
高級特殊鋼特集

高速度工具鋼の諸性質におよぼすオースフォーミングの影響.....53

超強力鋼の性質に及ぼす原料鉄の影響.....63

高硬度工具鋼の引張性質.....68

Co 基超耐熱合金 L 605 の諸性質74

高密度焼結 Ni 鋼ならびに Ni-Mo 鋼の機械的性質79

高速度工具鋼の諸性質におよぼす オースフォーミングの影響

Effect of Ausforming on the Various Properties of
High Speed Tool Steels

清 永 欣 吾* 渡 辺 力 蔵*
Kingo Kiyonaga Rikizō Watanabe

要 旨

高速度工具鋼 YXM 1 (SKH 9 相当) および XVC 5 (SKH 57 相当) を種々の条件でオースフォーミングした場合の諸性質について研究を行なった。オースフォーミングの効果は衝撃値の上昇と低い焼入れ温度で高い焼もどしかたさが得られる点にある。これらの効果は YXM 1 に顕著に認められ、XVC 5 ではほとんど効果が認められなかった。

1. 緒 言

近年、鋼の強度と靱(じん)性を増加させる方法としてオースフォーミング処理が注目されている。オースフォーミングは、準安定オーステナイト領域の深い鋼、炭化物形成元素を含む鋼に有効であることは、これまでの研究で明らかである^{(3)~(6)}。

高速度鋼は、炭化物形成元素として、C, W, Mo, Cr, Vなどを多量に含有し、また準安定オーステナイト領域の深い鋼である。したがってオースフォーミング処理には有利であると思われる一方、高速度鋼を使った実用工具において、靱性、強度の増大が強く望まれており、オースフォーミング処理が、高速度鋼に有効であるならば、実用上重要な意義をもつことになる。しかるに、高速度鋼のオースフォーミングについての研究は、Harvey 氏⁽¹⁾や、田村氏ら⁽²⁾に見られるのみである。田村氏らの研究によると、SKH 9 を 50% オースフォームすると、抗折力で約 2 倍となった。また、SKH 3 では、その効果はあまりないようであり、その原因として Co の影響らしいと推定している。そこで、この研究では、SKH 9 相当の YXM 1 および高 C 高 V 高 Co 鋼の XVC 5 を用い、オースフォーミングの高速度鋼の性能に及ぼす影響について、研究をすることにした。

本報では、オースフォーミングの硬度、および組織への影響について述べ、その結果から、実用上有効なオースフォーミング条件を推定した。次にそのオースフォーミング条件でもに機械的性質の変化について調査し、高速度鋼のオースフォーミングにおける実用性を検討した。また硬度よりも靱性が要求される工具に対して、オーステナイト化温度を下げた場合のオースフォーミングの硬度の影響について調査した。

2. 試 料

試料として YXM 1, XVC 5 を使用した。その寸度および化学成分は表 1 に示すとおりである。

3. 予備実験 (S 曲線の作成)

オースフォーミング処理に際し、YXM 1 および XVC 5 の S 曲線が決定されていないので、使用鋼種、YXM 1, XVC 5 の S 曲線を作成した。

図 1 および図 2 に YXM 1, XVC 5 の S 曲線を示す。

表 1 化 学 成 分

鋼 種	焼 鈍 かたさ (HB)	寸 度 (mm)	化 学 成 分 (%)											
			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	V	Co	Cu
YXM 1	248	21φ	0.83	0.26	0.31	0.020	0.006	0.07	4.22	6.31	4.95	1.81	—	0.07
*AIS 1 M 2		21φ	0.83	0.22	0.34	0.021	0.007	0.07	3.85	5.93	5.01	1.76	—	0.05
XVC 5	269	19φ	1.23	0.33	0.33	0.020	0.008	0.07	4.36	9.91	3.17	3.32	10.20	0.04

ただし (*) はシャルピー衝撃試験で追加試験に使用した。

4. 実 験 方 法

4.1 基 礎 実 験

12φ×10 l の試験片を、シリコニット炉でオーステナイト化温度に加熱保持し、オースフォーミング温度に保持したソルト浴中で焼入れして 4 分間保持した。その試料をソルト浴と同じ温度に保った鍛造試験機に 3 分間保持してから、鍛造試験機でオースフォームした。オースフォームした試料は冷却途中でパーライトまたはペーナイト変態を起こさせないために油冷とした。オースフォームしない試料は鍛造試験機で加工をしないだけで、ほかは同じ方法で処理した。試料のオーステナイト化温度、保持時間、加工温度および加工率は表 2 に示すとおりである。

試料は各条件 2 個ずつ作成し、1 個は焼もどしを行ない、ほかは焼入れ状態で下記の項目の測定をした。次に測定方法について記す。

(1) 加 工 率 (H%)

$$H(\%) = \frac{h_0 - h}{h_0} \times 100$$

ここで、 h_0 : 加工前の試料の高さ (mm)

h : 加工後の試料の高さ (mm)

加工率は 0, 10, 20, 30, 40% の 5 段階を目標にし、その誤差範囲は ±1% とした。しかし、試験機の能力の関係で作成できなかった試料は省略した。なおその際の鍛造エネルギーは表 3 および表 4 に示すとおりである。

(2) 変 形 抵 抗⁽⁷⁾ K : (kg/mm²)

加工率と鍛造エネルギーより変形抵抗を求めた。

$$K = \frac{A}{-V \ln \frac{h_1}{h_0}}$$

ここで、 A : 変形エネルギー (kg・mm)

V : 試料の体積 (mm³)

* 日立金属株式会社安来工場冶金研究所

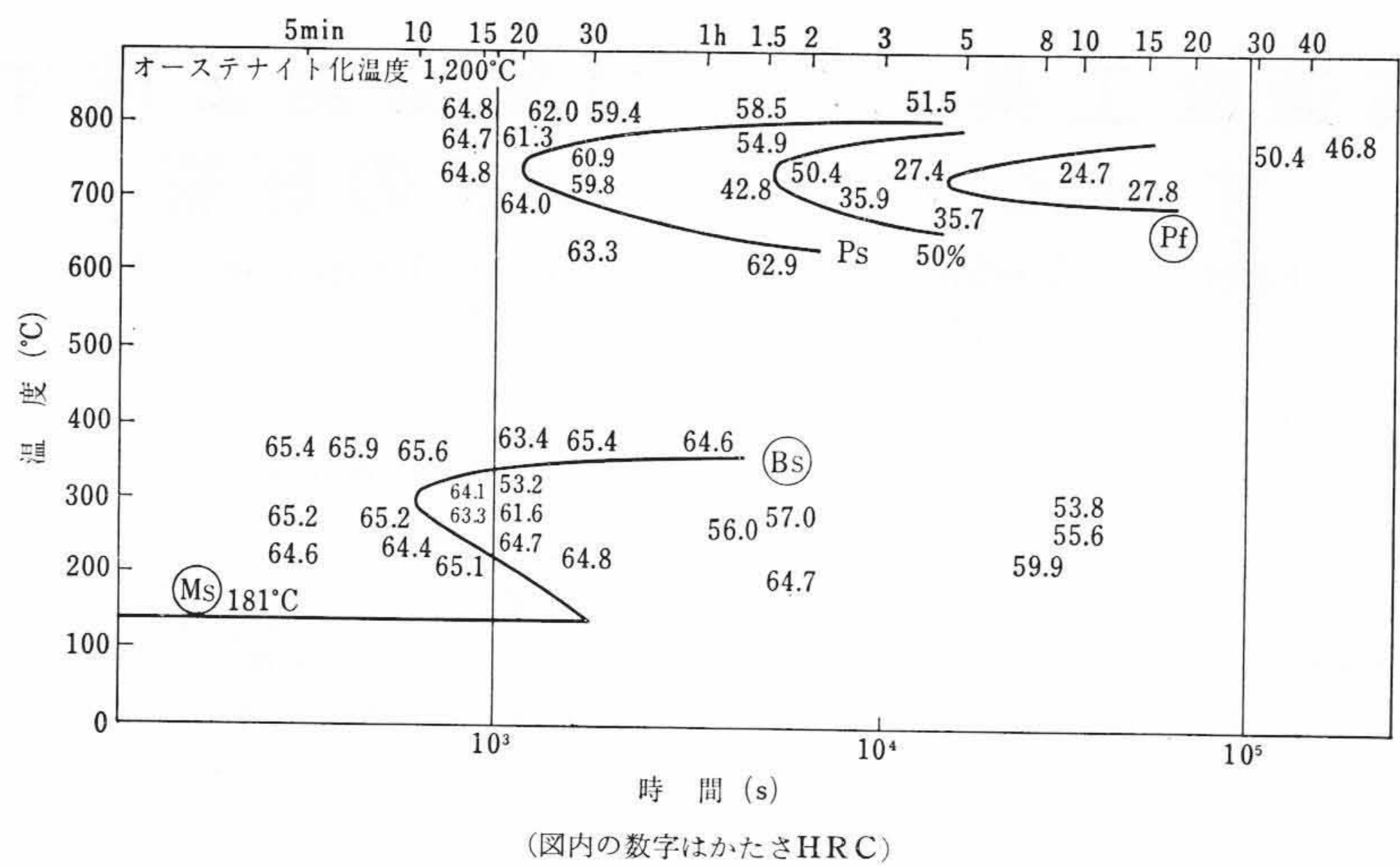


図1 YXM1 の S 曲 線

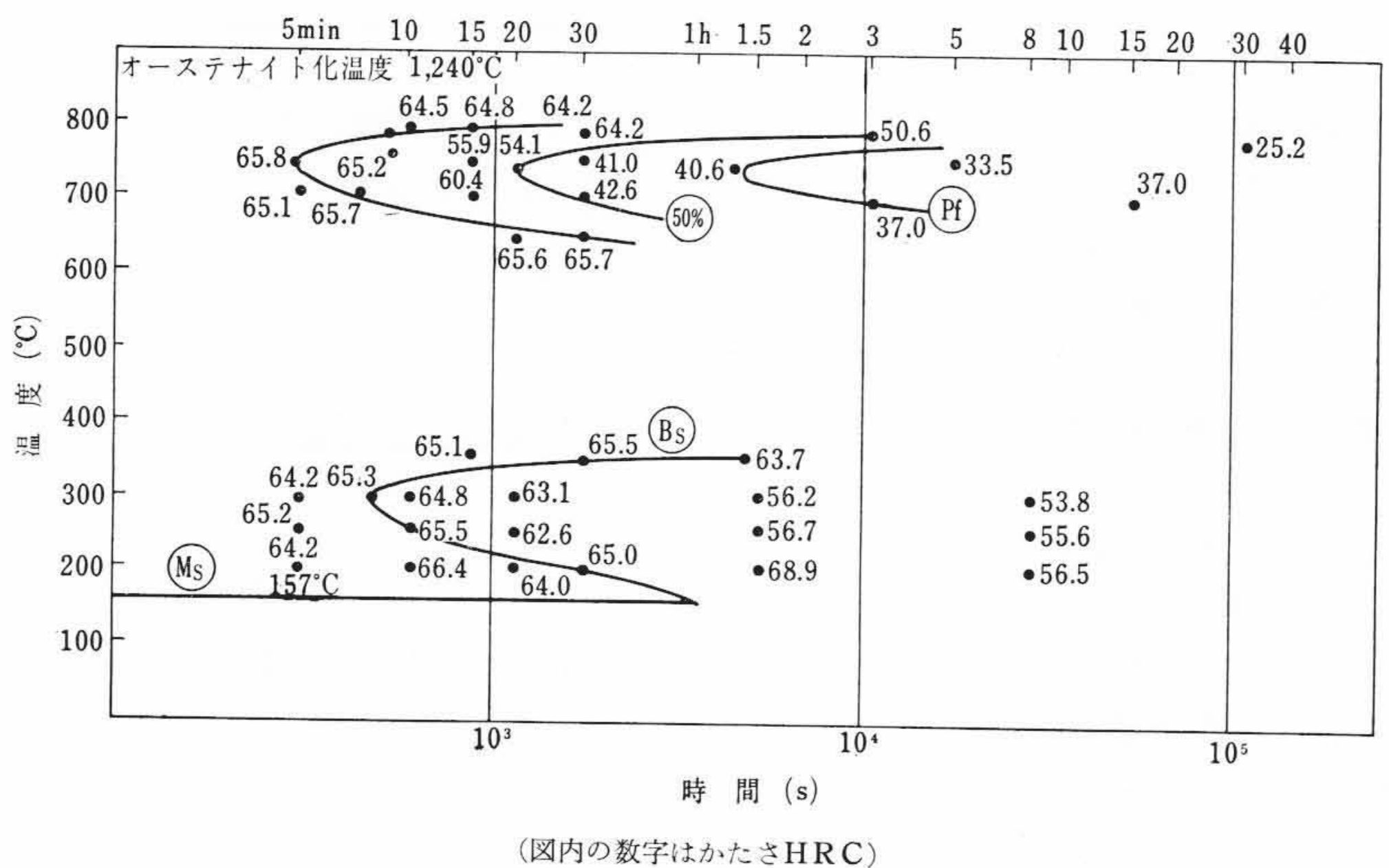


図2 XVC5 の S 曲 線

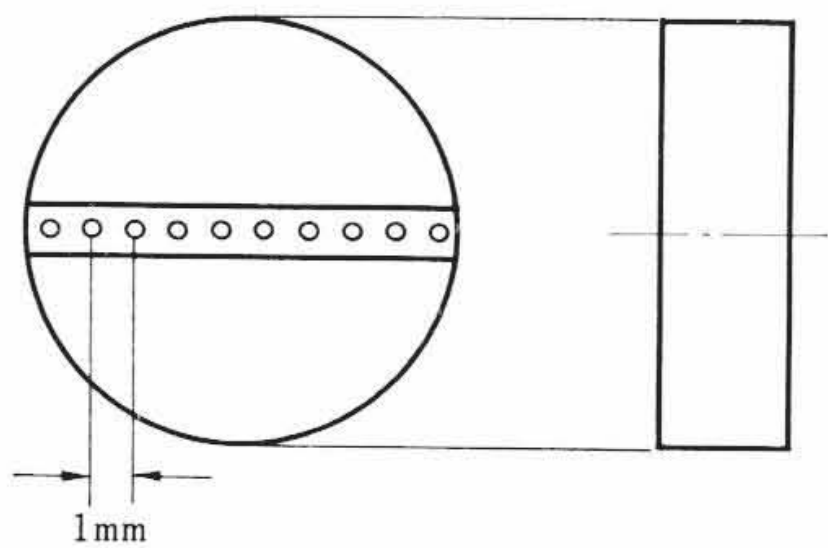


図3 硬度分布測定箇所

(3) オーステナイト粒度

ASTM の Intercept 法⁽⁸⁾を用いた。Intercept 法とは、1,000 倍で5インチ長さにかかる結晶粒の数を10視野の平均値で表わしたものである。

(4) 硬 度 分 布

ビッカス硬度計で荷重5kgを使った。YXM1はオーステナイト化温度1,200°C、オースフォーミング温度500°Cの試料、XVC5はオーステナイト化温度1,240°C、オースフォーミング温度500°Cの試料について図3に示すように1mm間隔に表面硬度分布を測定した。

(5) 残留オーステナイト量およびマルテンサイト格子定数、マルテンサイト格子ひずみ⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

これらの測定にはX線回折法(ディフラクトメータ)を使った。その測定法は次に示すとおりである。

表2 オースフォーム条件

鋼 種	オーステナイト化温度(°C)	保 持 時 間 (min)	加 工 温 度 (°C)	加 工 率 (%)
YXM1	1,180	8	500	0~40
	1,200	8	300~700	0~40
	1,220	8	500	0~40
XVC5	1,220	8	500	0~40
	1,240	8	300~700	0~40
	1,260	8	500	0~40

表3 YXM1の鍛造エネルギー (kg-m)

加工温度(°C)	300	400	500	600	700
加工率 (%)					
10	9.4	8.4	8.0	7.7	7.7
20	17.5	16.3	15.7	15.3	15.3
30	29.4	28.6	27.8	25.0	22.5
40	—	—	43.8	39.2	35.9

表4 XVC5の鍛造エネルギー (kg-m)

加工温度(°C)	300	400	500	600	700
加工率 (%)					
10	10.9	10.4	10.4	9.6	14.8
20	23.6	22.8	22.0	21.3	23.2
30	38.5	37.6	36.5	32.0	33.0
40	—	—	44.7	41.0	—

表5 熱 処 理 条 件

鋼 種	オーステナイト 化 温 度	オースフォーム 温 度	保持時間	焼もどし条件
YXMI	1,200℃×7~9'	500℃	4~10'	560℃×1h×2
XVC 5	1,240℃×7~9'	500℃	4~10'	560℃×1h×3

使用ターゲット Fe: $K\alpha$: $\lambda=1.937\text{\AA}$

測定格子面 M: (110)

A: (111)

反射角の補正には, NaCl の (200) $2\theta=58.116^\circ$ を使った。

(a) 残留オーステナイト量: γ_R (%)

$$\gamma_R (\%) = \frac{100}{1 + 0.97 \frac{I_\alpha}{I_\gamma}}$$

ここで, I_α : α の回折線の積分強度

I_γ : γ の回折線の積分強度

(b) マルテンサイト格子定数: α

ブラッグの式より

$$\alpha = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{1}{\sin \theta} = 1.371 \times \frac{1}{\sin \theta}$$

(c) マルテンサイト格子ひずみ: $\delta\alpha$

「半値幅を与えるブラッグ角のひろがり」を格子定数のばらつきに換算したものを格子ひずみ」と定義して、次式にて求めた。

$$\delta\alpha = 2\alpha \cdot \cot \theta \cdot \delta\theta$$

ここで, α : 原子面間距離

θ : ブラッグ角

4.2 機 械 的 性 質

オースフォーミングした試料が所定の寸法になるようにあらかじめ加工率によって寸法を変えた試片を、シリコニット炉でオーステナイト化温度に加熱保持後、500℃ に保った熱浴で焼入れした。その熱浴で約4分間保持後、120 t フリクションプレスで目標の寸法まで加圧した。1回の加圧で加工できなかった試料は、さらに熱浴で再加熱保持後再び加工した。オースフォーミングした試料は冷却途中でのペーナイト変態を阻止するために油冷した。試料の熱処理条件は表5に示すとおりである。ただし、オーステナイト化温度保持時間は試料寸法により変えた。

このようにして作成した試料は、各試験寸法に研摩加工で仕上げた。

(1) 抗 折 試 験

オースフォーミングの静的靱性に対する影響を知るため10 t アムスラー試験機を用いて、一点荷重方式の抗折試験を行なった。

試験片はオースフォーミングした試料を5×5×70 mm に仕上げ、支点間距離は50 mm, その中央に10R の押え金具で荷重を加え破断するまでの荷重(抗折荷重)とたわみの関係を求めた。ただし、たわみの測定には1/100 mm ダイヤルゲージを用い、まず10 kg の予荷重を加えて、そのときのダイヤルゲージの目盛をゼロに合わせ、次に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。

(2) シャルピー衝撃試験

シャルピー衝撃試験機で衝撃試験をした。試験片は図4に示すように、10×50×55 mm で10R ノッチを用いた。

(3) 抗 圧 試 験

30 t アムスラー万能試験機を使って抗圧試験を行なった。試験片は5φ×10 で図5に示す方法で試験した。変形量の測定としては、1/100 mm ダイヤルゲージを用い、まず100 kg の予荷重を加

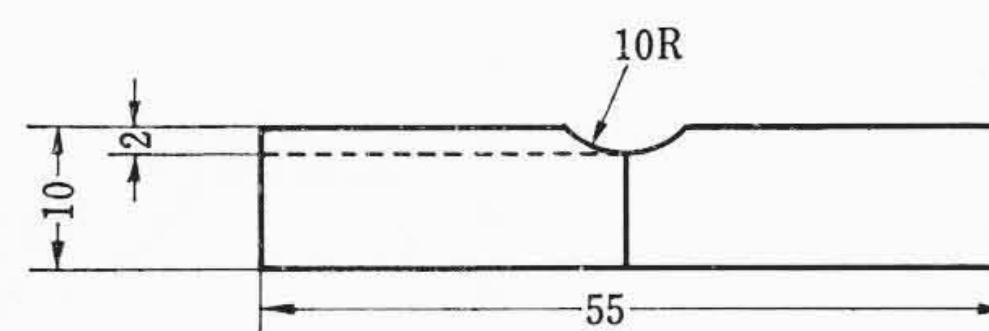


図4 シャルピー衝撃試験片形状

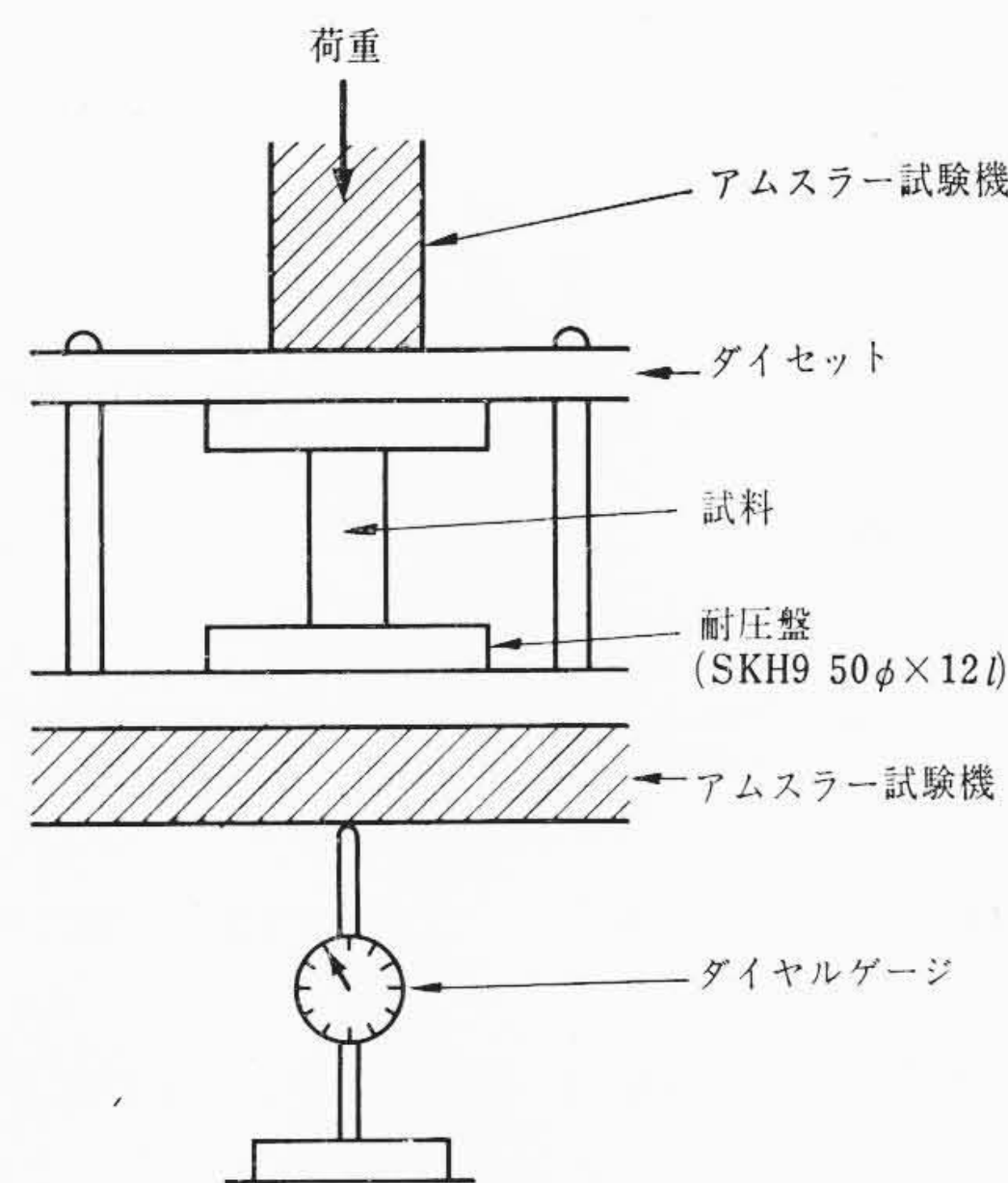


図5 抗 圧 試 験 法

えて、そのときのダイヤルゲージの目盛をゼロに合わせ、次にほぼ一定ひずみ速度で荷重を増加しながら変形量を500 kg おきに測定した。

(4) 焼もどし軟化抵抗

抗折試験片を用い、焼もどし温度650℃ と600℃ で2, 6, 10, 20 時間保持後ロックウェル硬度計でかたさを測定した。

(5) 切 削 試 験

オースフォーミングの切削性におよぼす影響を知るために切削試験を行なった。切削条件は次のとおりである。

被 削 材 SNCM-9 H_B 363

切 削 速 度 YXM 1: 20 m/min

XVC 5: 24 m/min

送 り 量 0.3 mm/rev

切 込 み 量 1 mm

バ イ ト 形 状 8-15-6-6-20-15-0.5R

(6) 低温オーステナイト化におけるオースフォーミングの硬度への影響

4.1 で YXM 1 のオーステナイト化温度、1,180℃, 1,200℃ および1,220℃ についてのみ実験したが、今回さらに1,100℃ および1,150℃ におけるオースフォーミングの影響を調べた。実験方法は先の実験と全く同じである。

5. 基 礎 実 験 結 果

(1) 変 形 抵 抗

図6は YXM 1, XVC 5 それぞれの加工温度と変形抵抗値の関係を示したものである。

(2) 結 晶 粒 度

試料の結晶粒度は表6および表7に示すとおりである。

(3) 焼 も ど し 硬 度

図7は YXM 1 の、図8は XVC 5 の焼もどし硬度の一例を示したものである。

(4) 硬 度 分 布

4.1(4)の方法により横断面の硬度分布を測定したが位置による

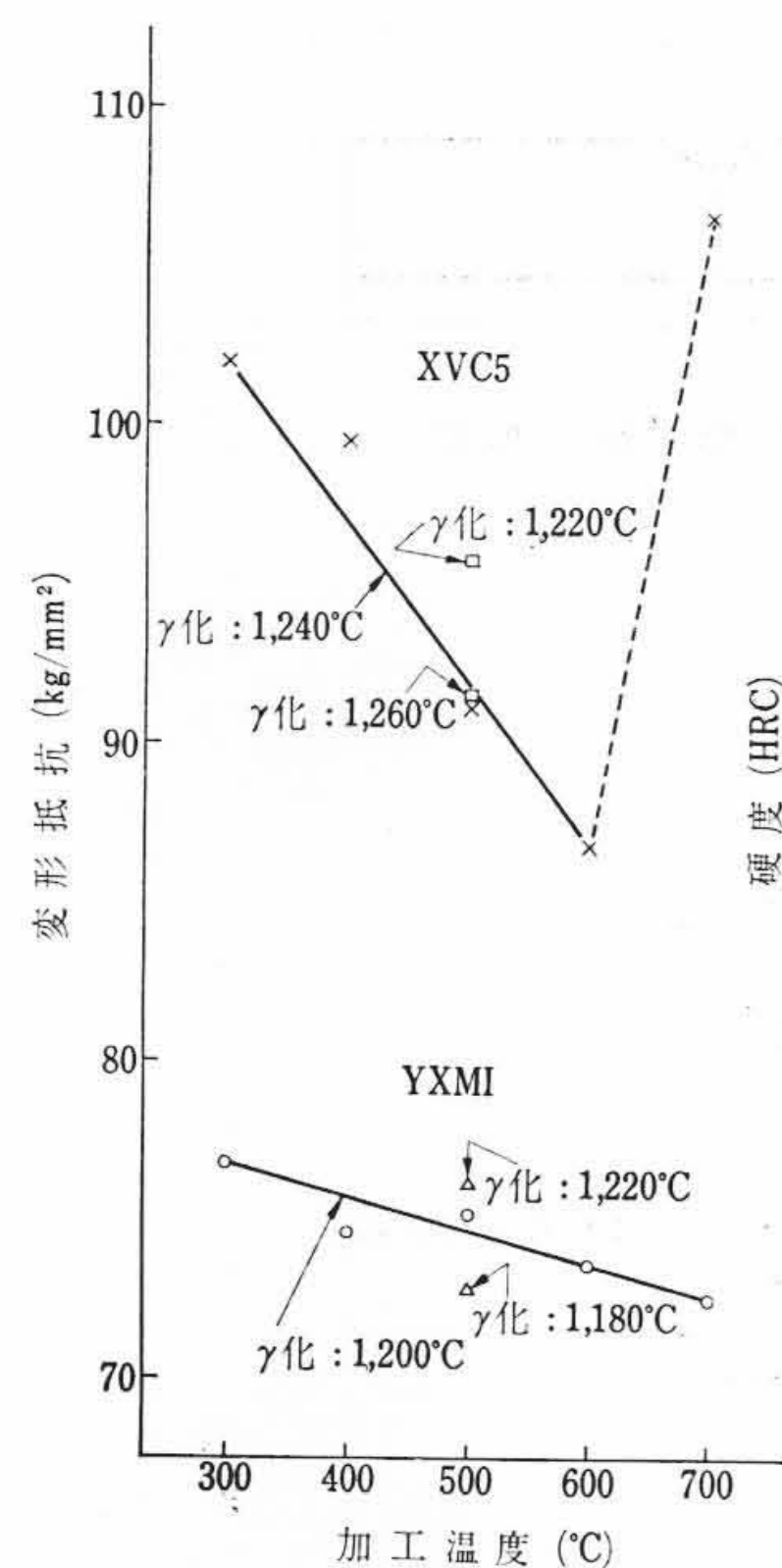


図6 YCM1, XVC5の変形抵抗

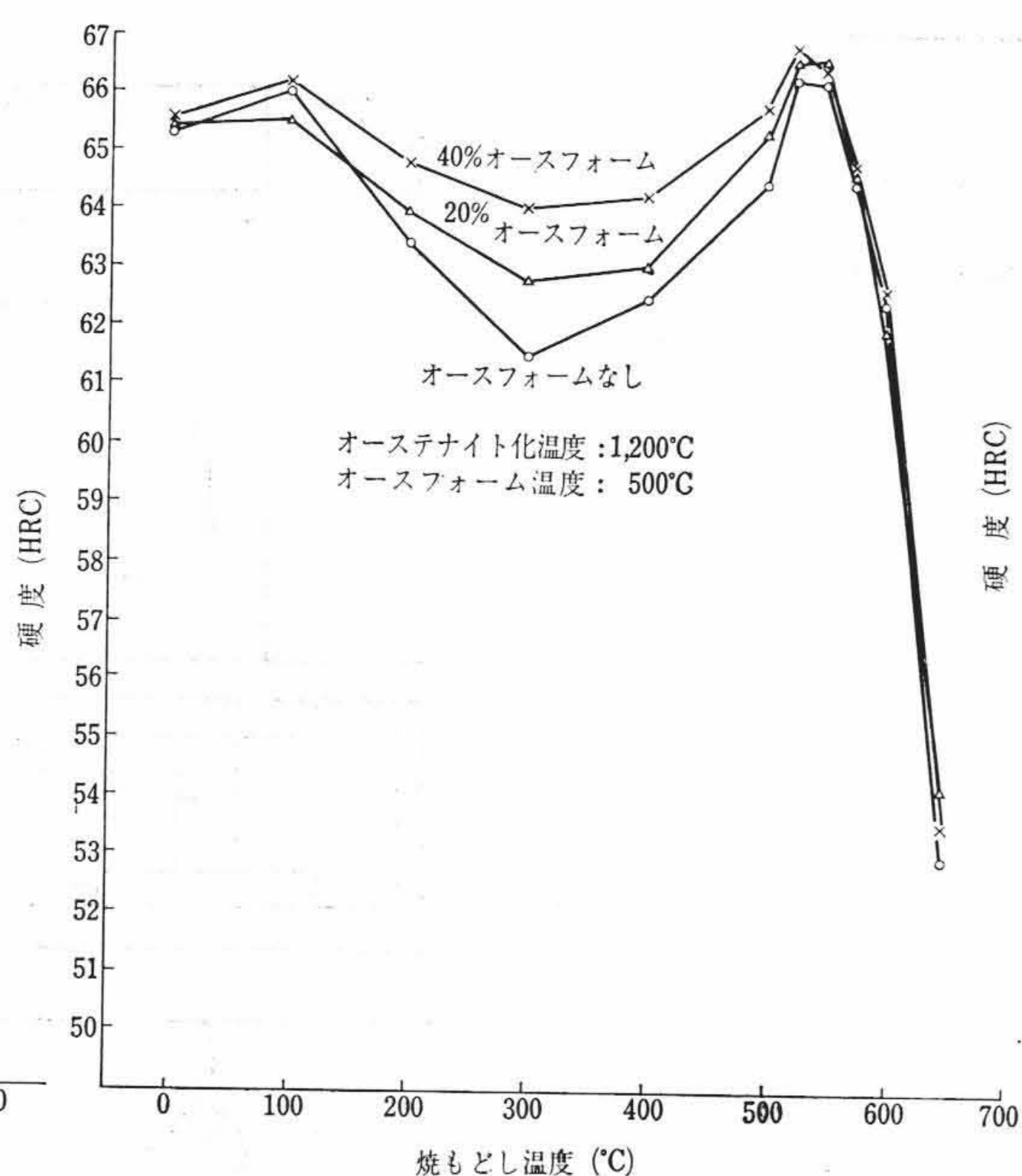


図7 YXM1の焼もどし温度と硬度

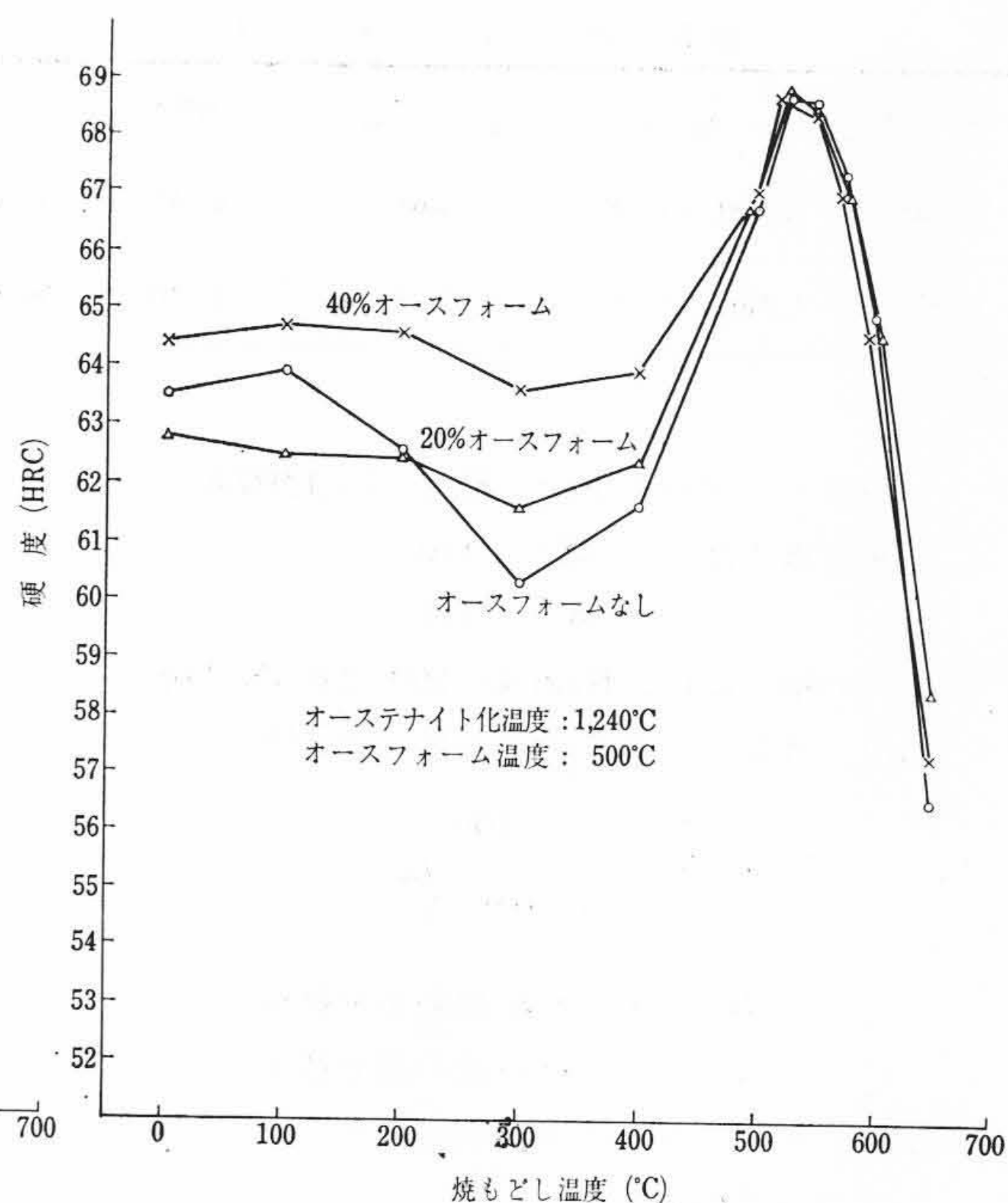


図8 XVC5の焼もどし温度と硬度

表6 YXM1のASTM intercept法による
オーステナイト結晶粒度

加工率(%)	加工温度(°C)	1,200					1,180	1,220
		300	400	500	600	700	500	500
0	γ化温度(°C)	19.8	20.6	19.2	19.5	19.9	22.1	16.4
10		20.1	19.8	18.6	18.9	18.9	20.2	15.8
20		19.2	20.2	18.6	18.2	18.2	20.1	15.2
30		19.1	20.0	17.7	17.9	18.2	19.1	15.2
40				17.7	17.7	16.2	18.3	8.0

表7 XVC5のASTM intercept法による
オーステナイト結晶粒度

加工率(%)	加工温度(°C)	1,240					1,220	1,260
		300	400	500	600	700	500	500
0	γ化温度(°C)	10.8	12.2	13.6	21.4	16.1	21.4	8.5
10		8.9	10.5	15.9	9.3	7.3	20.5	7.5
20		20.2	9.6	8.9	9.8	7.6	11.0	7.3
30		8.6	9.3	8.9	10.9	7.6	15.5	7.3
40				7.5	9.2		12.1	7.3

明らかな硬度分布の差は認められなかった。

(5) オースフォーミング温度、加工率と硬度

図9および図10はオースフォーミング温度、加工率と硬度との関係の一例を示したものである。

(6) オーステナイト化温度と硬度

図11および図12はオーステナイト化温度と硬度との関係を示したものである。

(7) 残留オーステナイト

図13および図14は加工率とオースフォーミング温度による残

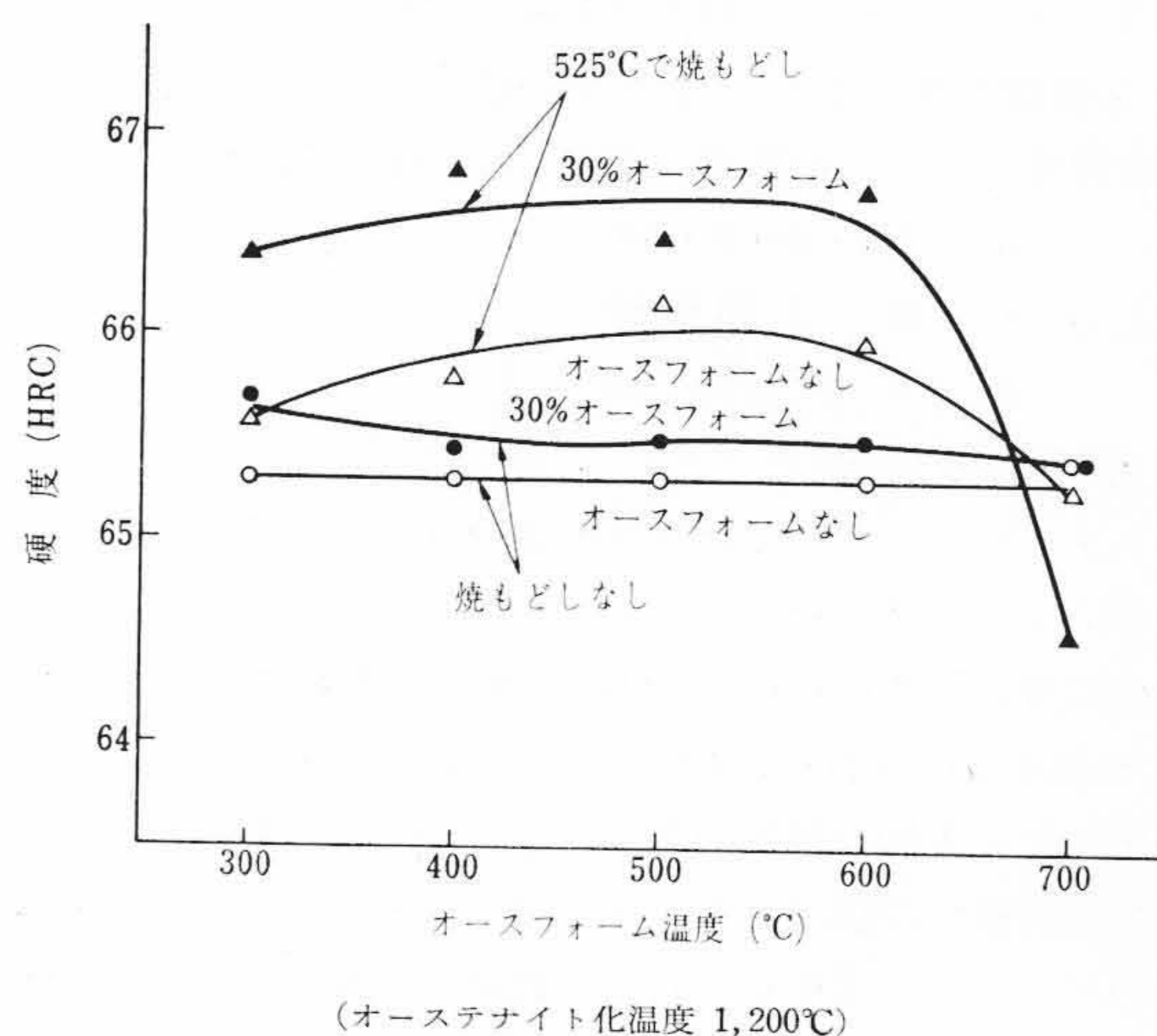


図9 YXM1のオースフォーム温度と硬度との関係

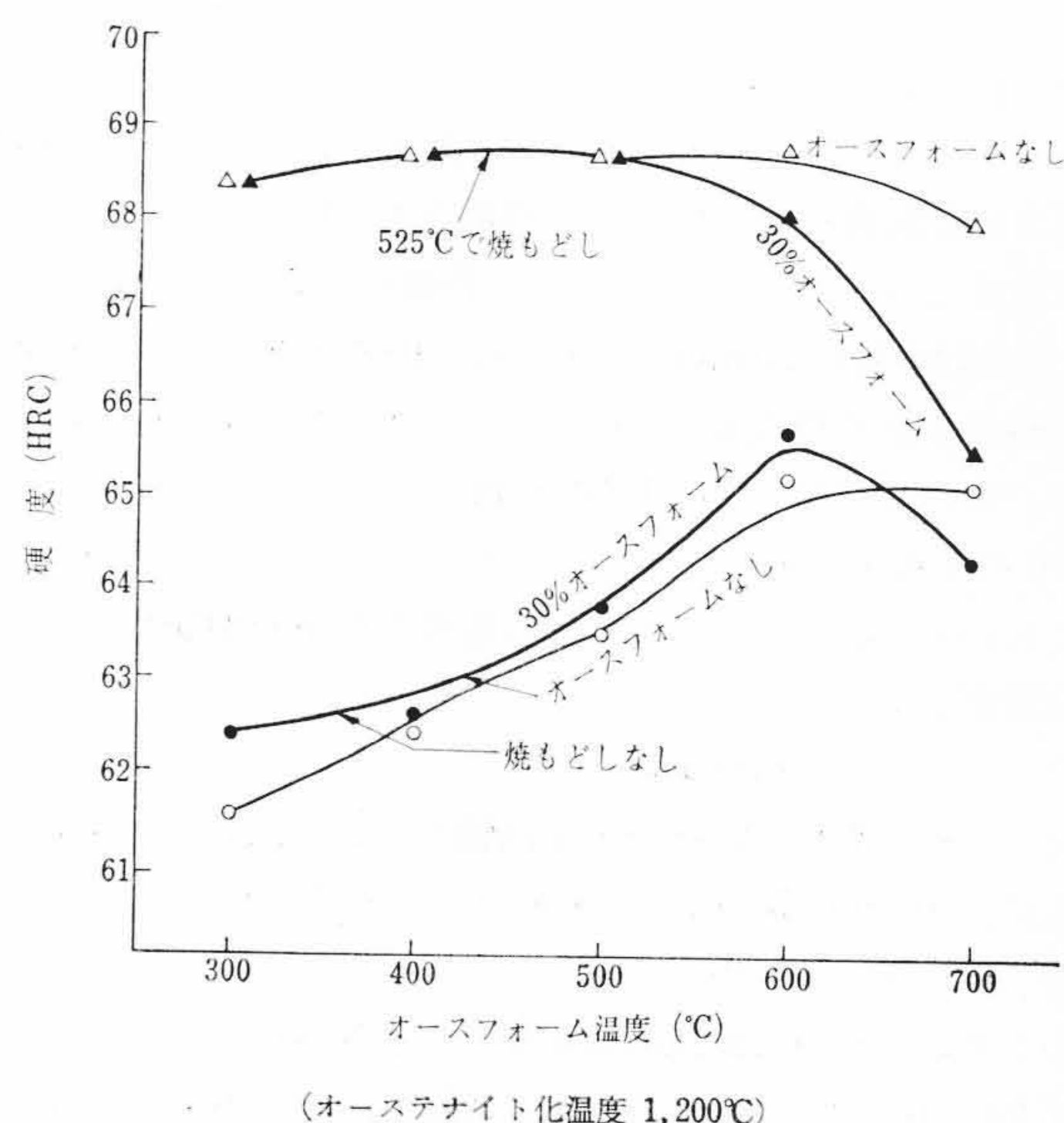


図10 XVC5のオースフォーム温度と硬度との関係

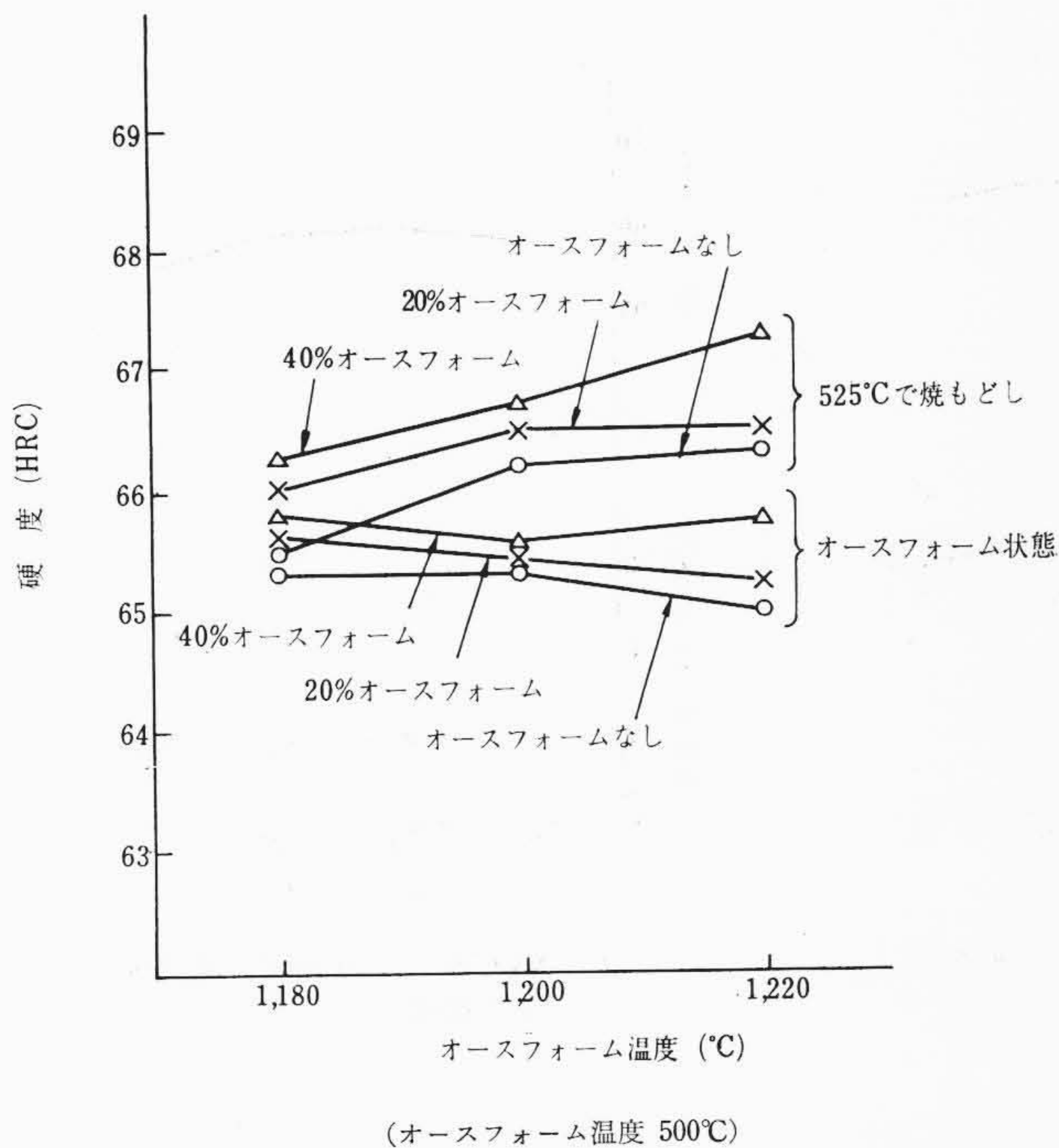


図 11 YXM1 のオーステナイト化温度と硬度との関係

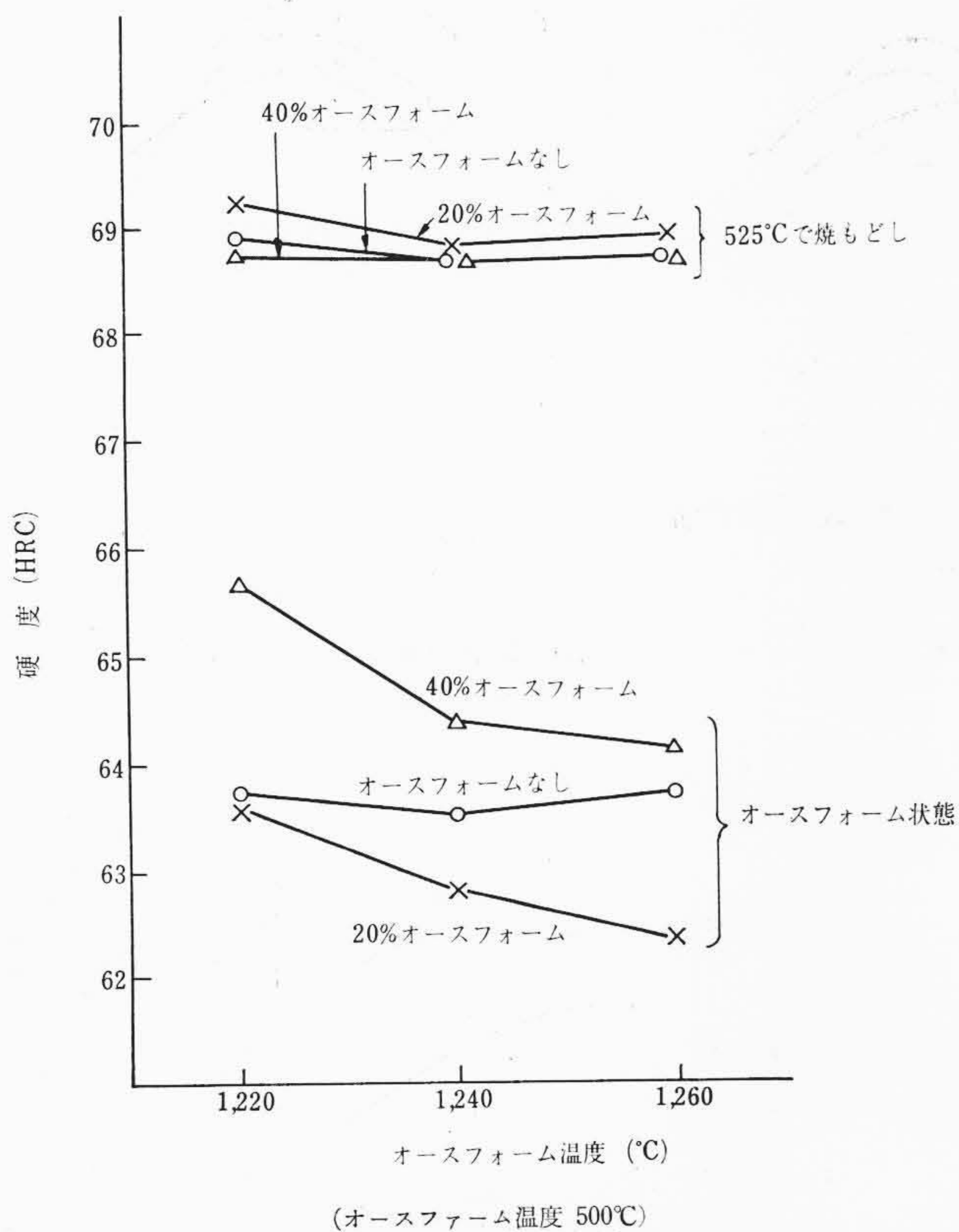


図 12 XVC5 のオーステナイト化温度と硬度との関係

留オーステナイト量の変化を示したものである。

(8) マルテンサイト格子定数および格子ひずみ

マルテンサイト格子定数はオースフォーミングによりほとんど変化しないが、格子ひずみは加工率の増加につれて若干減少する傾向が認められた。

6. 機械的性質の実験結果

(1) 抗折試験

図 15 に示すように、XVC5 では抗折力およびたわみのいずれ

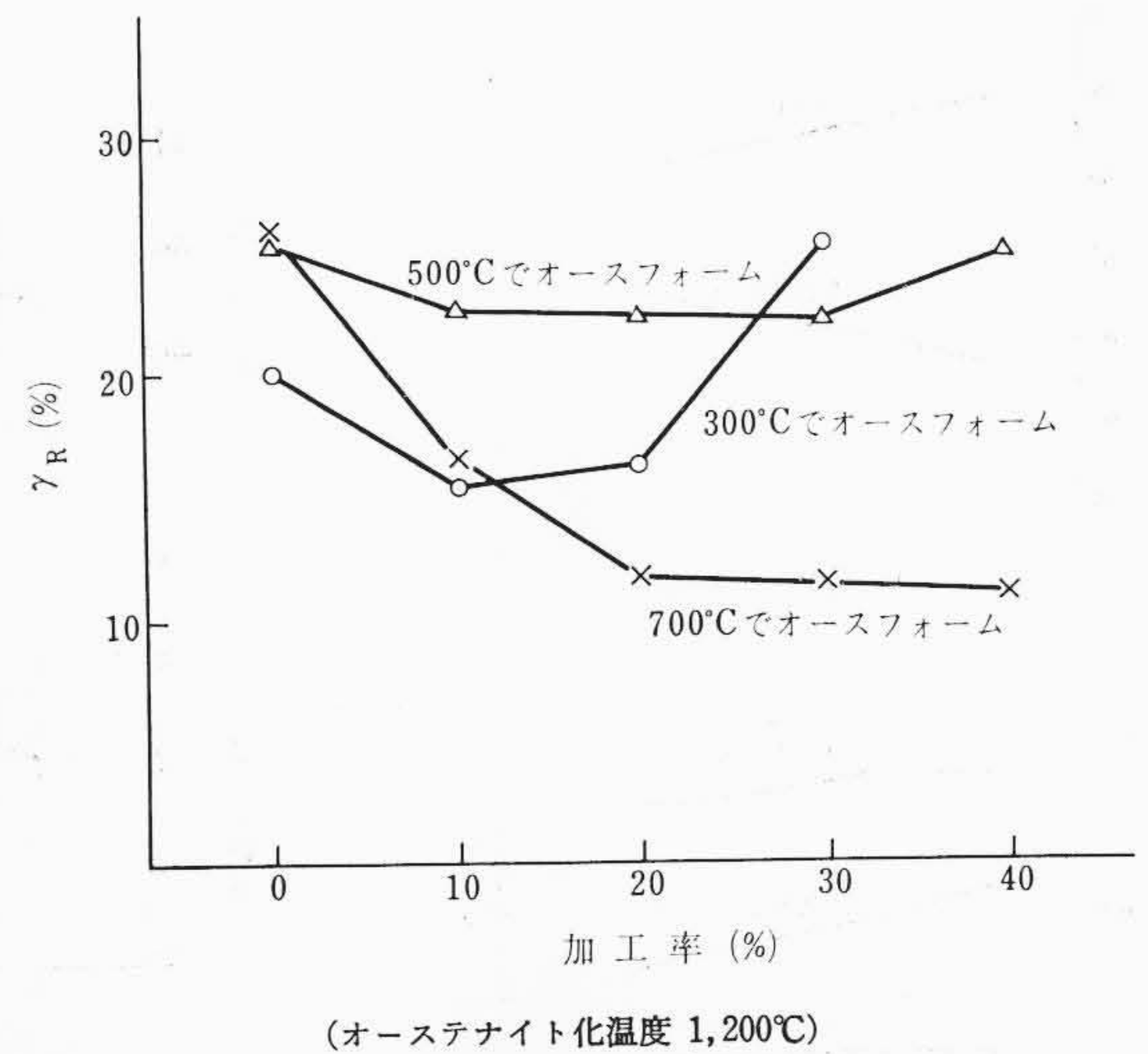


図 13 YXM1 の各オースフォーム温度における加工率と残留オーステナイト (Y_R) との関係

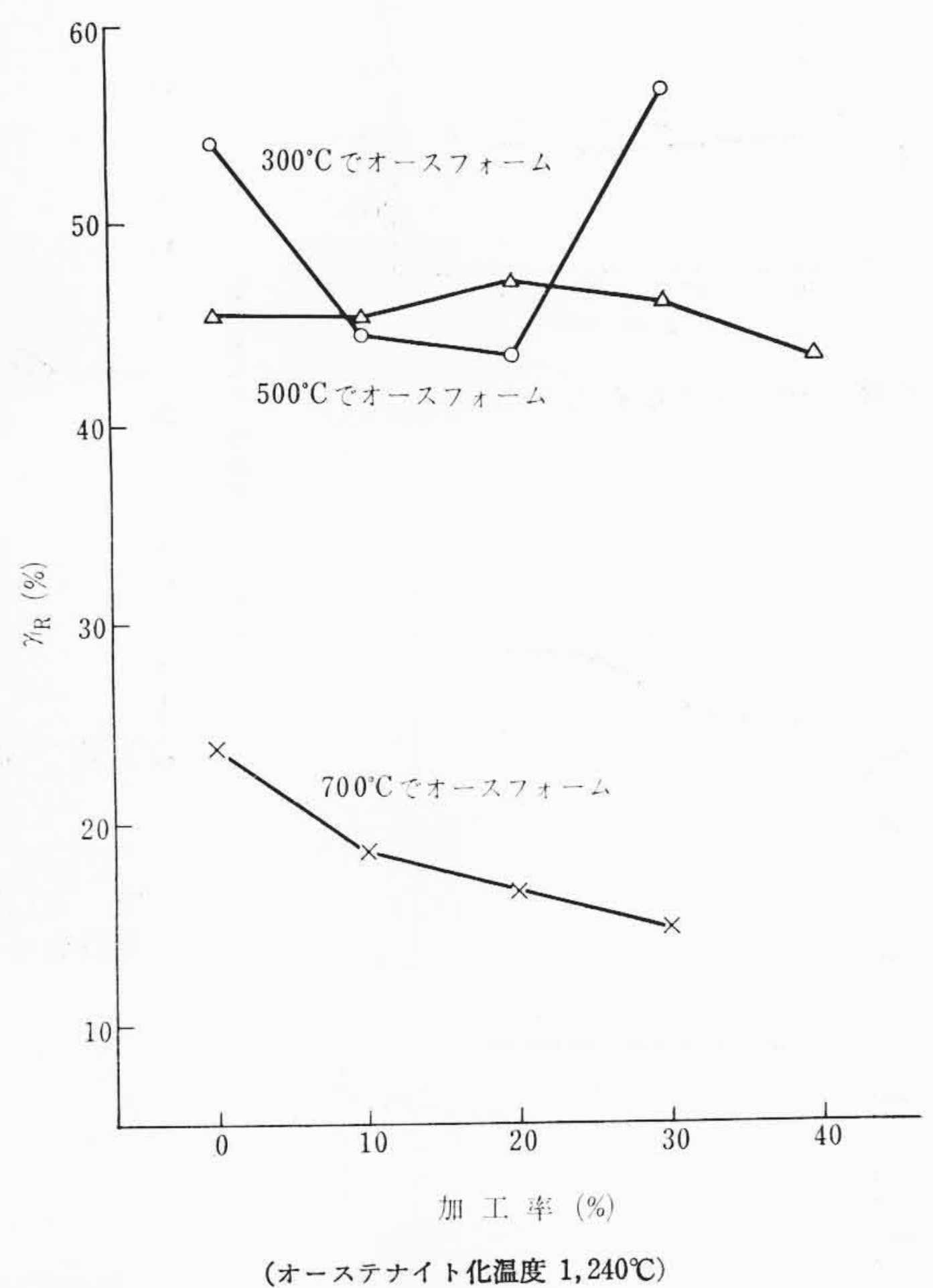


図 14 XVC5 の各オースフォーム温度における加工率と残留オーステナイト量 (Y_R) の関係

も 30% までのオースフォーミングでは変化が認められなかった。一方、YXM1 では、抗折力およびたわみともにオースフォーミングすると少しではあるが低下した。

さらに、YXM1 について、後述のシャルピー衝撃試験片の破損片を使って小試験片の抗折試験を行なった。試験片は $3 \times 6 \times 25$ で、支点間距離は 20 mm、その中央に V 形の押金具で荷重を加えた。たわみの測定は前述の方法と同じであり、また試験機も前述の 10 t アムスラー試験機である。その結果は図 16 に示すように、抗折力およびたわみともに 30% の加工率までは変化は認められなかった。

(2) シャルピー衝撃試験

図 17 は YXM1 の加工率と衝撃値の関係を、図 18 は XVC5 の

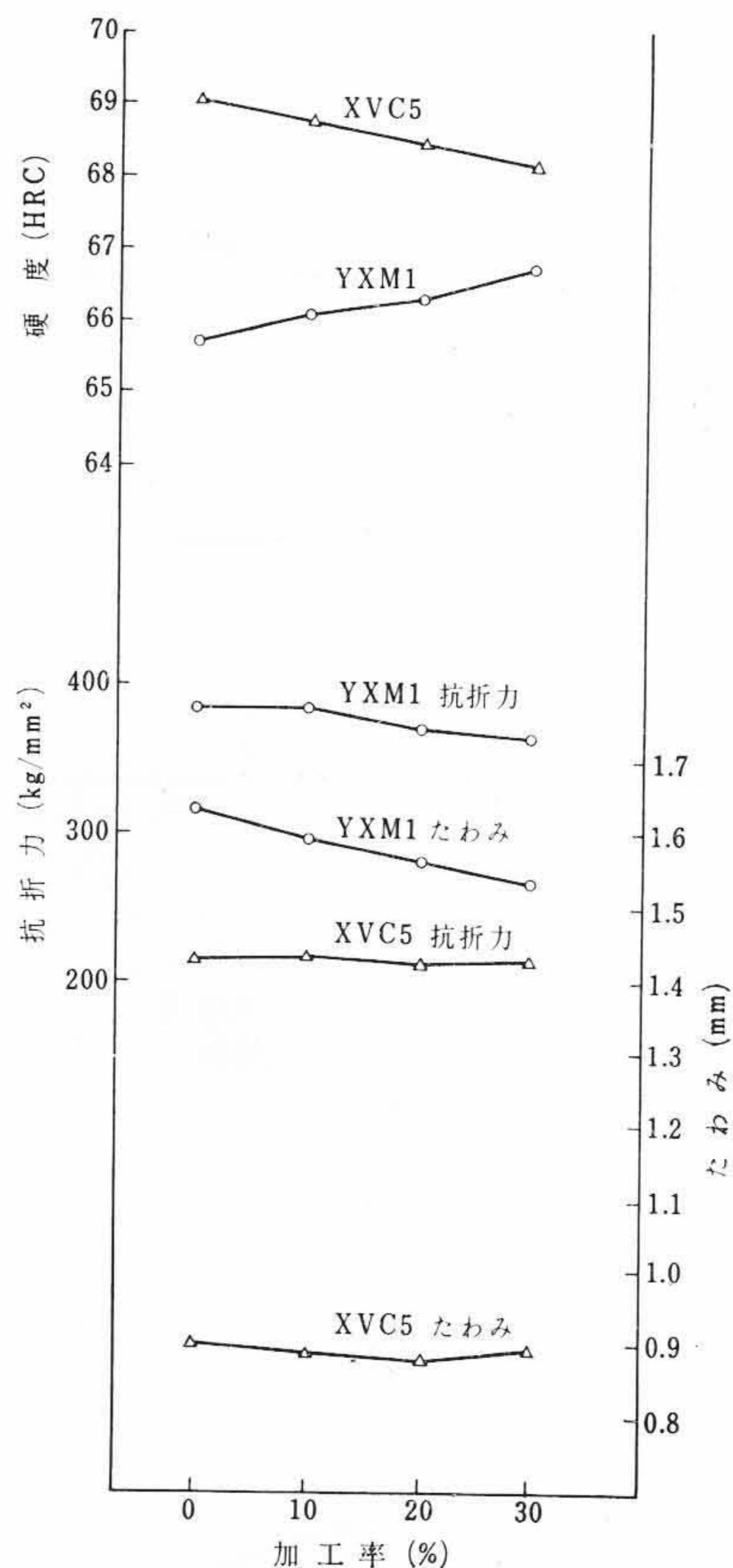


図15 加工率と抗折力たわみの関係

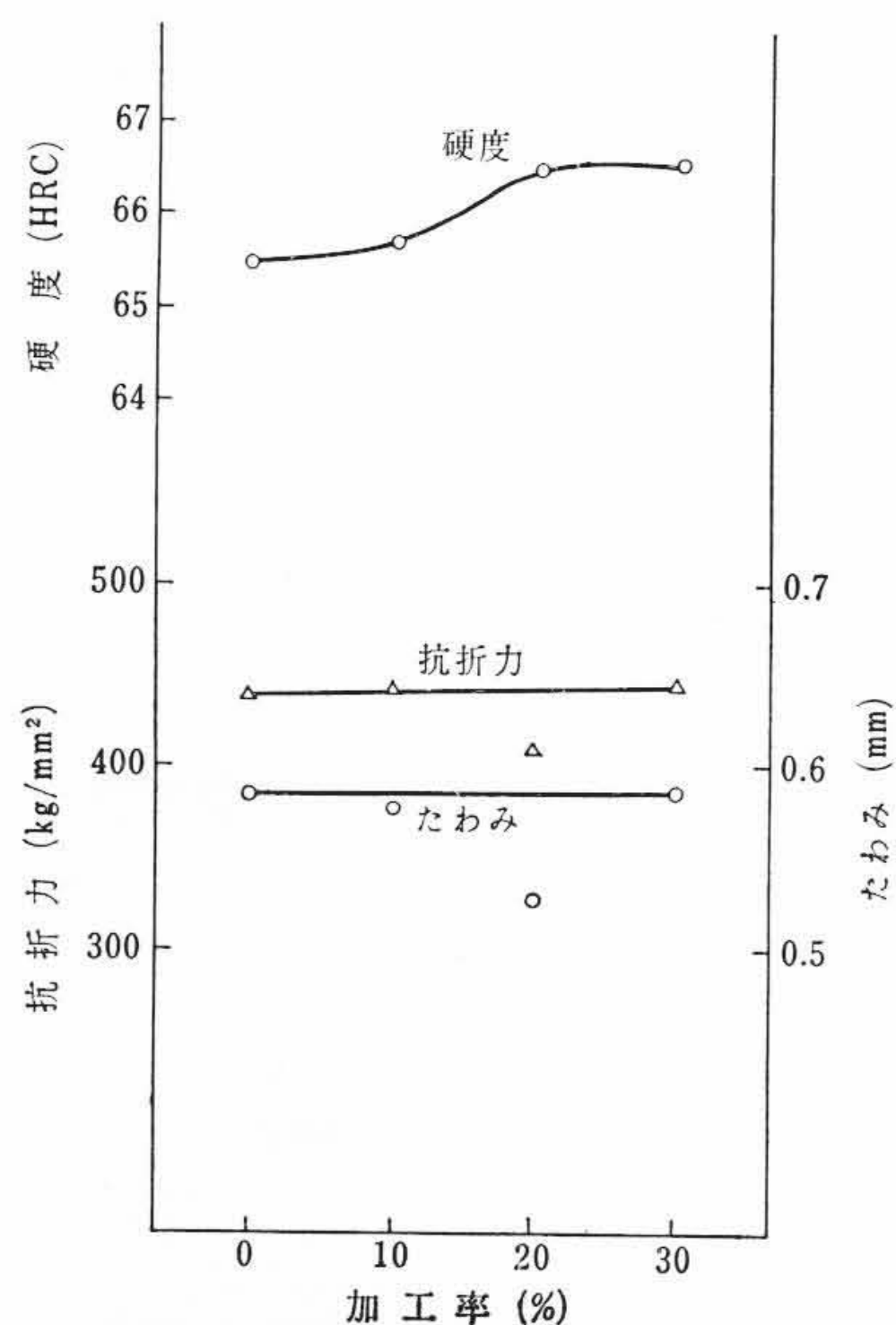


図16 YXM1のオースフォーミングと抗折力の関係(2)

加工率と衝撃値の関係を示したものである。YXM1は加工率が20%で衝撃値は約3 kg-m/cm²となり、オースフォーミングしない試料に比べて約50%上昇し、30%の加工率では20%の場合とほとんど変わらない。一方、XVC5では加工率が30%までは衝撃値はほとんど変化がない。

図19は硬度と衝撃値の関係を、図20は焼もどし温度と衝撃値の関係を示したもので、図からわかるように、オースフォーミングしたものは高硬度でもかなりの衝撃値を維持できる。また、焼も

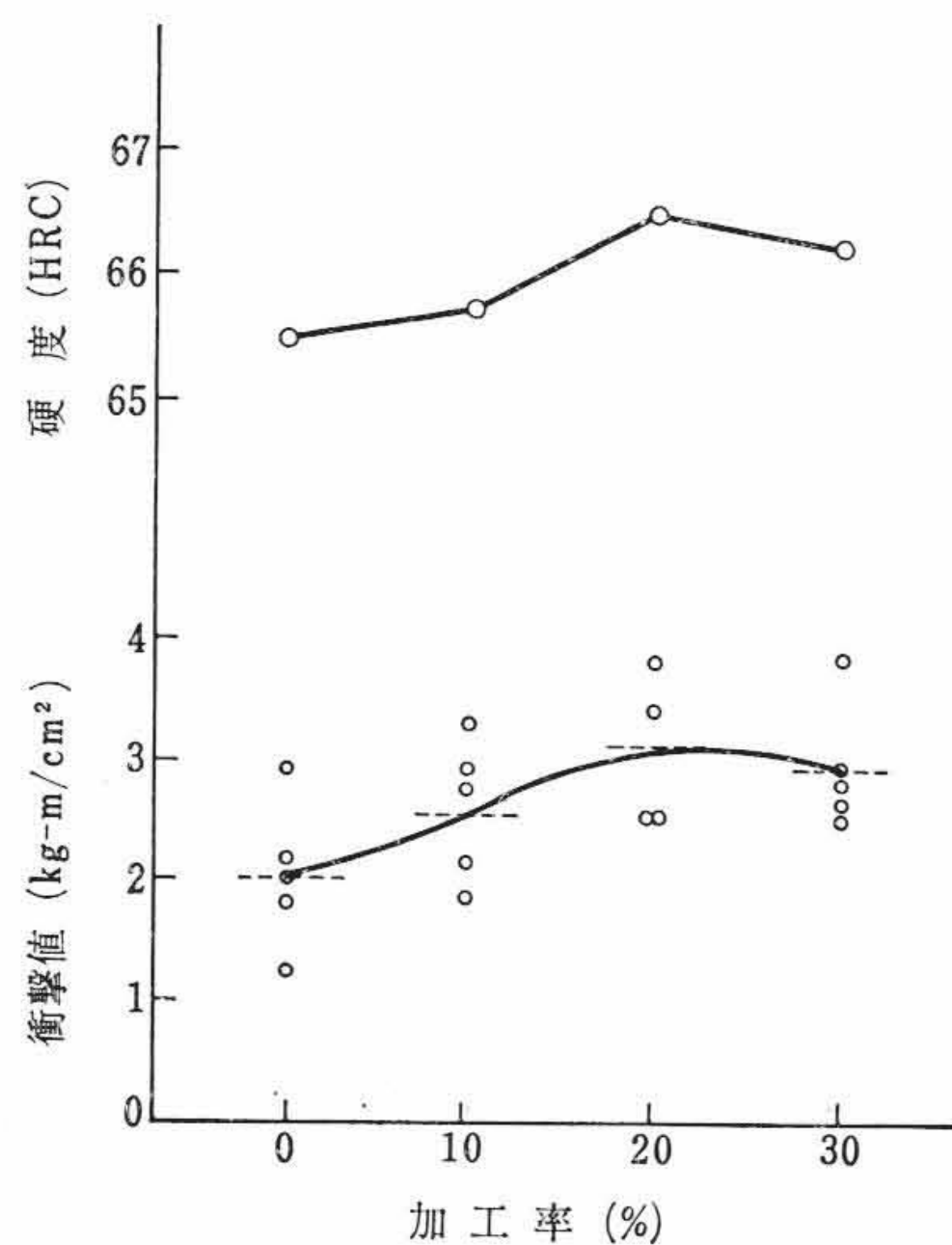


図17 YXM1のシャルピー衝撃値と加工率の関係

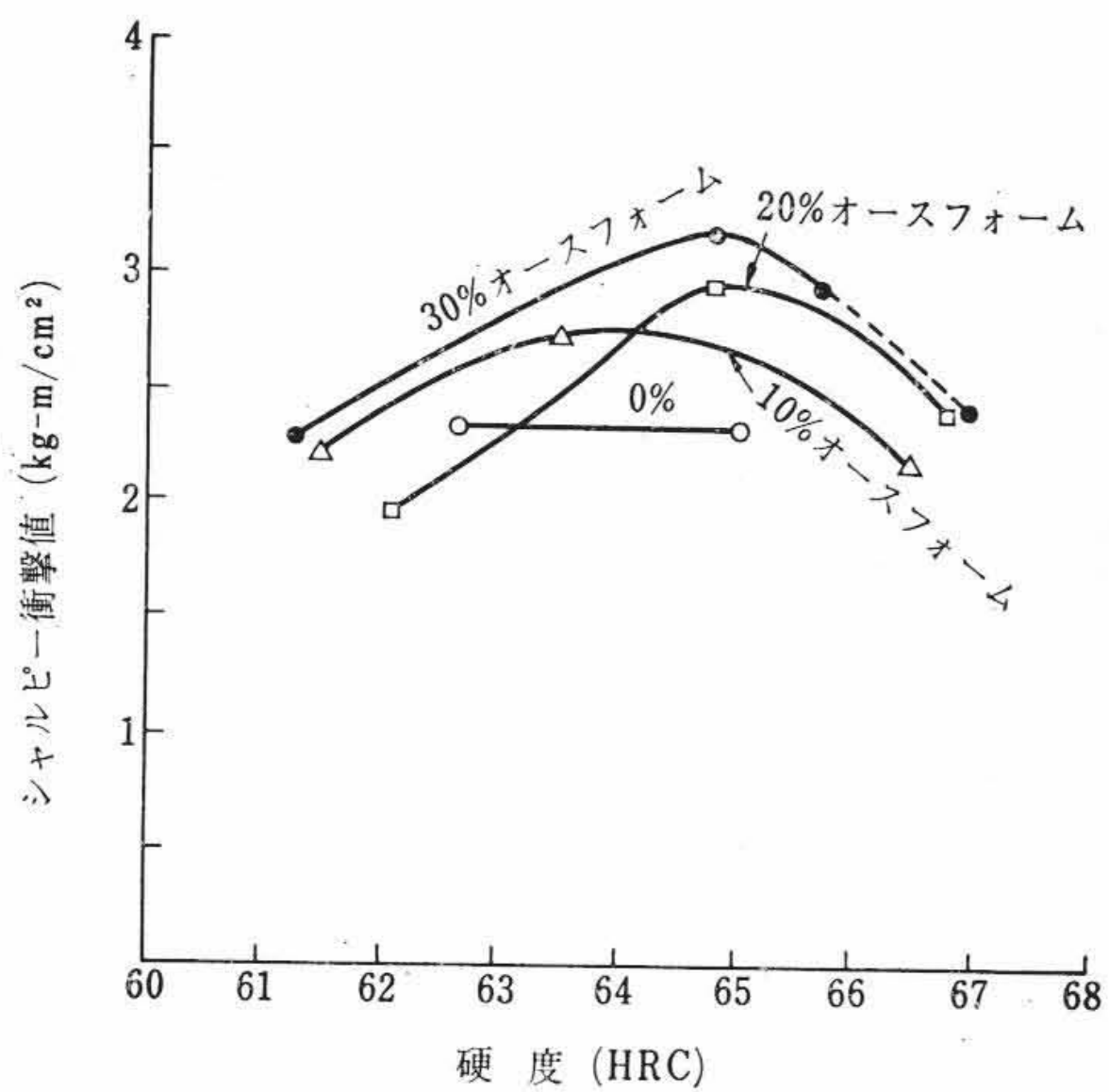


図19 A1S1, M2の硬度とシャルピー衝撃値の関係

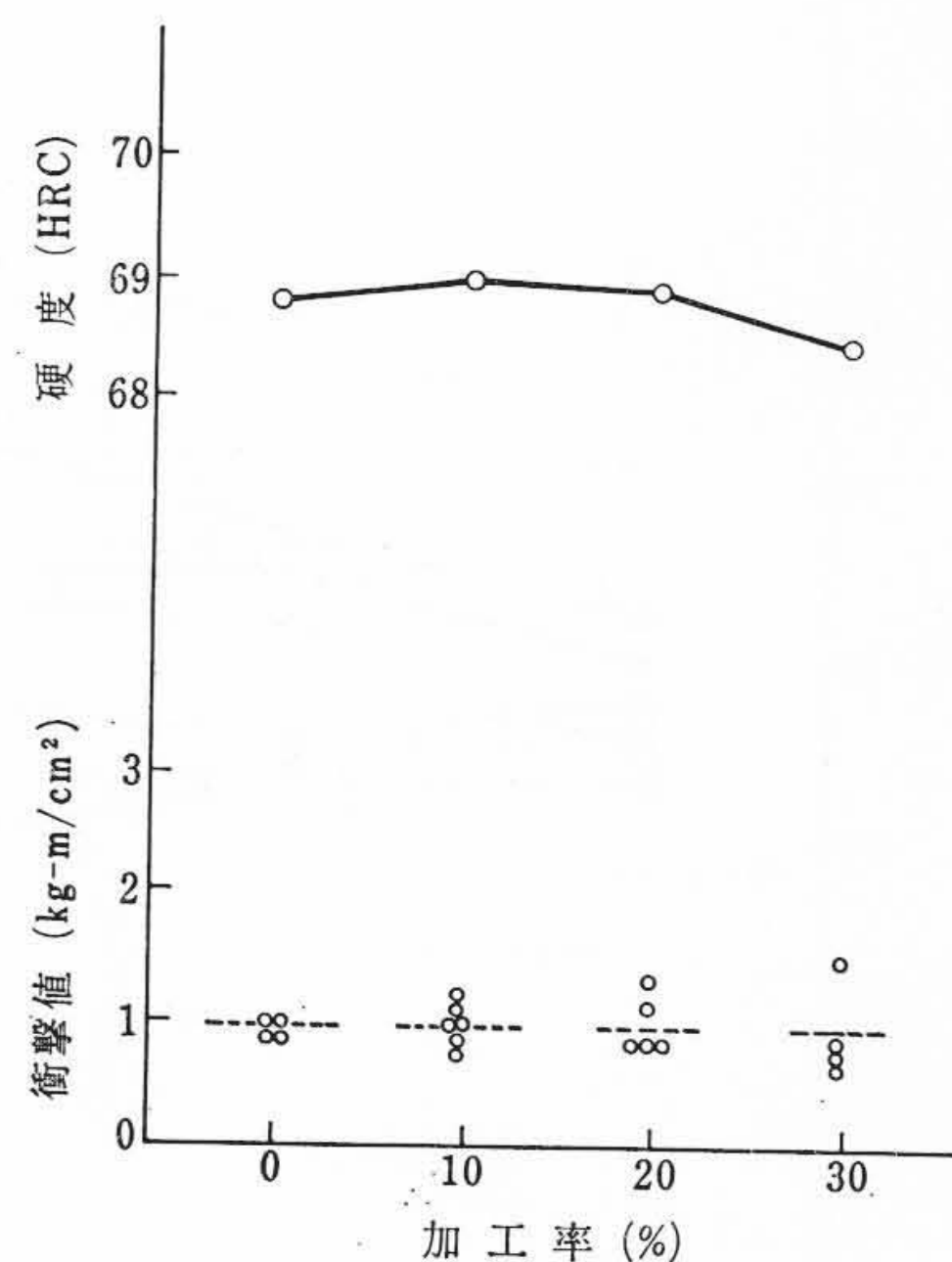


図18 XVC5のシャルピー衝撃値と加工率の関係

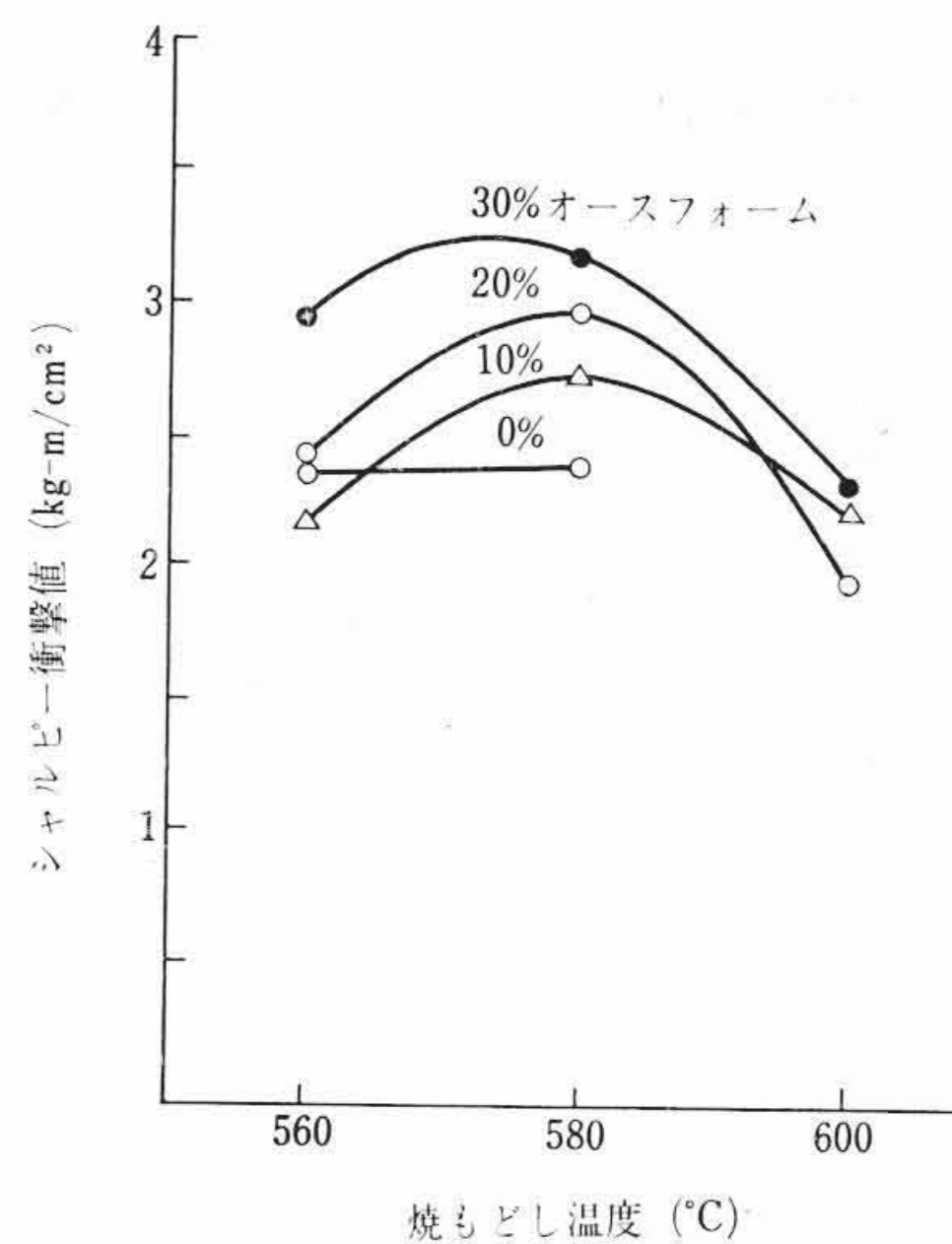


図20 M2の焼もどし温度とシャルピー衝撃値の関係

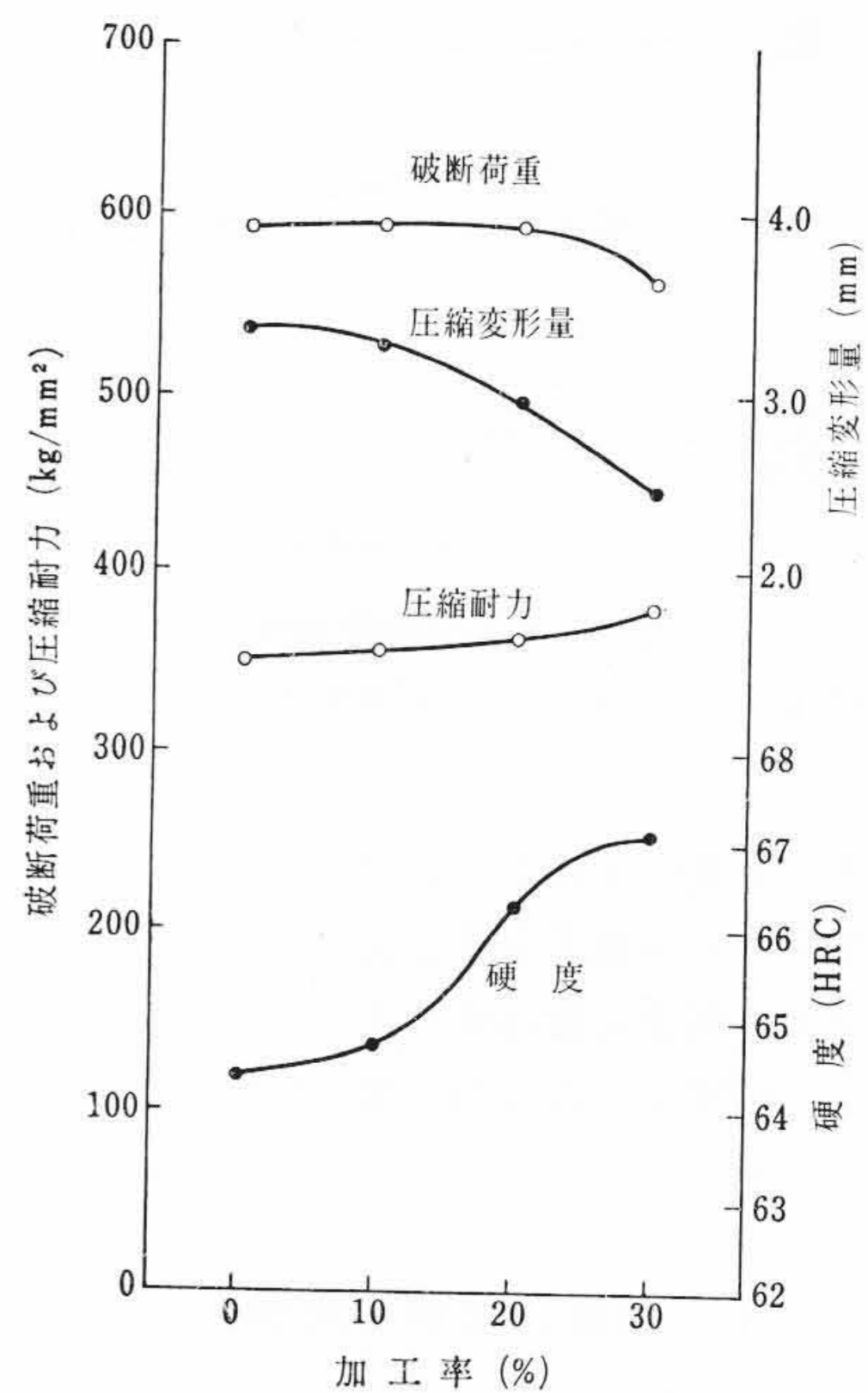


図21 YXM1のオースフォーミングと抗圧試験

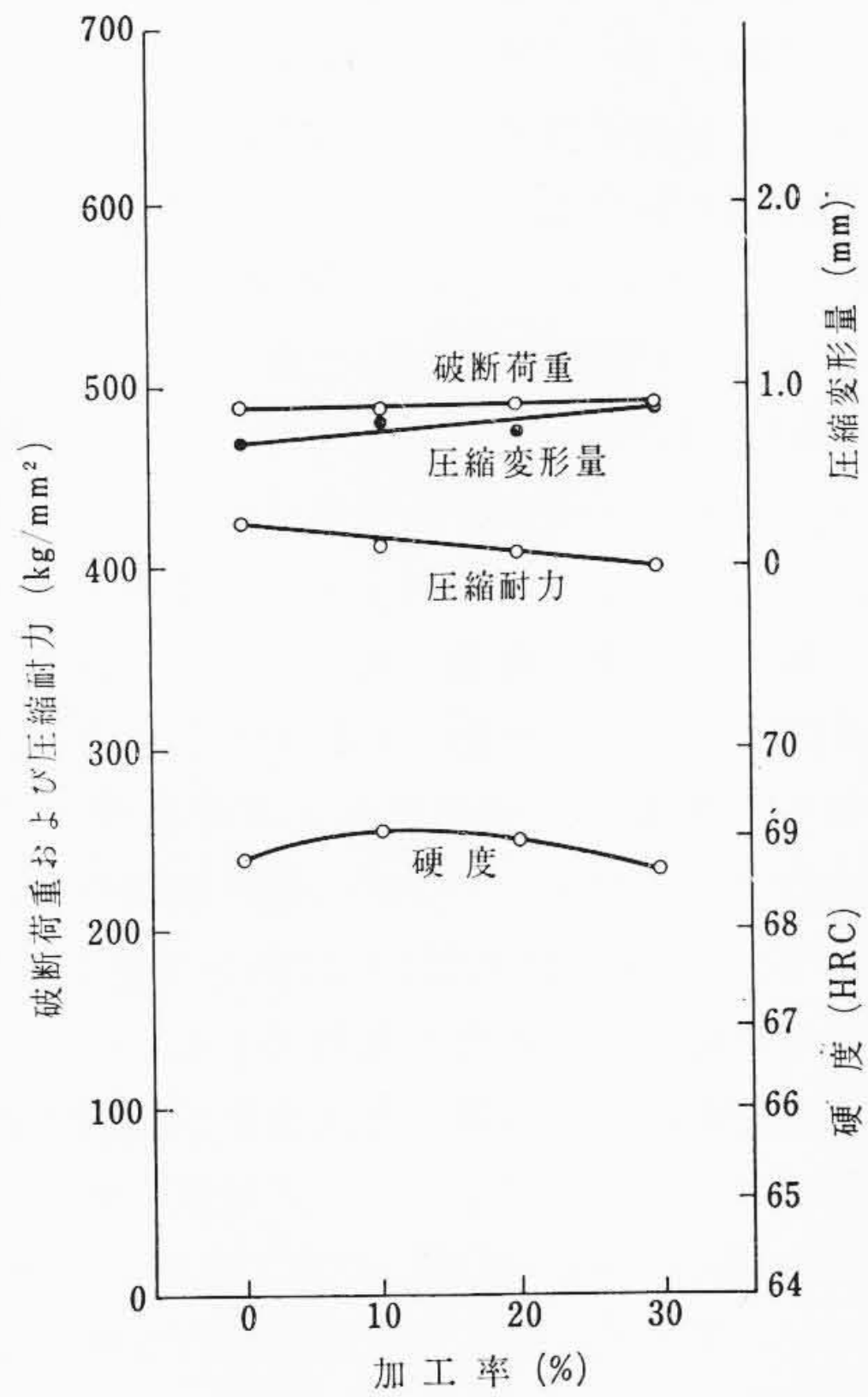


図 22 XVC 5 のオースフォーミングと抗圧試験

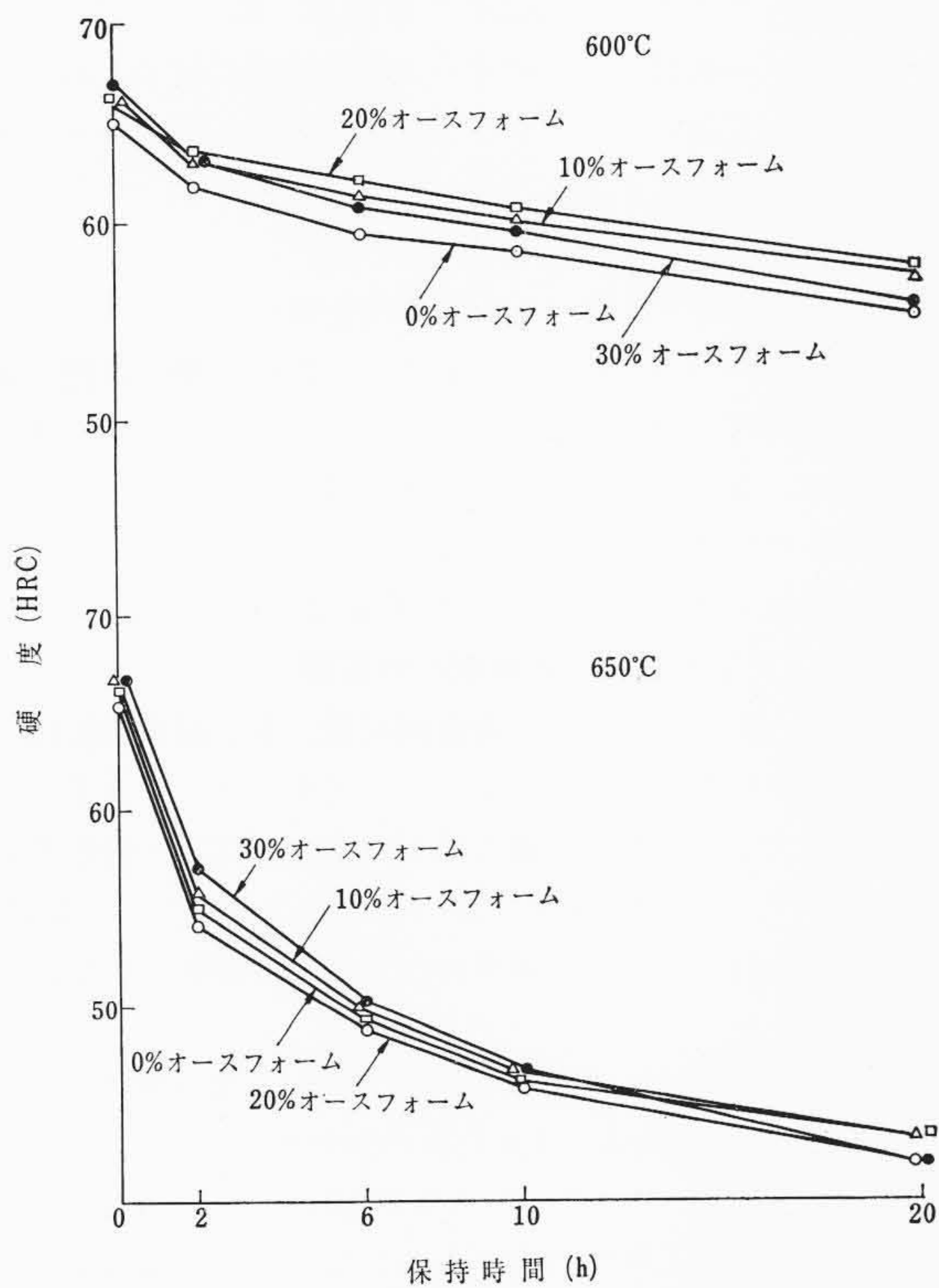


図 23 YXM 1 の焼もどし軟化抵抗

どし温度が変わっても 30% オースフォーミングしたもののはかなり高い衝撃値をもつことがわかる。

(3) 抗 圧 試 験

YXM 1 の試験結果は図 21 に示すとおりで、加工率が上昇するにしたがい圧縮変形量は減少し、破断荷重は少し減少するが、圧縮耐力はやや増加する。XVC 5 の結果は図 22 に示すとおりで、加工率が変わっても破断荷重、圧縮変形量は変わらないで、圧縮耐力がやや減少する。

(4) 焼もどし軟化抵抗

図 23 は YXM 1 の軟化抵抗を、図 24 は XVC 5 の軟化抵抗を示している。いずれの場合もオースフォーミングにより著しい変化

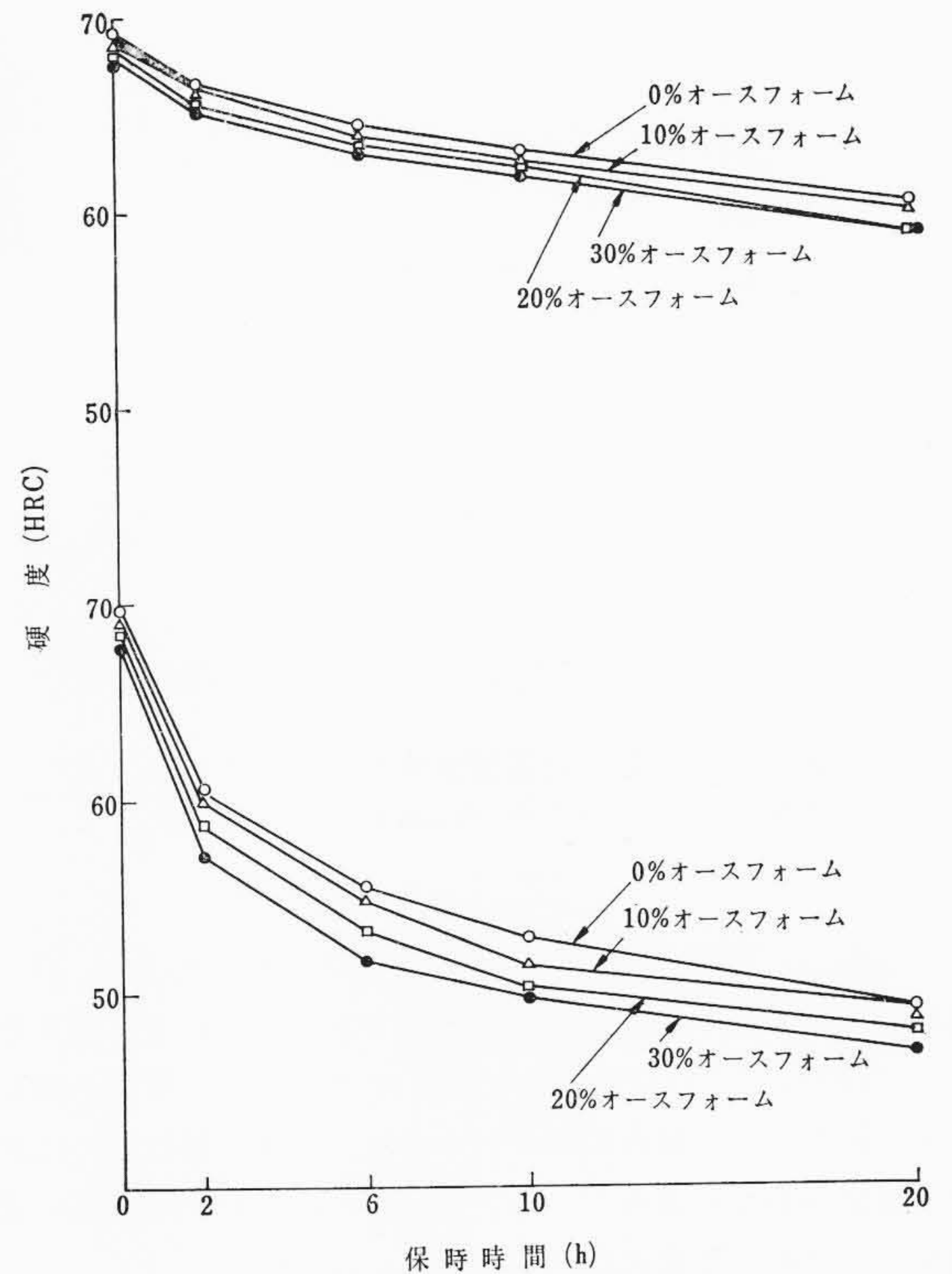


図 24 XVC 5 の焼もどし軟化抵抗

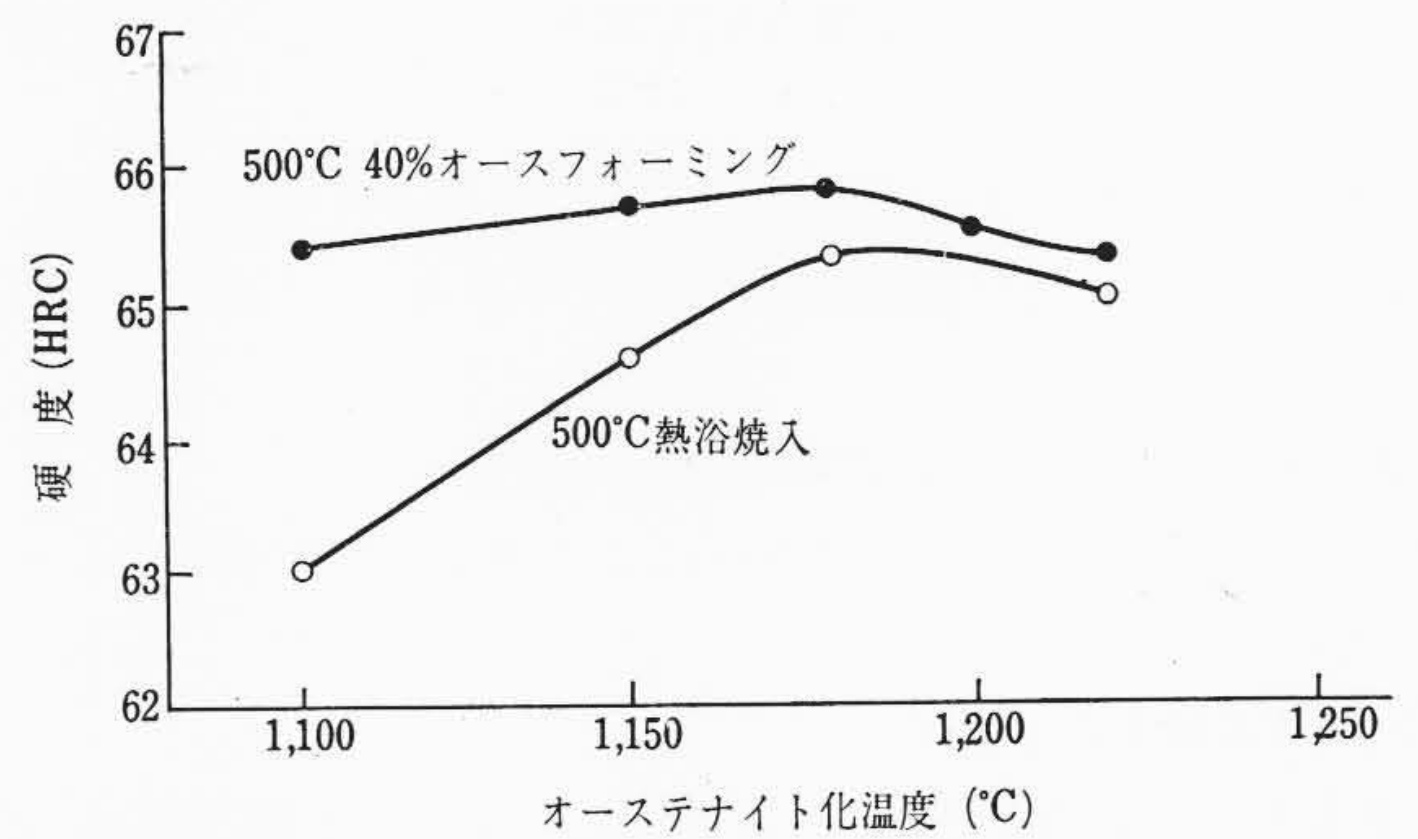


図 25 焼入れた試料のオーステナイト化温度と硬度との関係 (YXM 1)

は認められないが、YXM 1 の場合オースフォーミングにより若干増加し、30% 加工率の場合は逆に低下する傾向がみられる。また XVC 5 では、加工率の上昇するほど焼もどし軟化抵抗は減少している。

(5) 切 削 試 験

結果はかなりばらつき YXM 1 および XVC 5 とともに分散分析の結果、有意差は認められなかった。

(6) 低温オーステナイト化におけるオースフォーミングの硬度への影響

図 25 はオーステナイト化温度と焼入れ硬度を、図 26 はオーステナイト化温度と最高二次硬度を示したものである。

1,100°C および 1,150°C の温度では高い温度に比べかなり様相を異にし、40% オースフォーミングで焼入れ時に HRC で約 1~2.5 最高二次硬度では 2.5~3.5 も硬度が上昇し、二次硬化のピークは明らかでなくなる。

7. 結果に対する検討

7.1 変形抵抗について

変形抵抗値は、オースフォーミング温度が高くなれば当然小さく

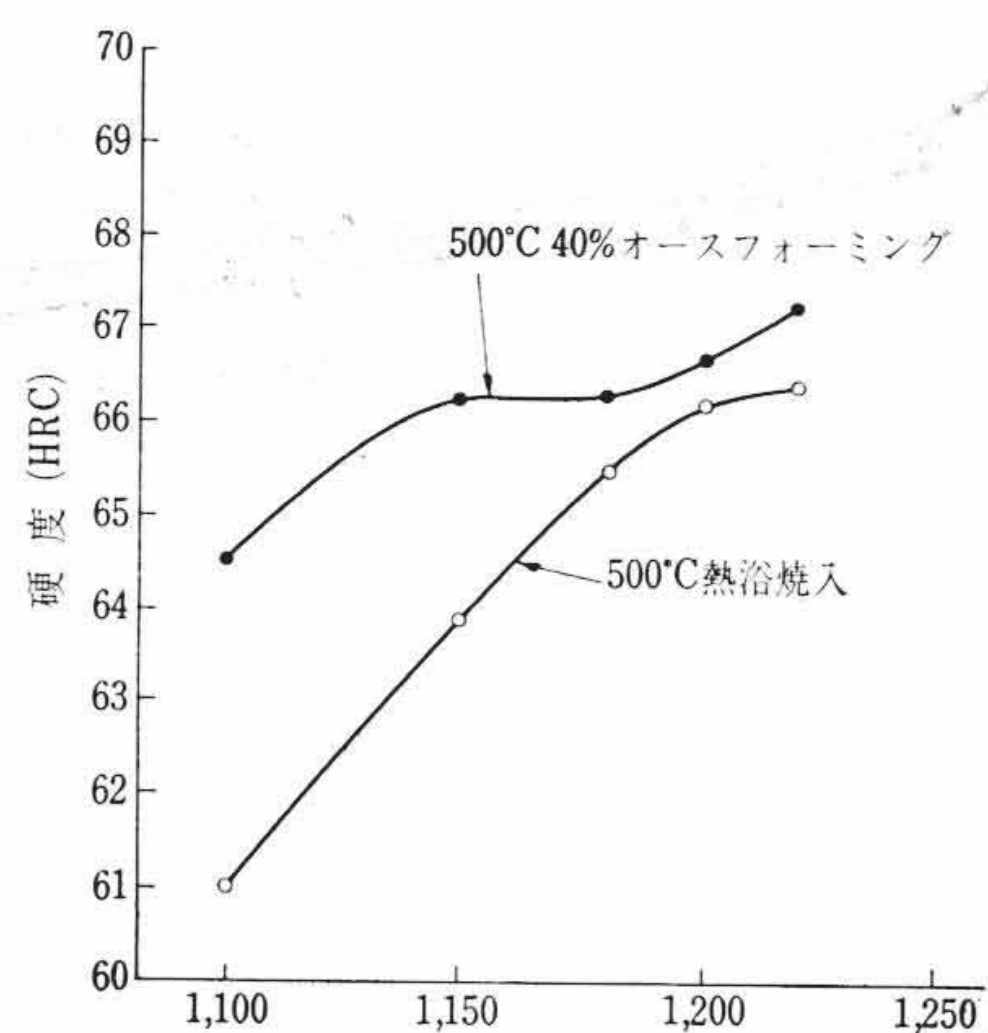


図 26 焼もどしで最高硬度時のオーステナイト化温度と硬度との関係 (YXM1)

なる。しかし、XVC5を700°Cでオースフォームすると、ほかの低い温度のときと比べて高い変形抵抗値である。これと、図2を参照すると、700°Cに7分間保持した試料はパーライト変態の直前にある。すなわち、この場合にはオースフォームする前にすでに炭化物の粒界析出がかなり進んでいたと推定され、このために高い変形抵抗値を示したものと考えられる。

変形抵抗値をほかの鋼と比べて見ると⁽¹¹⁾、加工温度が500°CのYXM1は室温におけるC≒0.21%の鋼、XVC5は同じく室温におけるNi:2.5%のニッケル鋼の加工率が、20~40%の場合の変形抵抗にほぼ相当する。

変形抵抗だけからオースフォーミングの条件を考えると、炭化物の析出が起こらない温度範囲内で、できるだけ高い温度が有利である。

7.2 オースフォーミングの硬度への影響

次に、オースフォーミング条件による硬度への影響について検討する。

(1) YXM1について

焼もどしをしないと、オースフォーミングの影響は認めがたい。

焼もどしをすると明らかなオースフォーミングの影響が認められた。普通焼入れの試料は、焼もどし温度が300~400°Cで焼入れ状態よりもHRCで4程度軟化するが、オースフォーミングをするとその程度が小さくなり、500°Cで40%オースフォームした試料はHRCで1~2程度の低下にすぎない。この現象は、ほかの二次硬化のある鋼種(たとえばH-11, M-52など)でも認められている。田村、鈴木氏⁽¹²⁾、McEvily氏⁽⁹⁾はこの現象をオースフォーミングによる鋼の強化機構と結びつけて考えている。それらを総合してこの実験の現象と考え合わせてみると次のようになる。オースフォーミングすると鋼中の転位密度は大になり、その転位に合金炭化物は析出しやすい状態になる。炭化物が析出する時期は、オーステナイト中か、マルテンサイト変態途上かはまだ明らかではないが、いずれにしても二次硬化の原因となる合金炭化物は焼もどし前に析出しており、通常処理で見られる300~400°Cの焼もどしにおける軟化の程度が小さくなったと考えている。

この実験でも、加工率が大きいと残留オーステナイトが多くなったときでさえ上記の傾向が強くなる。その原因は、加工率が大きいほど転位密度が大きくなり、それに伴って合金炭化物析出量も増加したためと考えられる。

どの条件で処理しても、最高二次硬度は焼もどし温度が525°C前後で認められた。このときの加工率の影響は明らかに認められる。加工温度が700°Cのときはオースフォームしない試料とほと

んど変わりはないが、それ以外の温度では加工率とともに硬度は高くなり、加工率が30~40%ではHRCで1程度上昇する。

さらに焼もどし温度が高くなると525°Cで焼もどしのときほど加工率の影響は明らかでなくなる。しかし、焼もどし温度が550~600°Cではまだオースフォーミングの影響ははっきり認められる。

オースフォーミング温度の影響は焼もどし前では認められない。しかし、焼もどしをすると、オースフォーミング温度が高いほどオースフォームによる硬度の上昇度は小さくなり、700°Cでは逆に硬度が低くなっている。McEvily氏⁽⁹⁾はオースフォーム温度は二次硬化の起こる温度が最適であると言っているが、この実験では、300~600°Cではその効果に大差はなく、しいて言うならば、低い温度のほうが焼もどし硬度におよぼす効果が大きいと考えられる。その理由はオースフォーミングの強化機構の主因と考えられている⁽⁵⁾⁽⁹⁾⁽¹²⁾転位と炭化物析出から説明ができる。すなわち、転位密度の点からは低い加工温度が有利である。一方、オーステナイト中での炭化物析出からは高い加工温度が有利である。この両者の相対関係によりオースフォーミング効果の大小が定まると考えられるが、実際には300~600°Cの加工温度ではその効果に大差がない。ただ、若干低い加工温度側で有利な理由は、高温側に比べ転位密度が大であることと同時に析出炭化物粒子が転位を固定するのに必要なほど微細であるからであろう。

次に、オーステナイト化温度の影響は、図11で見ると、オースフォーム独自による硬度の上昇度の差は認められないが、文献⁽⁵⁾によってはオーステナイト化温度の低いほうがその効果が大きいという説もある。

(2) XVC5について

XVC5はYXM1に比べだいぶ様相を異にしている。

硬度からXVC5のオースフォーミングの効果は確認できず、特に600~700°Cの高い温度でオースフォームすると、逆に硬度は低下する。従来の研究によればCoはオースフォーミング効果を減殺するのではないかという説⁽²⁾もあり、Coを10%含有するXVC5ではオースフォーミングの効果はないのかもしれない。

7.3 オースフォーミングの組織への影響

オースフォーミングによって顕微鏡組織、電子顕微鏡組織の変化は認められなかった。オースフォーミングすると、マトリックスの転位密度が増大し、また工具鋼の場合は合金炭化物が析出するといわれているが⁽⁵⁾、その炭化物の大きさはかなり微細で、一説には50 Å以下とも言われており⁽¹²⁾、薄膜法などで直接観察をしないと確認は困難であろう。

焼もどし前の残留オーステナイト量(以後 γ_R 量と略す)はオースフォーム温度、加工率によってかなりの変化が認められた。それらの傾向を集約すると、オースフォーミング温度が300~400°Cでは、加工率が小さい間は加工率が増大するにしたがい、 γ_R 量は減少し、加工率がある程度以上になると γ_R 量は増加する。加工温度が700°Cでは加工率が増大するにしたがい γ_R 量は減少する。この現象は、次のように説明される。すなわち、準安定オーステナイト領域で鋼にひずみを与えるとオーステナイトは不安定化し、マルテンサイト変態が起こりやすくなり、 γ_R 量は減少するはずである。実際に、低い加工率のうちは γ_R 量は減少している。しかるに低い加工温度である程度以上の加工率になると γ_R 量が増加しているのは、加工率の増大とともに転位密度の増加ならびに、炭化物析出が激しくなり、転位の固着化が進行し、その結果剪(せん)断過程に基づくマルテンサイト変態を阻止するようになるためと考えられる。しかし、加工温度が高いと、転位がエネルギー的に大となり、マルテンサイト変態を阻止する固着化した転位は少なくなる。そのため高い加工温度では、40%の加工率まで γ_R 量が増加しないと考えられる。

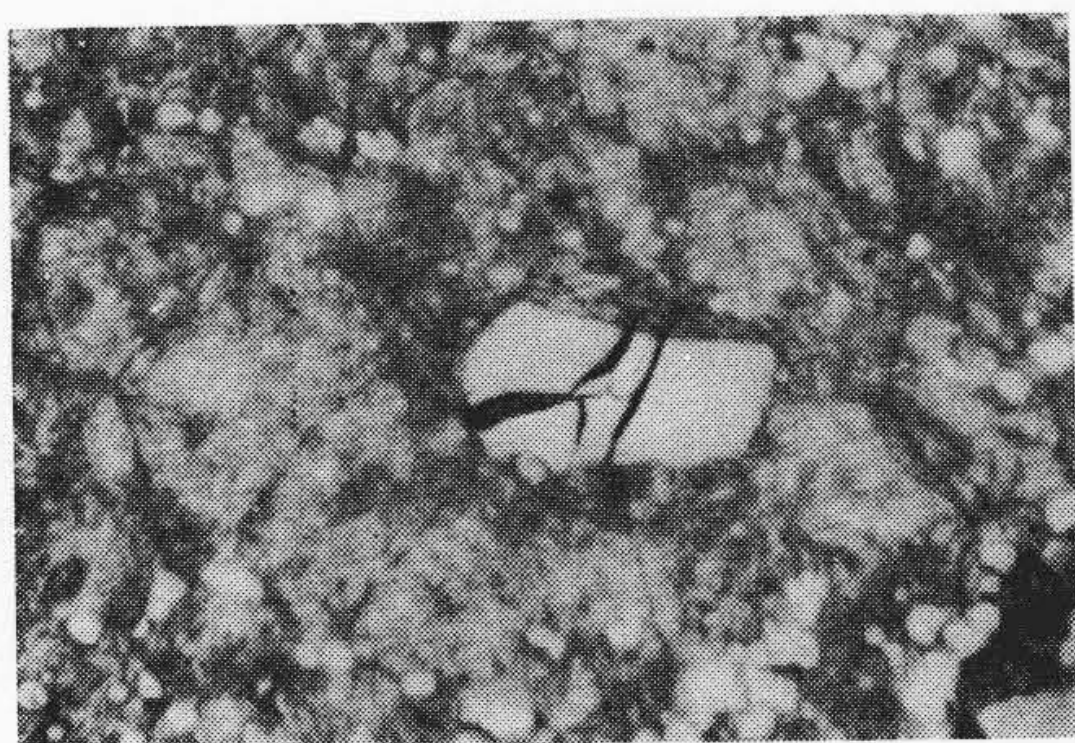


図 27 XVC 5 の 30% オースフォーミング材の組織 (×100)

7.4 抗折試験および衝撃試験

YXM 1 の抗折力およびたわみはオースフォーミングしてもほとんど変化がない。田村氏ら⁽²⁾は YXM 1 相当 SKH 9 を 1,210°C オーステナイト化後 500°C で 50% オースフォーミングして 570°C で焼もどしすると、抗折力は普通処理に比べ約 2 倍の 400 kg/mm² となり、吸収エネルギーは加工率に比例的に上昇したと報告している。本実験では硬度の上昇は認められたが抗折力およびたわみについては彼らの報告と一致しなかった。その理由については後述する。

YXM 1 のシャルピー衝撃値は 10% オースフォーミングで約 25% 増加し、20% オースフォーミングでは約 50% 増加しその値は 3 kg-m/cm² となった。また 30% オースフォーミングでは 20% のときとほとんど変わらなかった。衝撃値の増大は R. H. Bush 氏ら⁽¹³⁾も H-11 鋼で認めている。その中で圧延方向とその直角方向とでかなりの方向性があり、しかも焼もどし温度が低いと、その方向性は普通処理の場合と比較してあまり極端ではないが、焼もどし温度が高くなると顕著な相異が現われると報告している。本実験では直角方向の衝撃値は調べなかったが、この点はじゅうぶんに留意する必要がある。

普通処理の場合焼もどし温度が 560~580°C の間の衝撃値に変化は認められない。オースフォーミングの場合は 560~600°C の間で衝撃値に差が認められた。すなわち 580°C 付近で最大衝撃があり、600°C では急激に減少している。600°C で衝撃値が減少したのは、焼もどし温度が高くなったために炭化物が凝集しオースフォーミングの効果が減少したのであろう。

このように YXM 1 をオースフォーミングすると衝撃値が高くなった。その理由は現在のところ究明されていないが、マルテンサイトが微細化するためであると考えられているようである⁽⁵⁾。

一方、先にも記したように抗折力はオースフォーミングしても変化は認められなかったが、その原因として炭化物の割れが考えられる。図 27 に見られる炭化物の割れは YXM 1 でも存在し、その現象は加工率が大きくなるほど著しくなる。抗折試験のような静的な靱性試験では炭化物の割れは靱性に悪影響があると考えられている。靱性が低いということは、その材料が破壊しやすいことを意味し、割れの発生およびその成長が起こりがたいときはその材料の靱性は高い。本実験で見られるような炭化物の割れが存在する場合には、本来ならばマルテンサイトの靱性は高くなっているけれども、炭化物の割れが破壊の起点となるため抗折力の上昇が打ち消されてしまったのであろう。この点から、巨大な一次炭化物の存在はオースフォーミング鋼としては不適當であり、また炭化物の割れを発生させるような加工法は避けねばならない。

次に、SKH 9 を用いた田村氏の研究⁽²⁾では、50% オースフォーミングで得た抗折力は約 400 kg/mm² であり、普通処理の場合は 200 kg/mm² という低い値であった。本実験で普通処理の場合の抗折力は約 385 kg/mm² であり、YXM 1 級の鋼を 1,200°C で焼入れした場合 400 kg/mm² 以上の抗折力を得ることはオースフォーミン

グしても無理なのかも知れない。

XVC 5 の抗折試験および衝撃試験では、硬度がほとんど変わらないにもかかわらず、それらの値も変わらなかった。田村氏らは Co を含む SKH 3 ではオースフォーミングの効果が無いであろうとしているが、その説を裏付けるようである。

7.5 そのほかの機械的性質

摩耗試験、抗圧試験および切削試験ではオースフォーミングしても著しい変化は認められなかった。しかし、切削試験は連続切削であり、衝撃値が増大していることから、断続性の工具に対して有効となる可能性がある。

7.6 オーステナイト化温度とオースフォーミング

YXM 1 を 1,100°C や 1,150°C の低温でオーステナイト化すると著しい効果が認められた。1,100°C では二次硬化がほとんどわからなくなり、最高硬度で HRC 3.5 上昇した。1,150°C でも二次硬化による硬度の上昇は少なくなり、最高硬度で HRC 2.5 上昇した。特に 1,150°C では焼もどし硬度曲線は普通処理の場合の 1,200°C のときに匹敵している。先に記した 1,200°C の場合の抗折力や衝撃値から推定すると 1,150°C の場合の硬度で高靱性の材料が得られる可能性がある。

また、低温のオーステナイト化温度ではマトリックスに溶け込む合金炭化物は、1,200°C の場合に比べかなり少ない。オースフォーミングは転位に炭化物が析出して、転位を不動態化するものと考えられている。この点からオースフォーミング鋼としては YXM 1 級の多量の合金元素を含む鋼は不経済であり、オースフォーミング鋼として経済的な鋼を見出すことは、今後の実用化に際して重要な課題となろう。たとえば M 2 のマトリックス鋼である Vasco MA [0.55C+12(Cr, W, Mo, V)] を使ってオースフォーミングした切削工具では M 2 と同程度の切削寿命であったという報告もある⁽¹⁴⁾。

8. 結 言

高速度鋼のオースフォーミングに関する上記の結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 変形抵抗は、YXM 1 ではオースフォーム温度が高いほど小さく、XVC 5 では 600°C までは温度が高いほど小さいが、700°C では変形抵抗値は高くなる。
- (2) YXM 1 の変形抵抗値は XVC 5 よりも低い。
- (3) オースフォーミングをしても焼もどしをしなければ硬度の変化は明確でない。
- (4) オースフォーミングをすると、焼もどし温度 300~400°C での軟化の程度が小さくなり、加工率が大きいほどその傾向は著しくなる。
- (5) 最高二次硬度はオースフォーミングしても変化はなく 525°C 前後で認められる。
- (6) オースフォーミングすると、YXM 1 では、低い加工温度ほど、また加工率が大きいほど硬度の上昇度は大きい。XVC 5 では低い温度では硬度が変わらず、高い温度では、硬度は低下する。
- (7) 電子顕微鏡組織、ミクロ組織に変化は認められなかった。
- (8) γ_R 量は、加工温度が低いときは加工率とともに減少し、ある程度以上になると逆に増加する。高い温度では加工率とともに減少する。
- (9) 機械的性質に関し、YXM 1 では硬度および衝撃値に有効であった。
- (10) 抗折力も硬度が高い割には低下しなかった。
- (11) 抗圧試験、切削試験ではオースフォーミングの影響は明白でない。

(12) 低温でのオーステナイト化はオースフォーミングに著しい硬度の上昇をもたらすから、靱性を要求される工具に対して有効であろう。

(13) XVC5ではオースフォーミングの効果はないであろう。

最後に本実験にご助言、ご助力いただいた安来工場長付・新持喜一郎博士、福田冶金研究所所員はじめ、冶金研究所のかたがたおよび本実験に協力された日本工具製作所・武士洋一氏に深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) R. H. Harvey: Metal Treat and Drop Forg., Oct. (1961) 421~422
- (2) 田村今男ほか: 日本金属会誌, 29 (1965) 605~610

- (3) 田村今男: 日本金属会報, 2 (1963) 426~440
- (4) 田村今男: 鋼の加工熱処理 (日本金属学会), (1964)
- (5) 田村今男: 鉄と鋼, 52 (1966) 140~162
- (6) Robert Clark ほか: Metal Progress, March (1966) 81~86
- (7) ザックス: 加工冶金学 (コロナ社) 下, (昭 25) 252~256
- (8) Roderts ほか: Tool Steel, 84~87 (1962, ASM)
- (9) A. J. McEvily ほか: Trans ASM 56 (1963) 753~767
- (10) カリティー: X線回折要論
- (11) 塑性と加工, 13~28 (昭 35, 朝倉書店)
- (12) 鈴木秀次: 日本金属学会報, 3 (1963) 241~248
- (13) R. H. Bush ほか: Trans ASM, 57 (1964) 991
- (14) W. M. Tustusson ほか: Machinery, 70 (1964) 9, 150



登録実用新案 第844278号

新 案 の 紹 介



伊 藤 俊 之・海老原 幸 平

始 動 電 動 機 用 電 磁 ス イ ッ チ

従来は図1に示すように、始動電動機のピニオン18がリングギヤ17にかみ合っている原因により離れないときは、始動電動機の回転軸上に設置したスプリング27'をシフトレバー19を介してリターンスプリング21でたわませて接点10, 11を開放し、電動機への給電を停止した後ピニオンは元の位置へもどされる。

このような構成をもつ始動電動機においては、軸方向長さが大きくなるばかりでなく、接点開放速度も遅くなるため、リターンスプリングの荷重を高くする必要がある。

このため本案は図2に示すように、始動電動機の回転軸上に設けられているスプリングを廃止し、電磁スイッチの軸上に接点用リターンスプリング14を設置し、プランジャシャフト2とスプリングストッパ22を軸方向に自由に動くようにする。

このようにスプリングの配置を変えることによって、始動電動機の軸方向長さを縮小し、小形軽量化するとともにピニオンがリングギヤにかみ合っているシフトレバーが不動状態になった場合にも接点用リターンスプリングにより接点は切り離されて始動電動機の給電をすみやかに停止するので、電動機の焼損はもちろんのこと電源の過放電を防止することができる。始動電動機の停止と同時にリターンスプリング21の反力によりシフトレバーを押しもどしてピニオンとリングギヤのかみ合いをなくする。

以上のように、本案は接点用リターンスプリングの設置により小さな荷重でもじゅうぶんな接点開放速度が得られ、あわせて始動電動機の軸方向長さの縮小ができるという特長を有している。

(海老原)

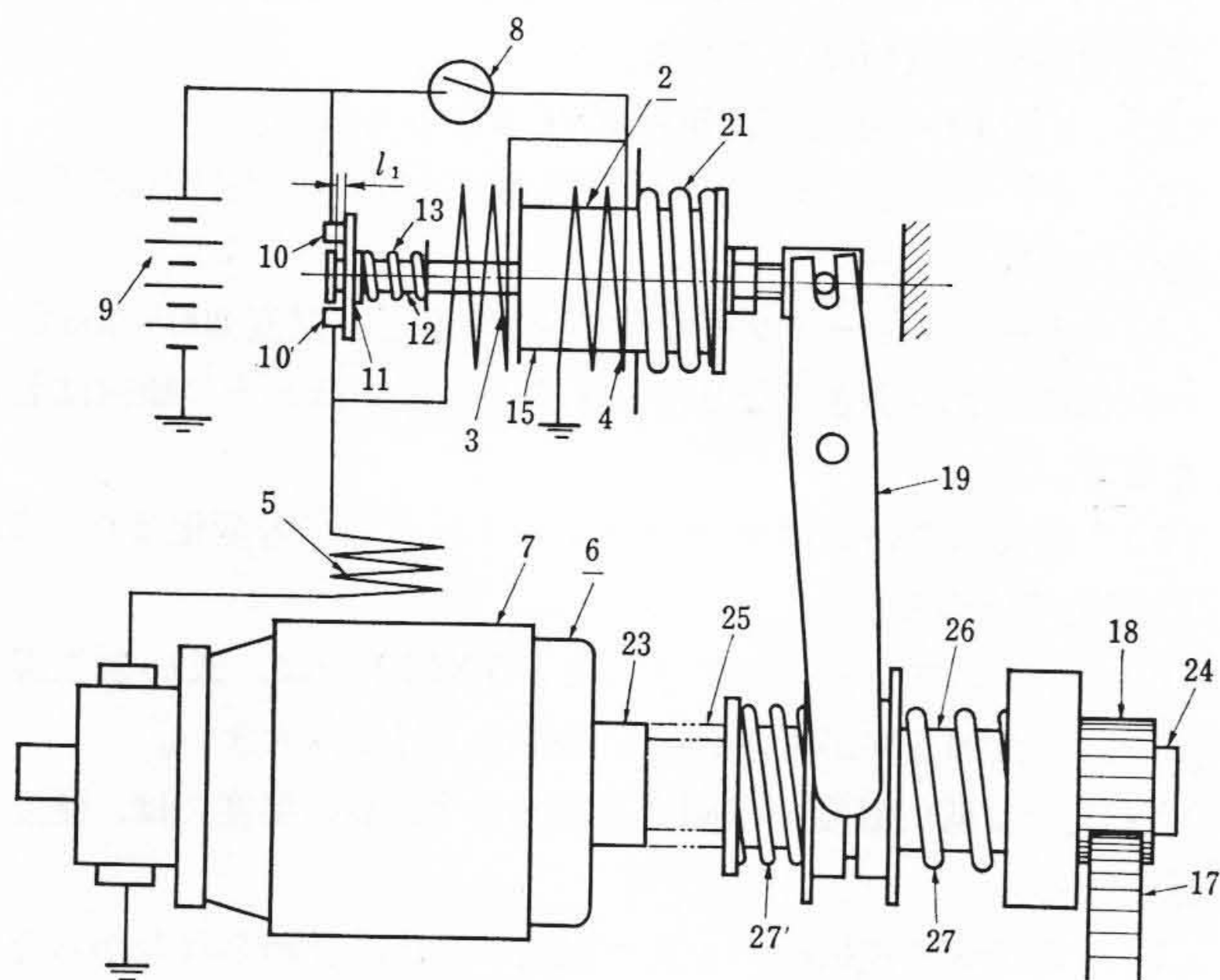


図 1

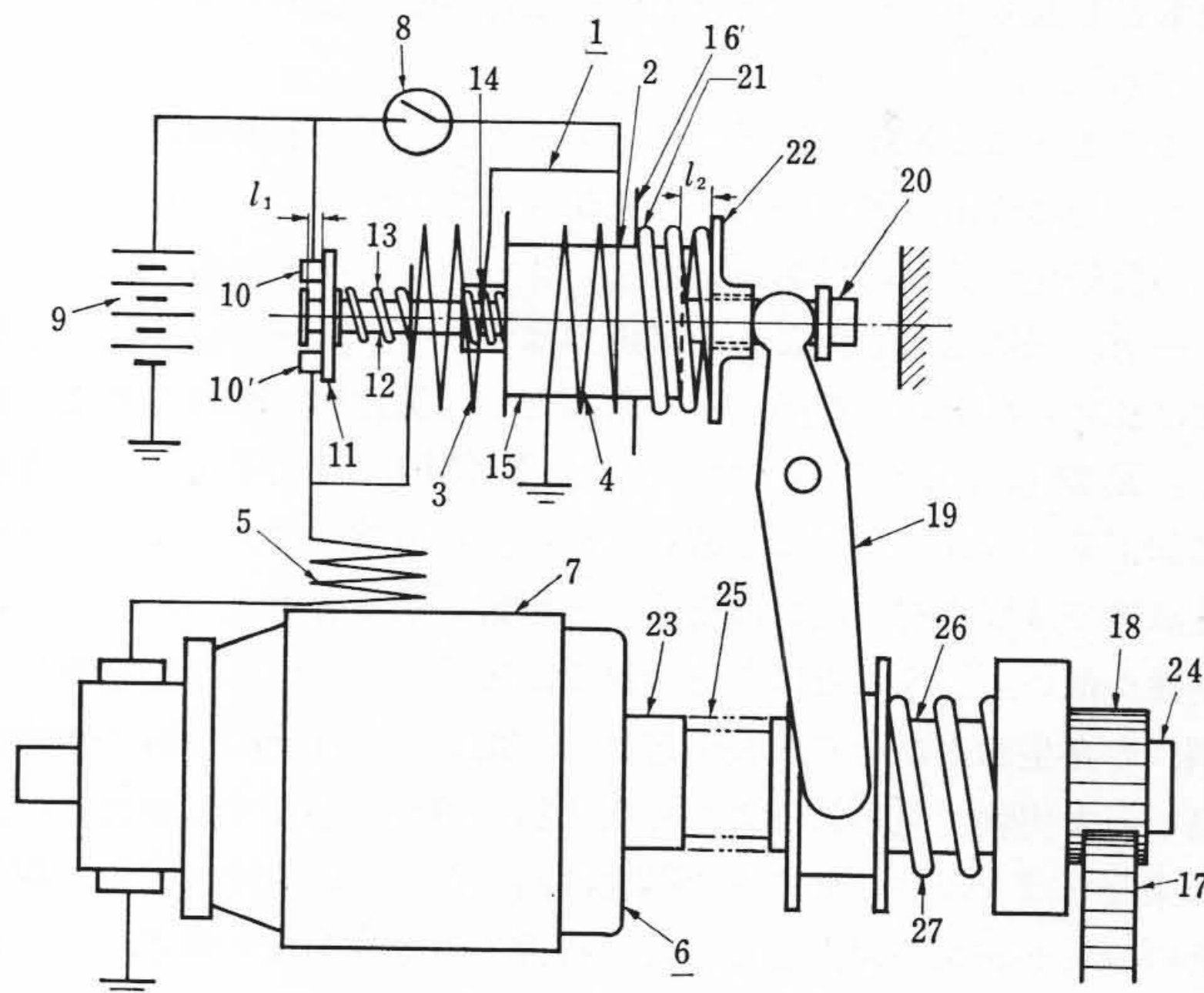


図 2