

強力断続切削用新高速度工具鋼YXM62の特性

New High Speed Tool Steel YXM62 for Severe Intermittent Cutting

清永欣吾* Kiyonaga Kingo

ホブ、ピニオンカッタなどの切削工具には、一般にSKH55級の高速度工具鋼が使用されているが、被削材の難削化、切削条件の高速高送り化に伴い、SKH55では耐久性が短く、更に高級な高速度工具鋼では刃欠けが起こる場合が多く、これらの切削条件に耐える新しい高速度工具鋼の開発が要求されていた。YXM62はその要求に応ずるもので、本鋼の基礎的な性質、すなわち、熱処理特性、機械的性質、耐摩耗性、耐熱性、切削耐久性などを従来鋼のSKH55、YXM60などと比較し、本鋼が開発目的を十分に達成する新材料であることを述べた。これは本鋼の炭化物偏析が少なく、中粒のMC、M₆C炭化物が多く、耐熱性の高いマトリックス成分に調整されていることによるものである。

1 緒 言

耐熱合金、高強力鋼などの難削材切削用高速度工具鋼として、AISI、M40シリーズが華々しく登場したのは1960年代初頭であった。我が国でもこの系に対する多くの研究あるいは試験が行なわれ、日立金属株式会社ではYXM60¹⁾が開発された。現在、エンドミル、タップ、ホブ、リーマのほか、超仕上用電気かんな刃材、高い圧縮応力のかかる冷間圧造パンチ類に使用されている。更に、1970年代に入り粉末高速度工具鋼が登場し、高速度工具鋼の歴史に新しい一ページを加えつつある。一方、顧客のニーズに応ずる地道な新材料の開発も着実に進められており、YXM62はその代表的な一つである。

本稿ではYXM62開発の背景、その特性、使用例などにつき紹介する。

2 YXM62開発の経緯

耐熱性、耐摩耗性及び靱性の優れた新材料の開発は、高速度工具鋼分野での恒常的なテーマである。しかし、耐熱性、耐摩耗性と靱性は共に相反する性質であり、三者を同時に改善することは困難である。したがって、その妥協点は問題となる実用工具の要求性能によって決定される。現実問題となっている具体例に次のものがある。

- (1) H_RC25～35の硬質被削材切削用の大形荒切り用ホブ
- (2) 難削材切削用、太物エンドミル及び荒切り用エンドミル（スクリュウ・エンドミル）
- (3) 高速ピニオンカッタ

通常これらの用途に対し、SKH55が適用されているが、SKH55では摩耗が多いので、硬さの高い更に高級なYXM60、AISI M42にすると刃欠けの問題があり、またSKH57では研削性に難点があった。そこで、次の目標のもとにW量、Mo量、C量、Co量、及びV量の範囲について広範な研究を行ない、その結果、YXM62を完成した。そのねらいは、

- (1) H_RC66以上が無理なく出せる。
- (2) SKH55以上の耐熱性、耐摩耗性を持つとともに、同等の靱性を持つ。
- (3) 製品サイズが大きくなっても、靱性の低下が少ない。

表1 高速度工具鋼の化学成分(wt%) 本論文に使用した主要な高速度工具鋼の化学成分について参考のために示した。

鋼 種	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	Co
SKH55	0.85	0.30	0.30	4.10	6.00	5.00	2.00	5.00
SKH57	1.25	0.30	0.30	4.10	10.00	3.50	3.50	10.00
AISI M42	1.10	0.30	0.30	4.00	1.50	9.50	1.10	8.00
SKH9	0.85	0.30	0.30	4.10	6.00	5.00	2.00	—
AISI M34	0.90	0.30	0.30	4.00	2.00	8.00	2.00	8.00

以下、YXM62の主要な性質と切削性能について述べる。なお、表1に代表的な高速度工具鋼の化学成分について参考のために示した。

3 主要な性質

3.1 熱 処 理

YXM62は化学成分の調整により一次炭化物の縞状偏析が少なくなるように工夫されている。铸造時に生ずる共晶レーデブライトの偏析幅が、従来鋼より狭くなるように成分配合されているので、図1に示すように鍛錬係数の低い状態でも炭化物偏析が少なく、したがって靱性も高い。通常の圧延加工状態で3～5μのVを主体としたMC炭化物と多数の1～3μのM₆C炭化物とを含む。焼なまし温度860℃で焼なまし硬さH_B235～285が得られる。

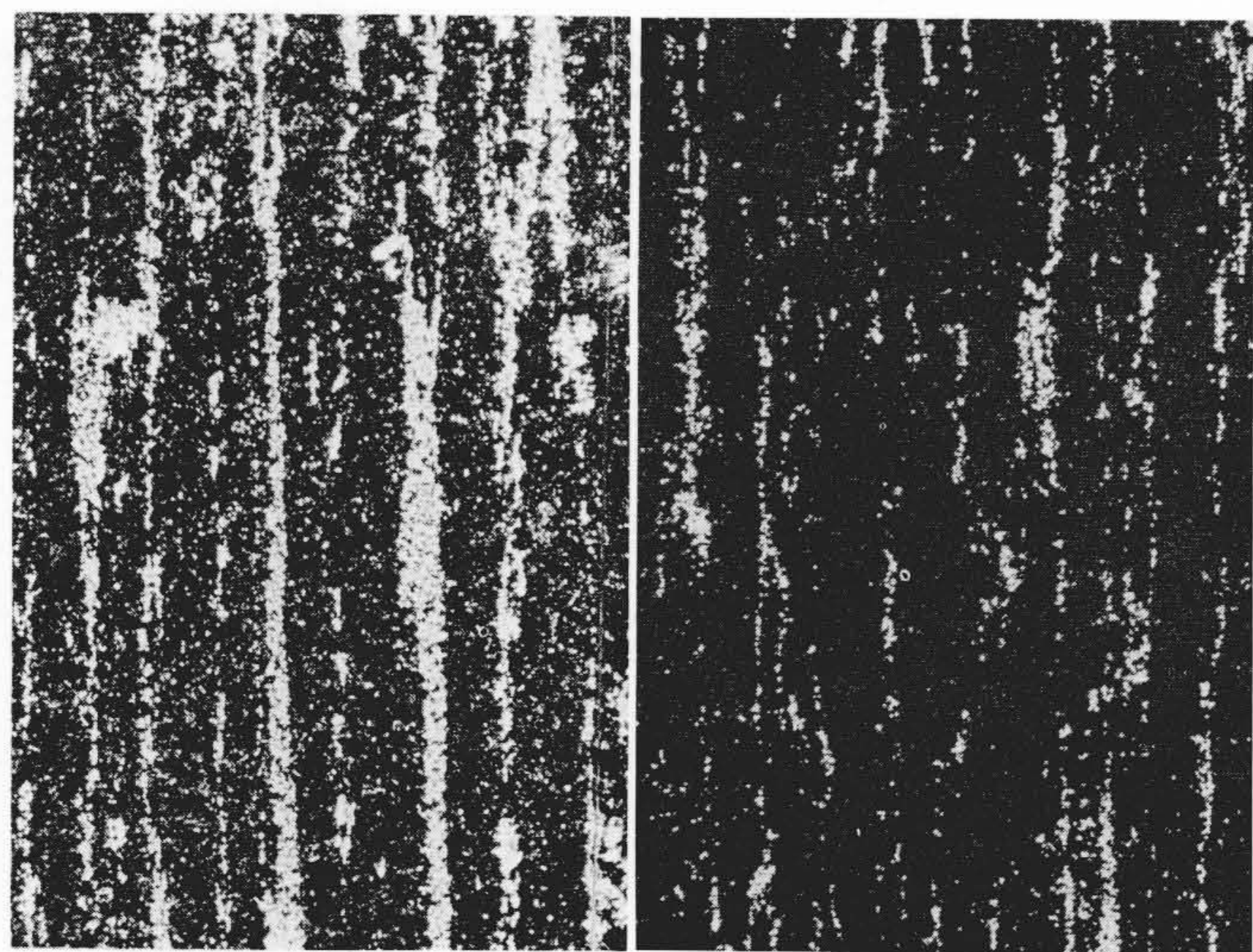
図2に焼入温度とオーステナイト結晶粒度の関係を、図3に焼入れ、焼もどし温度と硬さの関係を示すが、この結果より焼入温度として1,180～1,220℃(標準1,200℃)が適当なことが分かる。

3.2 靱性試験

3.2.1 抗折試験・衝撃試験

抗折試験、シャルピー衝撃試験を行ない、SKH55、YXM60との比較を行なった。いずれも約40mm丸圧延棒鋼より試験片を削出したもので、結果を図4及び図5に示す。抗折力はH_RC66.5以下でSKH55とほぼ等しく、H_RC67以上ではYXM60にほぼ等しい。焼入温度1,220℃以上では靱性の低下が著

* 日立金属株式会社安来工場 工学博士



(a) SKH55(X100)

(b) YXM62(X100)

図1 100mmφ鋼材におけるSKH55とYXM62の炭化物偏析状況の比較
YXM62はSKH55と比較して、一次炭化物の偏析度が少ない。

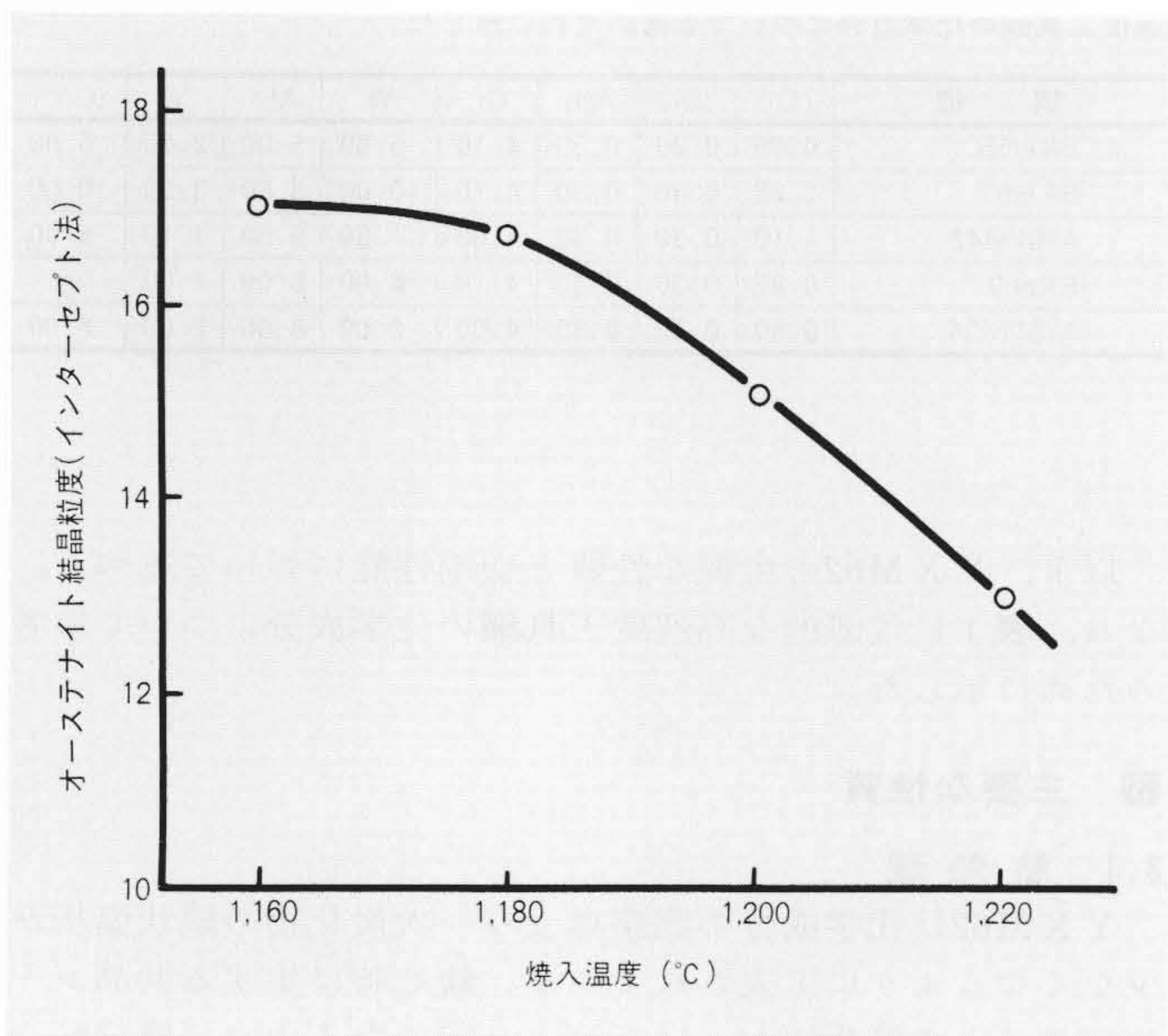


図2 YXM62の焼入温度とオーステナイト結晶粒度の関係 高速工具鋼の焼入時のオーステナイト結晶粒度は、12以上が必要である。YXM62では1,200°C以上の焼入温度で粗粒化が激しくなるが、1,220°Cまでは使用可能の範囲である。

しく、1,180°Cでは焼もどし硬さが出にくいので、1,200±10°Cが最も適当な焼入温度と判定される。シャルピー衝撃試験(10mm Cノッチ)では焼入温度の効果が大きく、焼もどし温度の効果は比較的少ないが、抗折試験の場合と同様、YXM62はSKH55とほぼ同等の靱性を示すことが分かる。

3.2.2 破壊靱性試験

ASTM E399 Compact-Tension試験片(厚さ13mm)に表2の熱処理を施し、硬さと平面ひずみ破壊靱性値 K_{Ic} の関係を求めた。結果を図6に示す。YXM62の K_{Ic} は硬さの低下につれて、ほぼ直線的に増加し、その延長線は高島²⁾らによってSKH9で求められた直線と一致する。すなわち、高速工具鋼の K_{Ic} は鋼種、熱処理条件及び組織によりさほどの影響を受けず、主としてマトリックス硬さによって変化することを示している。

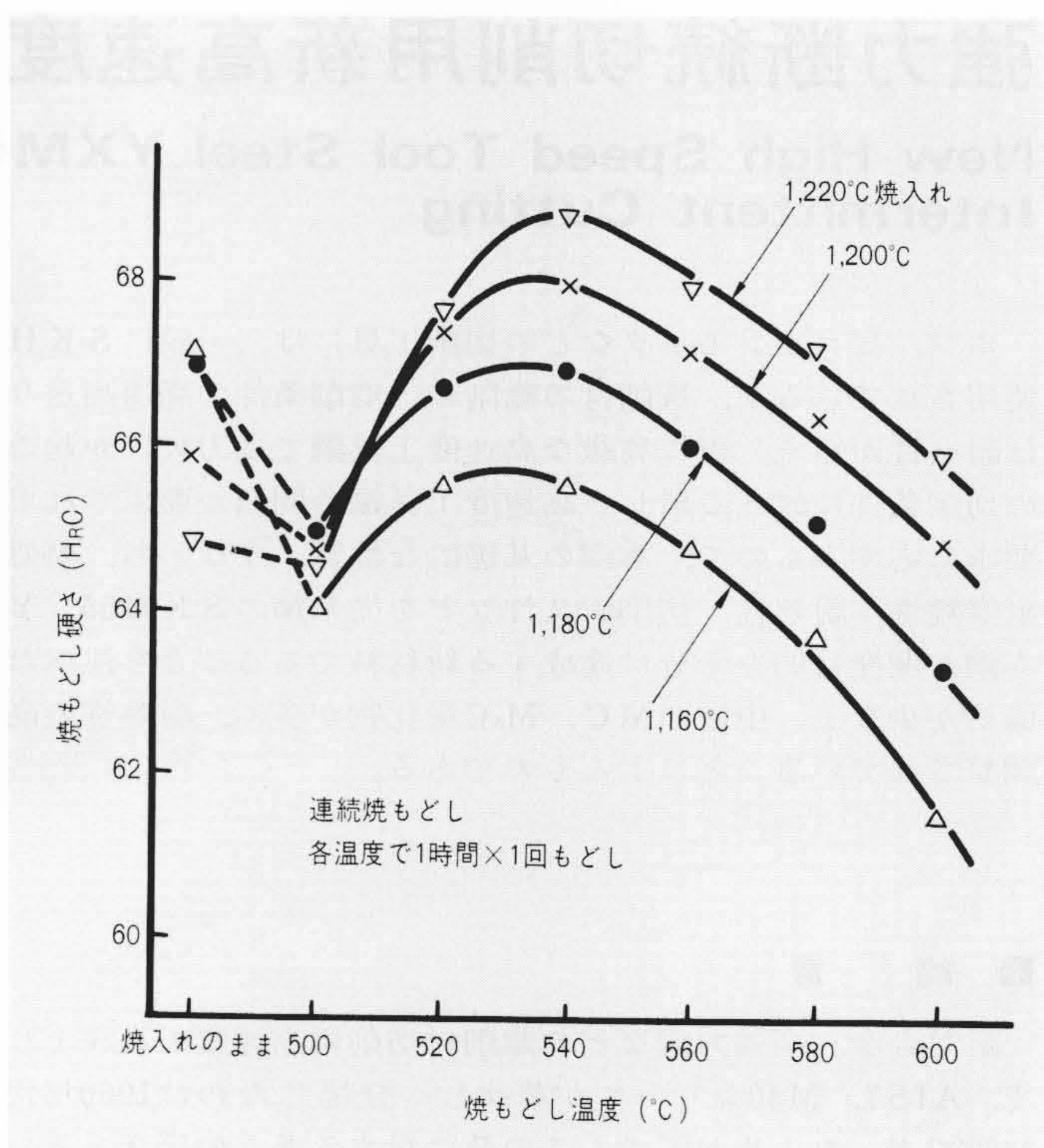


図3 YXM62の焼入れ、焼もどし硬さ 高速工具鋼の適当な焼もどし温度は560~580°Cである。この焼もどし温度でHRC66以上得るためには、1,180°C以上の焼入温度が必要である。

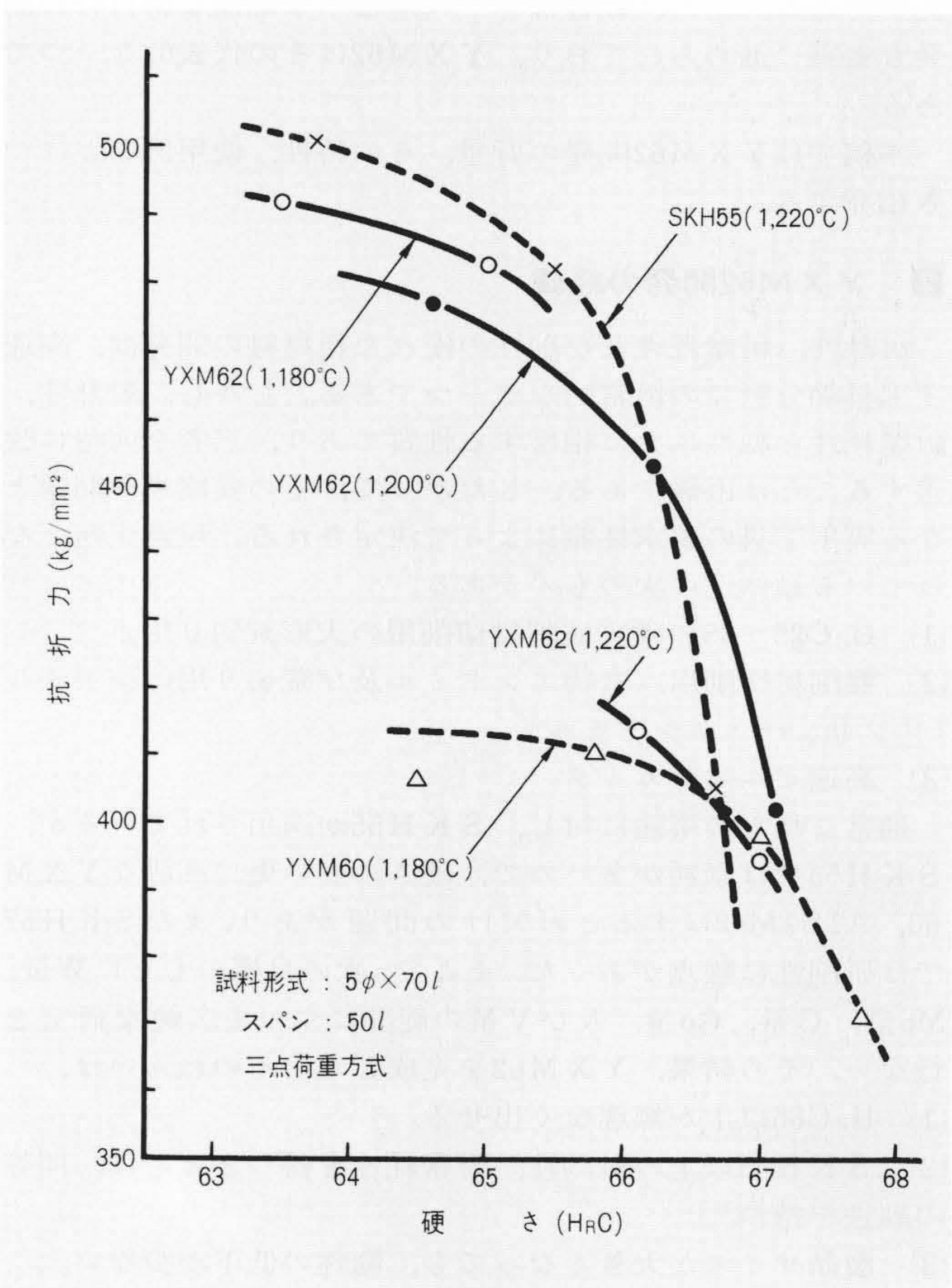


図4 抗折試験における抗折力と硬さの関係 図中の括弧内の数字は焼入温度を示す。1,220°C焼入れではYXM62の抗折力低下が激しい。1,180~1,200°C焼入れではSKH55とほぼ同程度の抗折力を示す。

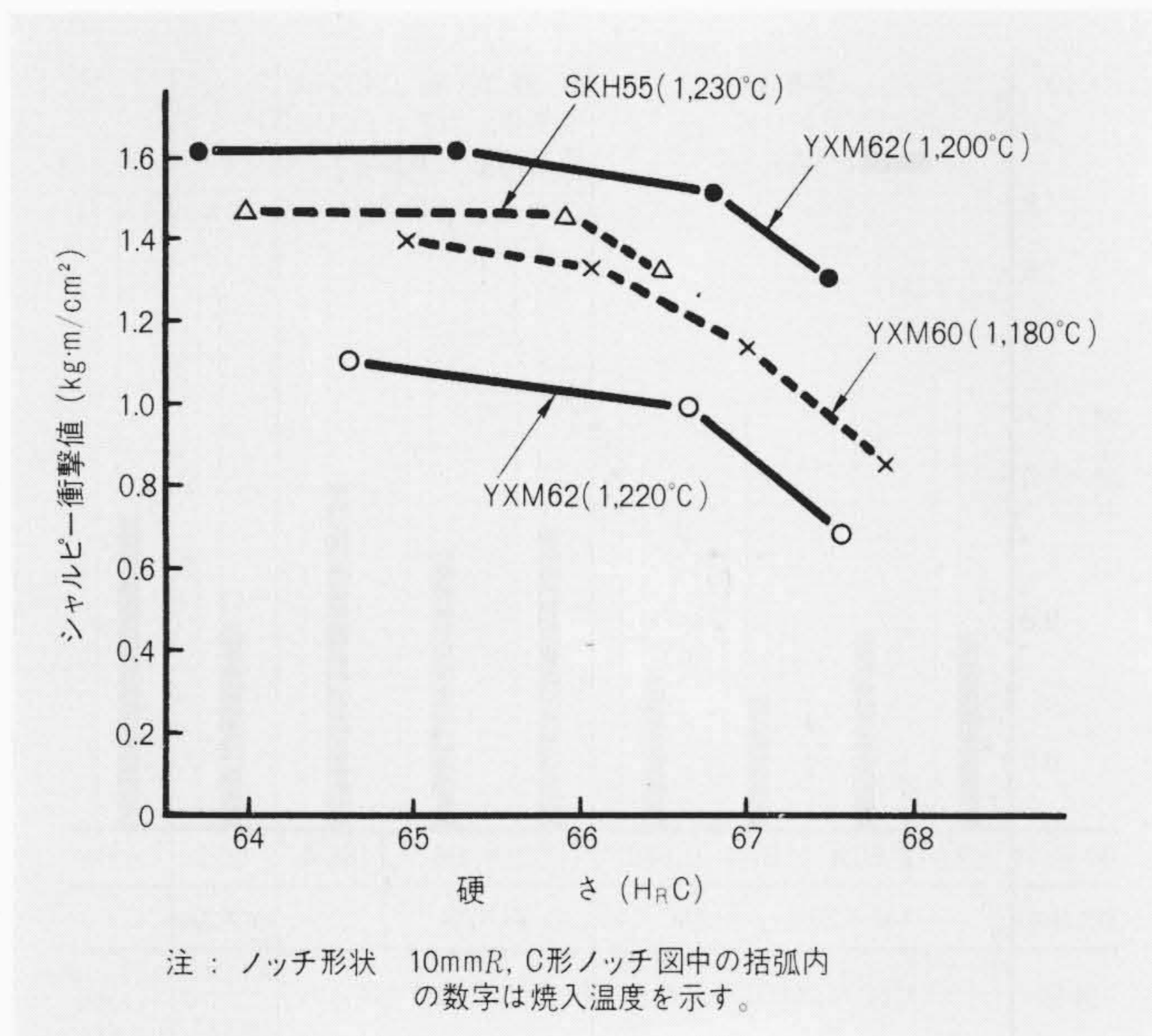


図5 硬さとシャルピー衝撃値の関係 YXM62の衝撃値は、SKH55同等以上であることが示されている。

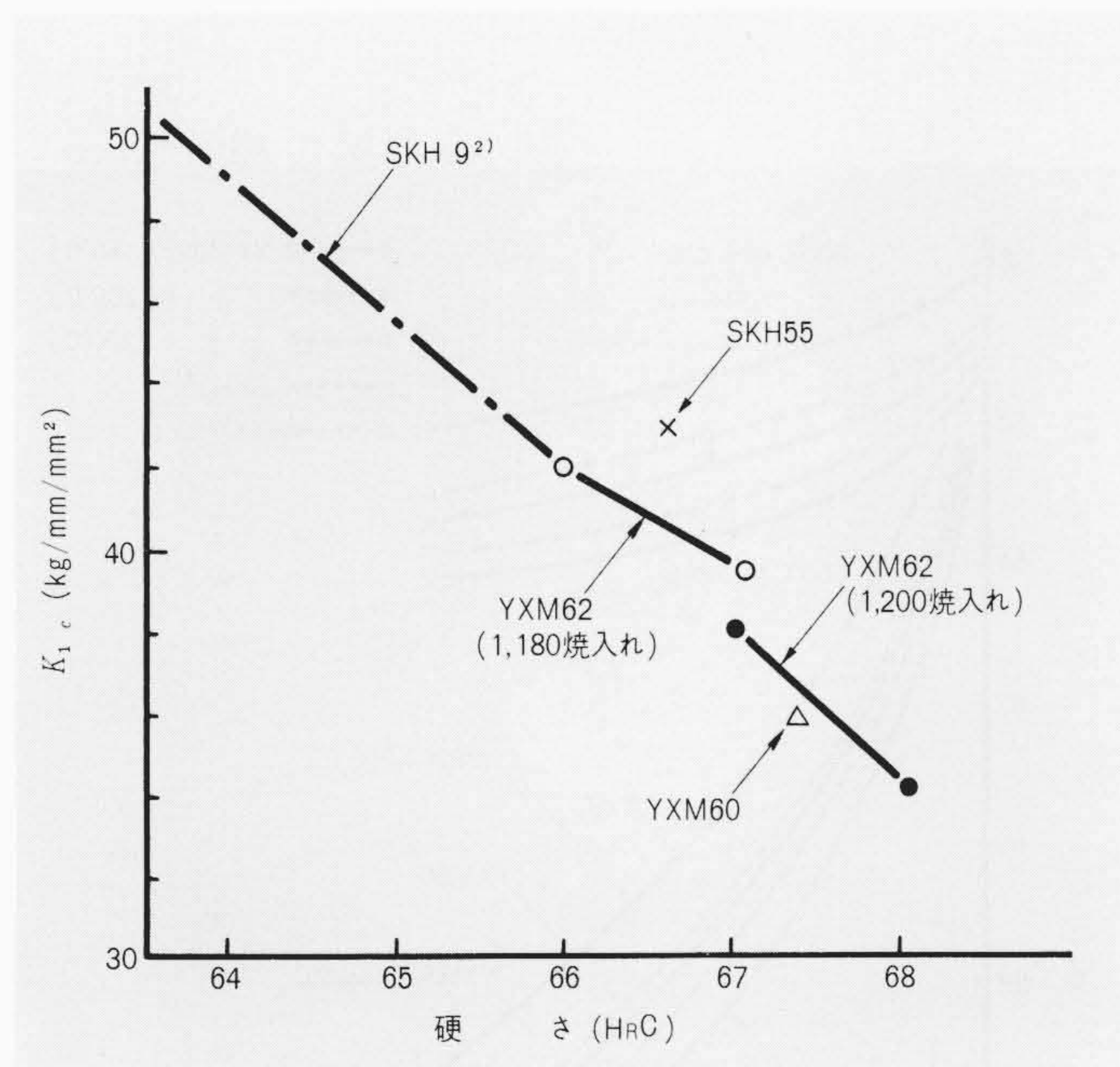


図6 硬さと破壊靱性値 K_{1c} の関係 YXM62の K_{1c} は硬さの低下につれてほぼ直線的に増加し、その延長線はSKH9で求められた直線関係と一致する。

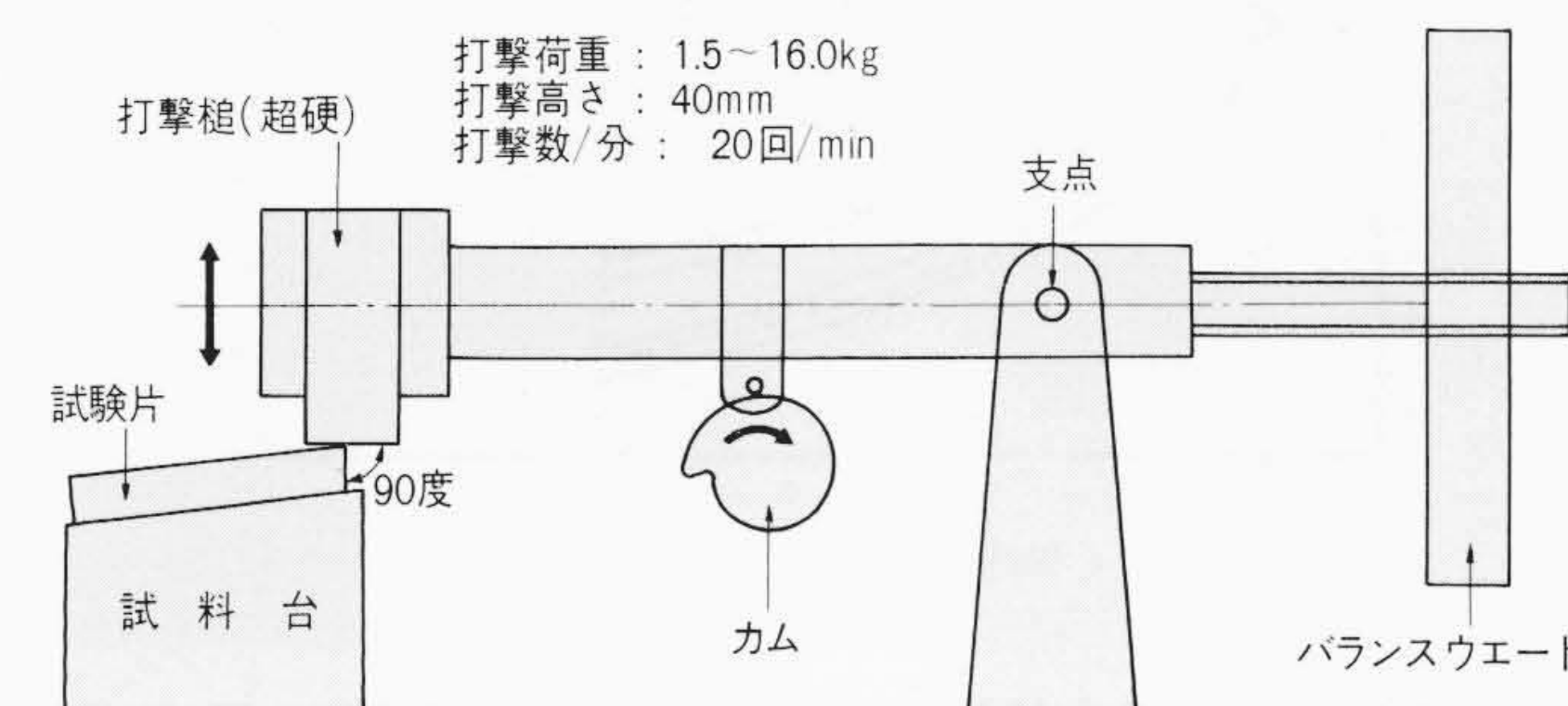


図7 チッピング試験機の概略図 試験片の端部稜線に種々の荷重の打撃が繰返しかけられるようになっている。打撃荷重は試験前にばね秤で秤量される。

表2 破壊靱性試験片の熱処理条件 ASTM E399 Compaction-Tension試験片を用いて熱処理を行なった。焼入れソルト浸漬時間は130秒、冷却は油冷、焼もどしは環状電気炉で1時間3回空冷の条件で行なった。

鋼種	焼入	焼もどし	硬さ
YXM62	1,180°C	560°C × (1 + 1 + 1)h	HRC67.1
	"	580°C × (1 + 1 + 1)h	65.9
	1,200°C	560°C × (1 + 1 + 1)h	68.1
	"	580°C × (1 + 1 + 1)h	67.0
YXM60	1,180°C	580°C × (1 + 1 + 1)h	67.3
SKH55	1,230°C	560°C × (1 + 1 + 1)h	66.6

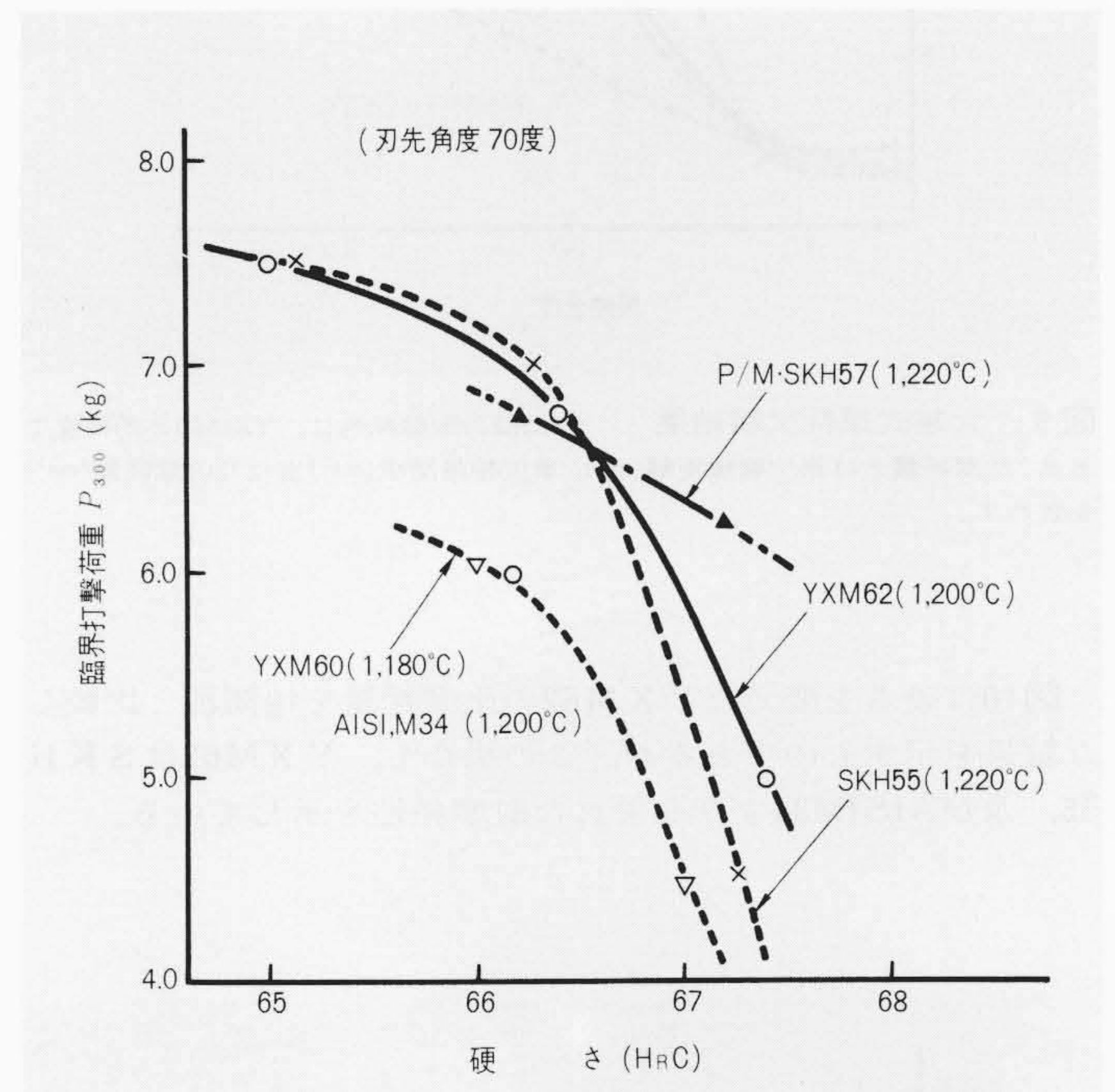


図8 チッピング試験結果 P_{300} とは300回の打撃でチッピングを生ずる最低打撃荷重を示す。YXM62の耐チッピング性はYXM60、AISI, M34より優れ、SKH55と同程度である。粉末ハイス(P/M・SKH57)は高い硬さ域でも高い耐チッピング性を示す。

3.2.3 繰返し打撃によるチッピング試験

できるだけ切削状態に近い条件で刃先に繰返し打撃衝撃応力が加わるような試験機を自社製作し、耐チッピング性試験を行なった。試験機の原理図を図7に示す。すなわち、バランスウェイトで任意に荷重が変えられる超硬打撃槌により、任意の刃先角に仕上げた試験片刃先稜線に沿って繰返し打撃荷重を加え、チッピングが発生するまでの打撃数を測定する仕組みになっている。図8に300回の繰返し打撃でチッピングが発生する最小の打撃荷重 P_{300} と硬さの関係を示す。YXM62の耐チッピング性はSKH55とほぼ同等であり、HRC67以上では、むしろ優れている。粉末ハイス、P/M・SKH57も同時に試験しているが、HRC67以上で耐チッピング性の低下の少ないことが特に注目される。

3.3 摩耗試験

大越式摩耗試験機により各鋼種の耐摩耗性の比較を行なった。摩擦速度2～3m/sの比摩耗量は経験的に実用切削工具の耐久性と比較的よく一致しているが、図9に示すようにこの範囲では、比摩耗量はSKH57<YXM62≒YXM60<SKH55の順であり、YXM62のねらいどおりの耐摩耗性を示していることが分かる。

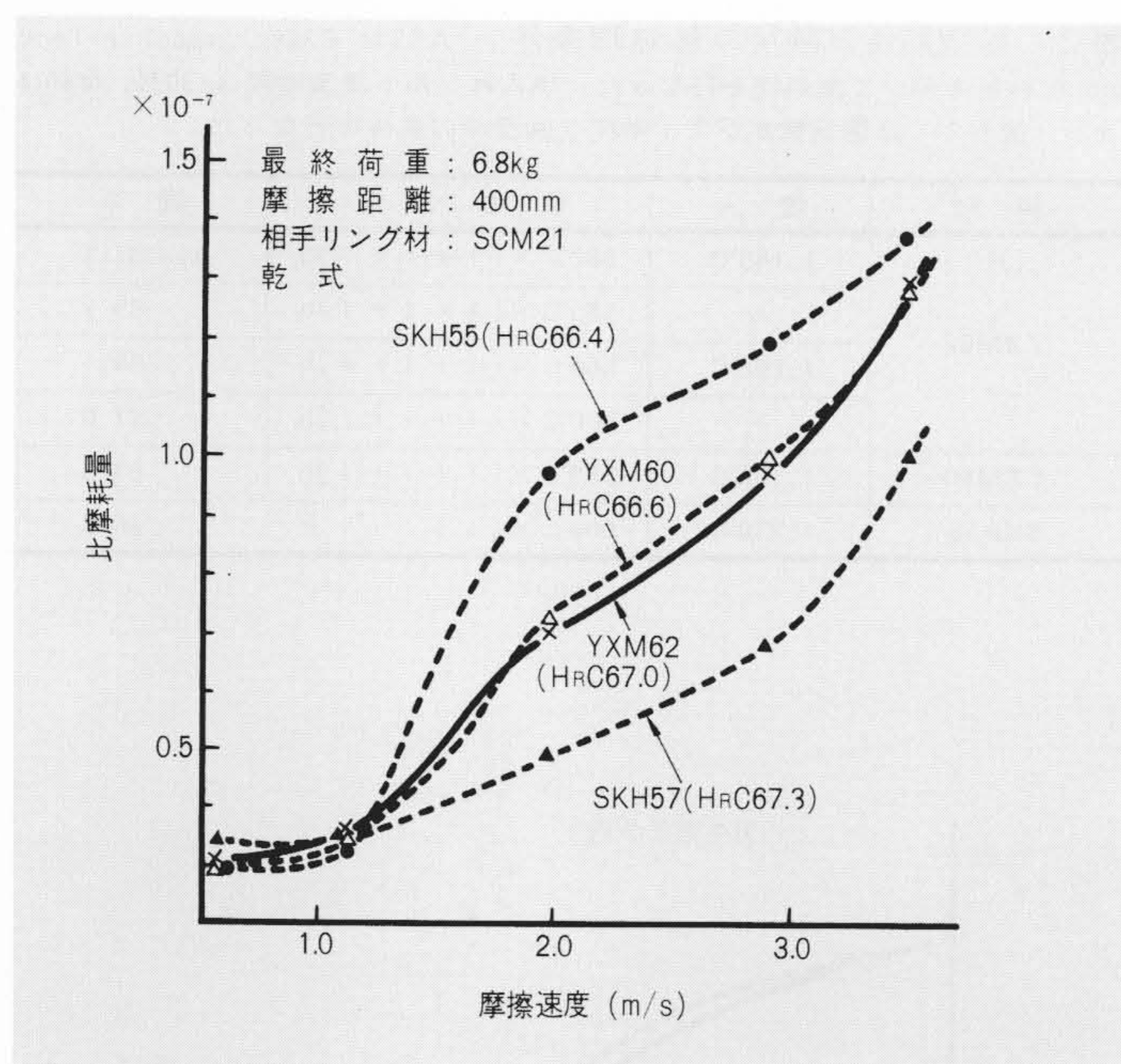


図9 大越式摩耗試験結果 YXM62の耐摩耗性は、YXM60と同程度である。比摩耗量とは単位摩擦距離(mm), 単位接触面積(mm²)当たりの摩耗量(mm³)を表わす。

図10は硬さを変えたYXM62の比摩耗量を他鋼種と比較した結果を示すものであるが、この場合も、YXM62はSKH55、及びAISIM34よりも優れた耐摩耗性を示している。

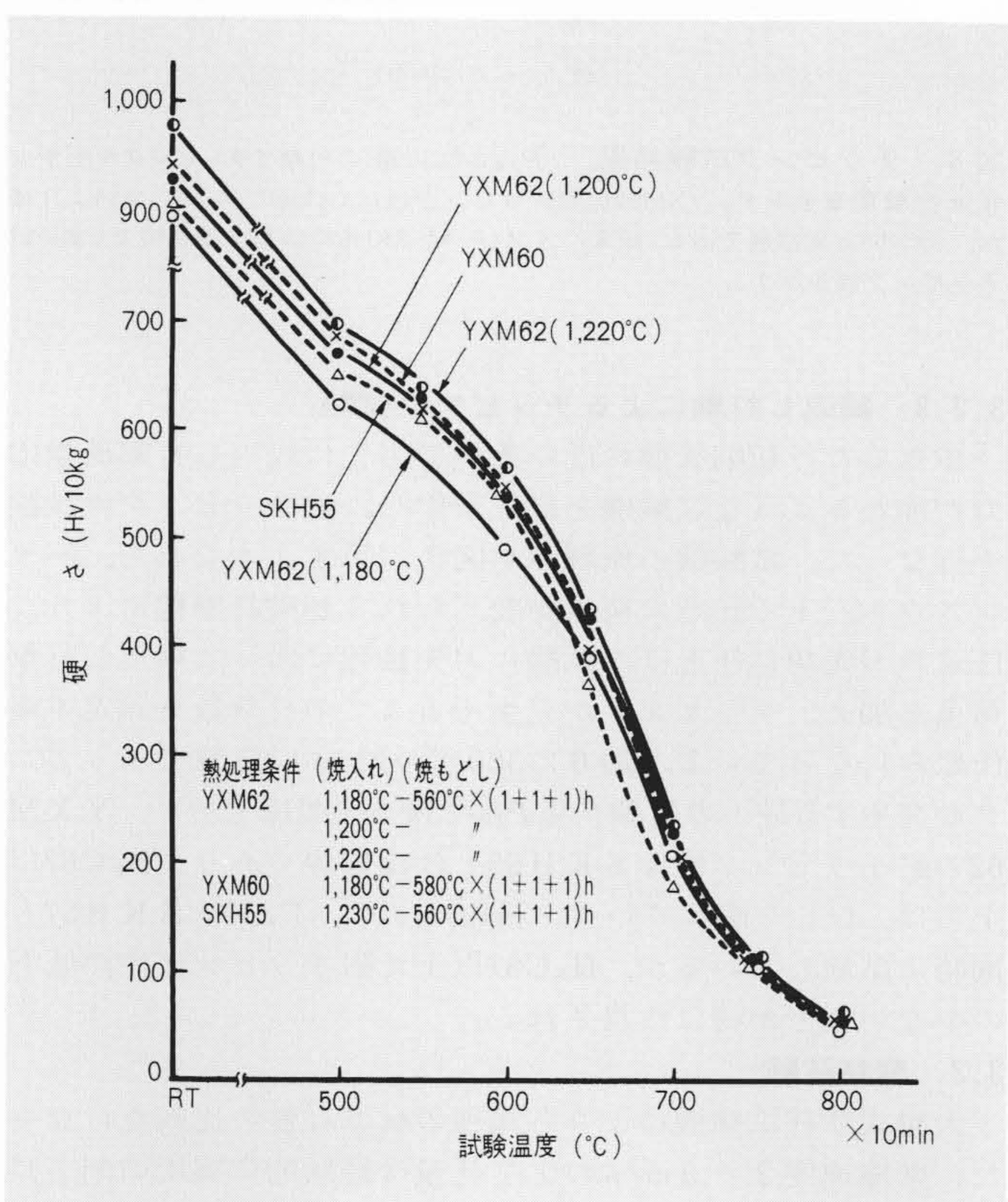


図11 高温硬度測定結果 所定の熱処理を施した試験片を研磨後、高温硬度計で逐次温度を上げながら打痕し、室温で圧痕サイズを測定して高温硬さを決定した。各温度での保持時間は10分である。YXM62の高温硬さは650°C以上でSKH55より明らかに大きくなる。

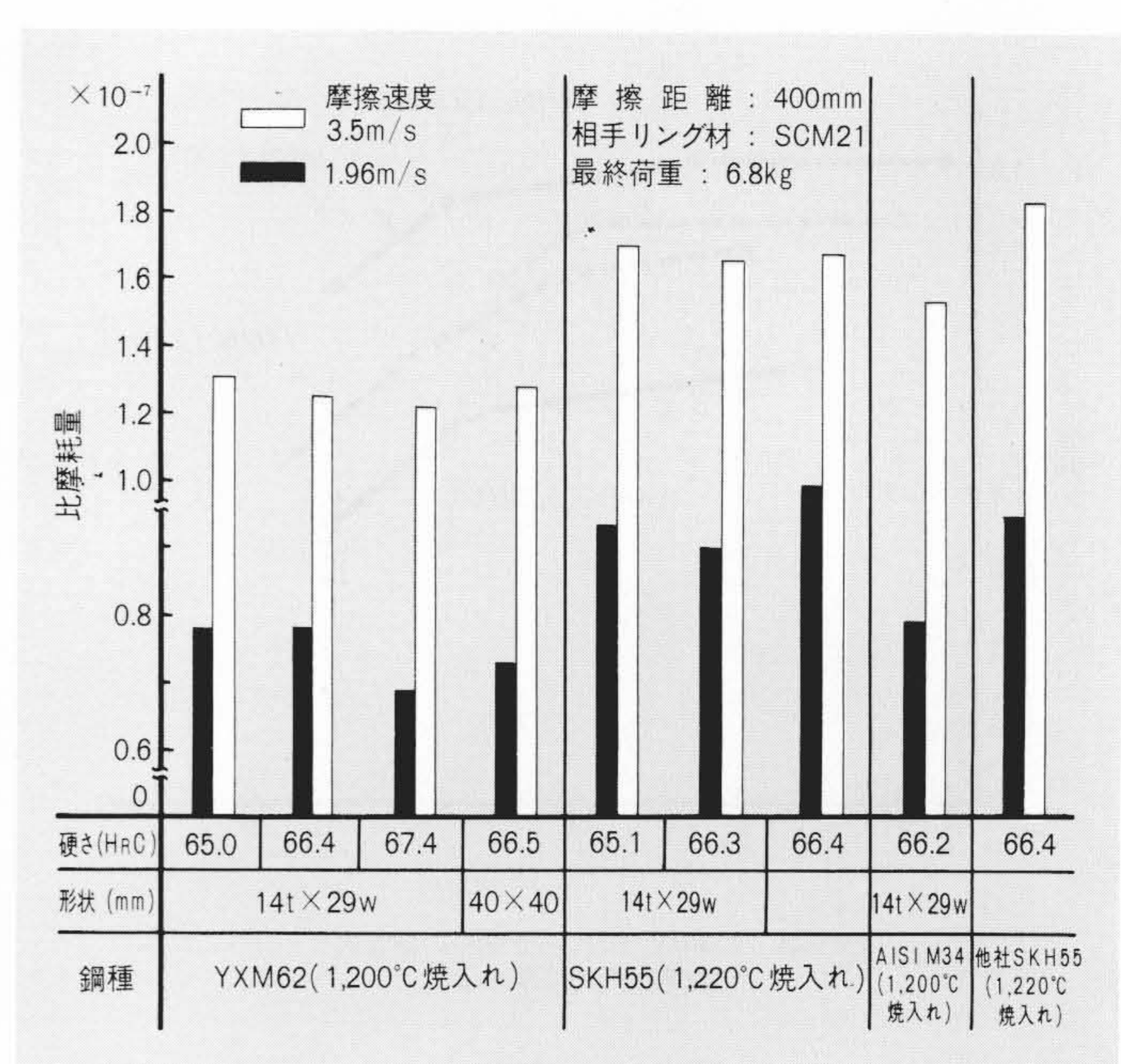


図10 大越式摩耗試験機による硬さと耐摩耗性の関係 YXM62の耐摩耗性がHRC65-67の硬さ範囲でSKH55より優れていることを示す。

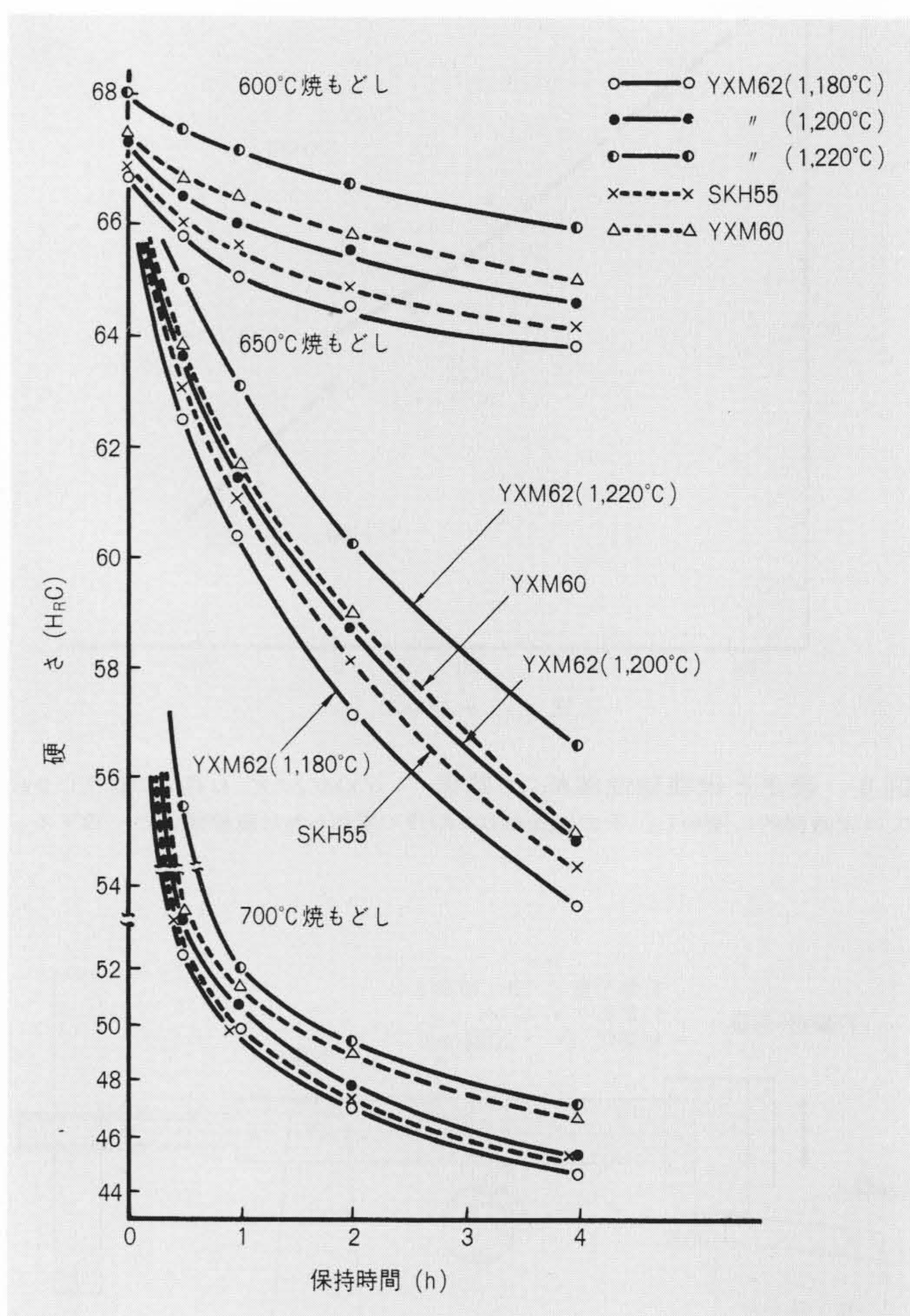


図12 600°C、650°C及び700°Cでの焼もどし軟化抵抗 図10と同じ熱処理を施した試験片を600°C、650°C、及び700°Cに4時間まで再加熱し、焼もどしによる硬さ低下の模様を測定したものである。YXM62、1,220°C焼入材の焼もどし抵抗が非常に大きいことが分かる。

3.4 耐熱性

YXM62の耐熱性をSKH55、YXM60と比較するために、高温硬さ及び焼もどし軟化抵抗の測定を行なった。結果を図11、及び12に示す。

650°Cまでの高温硬さは室温硬さの大小によって決まる。650°Cを超えるとSKH55の高温硬さの低下が顕著になり、YXM62の高温硬さはYXM60と同等である。この傾向は焼もどし軟化抵抗の場合でもみられる。YXM62の1,220°C焼入れ材は前述のように靱性は低下するが、耐熱性は極めて良好である。

3.5 被研削性

マトリックス33番ねじ研削盤を用いて、YXM62の被研削性を他の鋼種と比較した。ピッチ1mmの5山を持つWA砥石を用い、1パス0.02mmの切込で一定距離研削し、総切込0.9mmまで研削した場合の第5山の砥石山頂摩耗高さを0.1mm切込時と比較し、被研削性を評価した。結果を図13に示す。YXM62の被研削性はSKH55とほぼ同程度であるが、傾向的にはやや劣るようである。

4 切削性能

S45C(H_B170)、DM(SKT4相当H_B331)、SKD11(H_B217)を被削材として、10角バイト(8—15—6—6—20—15—0.5R)による乾式連続切削試験を行なった。バイトの熱処理条件を表3に、試験結果を図14～16に示す。

S45C切削の場合、低速側でYXM62の工具寿命が長い。

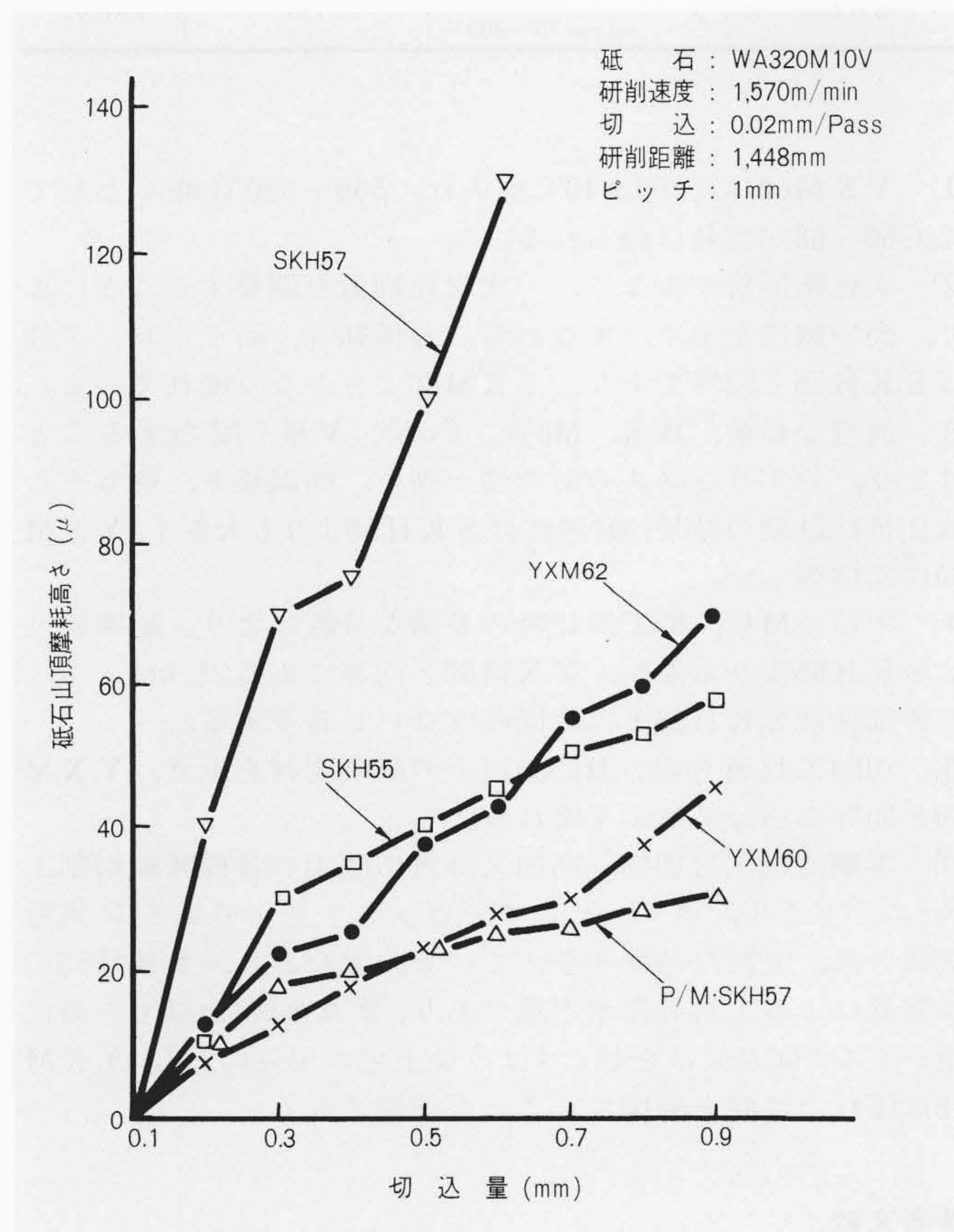


図13 ねじ研削における切込量と砥石山頂摩耗高さの関係 マトリックス33番ねじ研削盤を用い、WA砥石(5山)で一定距離研削ごとの砥石山頂(第5山)摩耗高さを比較したもので、YXM62はSKH55とほぼ同程度の被研削性を示すことが分かる。

1,180°C焼入れではSKH55より工具寿命が低下する。

高炭素高クロム冷間ダイス鋼SKD11を切削の場合、被削材中に硬い粒子(炭化物)を多量に含むため、アブレイシブ摩耗に強いことが要求されるが、図15に示すように、YXM62は比較的良い結果を示している。高硬度被削材DMに対してはYXM60が最も優れるが、YXM62はSKH55より優れた工具寿命を示した。

以上のように、YXM62は代表的な3種類の被削材に対し優れた切削耐久性を持ち、元来、高硬度被削材のために開発されたYXM60より、DM切削の場合だけ劣るものの、他の場合は良好な結果を示していることから、目標の切削性能は十分達成され则认为られる。まして、断続切削の多い実用工具では、YXM62の特質がいつそう発揮されるものと期待される。

本鋼を用いた実用切削試験結果の数例を表4に示す。同表では現用材を100とした場合のYXM62の工具寿命比を示している。本鋼は一般にSKH55より優れた性能を示すが、YXM60と比較したとき、H_B330以下の被削材、硬質粒子を含む被削材(SKD11)の場合にYXM60より優れている。しかも、高硬度被削材に対しても断続度が激しく刃先チップングの生じやすい条件では、YXM60以上の性能がでることも期待できる。

表3 バイトの熱処理条件 硬さH_RC67になるよう焼もどし温度で調整した。焼入れは、ソルトバスを用い、浸漬時間2分、油冷で行なった。

鋼種	焼入	焼もどし(×1h)	硬さ(H _R C)
YXM62	1,180°C	550°C + 560°C + 565°C	66.9
"	1,200°C	570°C + 580°C + 585°C	67.0
"	1,220°C	570°C + 585°C + 590°C	67.0
YXM60	1,180°C	580°C + 585°C + 590°C	66.6
SKH55	1,230°C	570°C + 575°C + 580°C	66.6

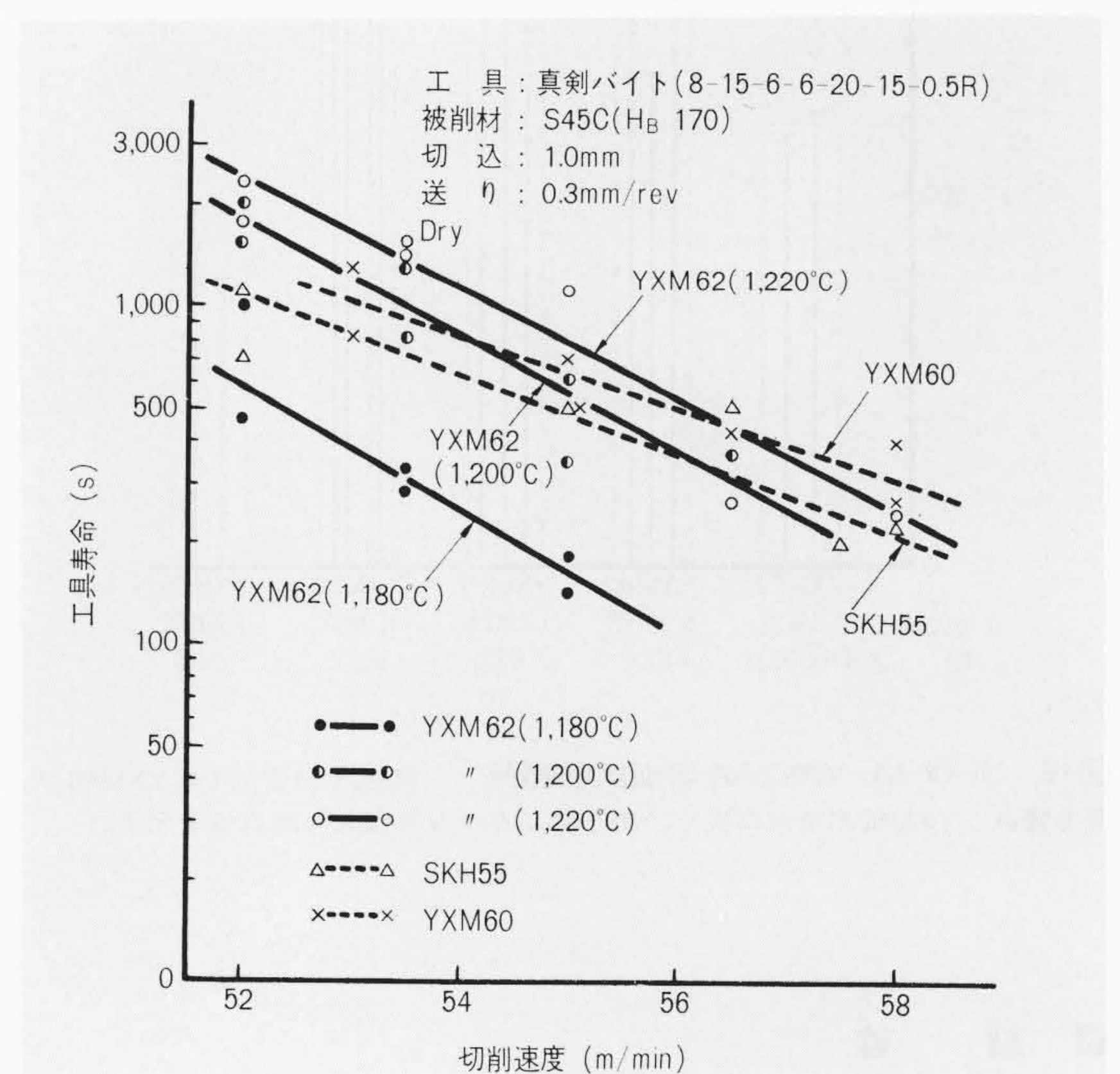


図14 S45Cの切削試験結果 寿命は完全寿命(刃先が溶断し、切削不能になるまでの耐久時間)で比較した。低速側でYXM62の寿命が良好である。1,180°C焼入れでは、SKH55に劣る寿命を示す。

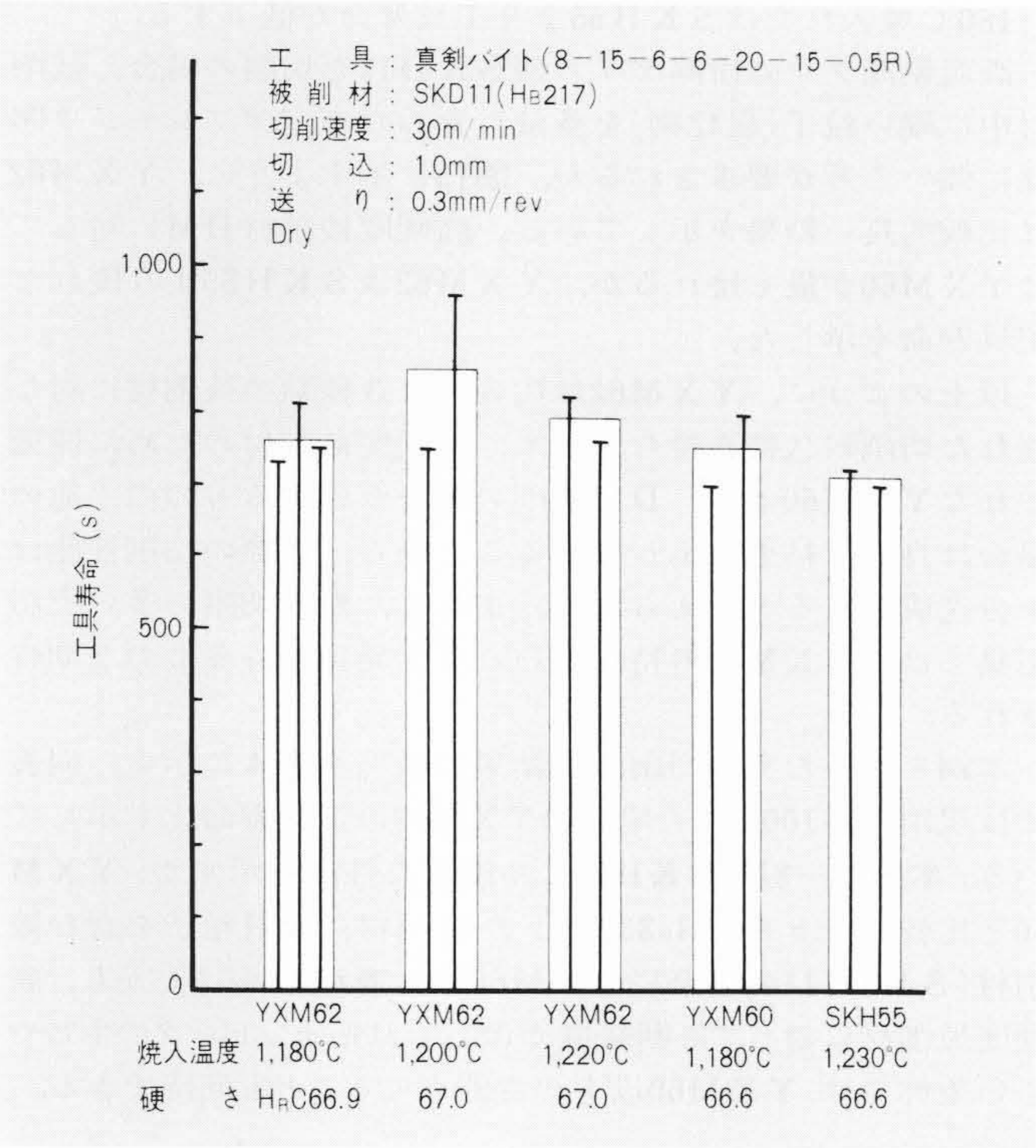


図15 SKD11の切削試験結果 SKD11切削の場合、YXM62はYXM60より優れた工具寿命を示す。

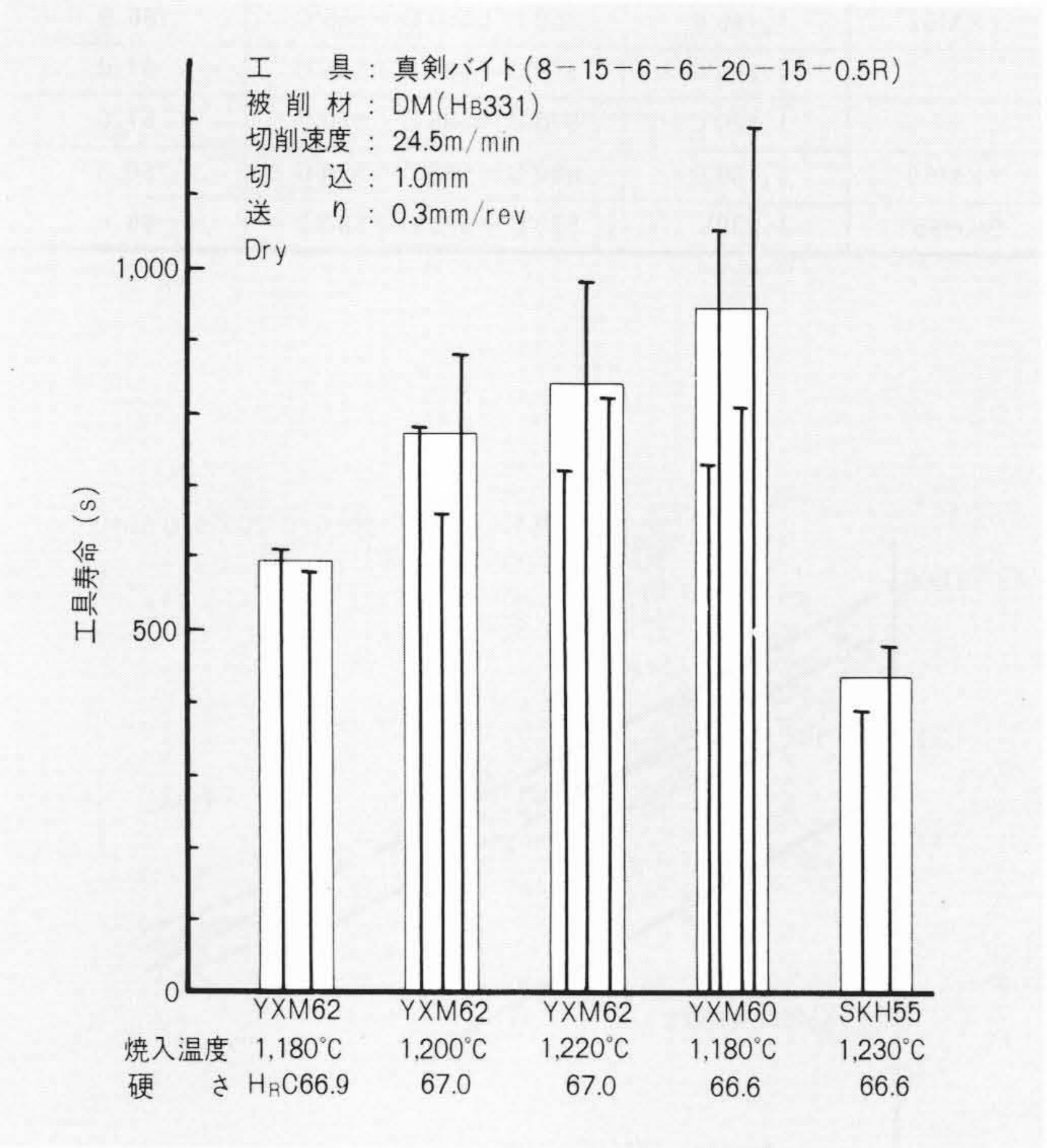


図16 Ni-Cr-Mo-V鋼DMの切削試験結果 高硬度材切削ではYXM60が最も優れ、YXM62がそれに次ぐ。SKH55よりかなり優れた耐久性を示す。

5 結 言

最近開発された強力断続切削用高速度工具鋼YXM62について、種々の性質及び使用性能の試験結果を示したが、これらをまとめると次のとおりである。

表4 切削試験結果のまとめ 一般にSKH55より優れた切削性能を示す。YXM60と比較した場合、H_B330以下の被削材、冷間ダイス鋼の切削ではYXM60より良い結果を示している。

工 具	被 削 材	比較材を100としたときの工具寿命比	比較材
バ イ ト	S45C (H _B 170)	142 111	SKH55 YXM60
	DM (H _B 331)	179 81	SKH55 YXM60
	SKD11 (H _B 217)	121 114	SKH55 YXM60
標準型エンドミル	S45C (H _B 190~210)	111	YXM60
	SKD61 (H _R C39~40)	104	"
	SKD11 (H _R C14)	148	"
荒削り用エンドミル	S45C (H _B 190~210)	101 120	" S2-9-2-5
	SKD61 (H _B 170~220)	120~140	YXM60
	HMD (H _B 220~240)	140	SKH55
	13Cr耐熱鋼 (H _B 331~365)	55	YXM60
	SKD11 (H _R C14~28)	122~162	"
	SUS304 (H _B 183>)	248	"
高速ピニオンカッタ	SCr21 (H _B 190)	150~200	SKH55
千鳥刃サイドカッタ	S45C (H _B 170~200)	130	YXM60

- (1) YXM62は1,200±10°C焼入れ、560~580°C焼もどしでH_RC66~68が容易に得られる。
- (2) 炭化物偏析が少なく、一次炭化物量を調整することにより、高い靱性を示す。すなわち、各種靱性、耐チップング性はSKH55と同等であり、YXM60よりかなり優れている。
- (3) 適当なC量、W量、Mo量、Co量、V量を配合することにより、マトリックスの耐熱性が高い。高温硬さ、焼もどし軟化抵抗試験の結果、耐熱性はSKH55よりも大きく、YXM60にはほぼ等しい。
- (4) 中粒のMC、M₆C炭化物の多量な分散により、耐摩耗性はSKH55よりも優れ、YXM60と同等である。しかし一方、被研削性はSKH55とほぼ同程度ないし若干劣る。
- (5) 切削工具寿命は、H_B330以上の高硬度材を除き、YXM60と同等ないし又はより優れる。
- (6) 本鋼は難削材切削、高速又は重切削用の各種断続切削工具(エンドミル、ホブ、ピニオンカッタ、タップなど)に実用試験され、優れた結果を与えている。すなわち、SKH55では摩耗による工具寿命が不足であり、また8%Co以上の高性能ハイスでは刃欠けを起こすような上記の用途に対し、YXM62は優れた性能を発揮することが期待される。

参考文献

1) 清永，中村：研削性，切削耐久性及び靱性のすぐれた新高性能ハイスYXM60について，マシニスト，6，3(1972)
2) 高島，源内，福塚：高速度鋼の破壊靱性と引張性質，鉄と鋼，162，S772(1976)