ヒートチェック性を有している。

### 5. PHD 鋼の被削性

PHD 鋼の焼入材はパーナイト組織であり、しかも析出硬化性が大きいために被削性は一般に劣ると考えられる。これは切削中の強加工のために生ずる刃先の切削熱により、切粉ならびに切削面が硬化し、工具摩耗を促進させるためであろう。

以下に同一条件で行なった二、三の切削試験結果を示す。

#### (i) エンドミルによる被削性

切削条件は次のとおりである。

- 使用機械： 大隈鉄工所製フライス盤
- 使用工具： SKH 2, 22φ 2 枚刃エンドミル
- 切削速度： 9.67 m/min (140 rpm)
- 送り： 14 mm/min (0.05 mm/刃)
- 切込み： 1 mm
- 切削油： な し
- 切削長さ： 1,140 mm

エンドミル刃先の摩耗幅 (V<sub>B</sub>) を 50 倍の拡大鏡で測定した結果を表 5 に示す。PHD 鋼は比較材 Ni・Cr・Mo 系鍛造用型鋼 SKT4 および 5% Cr 系熱間ダイス鋼 SKD 61 よりやや劣る程度である。

#### (ii) 生産フライスによる被削性

切削条件は

- 使用機械： 新潟鉄工所製 生産フライス盤
- 使用カッター： 東和冶金 WS 25, カッター径 260 φ, 一本バイト
- 切削速度： 107 m/min
- 送り： 16 mm/min (0.12 min/rev)
- 切込み： 35 mm
- 切削面： 140×300 mm
- チップの形状： 図 9

140×300 の面を 6 回切削後 V<sub>B</sub> 摩耗量を比較した結果を表 6 に示す。この場合、PHD 鋼の被削性は良好であった。

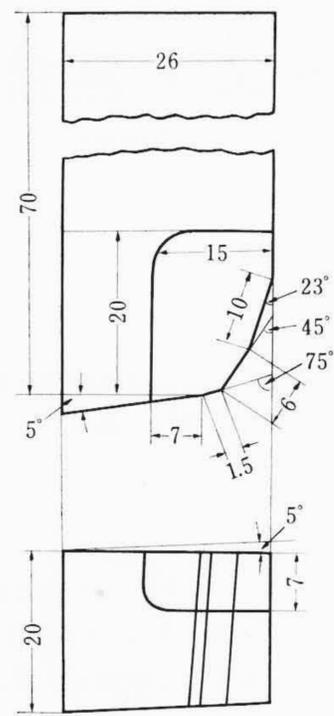


図9 生産フライス盤チップの形状

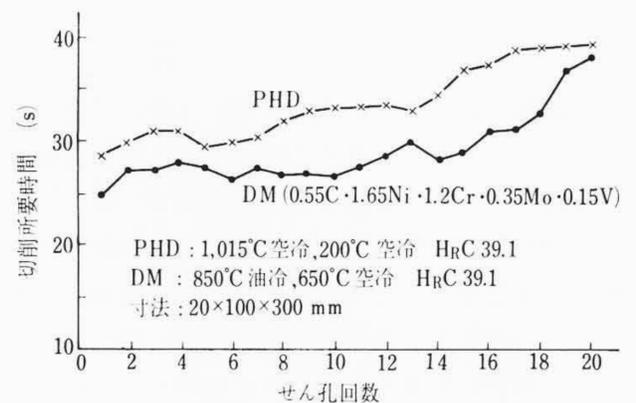


図10 ドリルせん孔テスト結果

#### (iii) ドリルによる被削性

切削条件は次のとおりである。

- 使用機械： 北川製作所製卓上精密ボール盤
- 使用ドリル： 魚津製, SKH9, 8φ ストレートシャンクドリル
- ドリル回転数： 70 rpm
- せん孔深さ： 10 mm/回, 20 穴
- 荷重： 7 kg (ドリル先端 70 kg)
- ドリル： 3 本使用

ドリルせん孔試験結果として、切削所要時間とせん孔回数との関係を図 10 に示す。Ni・Cr・Mo 系鍛造用型鋼よりやや劣る。

## 6. 結 言

以上、ヤスキ・析出形プレス鍛造用型鋼 PHD 鋼の特性について述べてきた。この鋼の特長、とくに析出硬化を型に十分生かすため、最高の性能を発揮させるには、厳選された原料と高度に管理された精錬ならびに鍛錬を行なって、すぐれた素材を得ることはもちろんであるが、適切な焼入と一次焼戻処理を施すことが重要であることがわかった。そうすることによって、高じん性の、しかも型面の必要部分を強度の大なる型とすることができる。また本鋼は熱処理変形などの問題でなやまされることもない。被削性に対しても実用上ほとんど問題なからう。

使用に際しては、本鋼の特性を十分考慮のうえで使用することが、型寿命を長くし、作業能率を向上させるポイントと思われる。とくに型の温度は常に 100~200°C に保つように、型面の温度は 600°C 以上に上昇させないように適当な冷却の方法をとることが、型のじん性を低下させることなく、型面の焼戻軟化を防ぎ、かつ繰返し発生する熱応力も小さくして、寿命を長くすることである。