

ヤスキ黒鉛鋼 YGS1 および YGS2 の諸性質

Properties of Yasuki Graphitic Steels YGS1 and YGS2

清 永 欣 吾* 吾 郷 瞭 生* 奥 野 利 夫**
Kingo Kiyonaga Ryōsei Agō Toshio Okuno

要 旨

黒鉛鋼は一般に良好な被加工性を備え、摩擦時の耐焼付性にすぐれ、繰返し熱応力による熱き裂進展に対する抵抗が大きい材料である。ヤスキ黒鉛鋼 YGS1 および YGS2 は高価な合金含有量が少ないので材料費が安く、被加工性が良いために型の加工費も安い経済的な鋼種である。YGS1 は AISI 0-6 に相当し、YGS2 はこれの焼入性を大きくしたものである。両者とも焼入温度は低目が望ましく 780~830℃ が良い。また焼戻は 200℃ 以下の温度が適当である。YGS1 の焼入性は SUJ2 相当、YGS2 の焼入性は CRD 級である。油焼入の場合、表面より 1/4R 内部まで H_RC 62 以上の硬度が得られる最大丸棒径は YGS1 が 50 mm、YGS2 では 100 mm である。じん性は SGT や SCD よりやや劣るが、CRD や Timken Graph Air よりすぐれている。耐摩耗性に関しては両者とも炭素工具鋼より良く、YGS2 はおおむね SCD に近い。また旋削はチップ切れが良いので炭素工具鋼よりすぐれている。

1. 緒 言

一般に工具鋼の被加工性が構造用鋼に比較して悪いことはよく知られている。また炭化物が多く、耐摩耗性に富む材料ほど被加工性が劣化するので、これを改善するために硫黄、鉛⁽¹⁾⁽²⁾そのほかを添加した快削鋼がある。黒鉛鋼はこのような快削鋼とは異なる方法で機械的性質を劣化することなく材料に良好な被加工性および耐摩耗性を与えたものである。黒鉛鋼は炭化物の一部が黒鉛化し鋼組織中に遊離黒鉛が存在したもので、これに起因して一般に次のような特長を備えている。

- (1) 被削性および被研削性がすぐれている⁽³⁾。
- (2) 摩擦係数が小さく焼付きを生じがたく、耐摩耗性が大きい⁽⁴⁾。
- (3) 繰返し加熱冷却を受ける用途に対しては、黒鉛の熱応力分散作用により熱き裂進展に対する抵抗が大きい。

また高価な合金の含有量も少ないので材料費も安く、加工費の安いこととあいまって経済的な材料でもある。

用途としては、おもにしゅう動により摩擦摩耗する工具や機械構造部品、繰返し熱応力を受ける工具および機械構造部品などに適している。たとえば、絞り型、曲げ型、抜型、ブッシング、カム、冷間および熱間用ロール、ゲージ⁽³⁾などに使用される。

現在ヤスキ黒鉛鋼には、AISI 0-6⁽⁵⁾ に相当する YGS1 および YGS1 の焼入性を大きくした YGS2 の二種類がある。アメリカでは数種類の黒鉛鋼が標準化されており、このうち最も一般化しているのは YGS1 に相当する 0-6 であるが、大きい製品で深い焼入深度の要求される場合には Timken Graph-Air⁽⁶⁾ (C 1.4, Si 1.2, Mn 1.8, Cr 0.1, Ni 1.8, Mo 1.5 黒鉛鋼) 相当のものが使用される。Graph-Air は Ni, Mo などの含有量が多く高価であるが、YGS2 は

廉価で焼入性も大きいので、YGS1 では十分な焼入深度の得られない大形部品に適している。

以下 YGS1 および YGS2 の諸性質について実験結果を示し、使用上の参考資料に供する次第である。

2. YGS1 および YGS2 の各種性質

2.1 試 料

試料は 35 kg 鋼塊を 34 mm φ および 20 mm φ に鍛伸したものより作製した。表 1 はヤスキ黒鉛鋼の規格および試料の化学成分を示したものである。

図 1 (a) に示すように球状黒鉛化焼鈍により、炭化物は十分に球

表 1 化 学 成 分 (%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	黒鉛量
YGS1規格	1.35 ~1.50	0.80 ~1.30	0.50 ~1.00	<0.030	<0.020	—	<0.20	0.20 ~0.40	0.40以上
YGS2規格	1.35 ~1.50	0.80 ~1.30	1.50 ~2.00	<0.030	<0.020	—	<0.35	0.20 ~0.40	0.30以上
YGS1	1.46	0.96	0.50	0.020	0.006	nil	<0.20	0.20	0.50
YGS2	1.39	1.28	1.60	0.035	0.020	0.02	<0.35	0.30	0.34

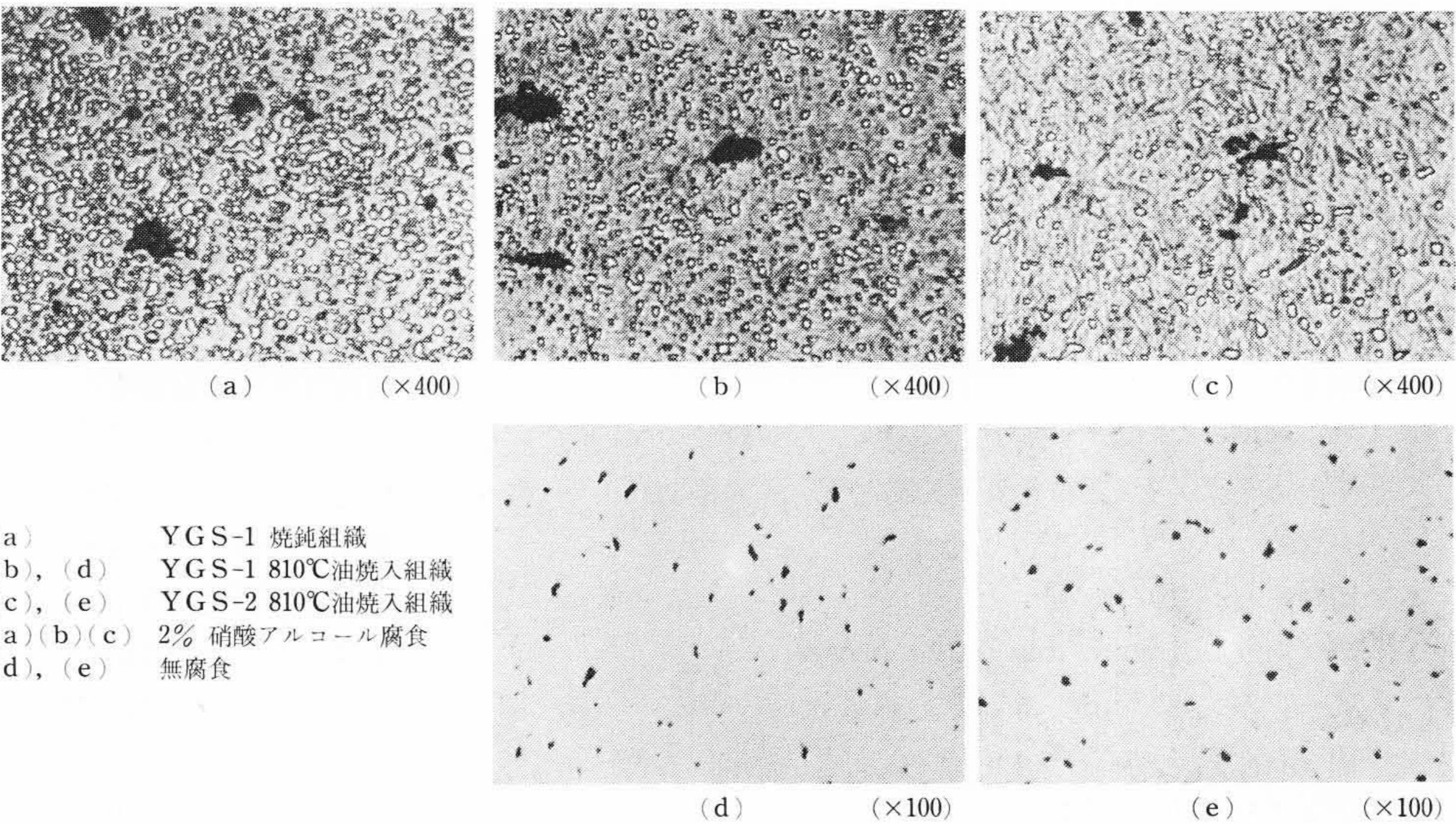


図 1 黒 鉛 鋼 の 組 織

* 日立金属株式会社安来工場冶金研究所
** 日立金属株式会社安来工場

表2 YGS1 の変態点

	加	熱	冷	却
変 態 温 度	758～769℃		712～690℃	
試料成分	C 1.51 Si 1.22 Mn 0.51 P 0.006 S 0.015 Cr 0.08 Mo 0.23 黒鉛 0.57%			
最高加熱温度	825℃		加熱および冷却の速度 5℃/ min	

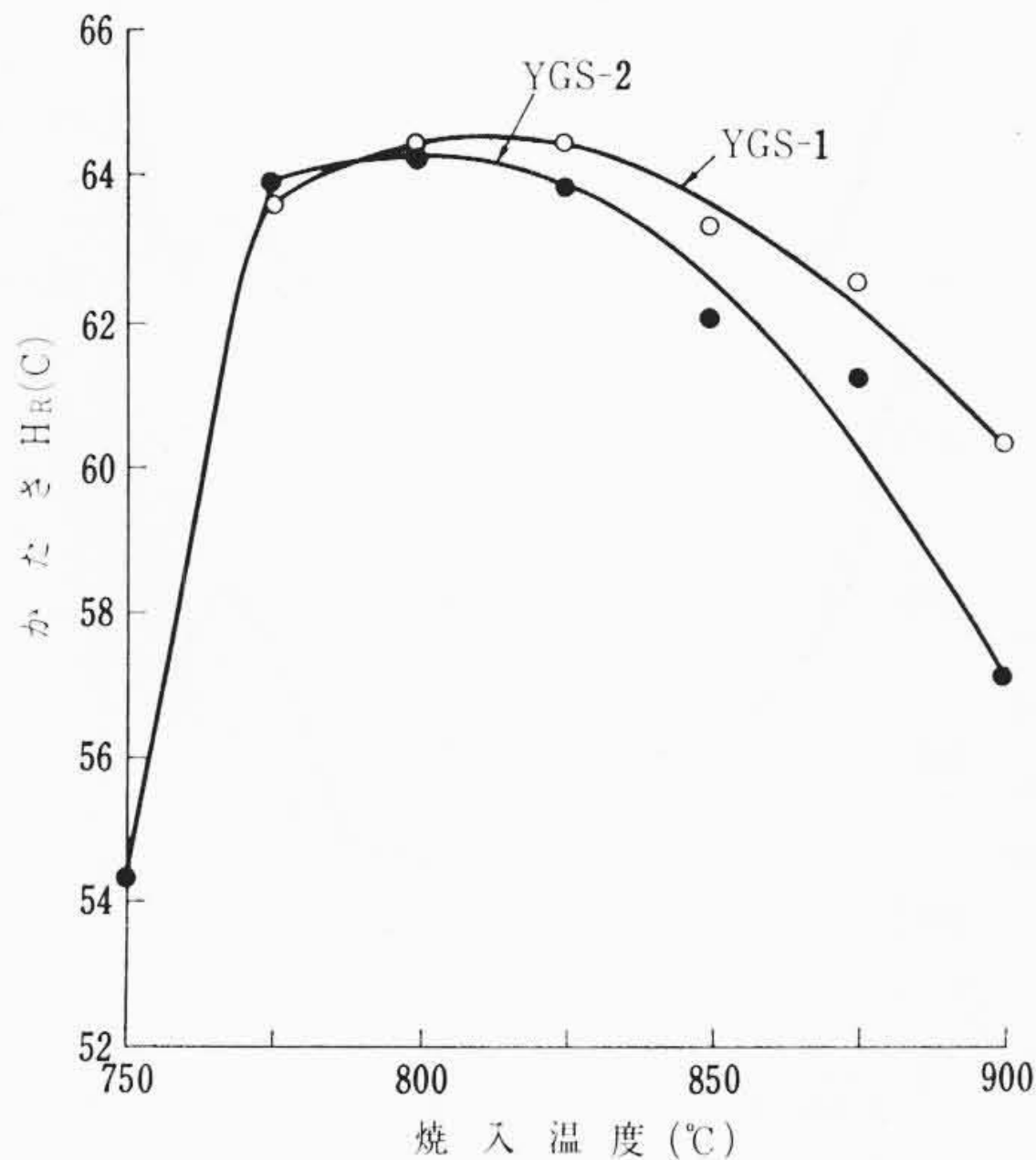


図2 焼入温度とかなさの関係 (油焼入)

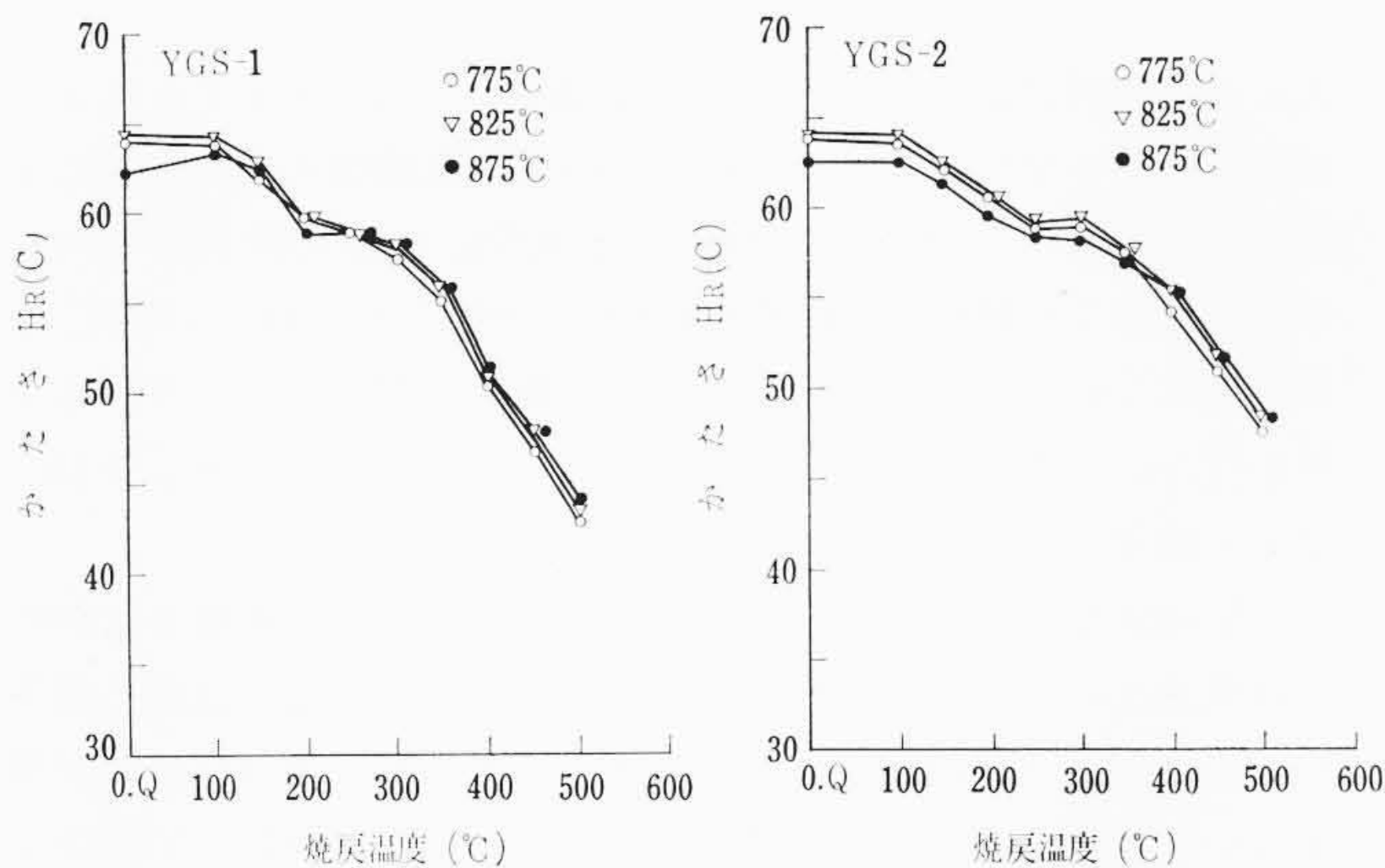


図3 焼戻温度とかなさの関係

状化し所定の黒鉛量が得られる。この焼鈍状態におけるかなさは本実験の場合 $H_{RC}197 \sim 212$ である。以下実験に使用した試験片はすべて球状黒鉛化焼鈍した試料より削出しによって製作したものである。

2.2 熱処理性質

2.2.1 変態点

黒鉛量 0.57% の YGS1 の変態点生起状況は表2に示すとおりである。また黒鉛量 0.57~0.89% の範囲にわたり変態点を測定したが、加熱変態開始は 752~750℃, 終了は 762~770℃ の範囲にあり、黒鉛量による変化は明瞭には認められない。

2.2.2 焼入温度とかなさとの関係

15φ×12 mm l の試験片を、650℃ に約 30 分間保持し予熱を行なった後、750~900℃ の各焼入温度に 30 分間保持し油中に焼入して焼入温度とかなさとの関係を求めた。結果を図2に示す。YGS1 は 825℃ 焼入で最高かなさ $H_{RC}64.4$ を示し、それ以上の温度では残留オーステナイトが増加してかなさが低下する。YGS2 は Mn 含有量が多いため、800℃ で焼入最高かなさを示す。図1(b)~(e)に両鋼の焼入組織を示す。両鋼とも(b),(c)に示

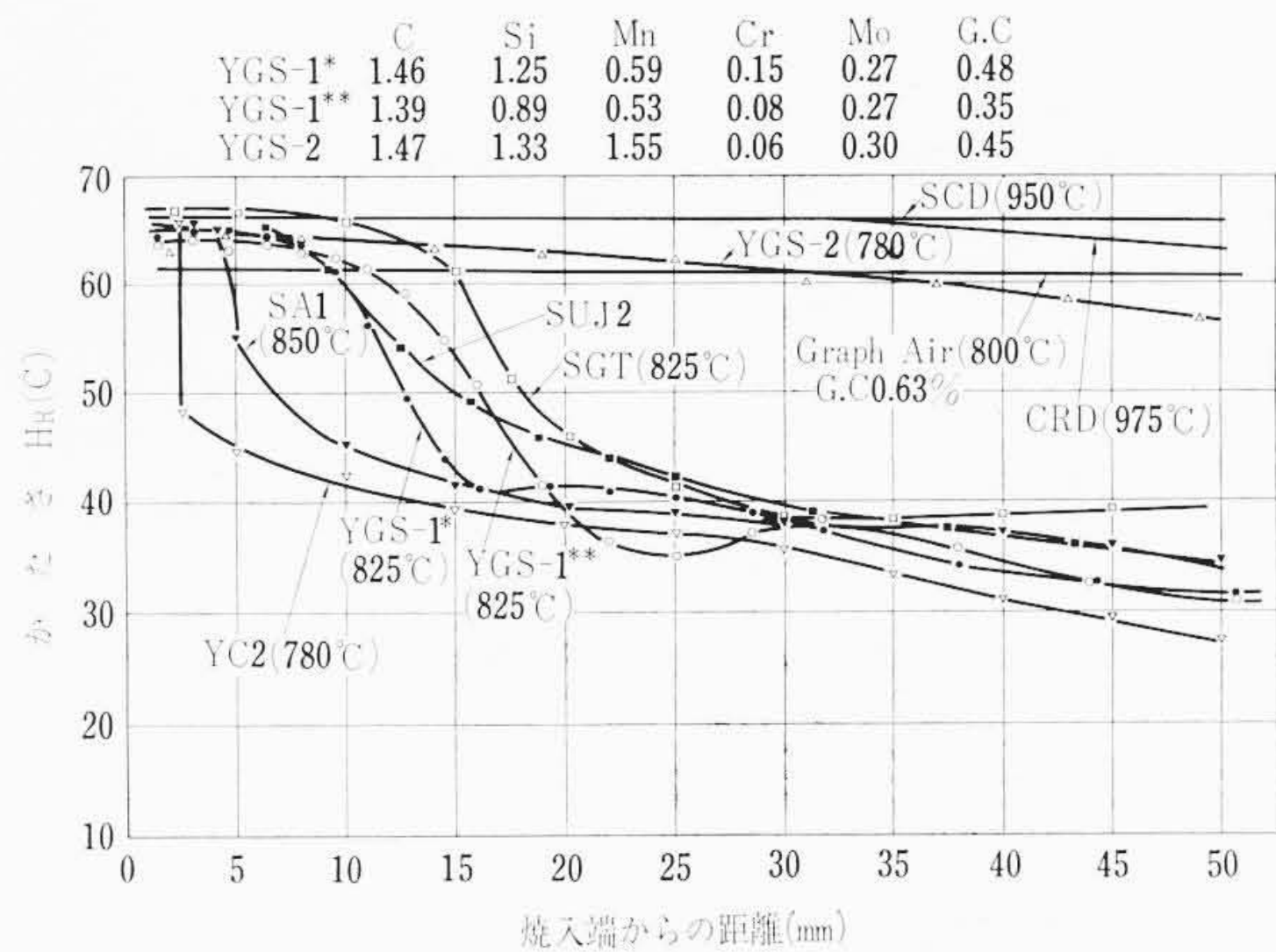


図4 ジョミニー焼入性試験による各鋼種と黒鉛鋼の焼入性の比較

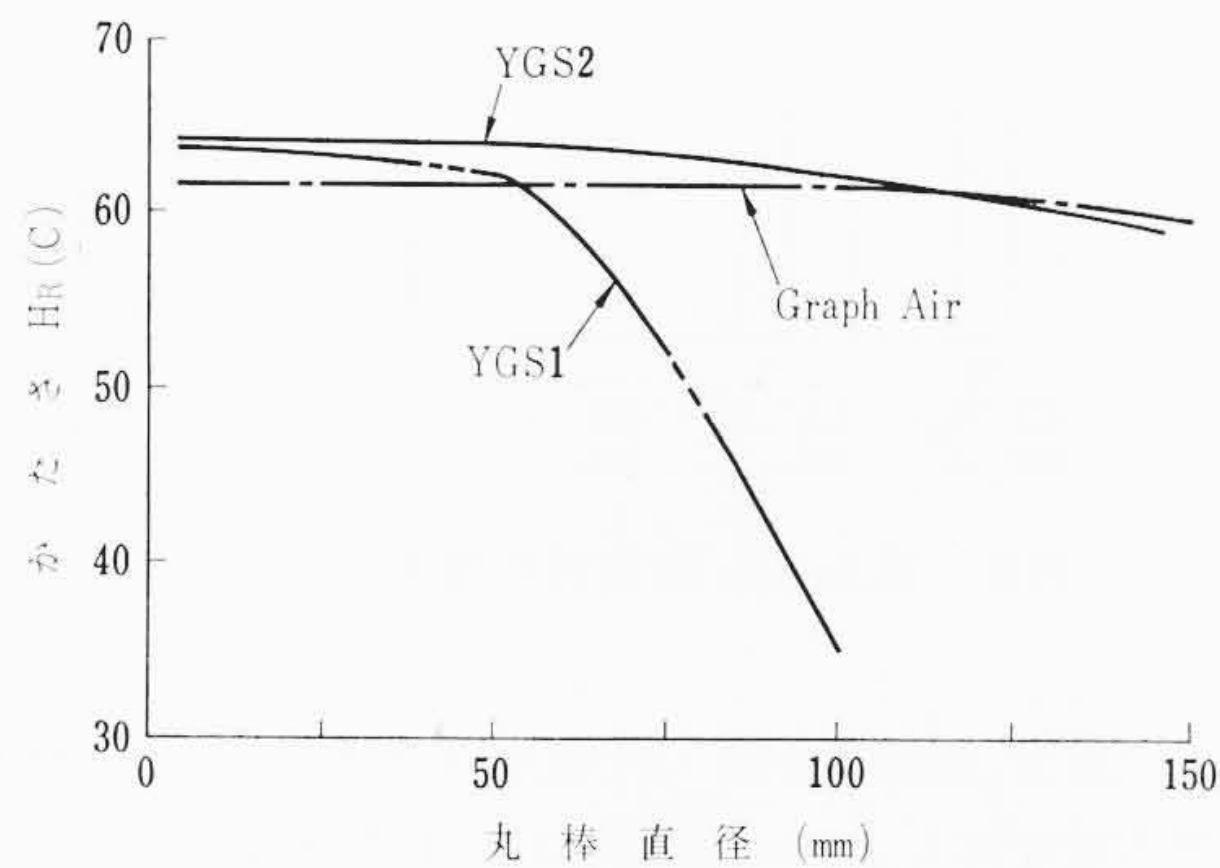


図5 油焼入した場合の丸棒径と、表面から 1/4 R 内部のかなさとの関係

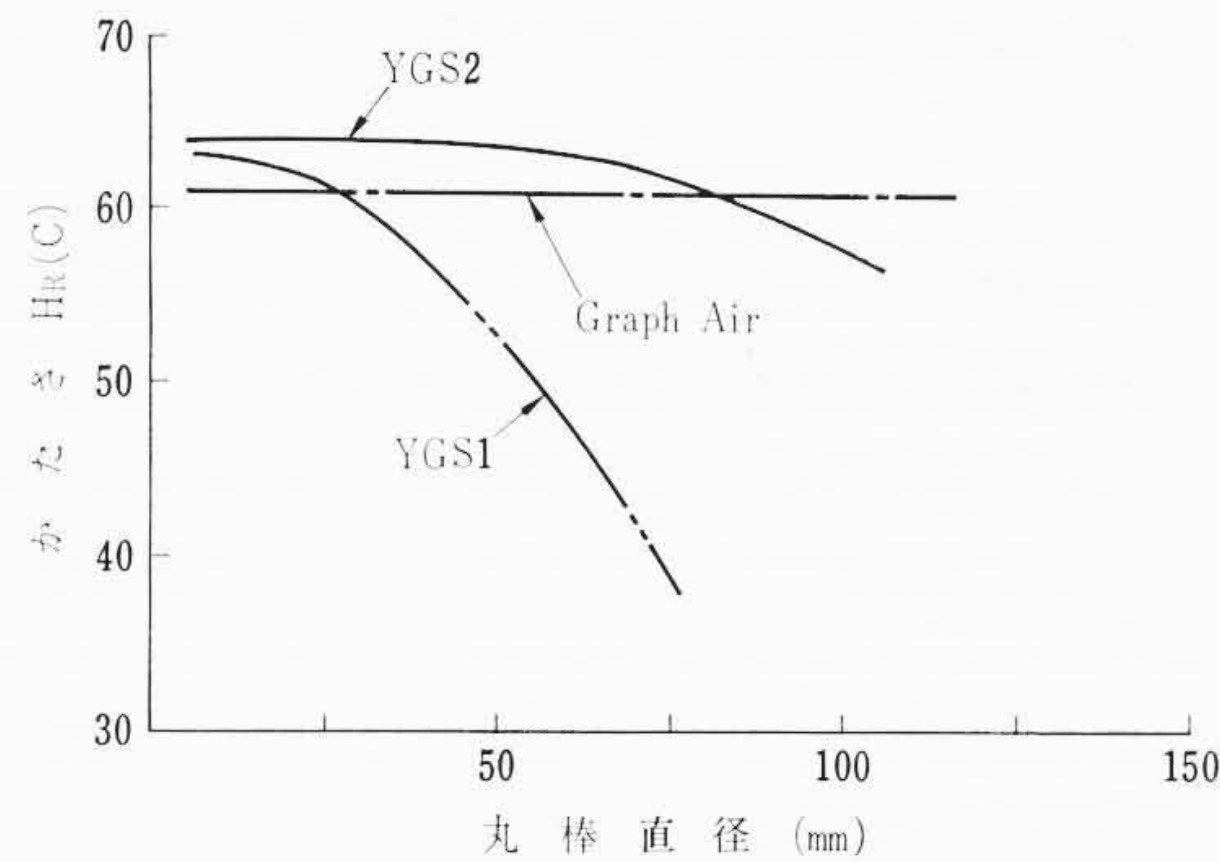


図6 油焼入した場合の丸棒径と、中心部かなさとの関係

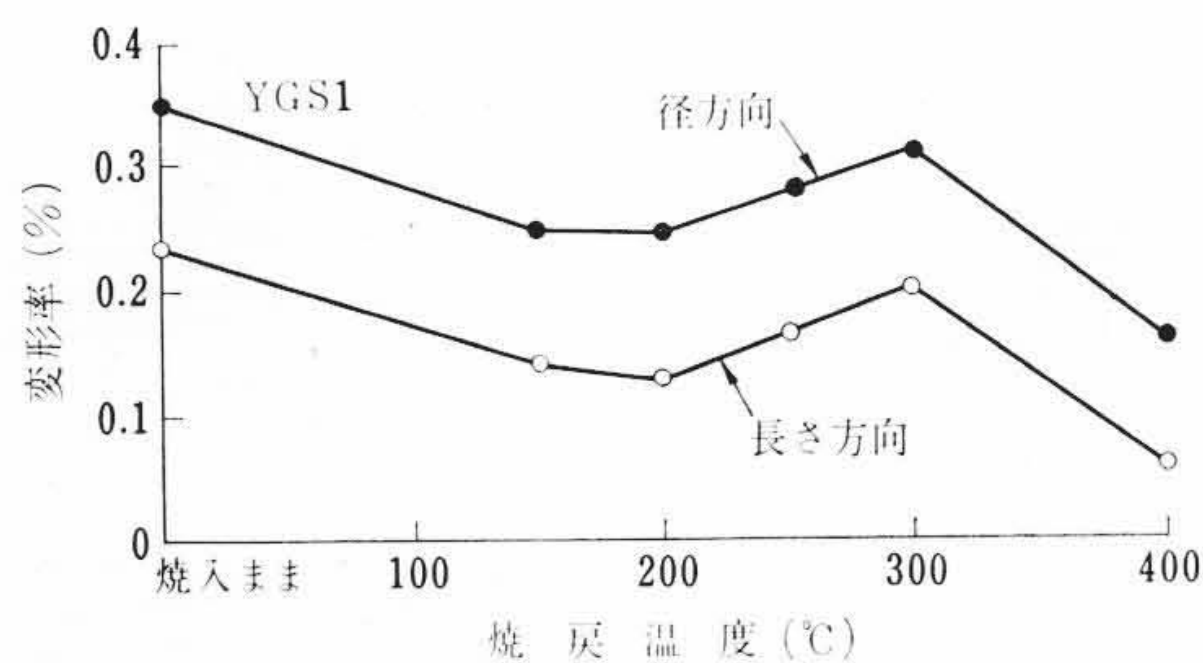
すように、マルテンサイト+残留オーステナイトの地に球状の炭化物と黒鉛粒の分布した組織を示す。黒鉛粒は比較的球状に近く、その分布も図の(d),(e)に示すように均一で良好な組織を示している。

2.2.3 焼戻温度とかなさとの関係

前記の焼入した試料を 100~500℃ の各温度に繰返し 1 時間焼戻した場合のかなさ変化を図3に示す。両鋼とも、775~875℃ の温度範囲より焼入、200℃ 焼戻によって $H_{RC}59$ 以上のかなさが得られる。また 775~875℃ 焼入の YGS2 の焼戻かなさは、250℃ 以下の焼戻において YGS1 と大差ないが、300℃ 以上では YGS2 のほうが高く、焼戻軟化抵抗が大きい。

2.2.4 焼入性

ジョミニー焼入性試験により、焼入性を調査した。加熱に際しては 650℃ に 30 分保持し予熱を行なって、オーステナイト化温度に昇温、30 分間保持後一端焼入を行なった。結果を図4に示す。比較のため CRD(SKD1) およびその他の鋼種についても表示した。



(8φ×80 l 825°C×15分油冷)
図7 熱処理変形率

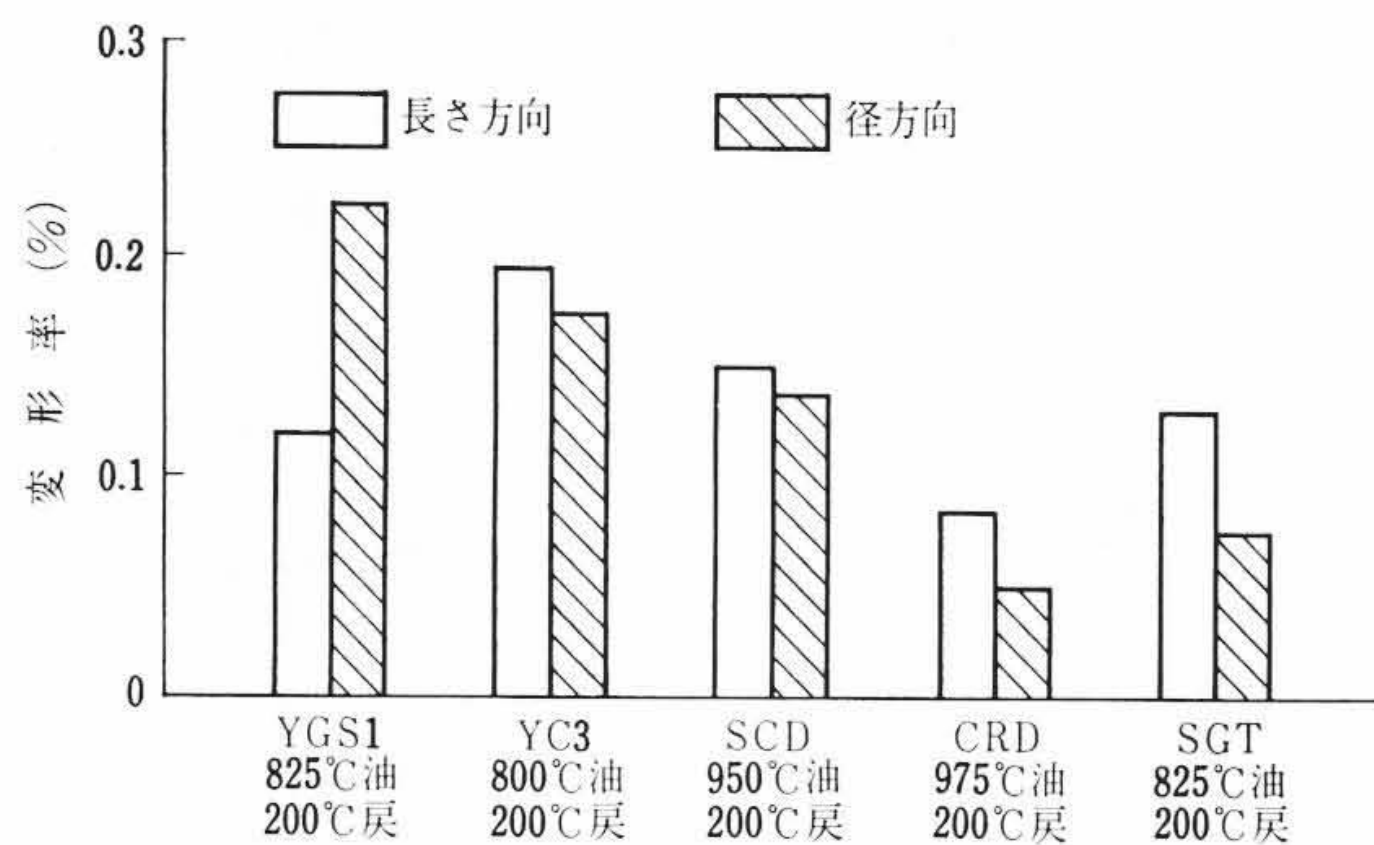


図8 黒鉛鋼と他鋼種の変形率の比較

YGS1は成分、黒鉛量によって多少の差はあるが、大略SUJ2と同等の焼入性を示し、SA1(SKS2)とSGT(SKS3)の中間に位置する。この結果はF. Splankle氏の実験結果⁽³⁾とよく一致している。またYGS2はこれらに比較してはるかに良好で、Graph AirやSCD(SKD12)より劣るがCRD(SKD1)級であることがわかる。

図4より、丸棒を油焼入したとき得られる内部かたさを計算によって求め、図5および図6に示した。YGS2は明らかにYGS1よりかなり焼入性が良く、比較的径の大きな丸棒までGraph Airに近いかたさの得られることがわかる。油焼入の場合、YGS1は表面より $\frac{1}{4}$ R内部までHrC62以上のかたさが得られる最大丸棒直径は約50mm、YGS2は100mmである。中心までHrC62以上のかたさが得られる最大丸棒直径はYGS1が約22mm、YGS2は約75mmである。

2.3 変形率

熱処理変形率を調査するために8φ×80mm lの試験片で実験を行なった。試料は、650°Cに20分間保持の予熱を行ない、焼入温度825°Cに15分間保持し油中で焼入した。焼戻は100~400°Cの各温度における1時間繰返し焼戻である。変形率は、各焼戻状態での寸法を測定し、焼鈍状態の寸法を基準にして算出された。その結果を図7に、標準的な熱処理状態のほか鋼種との比較を図8に示す。図7によると200°Cまでは焼戻温度の高くなるにつれて変形率は減少し、200~300°Cでは焼戻温度の上昇によって変形率は増加している。これは残留オーステナイトが250°C付近の焼戻により分解する、その影響と考えられる。また図8から、径方向の変形は大きい、長さ方向の変形はSGT(SKS3)よりやや小さく、一般的には炭素工具鋼YC3(SK3)とSCD(SKD12)の中間程度の変形率を備えているものと考えられる。

2.4 じん性

各種熱処理状態のものについて抗折試験、衝撃試験を行ない、ほかの鋼種と比較した。

2.4.1 抗折試験

5φ×70mm lの試験片を支点間距離50mm、中央一点荷重方

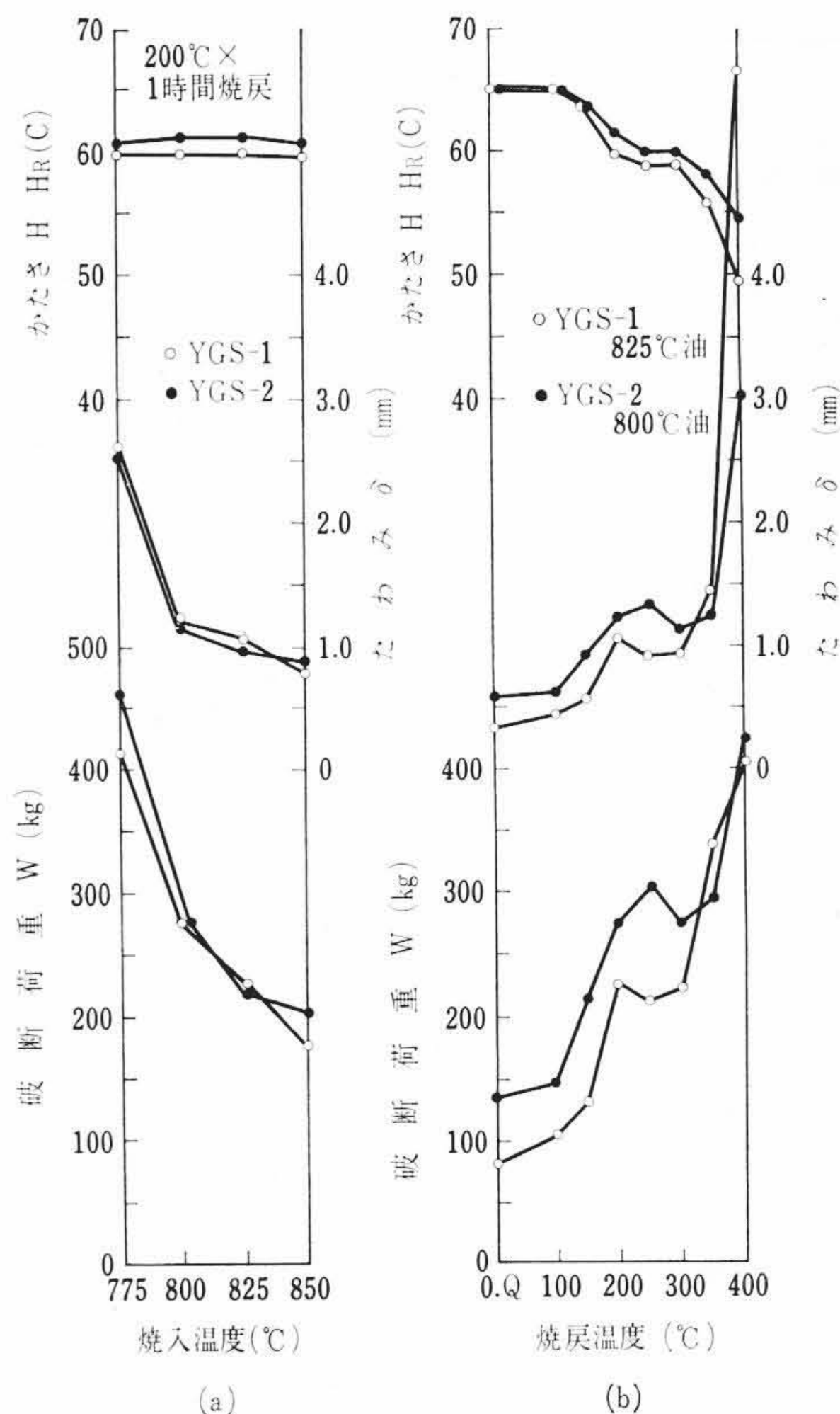


図9 熱処理条件と抗折強度の関係

式により抗折試験を行なった。試験機としては10tアムスラー万能試験機を使用した。試料は775~850°C油焼入後200°Cに1時間焼戻のもの、ならびにYGS1は825°C油焼入後100~400°Cの各温度に1時間焼戻、YGS2は800°C油焼入後100°C~400°Cの各温度に1時間焼戻したものである。焼入に際してはいずれも予熱を行ない、焼入保持時間は30分とした。図9(a)および(b)はその結果を示したものである。

775~850°Cの焼入温度より焼入したものは両鋼種ともかたさは大差ないが、焼入温度の上昇によって抗折強度は急激に低下する。これより抗折強度の点から考える場合焼入温度は低目が望ましいと言える。また同一焼入温度において、YGS1とYGS2を比較すると、かたさは多少異なるが破断荷重、たわみ量はほぼ同じであって焼入温度と抗折強度の関係もよく類似している。両鋼種とも一般に高い温度で焼戻した場合、かたさの低いものほど抗折強度は増加するが、YGS1は250~300°C焼戻、YGS2は300°C焼戻で破断荷重やたわみ量を低下している。原因はこの付近の温度で残留オーステナイトが分解してセメントタイトの微小析出が進むことにあるものと考えられる。

2.4.2 衝撃試験

工具鋼の衝撃試験の場合、応力集中係数の大きなV形やU形のノッチを有する試験片は適当でないので、10R、深さ2mmのC形ノッチを有する試験片でシャルピー衝撃試験を行なった。試料の熱処理は800~850°C焼入後200°Cに1時間焼戻、ならびに825°C焼入後100~250°Cの各温度に1時間焼戻とした。焼入加熱の際には650°Cで予熱を行ない、焼入保持時間を30分とした。図10はその結果を示したものである。

図10(a)のようにYGS1は抗折強度と同様焼入温度の上昇によって衝撃値が低下する。YGS2は800~850°Cの焼入温度範囲で衝撃値はほとんど変化しない。また両鋼種とも焼戻温度の上昇によって衝撃値は増加するが、250°C焼戻では多少低下する。この衝撃値の低下は前述の抗折強度におけると同様の理由によるも

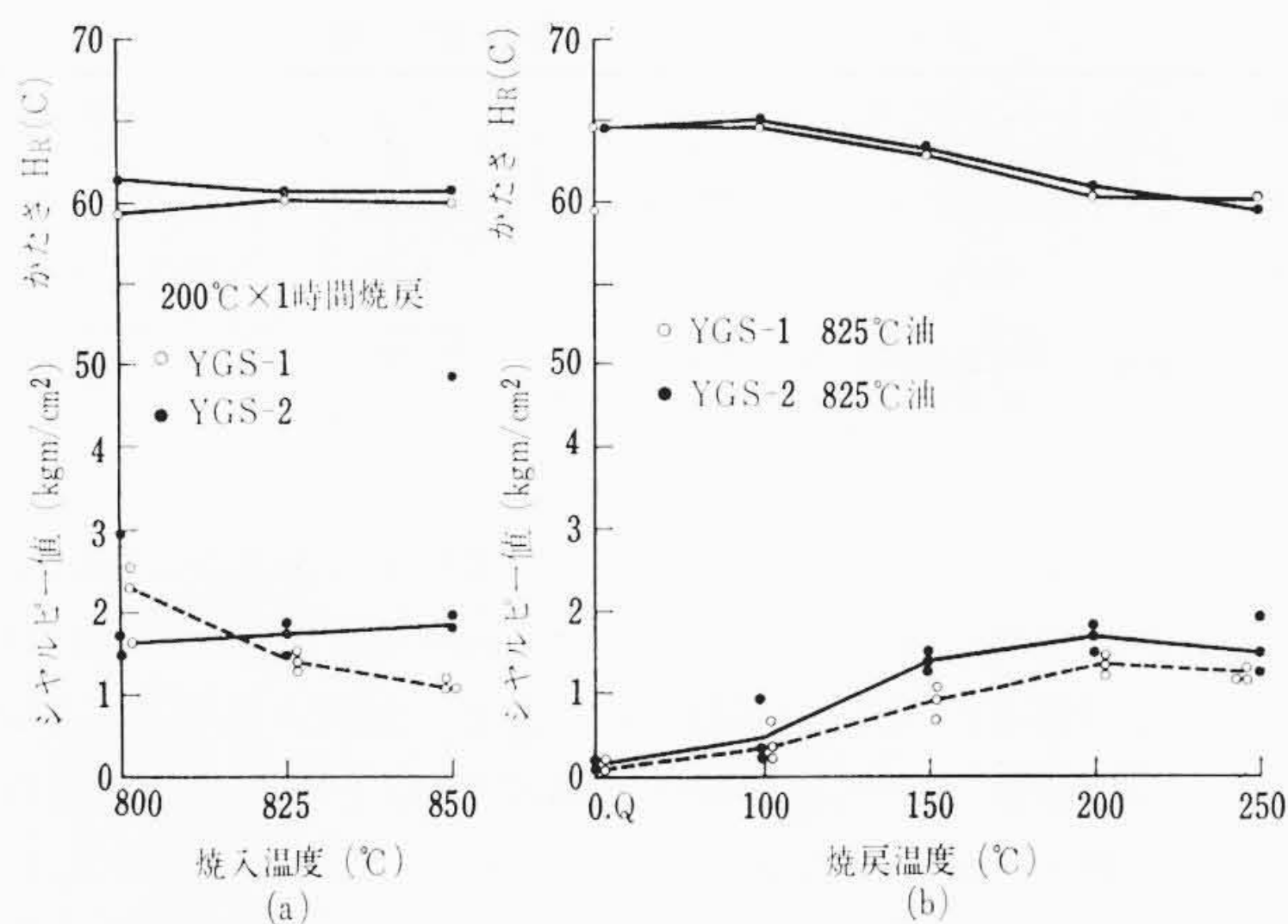


図10 熱処理条件と衝撃強さの関係

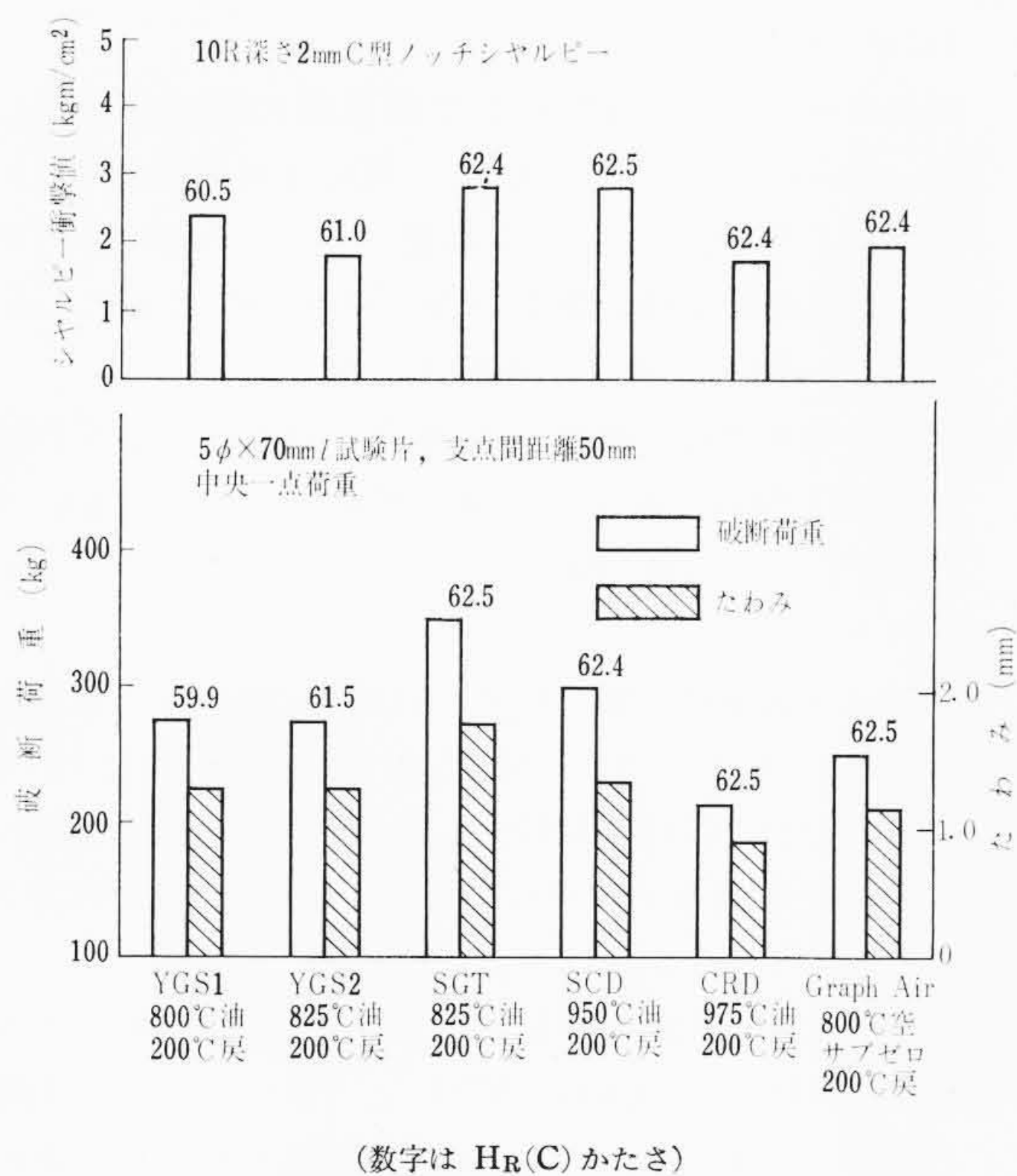


図11 黒鉛鋼と他鋼種の機械的性質の比較

のであろう。

以上の抗折および衝撃の二つの試験結果から、焼戻温度としては焼戻脆性の現われるこの付近の温度を避け、200°C以下の温度を選ぶのがよい。

図11には標準的な熱処理状態における抗折強度とシャルピー衝撃値が他鋼種と比較⁽⁸⁾⁽⁹⁾して示されている。YGS1およびYGS2のじん性はSGT(SKS3)やSCD(SKD12)より劣るがCRD(SKD1)やGraph Airよりややすぐれていることがわかる。

2.5 耐摩耗性

大越式迅速摩耗試験機により摩耗試験を行なった。試験条件および結果は表3に示すとおりである。YGS1, YGS2ともに炭素工具鋼YC3(SK3)やYC5(SK5)より摩耗量は少なく、YGS2はSCD(SKD12)に近い耐摩耗性があるものと考えられる。

2.6 被切削性

表4に示す諸元により旋削試験を行なった。試料は80mmφ圧延材を球状黒鉛化焼鈍したものである。図12はその結果である。黒鉛鋼はSLD(SKD11)やCRD(SKD1)より工具寿命は長い、炭素工具鋼YC3(SK3)よりは工具寿命が短い。しかしほかの鋼種のチップは連続した長いチップであるが、黒鉛鋼のチップは短い断続チップで切粉の処理が容易で旋削作業が楽にできる。またドリルによるせん孔も非常に容易で、SLD鋼の半分の所要時間でせん孔で

表3 大越式摩耗試験による摩耗量の比較

鋼種	熱処理	かたさ HRC	比摩耗量 (mm ³ /mm/mm ²)
YGS-1	800°C 油 200°C 戻	61.5	0.95×10 ⁻⁷
YGS-2	800°C 油 200°C 戻	60.5	0.65×10 ⁻⁷
SCD	975°C 油 200°C 戻	62.3	0.55×10 ⁻⁷
YC3	775°C 水 300°C 戻	59.0	1.20×10 ⁻⁷
YC5	775°C 水 200°C 戻	60.8	1.30×10 ⁻⁷

相手材: SCD21 (焼鈍) かたさ Hv 150, 最終荷重 6.8kg, 摩擦距離 400 mm
摩擦速度 0.78 m/s

表4 被切削試験条件

使用機械	昌運カズスープ8インチ精密自動旋盤
バイト形状	12φ 剣バイト (8-15-6-6-20-15-0.5R)
切込	1 mm
送り	0.3 mm/rev
切削速度	各被削材により変化
寿命判定基準	刃先端摩耗進展により切削不能となる状態

表5 冷間用ロール試用結果

	YGS 2	SLD
ロールの摩耗量	100	82.5
単位重量を生産するのに必要な費用*	100	111

YGS 2を100とする。

* ロール1本の価格は加工費と材料費を含め計算した。

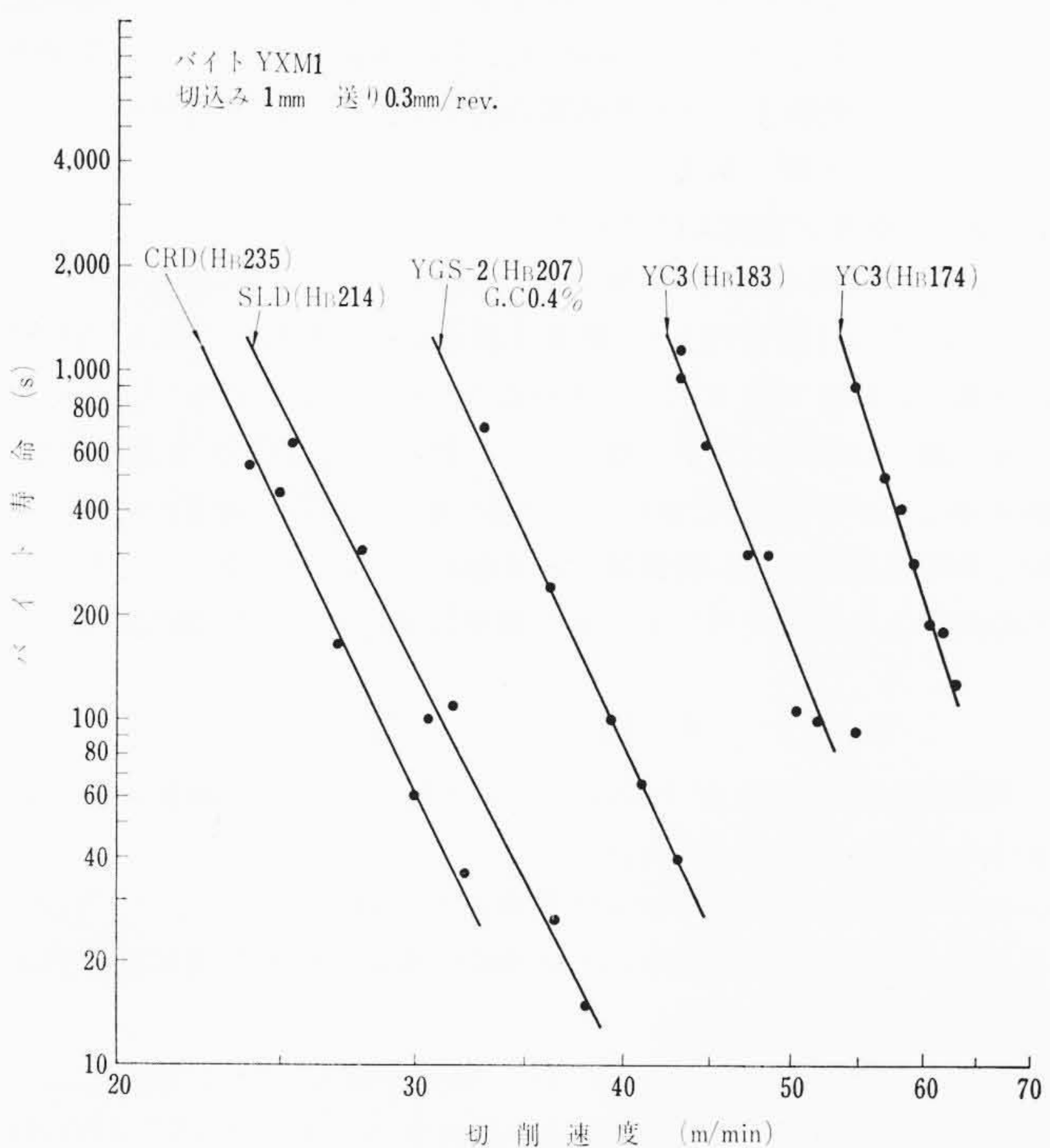


図12 各鋼種の被切削性の比較

きる。

3. 使用結果

3.1 冷間圧延用ロール

YGS2を4段冷間圧延用リバース、ワークロールに使用し、従来使用されているSLDロールと寿命を比較した。ロール形状は圧延部168φ×300mm lで、厚さ0.5~0.8mm、幅85~100mmの帯鋼を圧延するものである。被圧延材は炭素工具鋼YC2(SK2), YC3(SK3)などの焼鈍材、かたさは約Hb210程度のものである。使用結果を表5に示す。SLD(SKD11)に比較しYGS2は摩耗が多く、

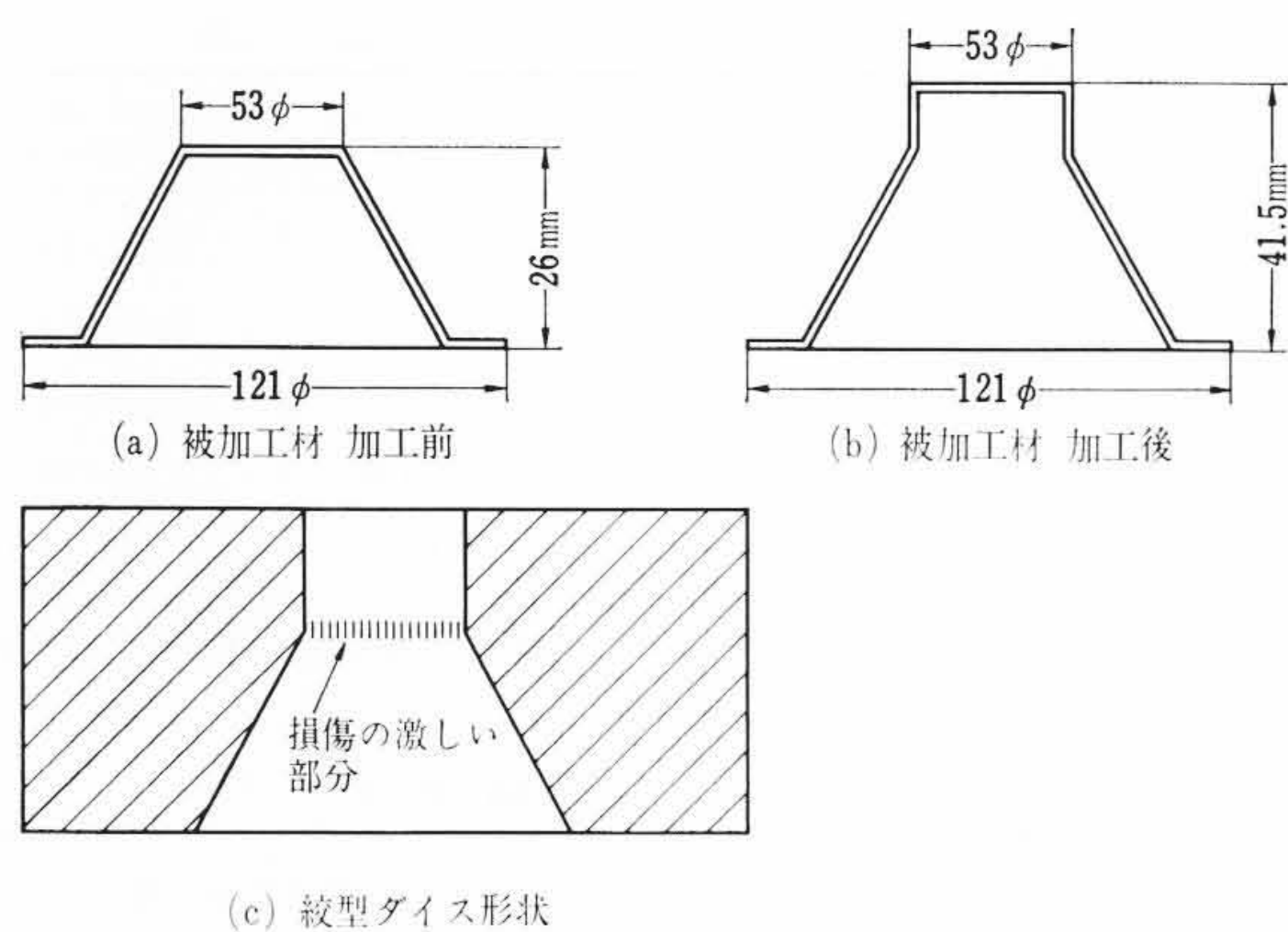


図13 深絞り型の形状および被加工材の形状

寿命も SLD より短い、しかし価格が低廉で少量の生産を行なう場合有利である。

3.2 絞 り 型

図 13 の (a) に示す形状より (b) の形状に絞る絞り型ポンチおよびダイスに YGS2 を使用した。ダイスは図 13 (c) に示す角の部分焼付き、損傷しやすく寿命短縮の原因になる。炭素工具鋼の焼入焼戻したものは非常に少ない打抜数で焼付き使用不能のため、従来鋳鉄 Fc 30 を使用していた。Fc 30 は焼付きを生じないが摩耗が激しく手直し研磨をひん繁に行なう必要がある。YGS2 (810℃ 水油焼入, 200℃×2 時間焼戻 H_RC 58) を使用した結果、炭素工具鋼のように焼付きを起さず、また鋳鉄のように摩耗しない。現在使用中で Fc 30 の再研磨までの生産個数の約 1.5 倍を生産し、再研磨までにはさらに使用可能である。

3.3 打抜ポンチおよびダイス

外径 22φ×(8φ 中穴)、厚さ 1.2 mm のワッシャの打抜ポンチ、ダイスに YGS1 を使用した。結果は表 6 に示すとおりである。YGS1 は炭素工具鋼より約 100% 工具寿命の長いことがわかる。

また鋼材切断用のこぎり盤のしゅう動カムに YGS2 を使用した。熱処理は 820℃ 油焼入, 200℃×1 時間焼戻である。従来の鋳鉄に比較し非常に長寿命で、鋳鉄製では 6 个月ごとに取り換えていたが、黒鉛鋼では 6 年間使用して、まだ数年は使用可能の状態にある。

4. 結 言

黒鉛鋼 YGS1 および YGS2 について種々の性能を調査した。以下はその結果の要約である。

- (1) YGS1 は 825℃ 焼入で最高かたさ H_RC 64.4 を示す。YGS2 は Mn 含有量が多いため 800℃ 焼入で焼入最高かたさ H_RC 64.2 が得られた。
- (2) YGS1, YGS2 とともに 775~875℃ 焼入, 200℃ 焼戻によって H_RC 59 以上のかたさが得られる。また YGS2 は YGS1 より焼戻軟化抵抗が大きい。

表 6 打 抜 試 験 結 果

鋼 種	熱 処 理 条 件	か た さ	打 抜 個 数
SK 3	800℃ 水焼入 200℃ 焼戻	H _R C 60	1.5~2.0 万個
YGS 1	810℃ 油焼入 200℃ 焼戻	61	3.0~4.5 万個

- 被打抜材：SK 3 焼鈍材 厚さ 1.2mm
- かえり高さが 0.12 mm になるまでの打抜数

- (3) YGS1 の焼入性は大略 SUJ 2 と同程度であるが、YGS2 はかなり良好な焼入性を示し、Graph Air や SCD (SKD12) より劣るが CRD (SKD1) 級である。油焼入の場合、YGS1 では表面より ¼R 内部まで H_RC 62 以上のかたさが得られる最大丸棒径は約 50 mm、YGS2 では 100 mm である。中心まで H_RC 62 以上のかたさが得られる最大丸棒直径は YGS1 が約 22 mm、YGS2 が約 75 mm である。
- (4) 熱処理による変形は炭素工具鋼 YC3 (SK3) と SCD (SKD12) の中間程度である。
- (5) 熱処理条件と抗折強度および衝撃値の関係を調査した結果、焼入は低目が望ましく、焼戻は焼戻脆性の現われる 250℃ 以下の温度で行なう必要があり、YGS1, YGS2 とともに焼入温度 780~830℃、焼戻温度 150~200℃、かたさ H_RC 58~62 での使用が推奨される。
- (6) 上記推奨熱処理を行なった場合、YGS1 および YGS2 のじん性は SGT (SKS3) や SCD (SKD12) より劣るが、CRD (SKD1) や Graph Air よりややすぐれていることが明らかになった。
- (7) 大越式迅速摩耗試験の結果、YGS1, YGS2 とともに炭素工具鋼 YC3 (SK3) や YC5 (SK5) より耐摩耗性は良く、YGS2 はおおむね SCD (SKD12) に近い耐摩耗性を示した。また実用結果、打抜ポンチの場合 YGS1 の寿命は YC3 (SK3) より長いことがわかった。
- (8) 旋盤による旋削試験の結果、YGS2 の切削時工具寿命は SLD (SKD11) や CRD (SKD1) より長いが炭素工具鋼 YC3 (SK3) より短い。しかし炭素工具鋼よりチップ切れがよいので旋削作業は非常に容易である。

参 考 文 献

- (1) 小柳：金属材料 5, 3, 23 (Mar.-1965)
- (2) 伊藤：特殊鋼 12, 8, 31 (Oct.-1963)
- (3) A. F. Splankle: The Iron Age 28, 100 (Feb.-1952)
- (4) A. F. Splankle: The Iron Age 13, 106 (Mar.-1952)
- (5) G. A. Roberts: Tool Steels 449 (1961)
- (6) F., Alloys Digest, Inc.: Alloy digest Filling Code TS-75 (Oct.-1958)
- (7) The Selection of Steel for Hardenability by the ASM Committee on Hardenability: Metals Handbook 1961
- (8) 小柴, 稲田：日立評論 別冊 42 8 (昭 36-5)
- (9) 新持, 田中, 加藤：日立評論 46, 2049 (昭 39-12)