

## 改良形 Mo 系高速度鋼 (YXM1) について

Improved Molybdenum High Speed Steel (YXM1)

清 永 欣 吾\*  
Kingo Kiyonaga河 合 重 徳\*\*  
Shigenori Kawai

## 内 容 梗 概

ドリル材として広く使用されている YXM1 の改良研究を行ない、一流の欧米品に比し遜色のない製品が製造されるようになった。この改良形 YXM1 は、炭化物がきわめて微細かつ均一に分布し、低い焼入温度で十分な焼戻硬度を与え、かつ焼戻抵抗が大きいことを特長とする。その結果、高硬度範囲の靱性を著しく改善し切削耐久性を上昇した。

## 1. 緒 言

Mo 系高速度鋼は比較的低温からの焼入が可能で、靱性（じんせい）および耐摩耗性に富み、価格の点でも W 系高速度鋼に比べ有利であることから、その使用量は近年著しく増大している<sup>(1)~(3)</sup>。なかでも、最も標準形とされる 6-5-2 形 (SKH9, ヤスキブランド YXM1) は現在実用されている高速度鋼中で最も靱性が大きく<sup>(4)</sup>、ドリル、タップおよび各種カッター類に広く賞用されている。

Mo 系高速度鋼がわが国で工業的に使用されはじめたのは昭和 30 年以降で歴史が浅く、需要家では国産 Mo 系高速度鋼は輸入材に比べ品質的に劣ると評価され、相当量の外材が輸入されていた<sup>(5)</sup>。

品質は最終的には切削性能で評価されるけれども、外材と比較して劣るとみなされる受入検査上の主要な点は

- (1) 焼戻硬度にバラツキが多く、一般に外材よりも低い。
- (2) 炭化物粒の大きさが大である。
- (3) 素材（黒皮品の場合）の表面脱炭が大きい。
- (4) 組織上の偏析が多い。

の 4 点にしばられる。

ドリルやタップ、あるいはハックソーブレードのようにマスプロ方式によって製造される高速度鋼工具は、特に上記の点が厳重に検査され、またこれらは YXM1 の最も大きな需要源でもある。

日立金属工業株式会社では YXM1 の総合的な製造研究の結果、上記の問題点を克服し、最もすぐれているといわれる外材と同等ないし、それ以上の製品を製造しうるようになった。本稿では新工程により製造された改良形 YXM1 の特性を述べ、従来品ならびに外材との比較を行なった。

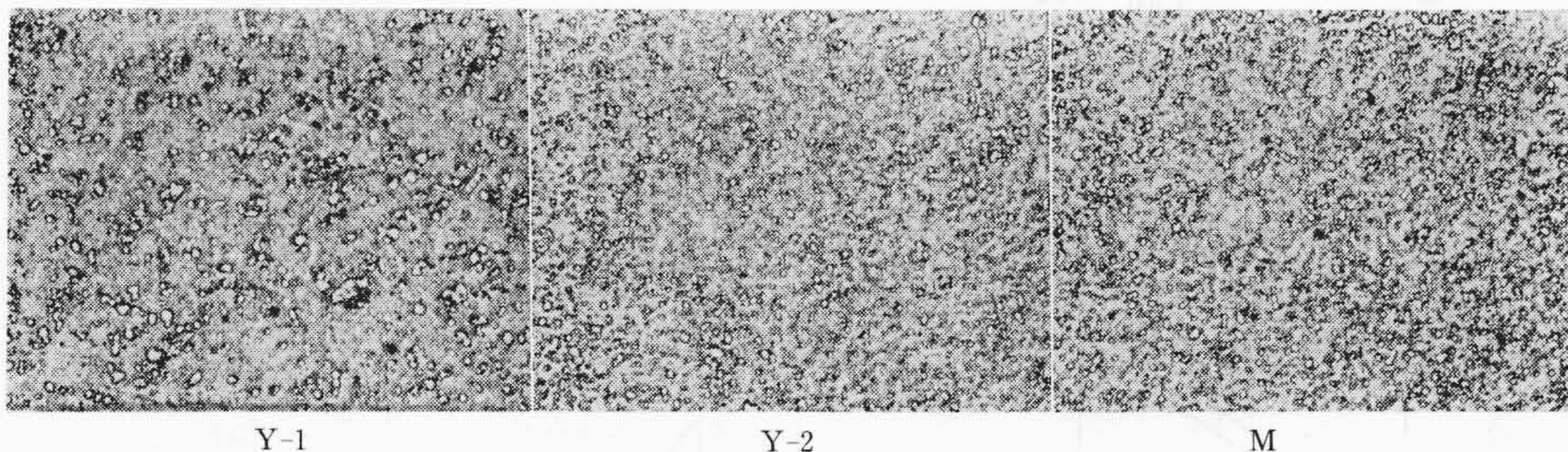
## 2. 供 試 材

供試材はいずれも直径 10 mm の黒皮圧延棒鋼で、それぞれ適当な焼鈍が施されてある。これらの化学組成を第 1 表に示す。

表中、Y-1 は旧工程によって製造されたいわゆる従来品で、在庫品中より無作意に採取したものである。Y-2 は新工程で製造されたいわゆる改良形 YXM1 である。M は西独 M 社の製造になるもので、外材中でもドリル材として最もすぐれた性能をもち、品質のバラツキが少なく、信頼して使用できると評されており、本試験に使用した M 材は国内某ドリルメーカーの受入検査において、M 社材の中で

第 1 表 供 試 材 の 化 学 組 成

| 試 料    | 径<br>(mm) | 化 学 組 成 (%) |      |      |      |      |      |      |
|--------|-----------|-------------|------|------|------|------|------|------|
|        |           | C           | Si   | Mn   | Cr   | W    | Mo   | V    |
| Y-1    | 10        | 0.88        | 0.26 | 0.33 | 4.28 | 7.00 | 4.85 | 2.00 |
| Y-2    | 10        | 0.86        | 0.31 | 0.34 | 4.15 | 6.93 | 5.30 | 1.83 |
| M(外国材) | 10        | 0.84        | 0.19 | 0.17 | 4.15 | 6.33 | 5.05 | 1.81 |



第 1 図 素 材 の 顕 微 鏡 組 織 (×400)

もとくに優秀と判定されたものである。

素材のミクロ組織を第 1 図に示す。いずれもフェライト基質中に微細な複炭化物を分布した組織であるが、Y-1 に比較し、Y-2 および M の複炭化物がきわめて微細化していることがわかる。

## 3. 熱 処 理 性 質

10φ×10 mm の試料を作製し、1,025℃で 130 秒予熱後 1,210, 1,220 および 1,230℃の塩浴中に各 65 秒浸漬し、油焼入する熱処理を施した（この熱処理はドリル材の熱処理時間を短縮し、作業を能率化するために、特別に予熱温度を上昇し焼入浸漬時間を短縮したものである）。その場合のオーステナイト結晶粒度を第 2 図に示す。次に、これらを 555℃に保持した環状電気炉中で 1 時間ずつ 6 回焼戻しを繰り返し、各回ごとの硬度を測定した。測定結果を第 3 図に示す。

以上より、Y-2 および M は Y-1 に比べ、同一焼入温度における結晶粒が微細であり、かつ焼戻硬度の高いことが知られる。とくに焼戻硬度に関しては、焼入温度が低く、炭化物の固溶が比較的進行しがたい条件の場合に十分でしかも安定な焼戻硬度を与え、従来品との差をますます大きくする傾向がみられる。これらの図が示すように、従来品と同一の焼戻軟化抵抗度が新工程品あるいは M 材では約 20℃低い焼入温度において得られることとなり、一方結晶粒は微細となるために、靱性値の差はいっそう大となることが予想される。

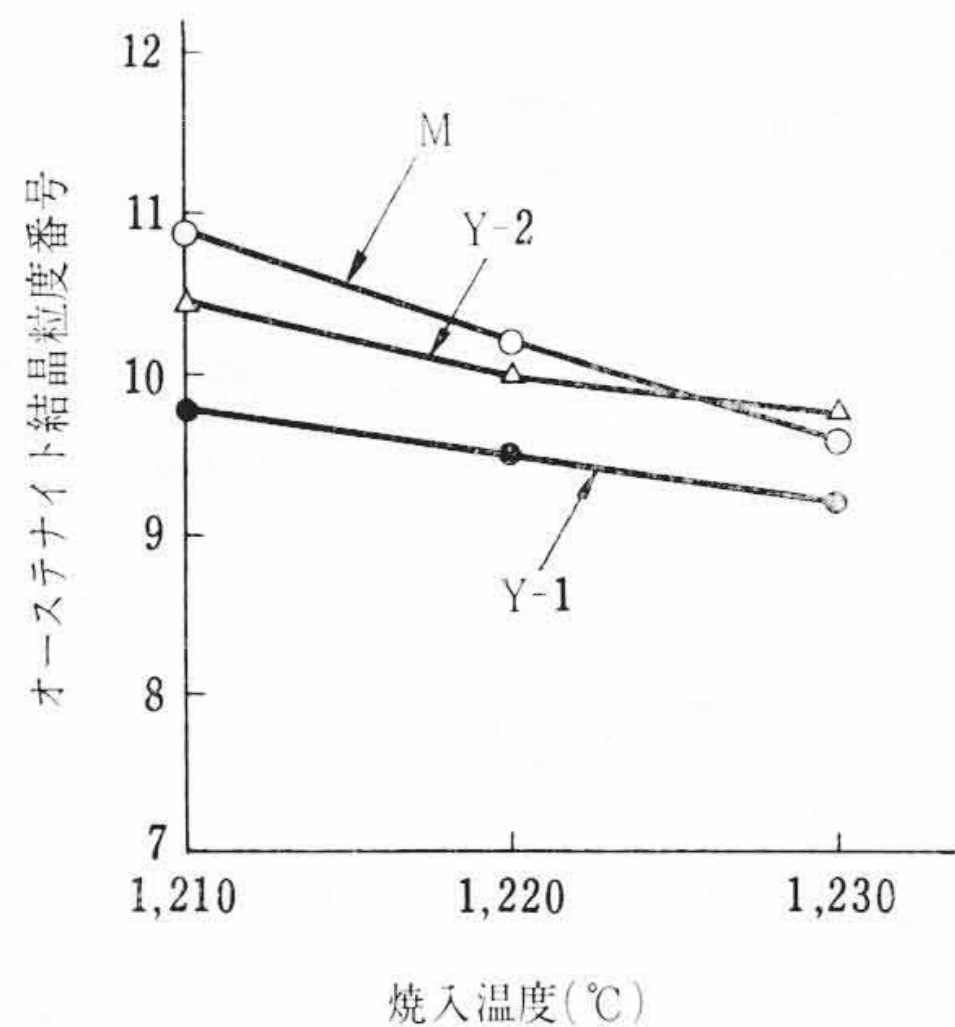
## 4. 靱 性

Y-1 および Y-2 の静的靱性を比較するために、10 t アムスラー引張試験機を用いて一点荷重方式の抗折試験を行なった。試験片は

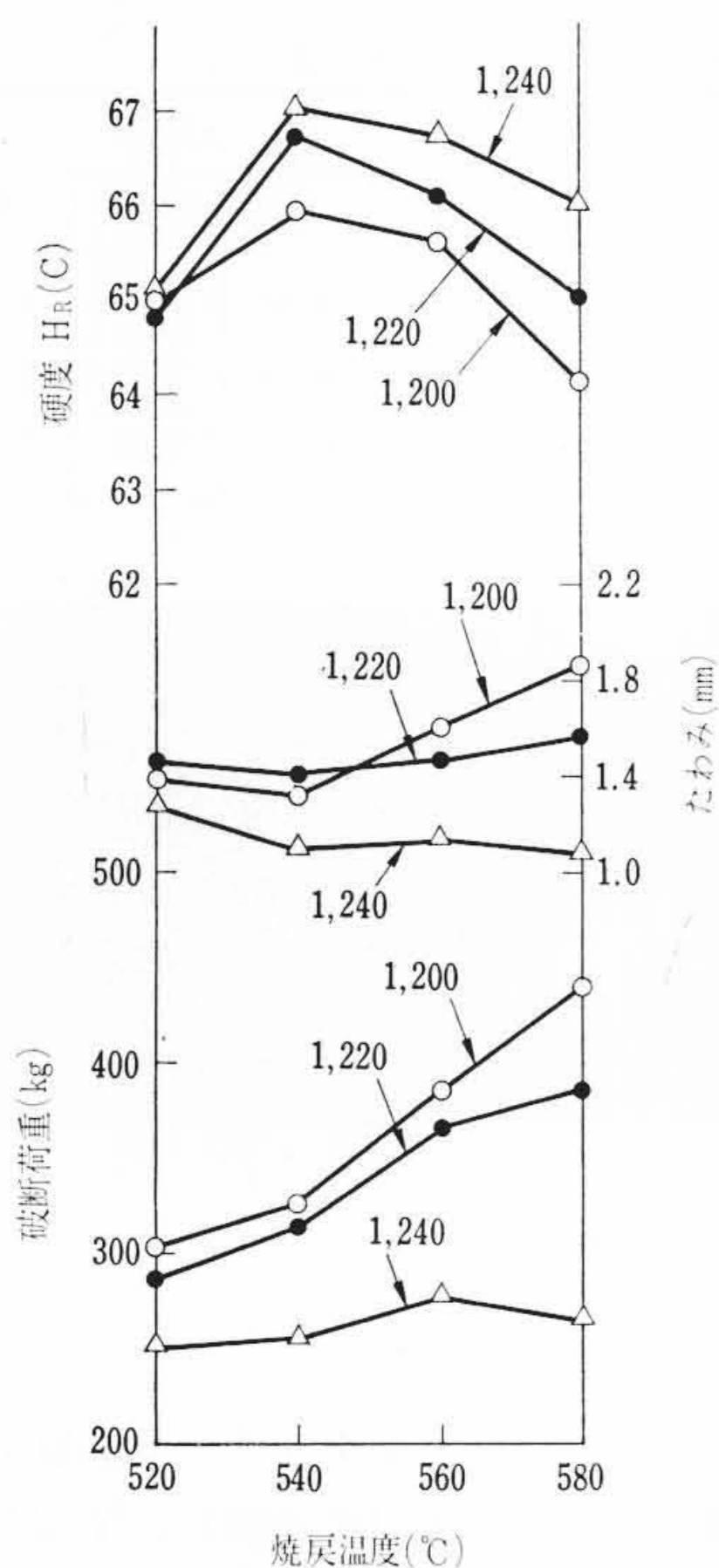
\* 日立金属工業株式会社安来工場

\*\* 日立金属工業株式会社 本社

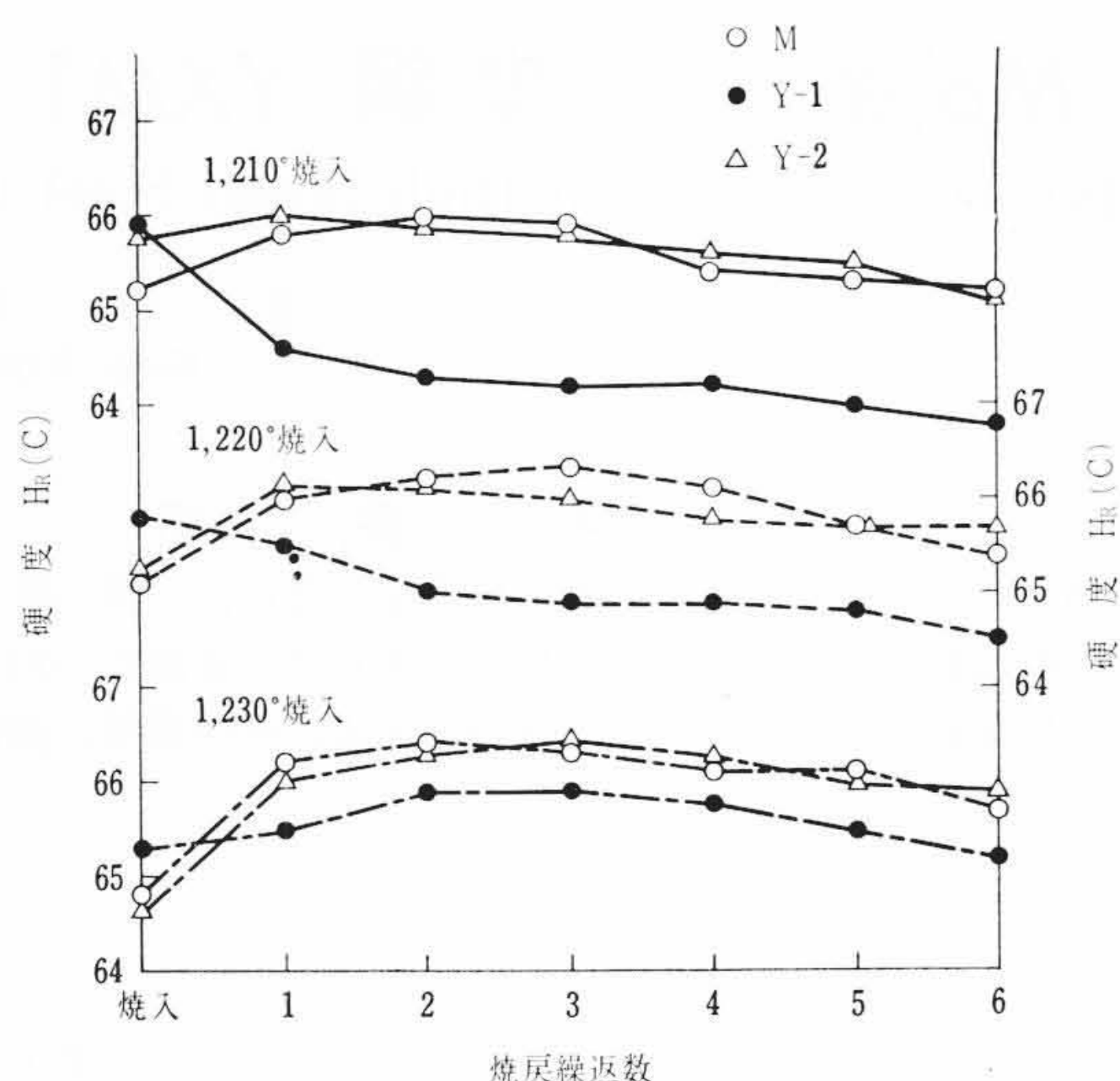
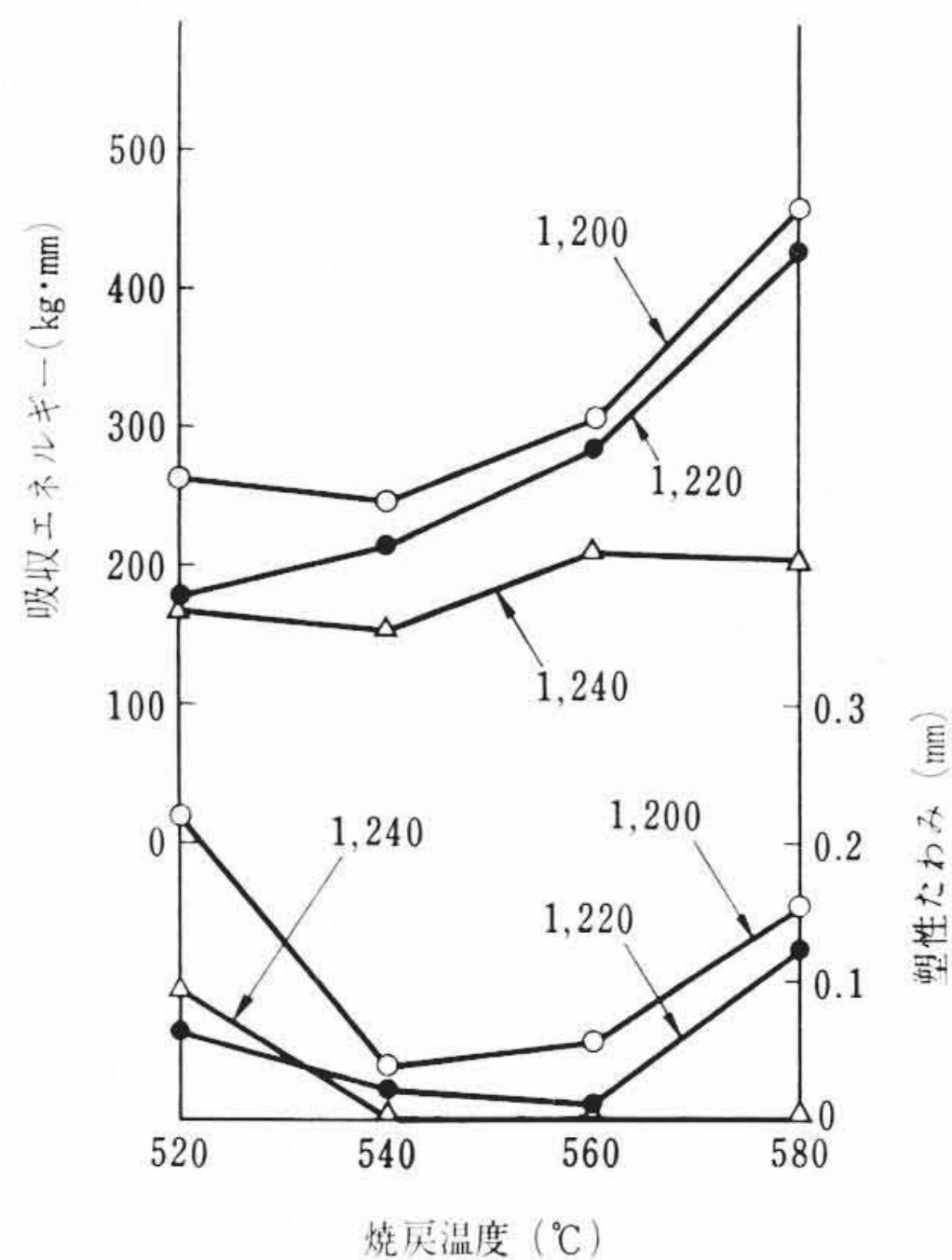




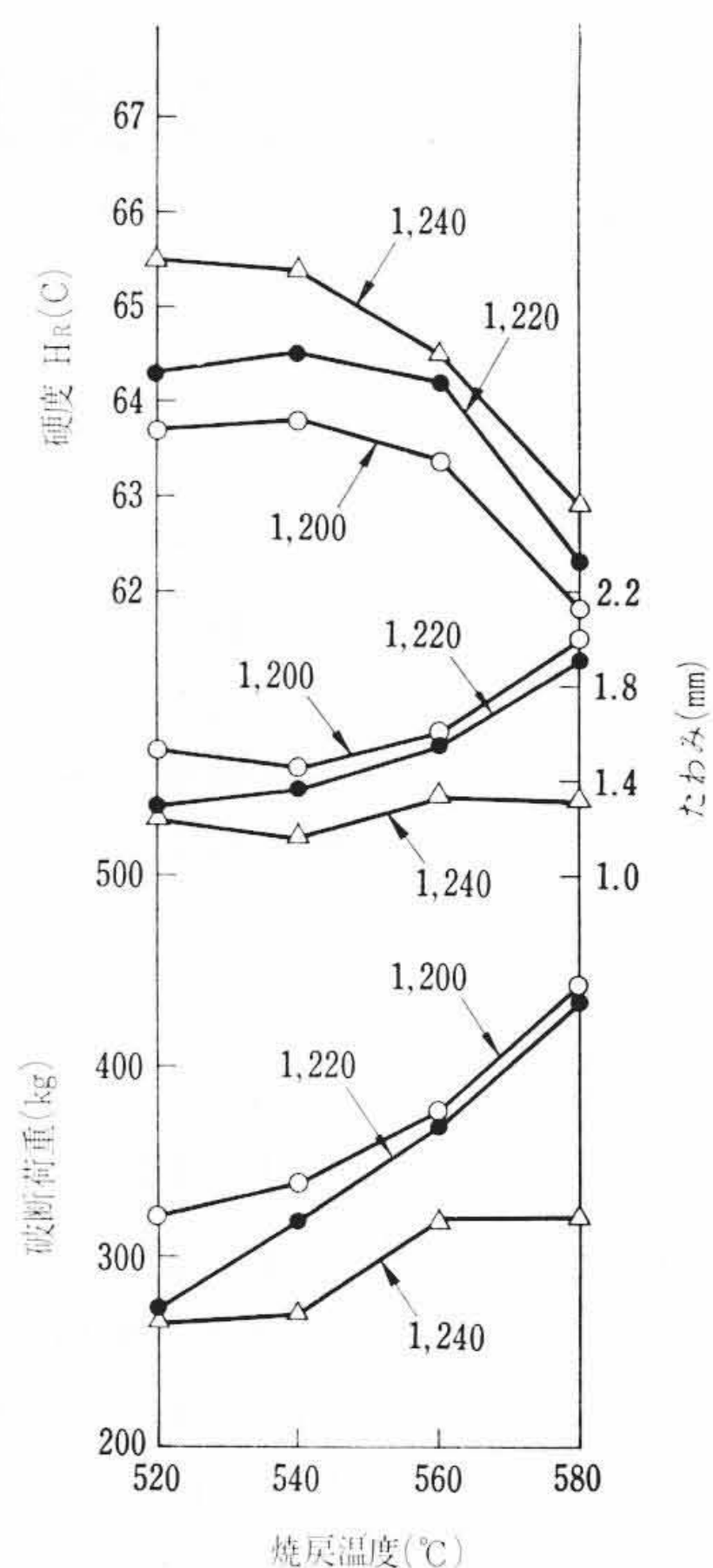
第2図 焼入温度とオーステナイト結晶粒度の関係



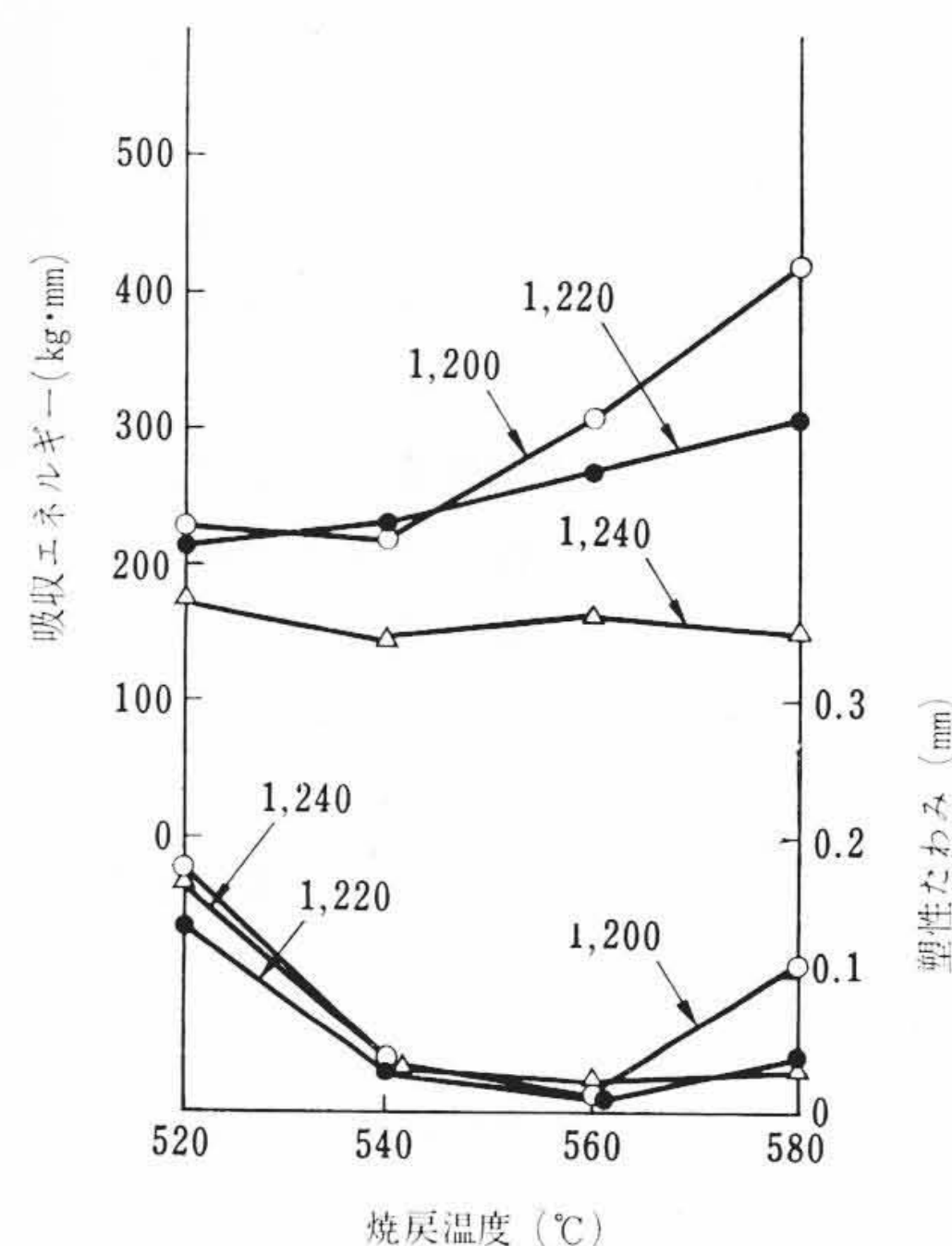
第5図 Y-2の抗折試験結果

第3図 各試料の焼戻硬度  
(焼戻 555°C×1 時間)

第6図 Y-1の熱処理条件と靱性の関係



第4図 Y-1の抗折試験結果



第7図 Y-2の熱処理条件とじん性の関係

5φ×70mmで、支点間距離50mm、その中央を10Rの押金具で荷重を加え、破断するまでの荷重とたわみの関係を求めた。ただし、たわみの測定には1/100mmダイヤルゲージを用い、まず10kgの予荷重を加えてそのときのダイヤルゲージの目盛を0に合わせ、次にはほぼ一定ひずみ速度で荷重を増加しながらたわみを測定した。

試験片は塩浴中で予熱900°C×5分、焼入れは1,200～1,240°Cの各焼入温度において1分浸漬後油冷を行ない、所定の焼戻温度(520～580°C)で1時間ずつ2回焼戻した。試験は同一処理条件において4本行ない、その平均値をもって結果を図示した。硬度は破断した試料を表面より1mm平行研磨し、ロックウェル硬度計で測定した。

第4図および第5図に試験結果を示す。焼入温度の上昇につれて焼戻硬度は増加し、破断荷重および破断時のたわみ量で示される静的靱性値は減少する。焼入温度1,200～1,220°Cの範囲では大差ないが、1,240°Cでは明らかに靱性は低下し、焼戻温度を上昇しても、その向上が小さい。この傾向はY-1およびY-2の両方に共通に認められる。両者の明らかな差は同一熱処理条件において、Y-2の焼戻硬度が高く、一方靱性値は若干Y-1のほうが大きいことである。

試験時の荷重-たわみ線図より、各試料の破断に要する仕事量(吸収エネルギー)と塑性たわみ量を求めた。結果を第6図および第

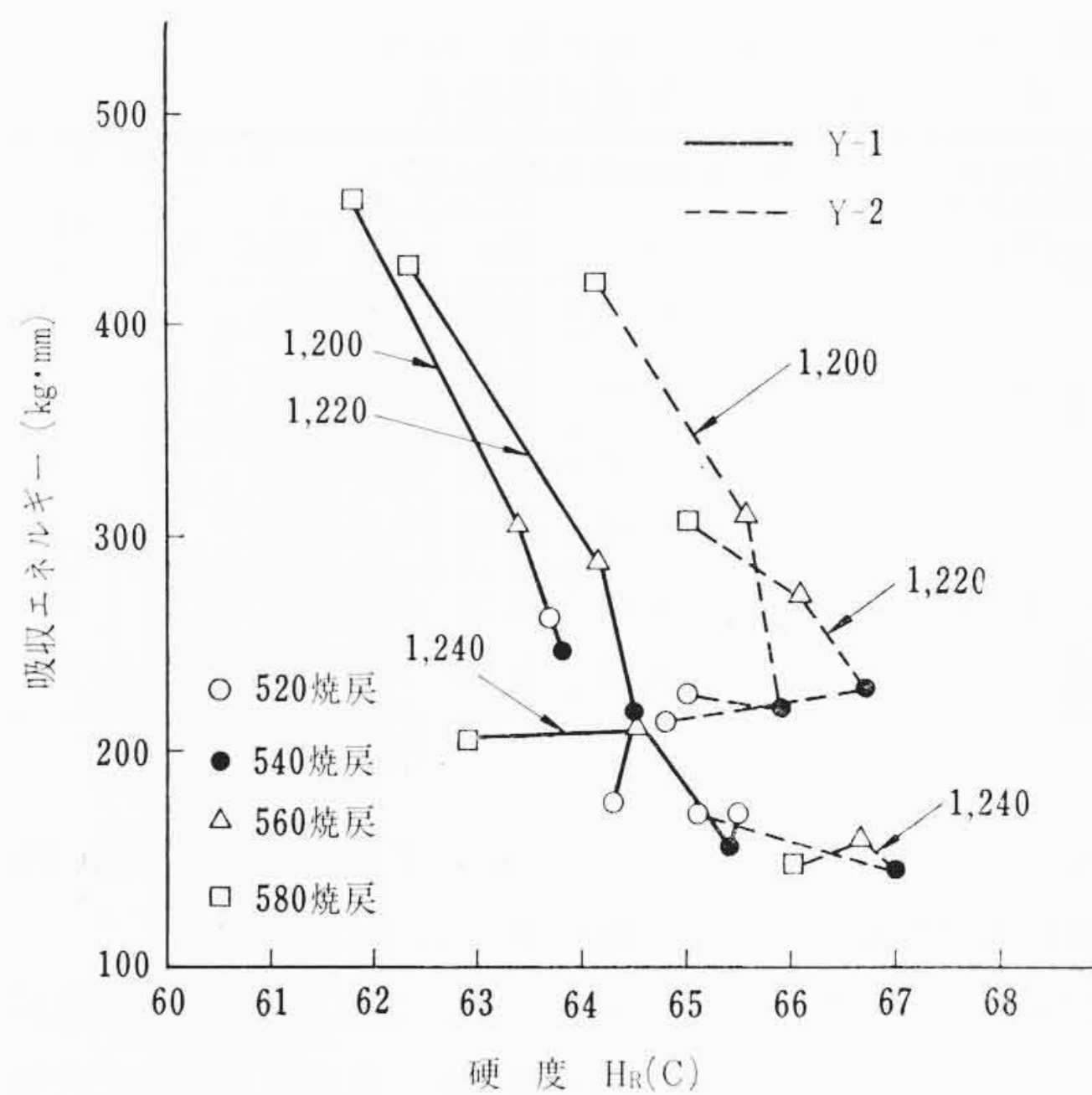
7図に示す。吸収エネルギーは破断荷重あるいはたわみ量とほぼ同様の傾向を示す。塑性たわみは焼入温度の低いほど大きい傾向はあるが、あまり明瞭ではない。焼戻温度540～560°Cで極小を示し、同一熱処理条件における塑性たわみはY-1のほうがわずかに大きいようである。

第8図に硬度と吸収エネルギーの関係を示す。Y-2のほうが同一硬度で比較した場合にいちじるしく吸収エネルギーが高いことがわかる。細物ドリルは硬度H<sub>R</sub>(C) 65～66で使用されるが、この硬度範囲では吸収エネルギーにして約170kg・mm、約100%Y-2のほうが靱性が大である。

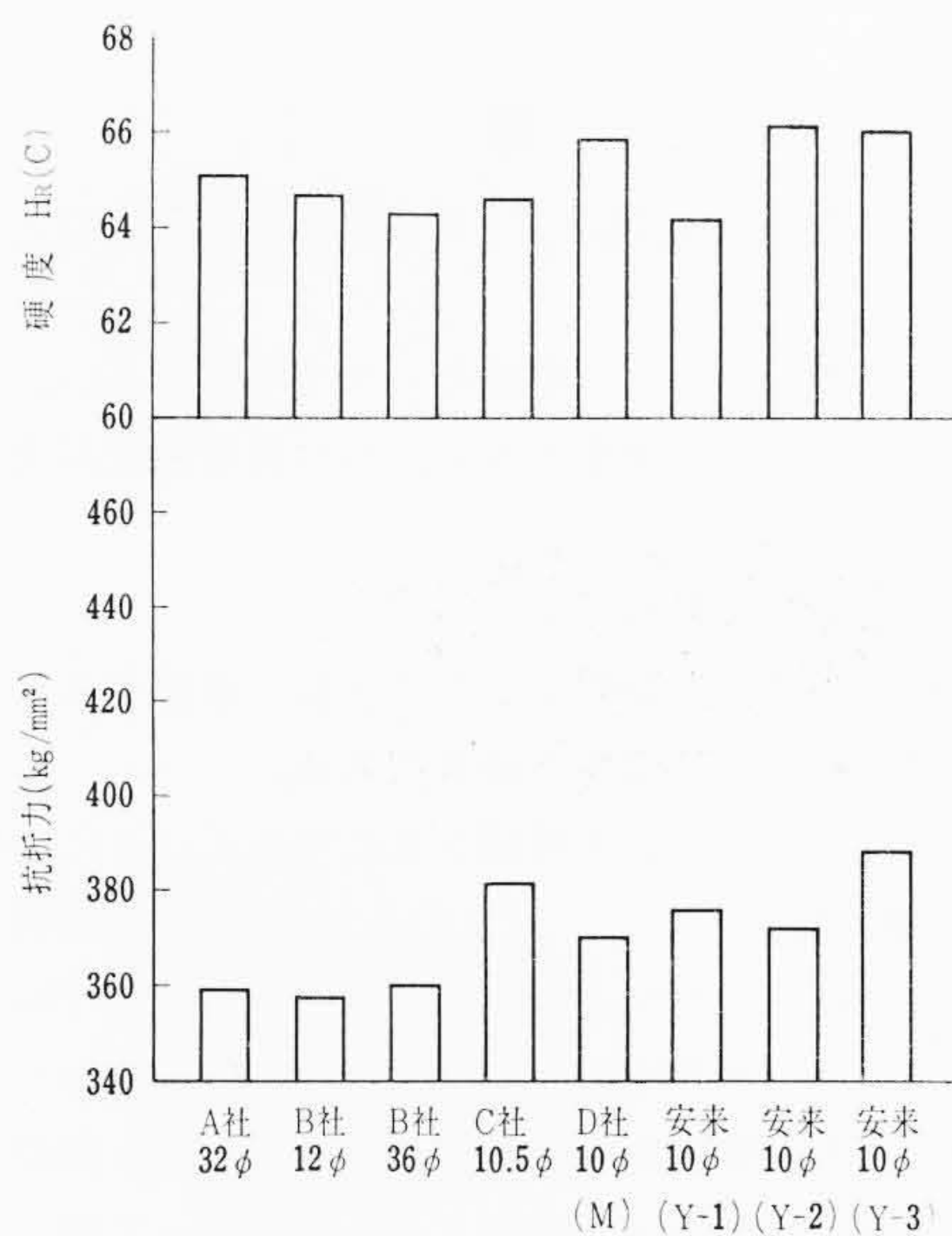
同様に塑性たわみと硬度の関係を示すと第9図のようになる。Y-1がH<sub>R</sub>(C) 65以上で塑性たわみ量が0になるのに対し、Y-2はなお相当量の塑性たわみを示している。

以上のように、新工程品は従来品に比較して、高硬度範囲の靱性を著しく改善する。





第8図 硬度と吸収エネルギーの関係



第10図 内外他社材 (SKH 9 相当) と安来材の抗折力の比較

Mについては試験材が不足のため、標準処理を施した場合の靱性のみ試験した。結果を第10図に示す。比較のために国内他社材 (A, B社), オーストリアC社の試験値も併記した。いずれも SKH 9 相当の化学成分をもっている。Y-3はY-2と同様、新工程品の一例である。試料の熱処理はいずれも 900℃×5分予熱, 1,220℃×1分油焼入, 560℃×1時間2回焼戻で、試験方法は前述とまったく同じである。抗折力は破断荷重より次式で計算したものである。

$$\text{抗折力 (kg/mm}^2\text{)} = \frac{8WL}{\pi D^3}$$

ただし,  $W$ : 破断荷重 (kg)

$L$ : 支点間距離 (mm)

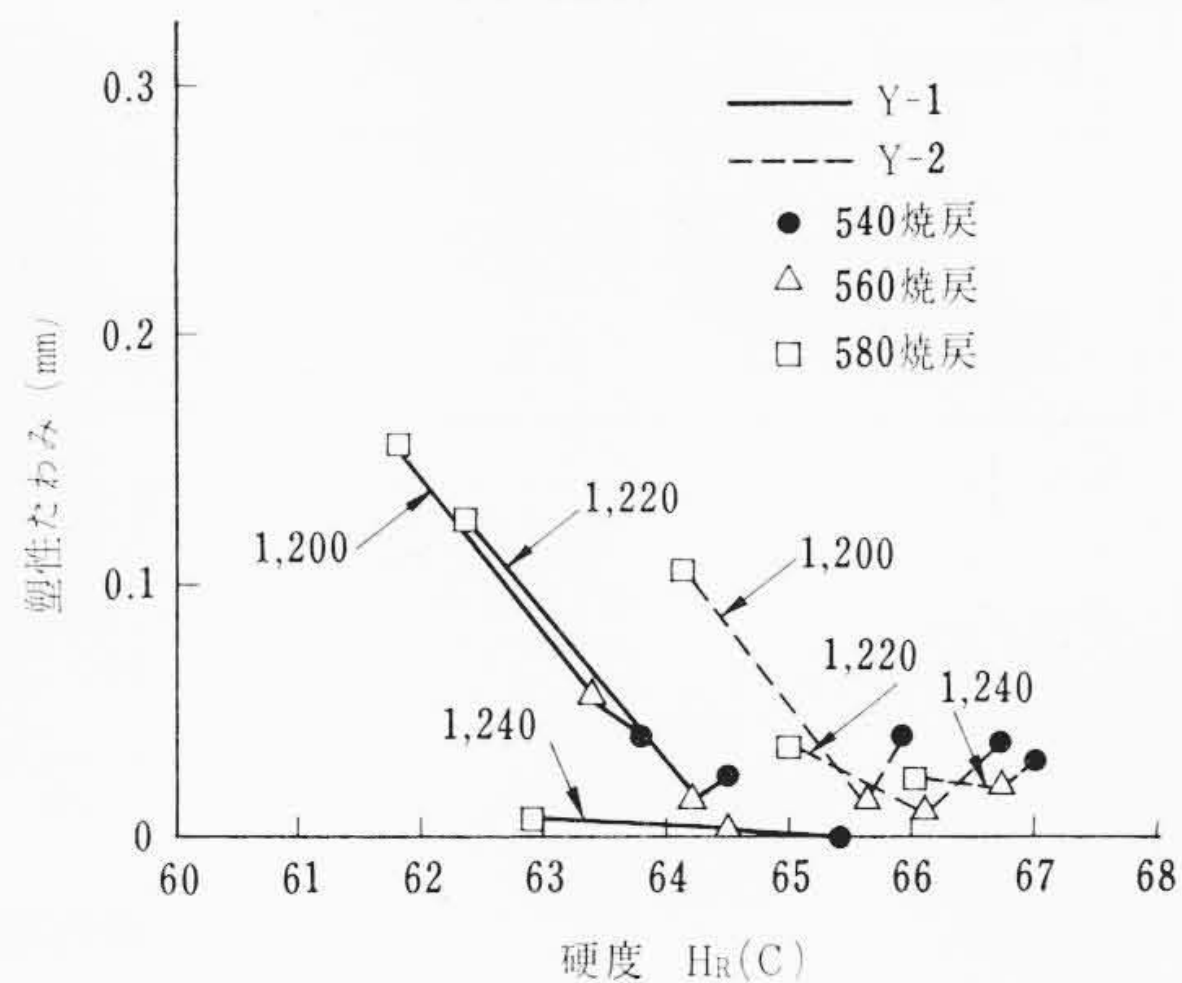
$D$ : 試験片直径 (mm)

第10図よりわかるように、安来材は一般に靱性が大であるが、とくに新工程品はM材と同様、硬度が高く、しかも靱性大きい。

## 5. 切 削 性

### (1) 直剣バイトによる切削試験

予熱 1,025℃×135秒, 焼入 1,220℃×65秒油冷, 焼戻 555℃×1時間空冷4回繰返しの熱処理を施した8mm角直剣バイト (17-2-10-0-45-45-1R) を作製し、約150mmφのSCM3焼鈍材 (HB180)



第9図 硬度と塑性たわみ量の関係

を被削材とする切削試験を行なった。ただし、切削条件は切込1mm, 送り0.5mm/rev., 切削速度60m/minであり、切削油は用いていない。切削耐久時間は切削開始後、刃先の摩耗によって生ずる光輝帯現象の発生するまでの時間によって測定した。

切削試験結果を第11図に示す。このような刃先温度が著しく上昇する切削条件では新工程品は従来品に比べ、約50%切削耐久時間が長く、また外材Mと比較しても約20%長くなっている。

### (2) ドリルによる切削試験

国内ドリルメーカーにおいて、新工程品Y-2と外材Mより9.5φのストレート・シャンクドリルを作製し、調質せるSK7を被削材として切削試験を行なった。切削能力は刃先の損傷によって切削不能となるまでの穿孔個数をもって比較した。

試験条件および平均穿孔個数比率を第2表および第3表に示す。焼入温度の影響は明らかでないが、いずれの条件においてもM材にまさる切削性能をもつことがわかる。

## 6. 炭化物について

第1表に示す試料の焼鈍状態における炭化物物量、粒度、種類ならびにその化学組成などを調査し、試料間の差を明らかにした。

### (1) 炭化物の電解分離

焼鈍試料の炭化物を分離抽出するために、塩酸法による炭化物電解分離装置を使用し、つぎの条件で電解した。

電解条件 電解液: 0.2N, HCl+10% クエン酸溶液  
電流密度: 15 mA/cm<sup>2</sup>  
電解時間: 40~50時間

第2表 ドリルによる切削試験の条件

| 項 目     | 試 験 条 件                       |
|---------|-------------------------------|
| 被 削 材   | SK 7, H <sub>R</sub> (C) 40±1 |
| 削 孔 深 さ | 15 mm                         |
| 削 孔 速 度 | 48.5 mm/min                   |
| 送 り     | 0.131 mm/rev                  |
| 回 転 数   | 370 rpm                       |
| 切 削 速 度 | 11.0 m/min                    |
| 冷 却 油   | 水溶性切削油                        |

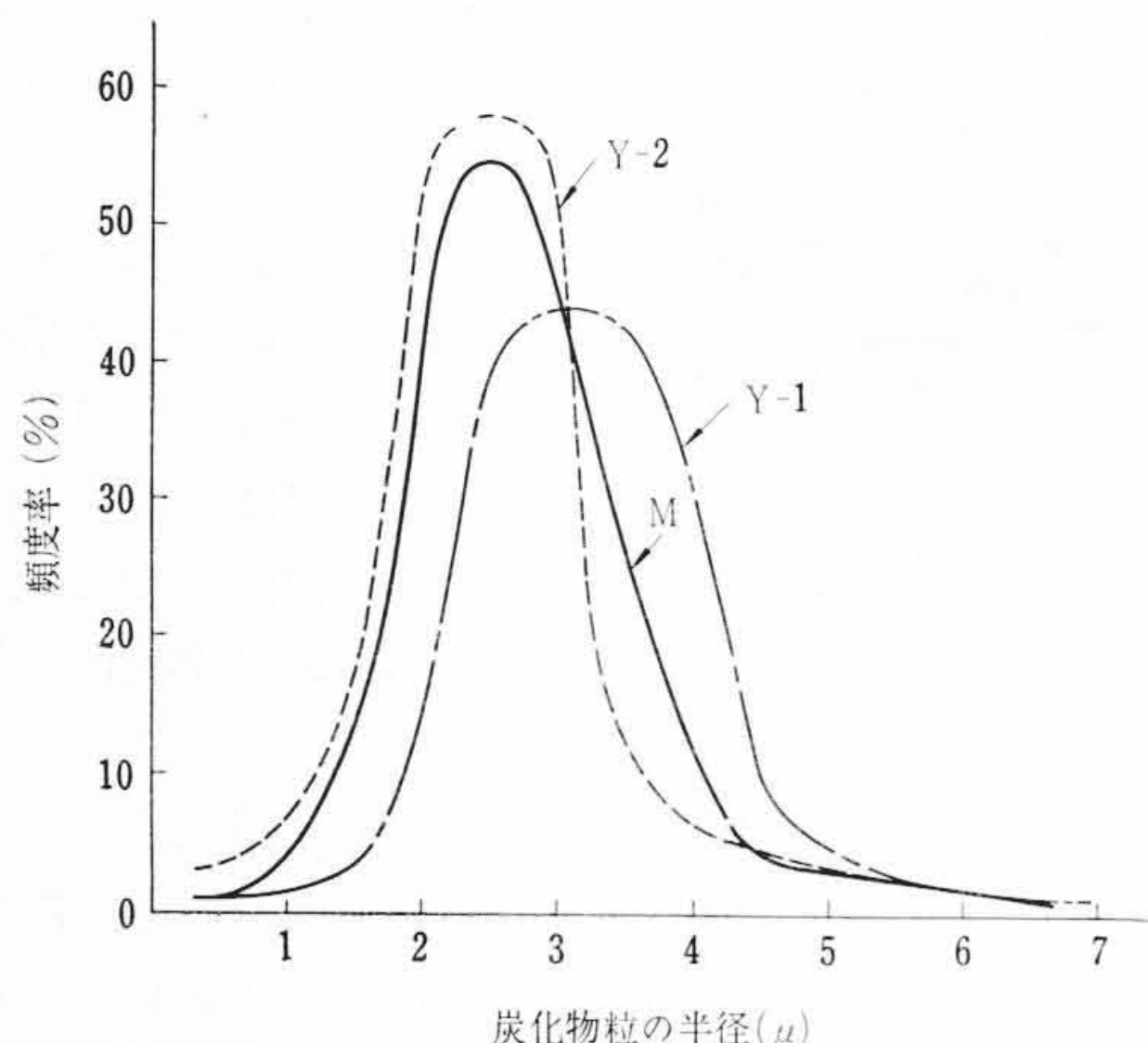
第3表 ドリルによる切削試験結果

| 試 料 | 熱 処 理 (℃) |           | 硬 度<br>H <sub>R</sub> (C) | 試験本数<br>(個) | 平均穿孔個数<br>比率(%) |
|-----|-----------|-----------|---------------------------|-------------|-----------------|
|     | 焼 入       | 焼 戻       |                           |             |                 |
| Y-2 | 1,210 油冷  | 555×1時間4回 | 65.3                      | 3           | 127             |
|     | 1,220 油冷  | 555×1時間4回 | 65.7                      | 3           | 101             |
|     | 1,230 油冷  | 555×1時間4回 | 66.4                      | 3           | 118             |
| M   | 1,220 油冷  | 555×1時間4回 | 66.0                      | 10          | 100             |



第 4 表 試料の炭化物の量，比重，平均粒度

| 試 料 | 炭 化 物 量<br>(Wt%) | 炭化物比重 | 炭化物平均<br>粒子半径 ( $\mu$ ) |
|-----|------------------|-------|-------------------------|
| Y-1 | 23.74            | 8.83  | 3.23                    |
| Y-2 | 23.20            | 8.39  | 2.69                    |
| M   | 22.68            | 8.60  | 2.75                    |



第 12 図 炭 化 物 の 粒 度 分 布

各試料の電解減量と抽出炭化物量から，試料中の炭化物量 (Wt %) を求めると第 4 表のようになる。すなわち，炭素量および炭化物形成元素の多いほど焼鈍状態の炭化物量は多い。

#### (2) 炭化物の比重

電解分離した炭化物粉末の比重測定結果 (比重瓶による) を第 4 表に示す。

#### (3) 炭化物の粒度および粒度分布測定

Wiegner の沈降管<sup>6)</sup>による粒度分布測定法により，電解分離した炭化物の平均粒度および粒度分布曲線を求めた。

第 4 表に炭化物の平均粒度を，第 12 図に炭化物の粒度分布曲線を示す。Y-2 および M の炭化物粒度が小さく，また粒度のバラツキ (標準偏差) も小さいことがわかる。

#### (4) 炭化物の化学組成

電解分離した炭化物を前述の沈降法によって大粒と小粒に 2 分し，粒度別に化学分析した。その結果を第 5 表に示す。

各炭化物の化学組成は，鋼の化学組成における各種元素の含有量の多少に影響して，炭化物中のこれら元素の含有量も若干差を生じている。Y-2 および M 材の炭化物中の W 量が Y-1 に比較して少なく，一方 Mo 量が多いのは素材の化学組成が影響したとみるべきであろう。

しかし，同一試料の炭化物粒度の区別による化学組成の差異は比較的僅少であった。これは炭化物を粒度別に分けた際に，炭化物量が少なく，化学分析用試料量の都合上，大粒と小粒の 2 区分とし，粒度分布曲線の最大ピークを分岐点としたために，所期の目的であった粒度別による化学組成の差があまり明瞭には現われなかったのであろう。しかしながら，第 5 表の結果を細かく観察すると，次のことが知られる。

- 1) 大粒のほうが一般に V 含有量が多い。他の元素に関しては明らかな差がない。
- 2) Y-2 は他の試料と比較して，粒度別の合金元素量の差が多く，小粒中の W，Mo，V 量が少なく Cr 量が多い。

#### (5) 炭化物の X 線回折

前述のように粒度別に 2 分した各炭化物を X 線回折した。第 5 表にその結果を示す。

いずれも，Fe と W および Mo の複炭化物を主体とする  $M_6C$  形

第 5 表 電解分離した炭化物の粒度別  
化学分析値および X 線回折結果

| 試 料 | 粒子半径<br>( $\mu$ ) | 粒度別<br>炭化物量<br>(Wt%) | 炭化物の粒度別化学組成 (%) |       |       |       |      | 炭化物形組成比<br>*(%) |    |             |
|-----|-------------------|----------------------|-----------------|-------|-------|-------|------|-----------------|----|-------------|
|     |                   |                      | C               | Cr    | W     | Mo    | V    | $M_6C$          | MC | $M_{23}C_6$ |
| Y-1 | >2.9              | 9.30                 | 3.76            | 9.24  | 30.79 | 18.38 | 7.99 | 79              | 11 | 10          |
|     | <2.9              | 14.44                | 3.63            | 9.08  | 30.64 | 18.50 | 7.86 | 83              | 10 | 7           |
| Y-2 | >2.25             | 10.09                | 3.67            | 8.62  | 29.53 | 21.31 | 8.33 | 81              | 10 | 9           |
|     | <2.25             | 13.11                | 3.66            | 10.45 | 25.93 | 20.37 | 6.56 | 83              | 7  | 10          |
| M   | >2.25             | 10.38                | 3.69            | 8.97  | 26.65 | 21.75 | 7.78 | 81              | 9  | 10          |
|     | <2.25             | 12.30                | 3.79            | 9.60  | 26.45 | 21.50 | 7.66 | 81              | 8  | 11          |

\* X 線 回折による。

炭化物が大部分で 70~85% を占め，これに V の炭化物 MC，Fe と Cr の複炭化物  $M_{23}C_6$  の両炭化物が共存している。

Y-2 および M 材の MC がやや少ないが，これは素材の V 量が少ないことによる。一般に  $M_6C$  は小粒に多く含まれ，MC は大粒に多く含まれる傾向がある。 $M_{23}C_6$  は Y-2 および M により多く含まれている。

## 7. 考 察

改良形 YXM 1・Y-2 の特長を従来品 Y-1 と比較すると次のとおりである。

- (1) 炭化物がきわめて微細であり，粒度のバラツキが小さい。
- (2) 低い焼入温度で十分な焼戻硬度を与え，かつ焼戻抵抗が大きい。
- (3) オーステナイト結晶粒が微細である。
- (4) 同一硬度で比較した場合，靱性をいちじるしく改善する。とくに高硬度範囲の靱性の改善が顕著である。
- (5) バイトおよびドリルの切削耐久時間を大にする。

M 材もほぼ Y-2 と同様の特長をもつ。以上のうち，改良形 YXM 1 の最も大きな特長は (1) と (2) であり，またその目的に沿うように製造されたものである。(3) 以下の性質は (1) および (2) によって必然的に得られた性能である。炭化物の微細化は溶解，造塊，熱間加工および焼鈍条件を改善し，かつ十分管理することによって得られた。高い焼戻硬度と焼戻抵抗は一定のオーステナイト化条件において炭化物の迅速かつ容易な固溶によって達成されるもので，炭化物の微細化と同時に適当な化学成分の調整ならびに焼鈍方法の改善による二次炭化物の固溶性の増加によって得られた。第 5 表に示したように，電解分離した炭化物の小粒が大粒に比べて W，Mo および V 量が低く，Cr 量の高いことは，二次炭化物の固溶性が良好であることを暗示している。

オーステナイト結晶粒の成長は靱性の低下をもたらすために，焼入状態であることが要求されている。炭化物は工具鋼の場合，結晶粒成長に対するインヒビタ (阻止剤) として作用するが<sup>3)</sup>，インヒビタとして十分な役割を果たすためには，均一かつ微細に分布していなければならない。改良形 YXM 1 はこの条件を満足するものである。

改良形 YXM 1 における靱性の改善は次のように説明される。すなわち，改良形 YXM 1 は低い焼入温度から焼入しても十分高い焼戻硬度を与えるので，同一焼戻硬度に対しても従来品より低い焼入温度が採用でき，したがって結晶粒はいっそう微細化する。それゆえ，靱性は増加する。ただし，同一熱処理条件で比較すると従来品と大差のない結果となるが，この場合，硬度は改良形 YXM 1 のほうが  $H_R(C)$  1.5~2 程度高くなる。

切削性は焼戻抵抗，靱性および耐摩耗性の複合効果として決定されるものであるから，これらすべての点ですぐれた性能を示す改良形 YXM 1 が良好な性能を示すことは当然であろう。



## 8. 結 言

YXM1の各種製造条件を検討することにより欧米一流品にまさる性能のものを製造できるようになった。その主眼点は炭化物の微細化と焼戻硬度ないしは焼戻抵抗の増大であり、これを達成することにより、靱性を大きく、かつ切削性を改良することができた。

この改良は主として10φ前後のドリル材を対象として行なわれたが、改良のために施された施策はあらゆるサイズの工具に対して適用でき、同様の効果を期待できるものである。

終わりにのぞみ、YXM1の改良研究に対し、終始ご指導、ご討論

を賜った日立金属工業株式会社宮下専務、松垣安来工場長、新持冶金研究所副所長ならびに浅田次長に深謝の意を表するとともに、炭化物の電解分離およびX線回折などにご協力をいただいた木村冶金研究所員に対し厚くお礼申し上げる。

## 参 考 文 献

- (1) E. Niesielski: Metallurgia 57, 233 (1958-May)
- (2) P. Payson: Metal Progress 79, 65 (1961-Jun)
- (3) G. A. Roberts et al: Tool Steels 3ed edit. (1962-A.S.M)
- (4) 新持, 清永, 奥野: 鉄と鋼 50, 678 (1964-4)
- (5) たとえば 特殊鋼 11, 106 (1962-1)
- (6) 高田: 粉体および粉末冶金 8, 235 (1961-5)



特許 第410430号

## 特 許 の 紹 介

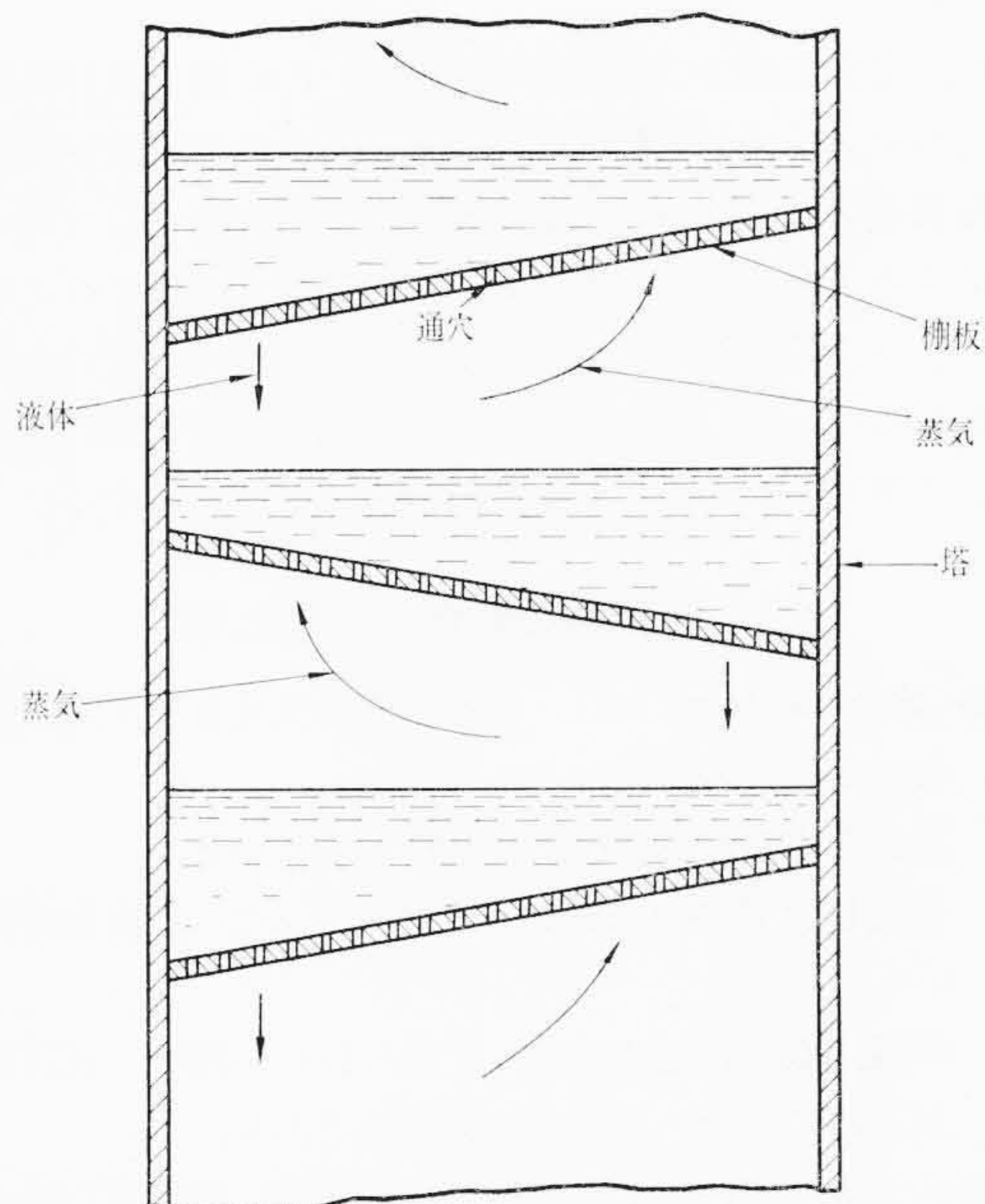


平 塚 幸 哉・増 田 貞 夫

## 精 留 塔 の 棚 段

蒸留、吸収、抽出あるいはこれらに類似する操作に使用する気液接触装置としての棚板には種々あり、堰または溢液管を持たない棚板としては、格子板、リップトレイなどがあるが、これらは構造が複雑である。棚板としては、構造簡単な普通の多孔板を使用するのが有利であるが、堰または溢液管を持たない棚板に平坦な多孔板を用いると、多孔部を液および蒸気が交互に通過するため、棚上の液層が乱れて塔内の圧力変動が増大し、液層を通過する気泡の直径も大きくなって気液の接触が悪くなる。

この発明は、平坦な多孔板よりなる棚板を、上下に適当な間隔を設けかつ水平面に対し適当な傾斜を持たせて配設したことを特長とする。このようにすると、棚板上の液層に差を生じ、常に棚板の高部より蒸気が上昇し低部より液体が落下して気液の接補が行なわれるから、棚板上の液層を安定させることができるとともに塔内圧力の変動をなくすことができ、かつ堰や溢液管を用いないため、堰面積に対して気液の接補面積を有効に使用することができる。



特許 第410131号

## 精 留 塔 の 棚 板

平 塚 幸 哉・増 田 貞 夫

蒸留あるいは吸収用の気液接触装置の棚板には、構造の簡単な普通の多孔板を使用するのが有利であるが、溢液管を持たない棚板に平坦な多孔板を使用すると、多孔部を液体および蒸気が交互に通過するため、棚上の液層が乱れて塔内の圧力変動が増大し、液層を通過する気泡の直径も大きくなって気液の接触が悪くなるなどの欠点がある。

この発明は、このような欠点を除くために、平坦な棚板に通孔を密に設けた多孔部と、通孔を粗く設けた粗孔部とを、適当な間隔をもって配置したことを特長とするものである。多孔部より蒸気が上昇すると、液層中に泡沫層を形成し、多孔部上部の気液の混合層の密度は原液の0.2~0.5密度の程度となるが、粗孔部上部の液体の密度は原液の密度とほとんど変わらない。したがってこの状態で蒸留操作を行なうと、多孔部からは常に蒸気が上昇し、粗孔部からは常に液体が落下して、気液の接触が行なわれる。

この発明によれば、棚板上の液層を安定させることができ、かつ塔内の圧力変動をなくすことができ、安定した運転を行なうことができる。

