

抜型工具鋼の研究(第1報)

Cr-V-Mo-W 鋼の熱処理および確性試験

A Study on Punching Tool Steel

—Thermal Treatment and Characteristic Test of Cr-V-Mo-W Steel—

根 本 正* 八重樫敏雄* 大内康司*

Tadashi Nemoto

Toshio Yaegashi

Yasushi Ōuchi

内 容 梗 概

抜型鋼の性能改善を図るために Cr-V-Mo-W 鋼 (C 2.0%, Cr 5%, V 5%, Mo 1%, W 1%) について熱処理の基礎実験を行い、ついで本鋼によりモータコアの抜型を試作し性能を調査した。その結果焼入性は SKD 鋼とほぼ同じであるが、抜型として使用した場合の耐摩耗性は SKD 鋼の 1.5 倍以上あることが知られた。

1. 緒 言

従来使用されている SKD 鋼が抜型工具鋼としてすぐれた性能を有することは周知のところであるが⁽¹⁾、最近モータコアの需要が増すにしたがい型鋼の寿命の向上がさらに要望されている。そこで SKD 鋼の主成分である Cr を一部 V で置換した 5% Cr-5% V 系の新鋼種についてまずその熱処理の基礎研究を行い、ついで本鋼により抜型の部品を試作し、実際に使用したのちの形状の変化および耐摩耗性などを SKD 鋼と比較検討した。

2. 試 料

試料は高周波電気炉により熔製後 16 kg 鋼塊に鑄造され、ついで所定寸法に鍛伸後機械加工によりそれぞれの試験片が作製された。

第1表は試料の化学成分および変態点を示す。

3. 熱 処 理

3.1 焼入温度とカタさ、Ms 点および残留オーステナイトとの関係

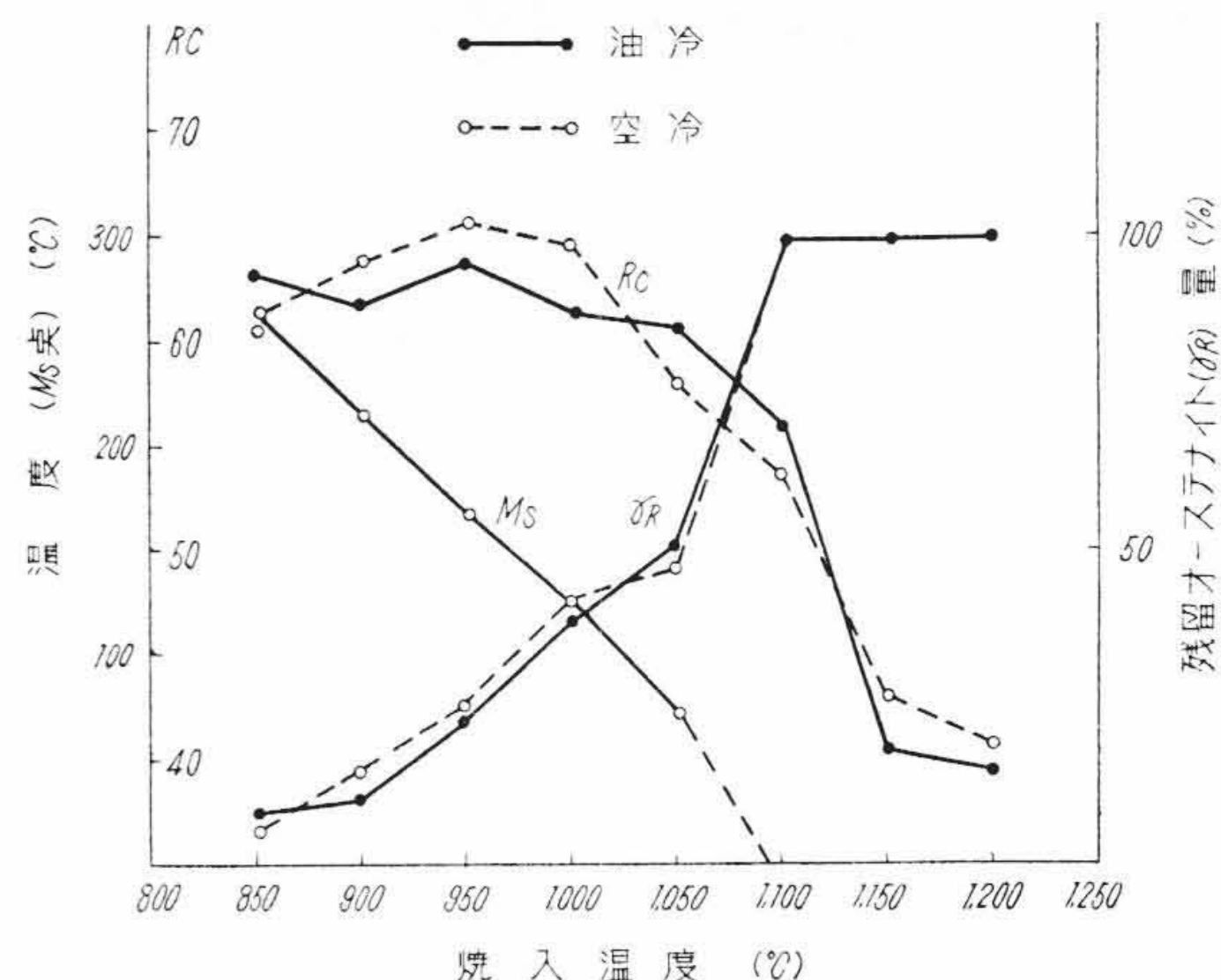
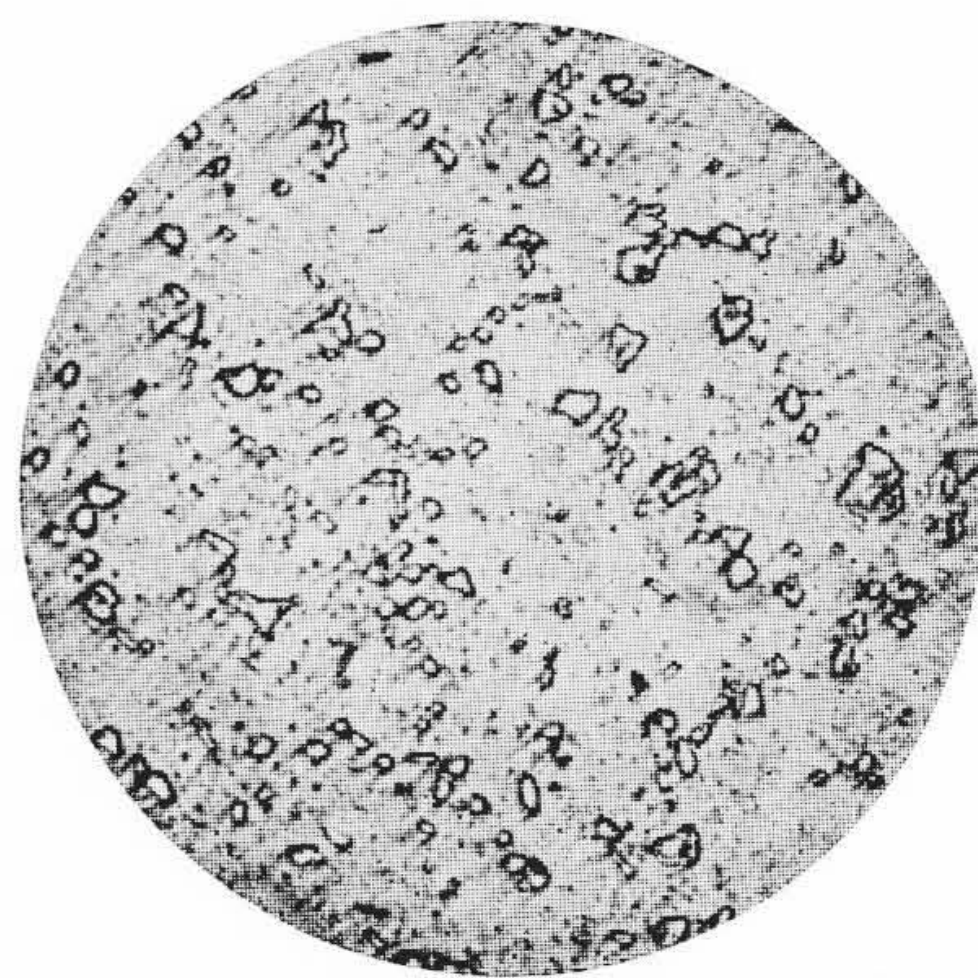
10 mmφ×15 mm l の試片を用い焼入温度 850~1,200°C で 50°C おきの各温度から油冷または空冷したのちカタさおよび組織を調べ、ついで 5 mmφ×70 mm l の試片を用い佐藤式自記焼入試験機により各焼入温度からの冷却における Ms 点を測定し、さらに弾動検流計法による磁気測定装置により飽和磁気の強さを測定して残留オーステナイト (γ_R) 量を求め焼入温度による諸性質の変化を研究した。第1図は焼入温度と Ms 点、カタさおよび γ_R 量との関係を示す。これによるとカタさは焼入温度 1,000°C 以下では油冷したものが空冷したものよりもわずかに低く、またいずれの場合も焼入温度 950°C において最大値を示し、1,000°C 以上で急減する。一方 Ms 点は焼入温度が上昇するにしたがい低下し、1,100°C 以上においては常温以下に達する。また γ_R 量は焼入温度の上昇とともに増加し、1,100°C 以上ではほぼ 100% に達することが知られる。

次に第2および3図は焼入温度 950°C より空冷された試料の顕微鏡組織を示す。これらから本鋼はバフ研磨の状態ですでに塊状の炭化物が検出され、これを 5% 硝酸アルコール溶液で腐食するとさらに基質からもこまかい炭化物が検出されて2種以上の炭化物の存在がうかがわれる。また第4図は焼入温度 1,200°C から空冷された組織であるが、この場合に認められる炭化物はバフ研磨の状態で検出されるもので、この炭化物は高温においても非常に安定であることがわかる。

* 日立製作所日立研究所

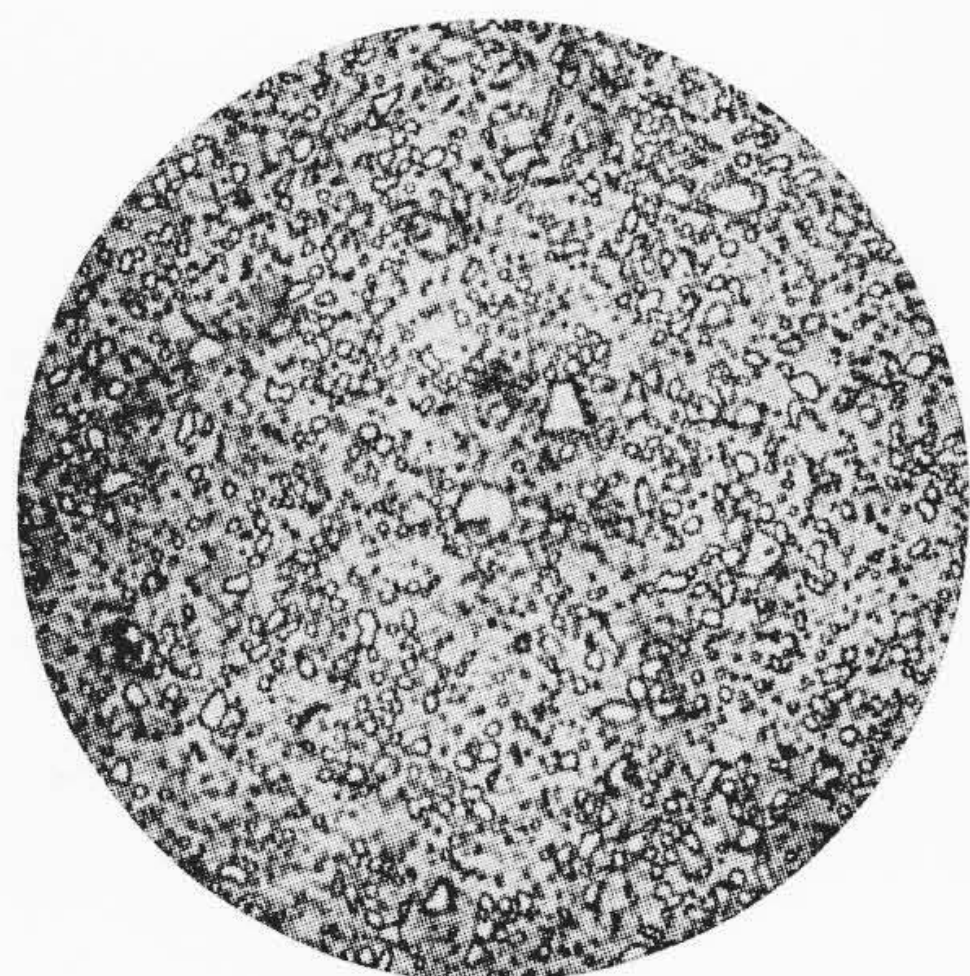
第1表 試料の化学成分(%)および変態点

試 番	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	変 態 点(°C)		備 考
								加 熱	冷 却	
A	2.25	0.78	0.56	5.05	1.09	0.97	4.26	780~825	690~640	熱処理試験用
B	2.26	0.37	0.65	4.51	1.06	1.39	4.02	—	—	研削および寿命試験用

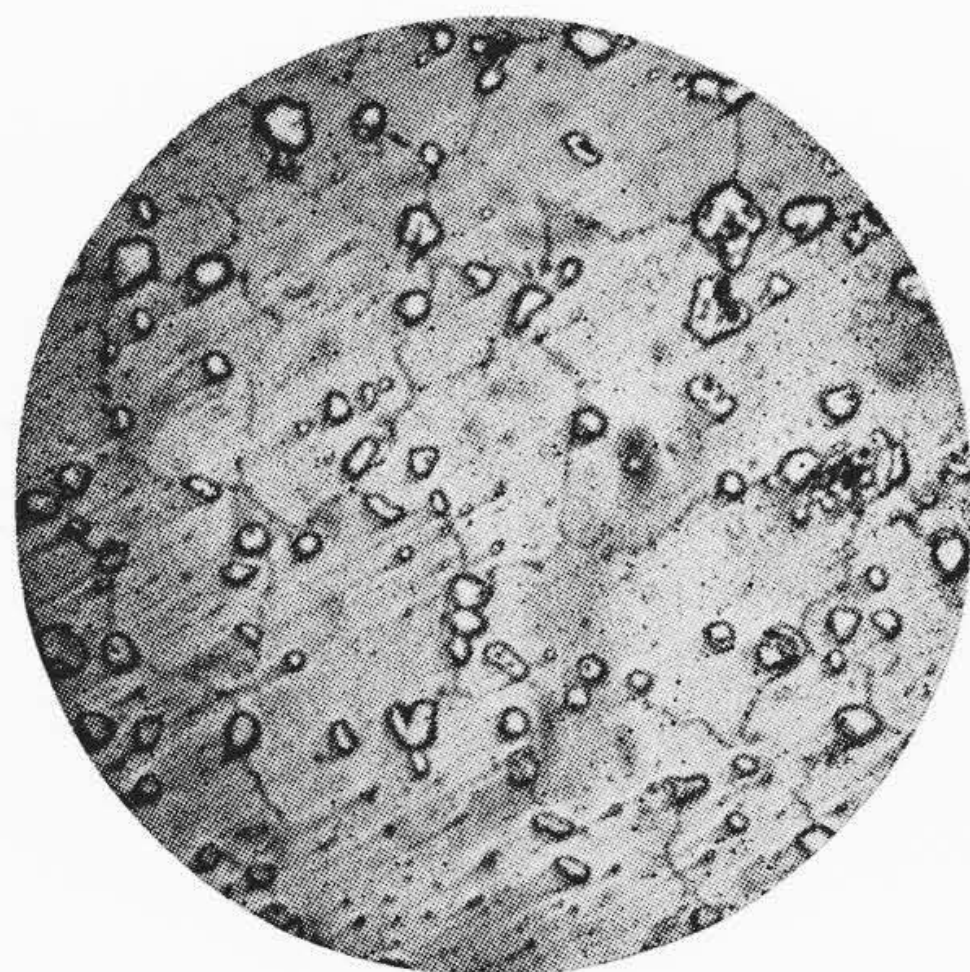
第1図 焼入温度と Ms 点カタさおよび γ_R 量との関係第2図 950°Cから空冷した組織
(腐食せず) ×500

3.2 焼戻しによるカタさおよび γ_R 量の変化

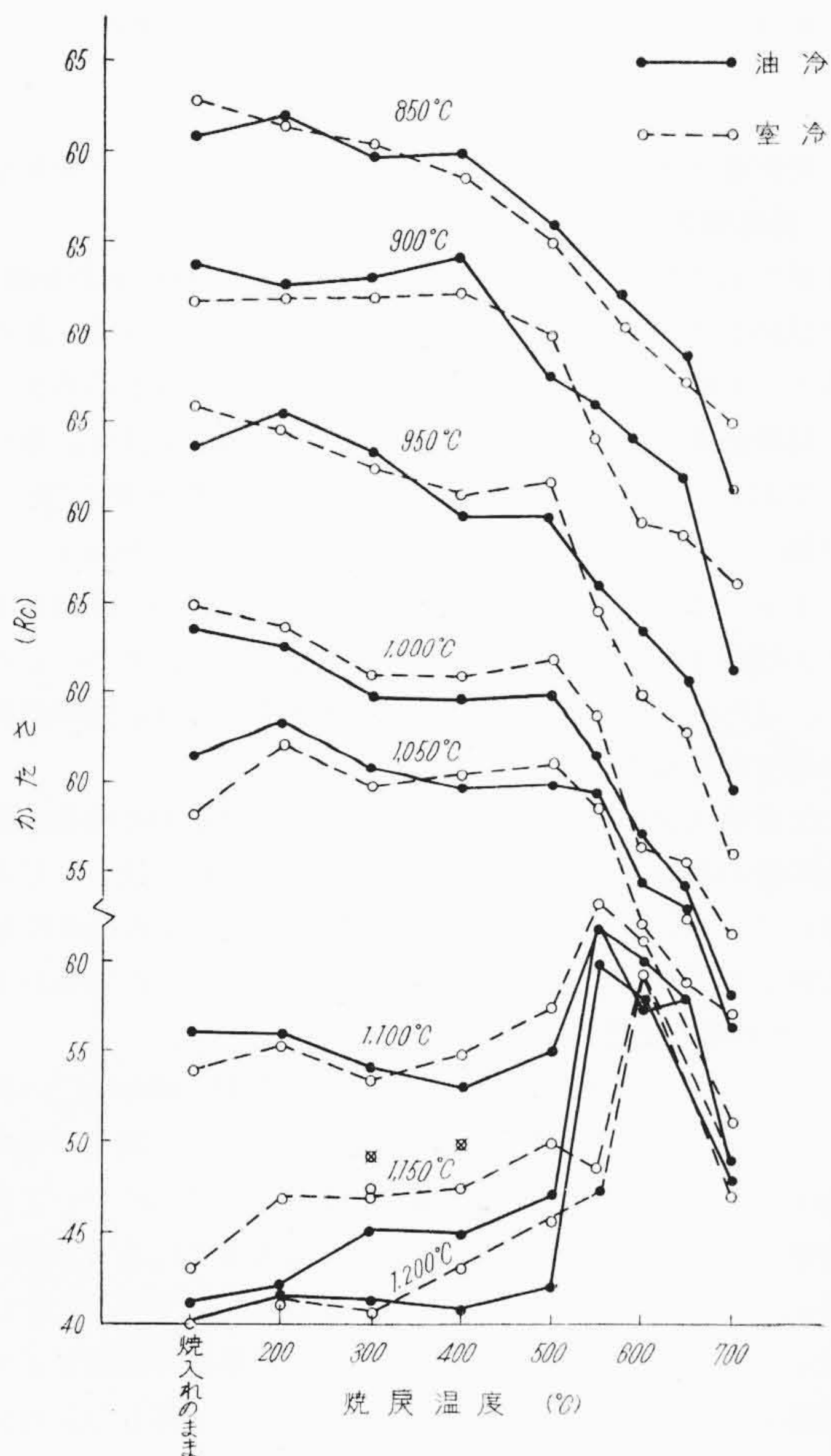
第5図は各温度から焼入れされた試片を200~700°Cで1 h 焼戻した場合の焼戻温度によるカタさの変化を示す。850~900°Cから焼入れたもののカタさは400°C以上で減少するに対し、950~1,050°Cか



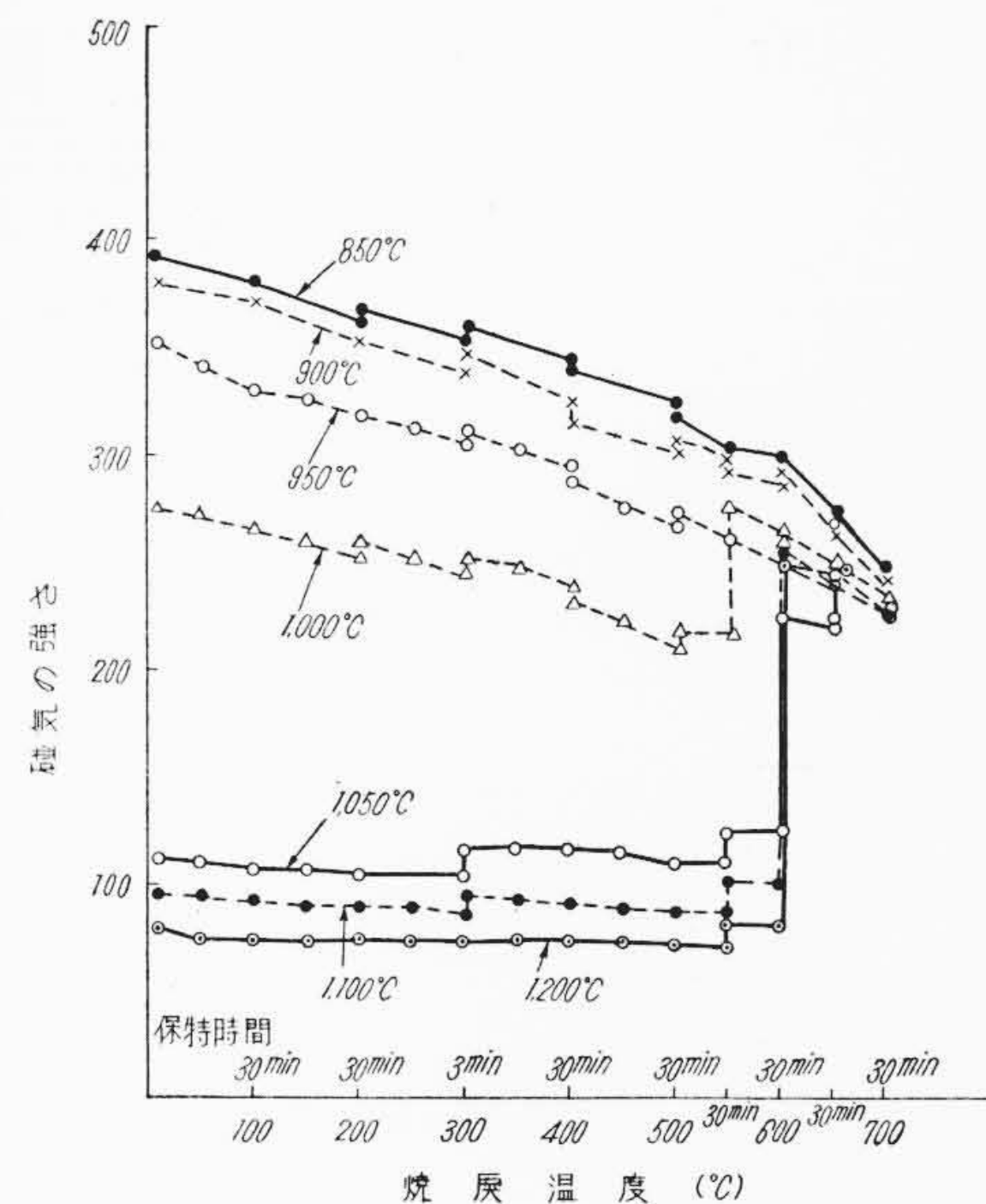
(5%硝酸アルコール溶液で腐食) ×500
第3図 950°Cから空冷した組織



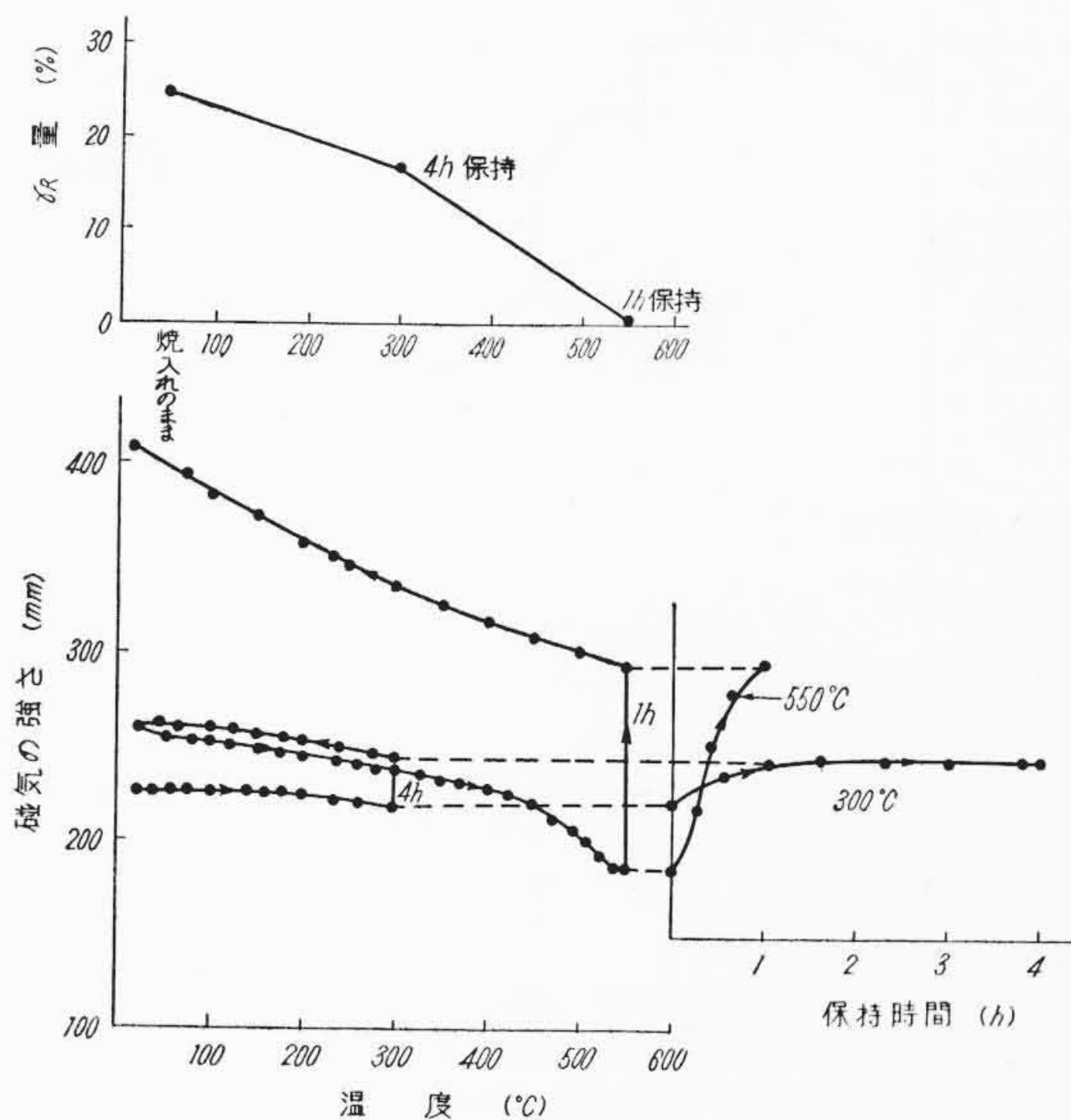
(腐食液5%硝酸アルコール溶液) ×500
第4図 1,200°Cから空冷した組織



(各温度に1h保持)
第5図 850~1,200°Cから焼入れ後の焼戻温度と硬度との関係

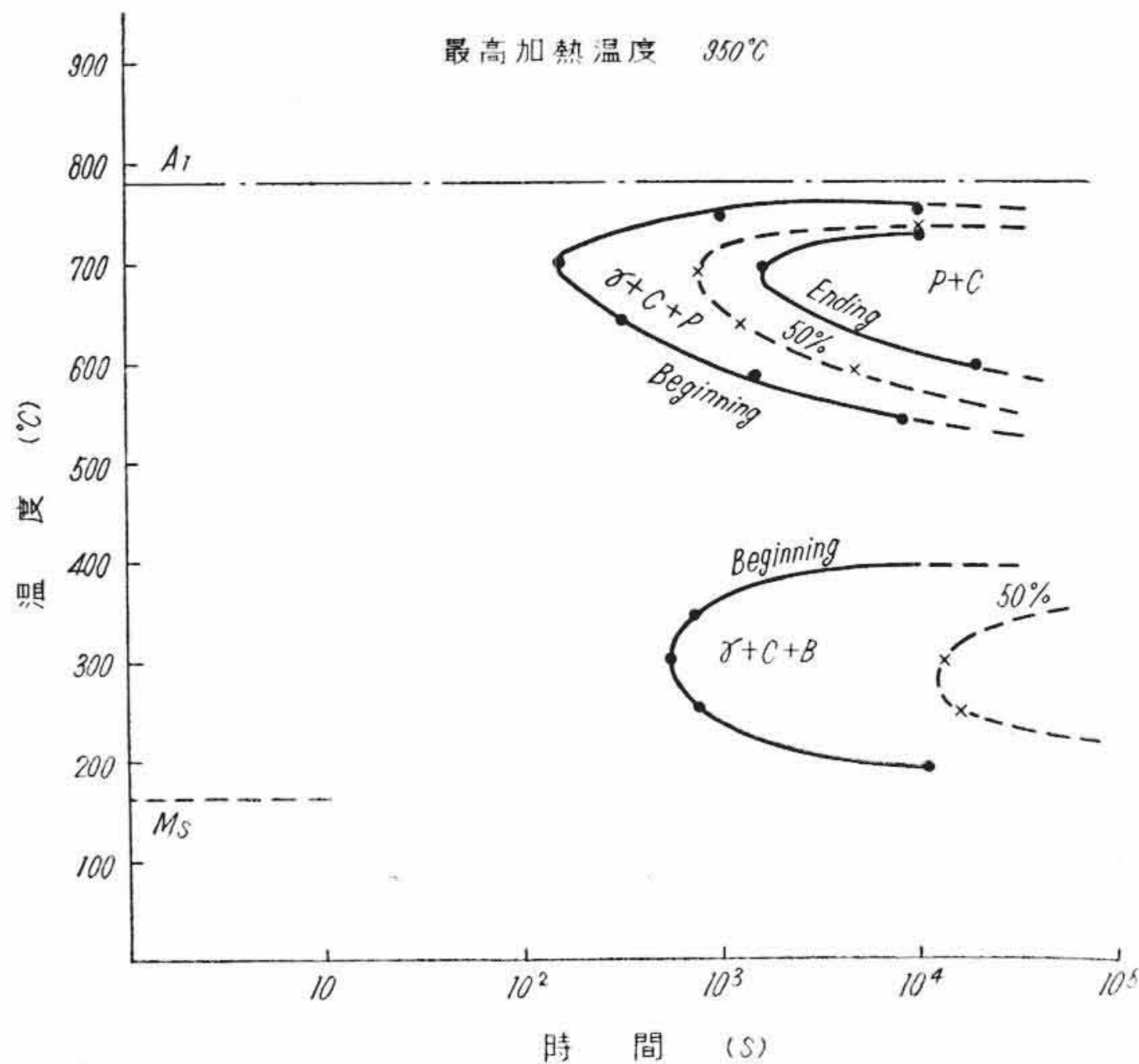


第6図 850~1,200°Cから空冷した試片を段階加熱した場合の示差磁気分析結果

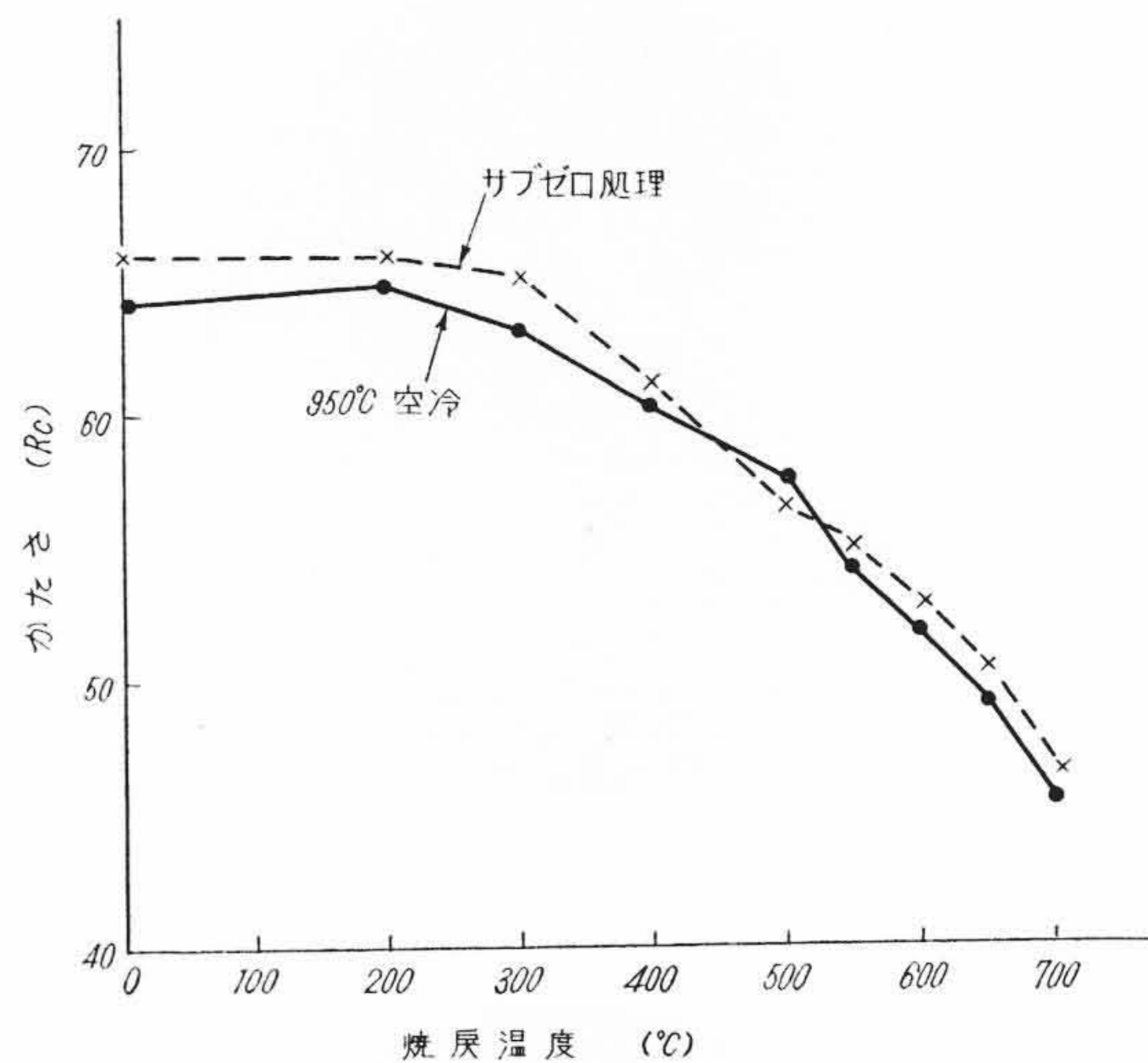


(上図繰返し加熱中の γ_R の変化, 右図は300および550°Cに保持している間における磁気の変化)
第7図 950°Cから空冷した試片を繰返し加熱冷却した場合の示差磁気分析結果

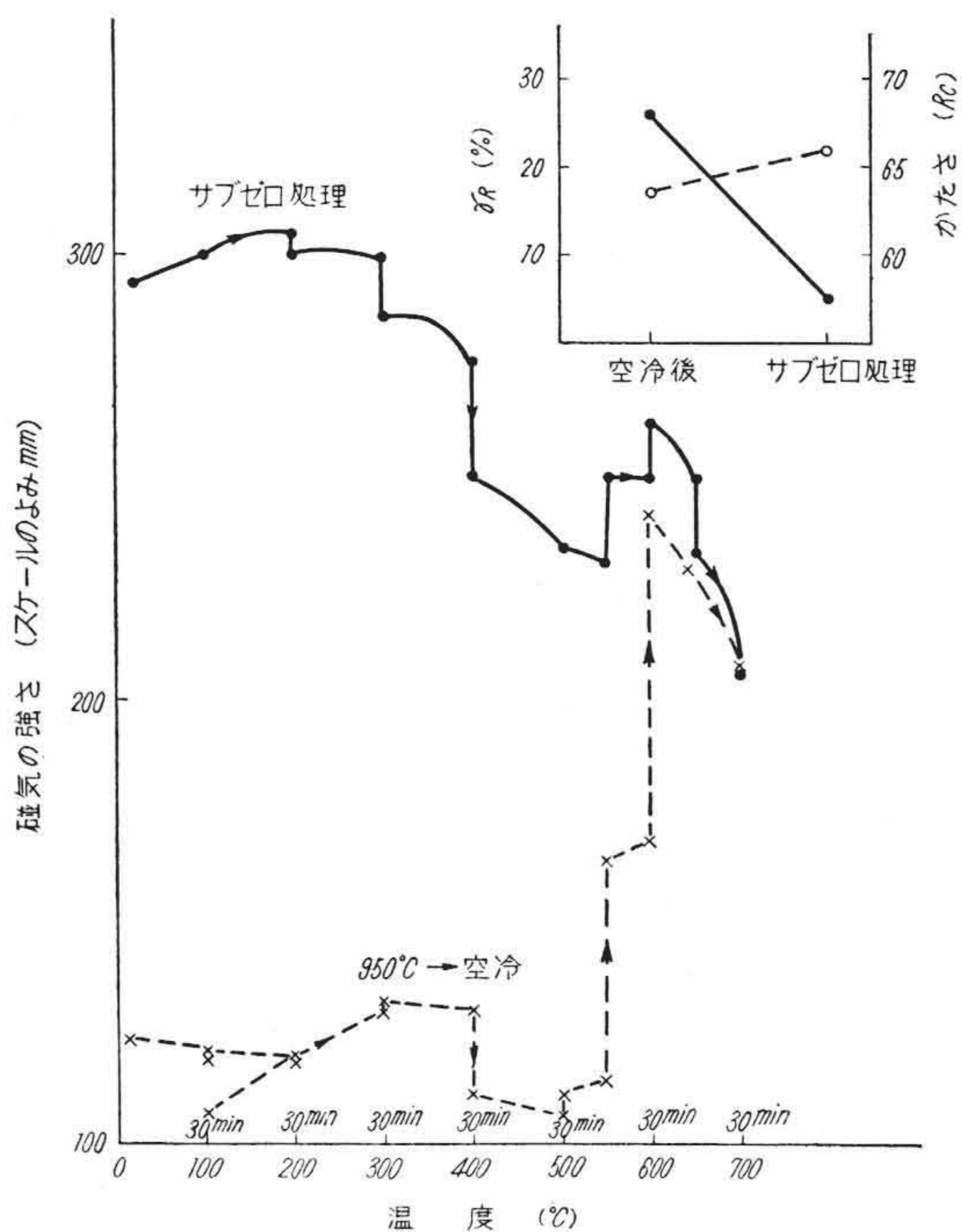
ら焼入れたものは500°Cでわずかな二次硬化を示してのち減少している。さらに1,100°C以上から焼入れたものは500~600°Cで明らかな二次硬化が起り、その温度は焼入温度が上昇するにしたがい、高温側に移行する。次に第6図は5mmφ×70mmの試片を用い各焼入温度から空冷したのち段階加熱(各温度に30min保持)した場合の磁気の強さの変化を示す。図によると磁気はいずれも300°Cでわずかに増し、500~600°Cで著しく増加し、高温側の磁気増加量は焼入温度が上昇するにしたがい増大する。また第7図は950°Cより空冷された試料を繰返し加熱冷却した場合の示差磁気分析結果(標準試料に純鉄を使用す)を示す。この場合まず試片を300°Cまで加熱し、同温度に4h保持後一たん室温まで冷却し、ついでふたたび300°Cに加熱して1h保持したのち550°Cまで加熱し1h保持したのち室温まで冷却した。また上図はその場合の γ_R 量の変化を示し、右側の図は各温度に保持している間に起る磁気の強さの変化を示す。これらからわかるように γ_R は300°Cの加熱によってはずかに変態する程度で大部分の γ_R は550°Cの高温側で分解する。したがって焼入



第8図 恒温変態図



第10図 サブゼロ処理前後の焼戻しによるかたさの変化

第9図 サブゼロ処理前後の示差磁気分析結果およびかたさならびに γ_R 量の変化

れによって生じた γ_R は低温側において非常に安定である。

3.3 恒温変態図

第8図は最高加熱温度950°Cの場合の恒温変態図を示す。図から知られるように本鋼は700°Cと300°C付近に2段のノーズを有し、400~500°Cではオーステナイトが準安定であり、SKD鋼の恒温変態図と同形に属し、また Ar_1 変態速度は Ar' 変態速度よりも大きい、ベイナイト変態速度はSKD鋼に比較すると大きい⁽²⁾。

3.4 サブゼロ処理の効果

第9図は950°Cより空冷後サブゼロ処理(-75°C)された試片について得られた磁気分析結果およびサブゼロ処理前後のかたさと γ_R の変化(第9図上段)を示す。サブゼロ処理によりかたさがわずかに増加し γ_R 量は減少する。また示差磁気分析結果をみると空冷の状態では磁気は300°Cまでわずかに増し、400°Cで減ずるが、550~600°Cにおける磁気増加量はサブゼロ処理したものが著しく少ない。これは高温側で分解する γ_R がサブゼロ処理によってマルテンサイトに変態したことによると考えられる。次に第10図は950°Cより空冷およびサブゼロ処理された試片の焼戻しによるかたさの変化であ

第2表 曲げ試験片の熱処理条件

試 番	熱 処 理 方 法
A-1	950°C油冷
A-2	950°C油冷→200°C 1h焼戻し
B-1	950°C空冷
B-2	950°C空冷→200°C 1h焼戻し
B-3	950°C空冷→250°C 1h焼戻し
B-4	950°C空冷→300°C 1h焼戻し
C-1	950°C空冷→サブゼロ処理→200°C 1h焼戻し
D-1	950°C→500°C 1h保持→空冷→200°C 1h焼戻し
D-2	950°C→500°C 7h保持→空冷→200°C 1h焼戻し

るが、焼戻温度300°C以上における両者のかたさには大差がない。

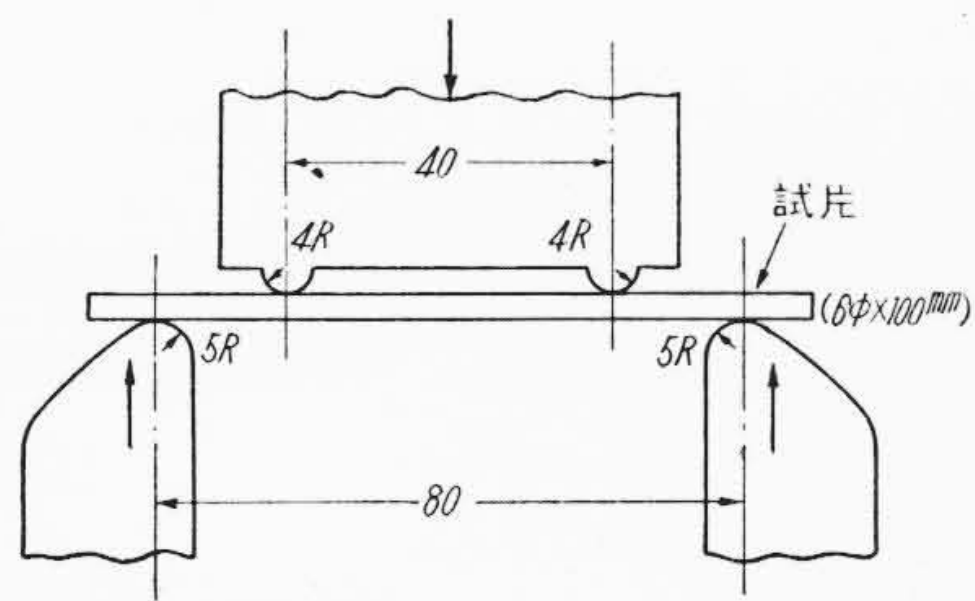
3.5 熱処理方法とじん性との関係

第2表に示す熱処理を施した試片(6mmφ×100mm l)を第11図の曲げ試験法により破断までの最大荷重およびたわみ量を求め熱処理方法とじん性との関係を研究した。第12図は以上の方法で求めた曲げ試験結果および試験前に測定したかたさおよび γ_R 量を示したものである。また図には比較のために同様の熱処理が施されたSKD鋼についての試験結果を併記した。これより油冷または空冷処理のままでは最大荷重およびたわみ量は小さいが、焼戻しするとじん性が改善され、また油冷のほうが空冷よりもわずかにじん性が大きい。さらに空冷したのちサブゼロ処理すると γ_R 量が減少しかたさは増すがじん性は減少する。

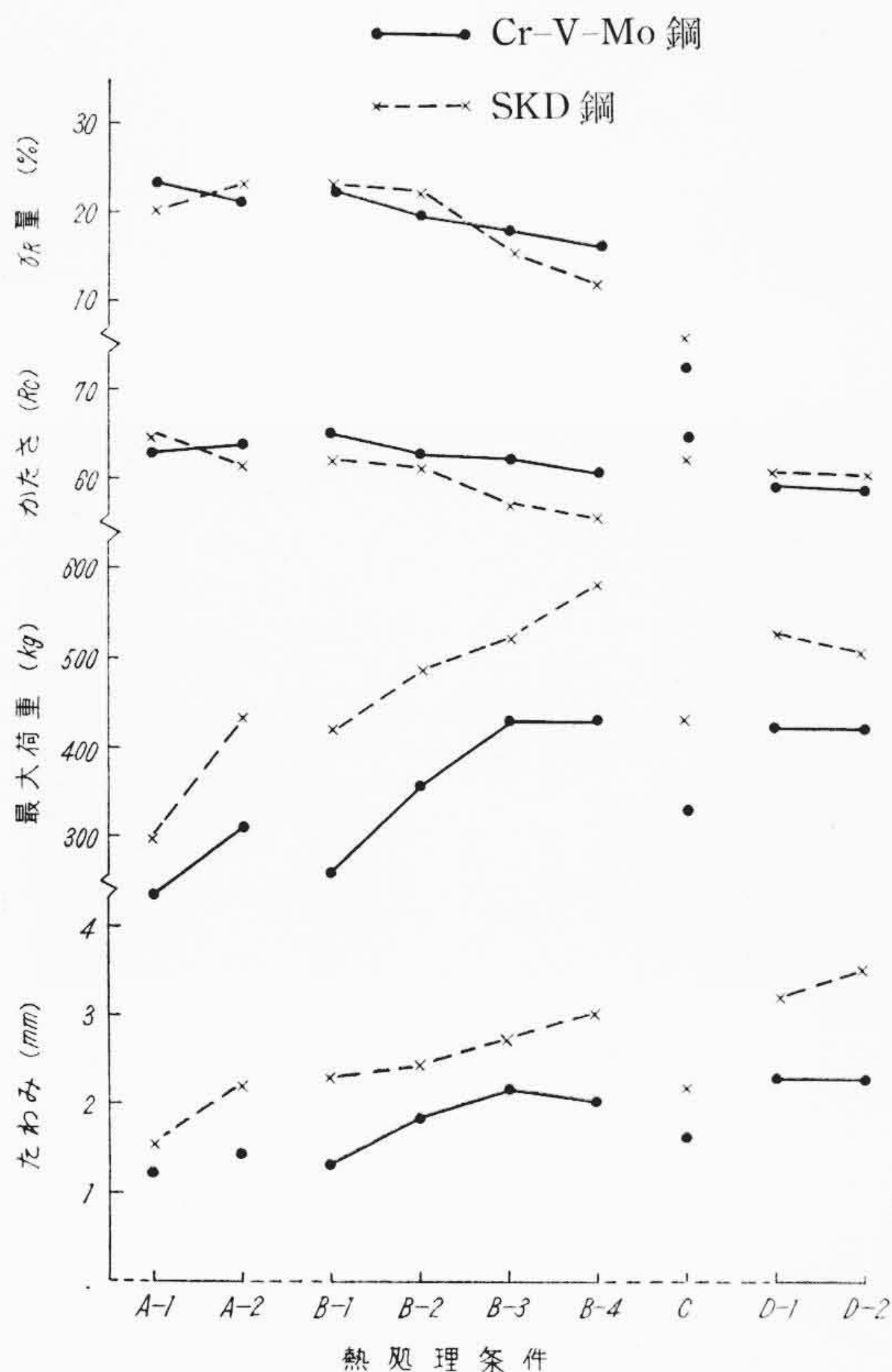
また2段焼戻試料(D-1, D-2)の場合には熱浴中の保持時間によるたわみ量の差は少ないが、油冷および空冷試料に比してじん性が改善されている。また本鋼はいずれの熱処理法による場合にもSKD鋼に比較して最大荷重およびたわみ量が少ないことが知られる。

3.6 熱処理と変形率

棒状試料(15mmφ×75mm l)および板状試料(45mm□×25mm t)を用い950°Cより空冷したのち各温度で焼戻した場合の焼戻温度と変形率との関係を追究した。第13図は棒状試料について長さ方向の変形率と焼戻温度との関係を示し、参考までにSKD鋼の結果をも併記した。これによると本鋼はSKD鋼よりもやや大きい変形率を示し、焼戻温度300および550°Cにおいて膨張の傾向を示す。これらの膨張は第7図の結果からわかるようにいずれも γ_R の分解に起因するものであることが知られる。次に第14図は板状試料について得られた焼戻温度と各方向の変形率との関係を示す。これによ



第11図 曲げ試験法



第12図 曲げ試験結果

ると変形率は鍛伸方向において0.04%大きく、また本試片のようにサブゼロ処理を行うと変形率が約0.06%増加する。なおサブゼロ処理した場合には膨張は300°C付近においては少なくなり500°C以上に変形が現われることが知られる。

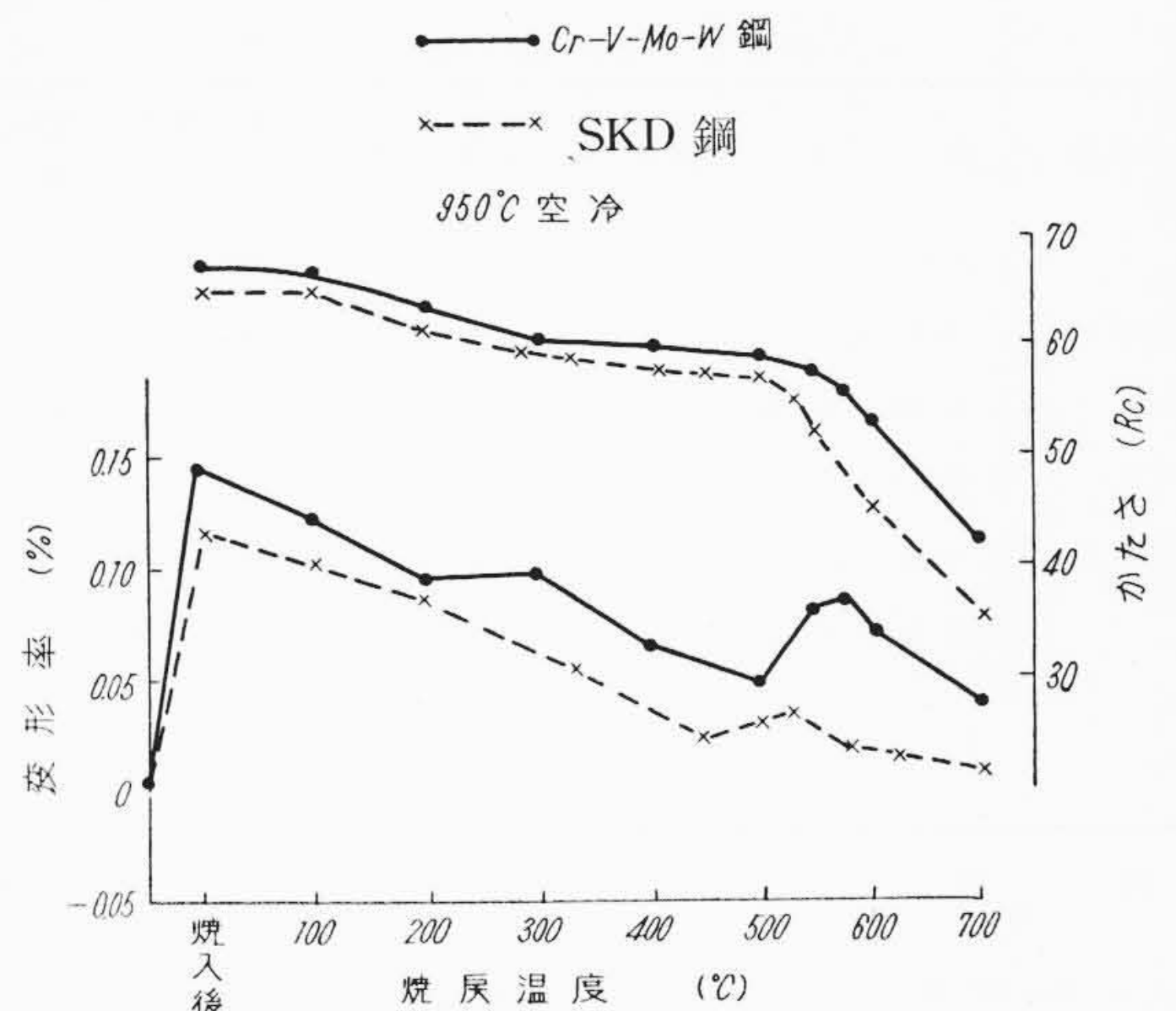
4. 被研削性および寿命試験

4.1 被研削性

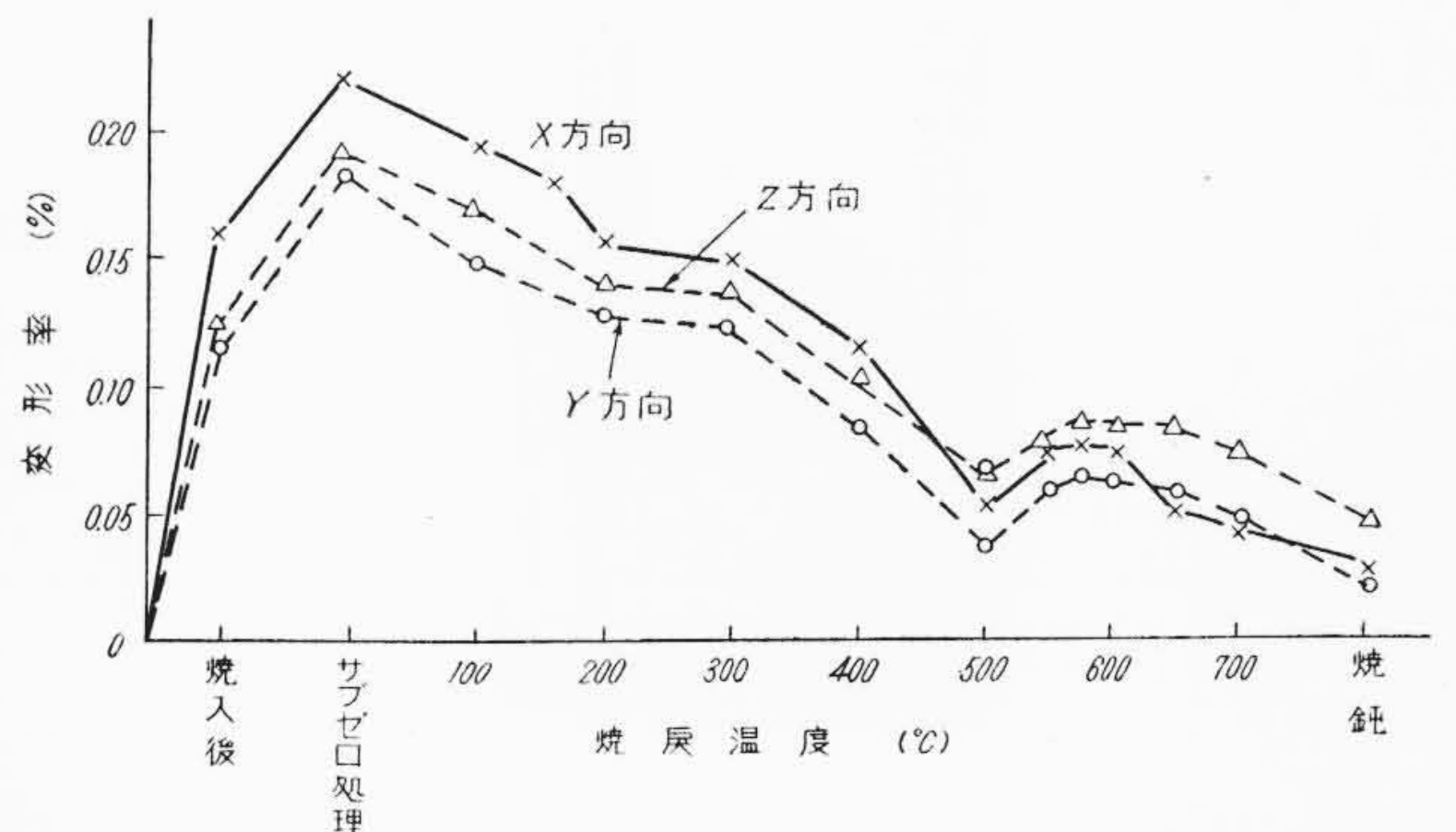
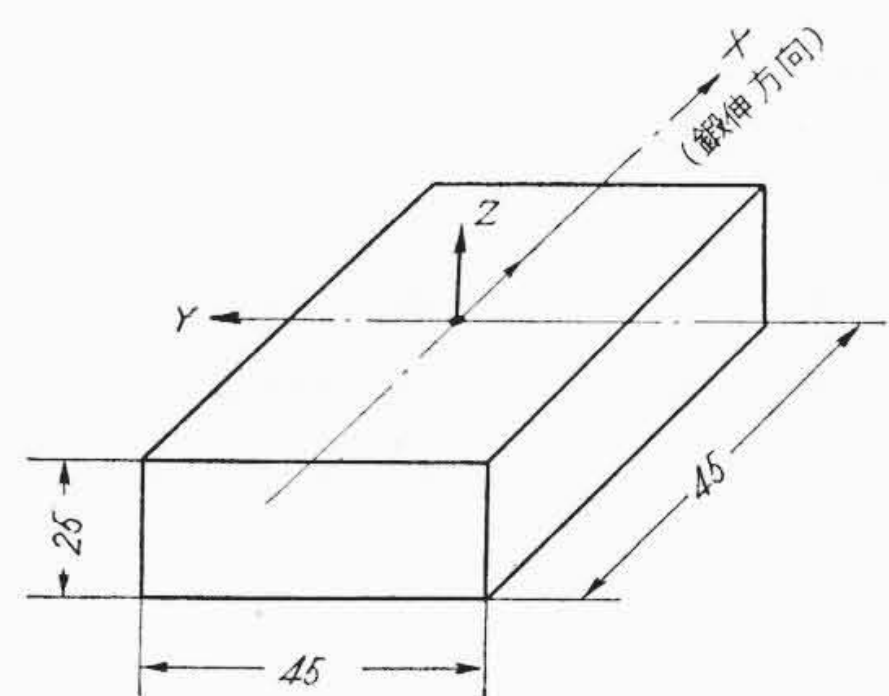
抜型は全面研摩が施行されるので研削しやすいかどうかを調査することは重要な問題である。よってまず本鋼を初め二、三の抜型鋼について第3表に示すような熱処理を施したのち理研製平面研摩盤により研削試験を行った。第4表はその場合の研削条件を示し、また研削用の石にはWA-46-IとGC-120-Iの2種類を用いた。ついでその研削屑を捕集し、十分に脱脂後と石粉と研削屑とを磁石により分離しその重量比(脱落と粒の重量/研削屑の重量×100)を求め被研削性を比較した。第5表は以上の方法で求めた3種の試料の重量比を示す。これによると重量比はSKS-3鋼が最も小さく、SKD鋼がこれに次ぎ、Cr-V-Mo-W鋼が最も大きい。すなわち研削性はCr-V-Mo-W鋼はSKD鋼の約2倍悪いことになる。一方これは耐摩耗性の点においてはCr-V-Mo-W鋼がほかの鋼種よりもはるかにすぐれている証左であろう。

4.2 寿命試験

抜型鋼としては耐摩耗性の優劣が重要な問題であるから実用形の



第13図 棒状試料の長さ方向の変形率と焼戻温度との関係



第14図 板状試料の変形率と焼戻温度との関係

第3表 試料の熱処理

試料	焼入温度 (°C)	焼入方法	焼戻温度 (°C)	硬さ (Rc)	試料の大きさ
Cr-V-Mo-W 鋼	950	油冷	200	65	mm□ 10 × 55
SKS-3 鋼	850	油冷	200	63	10 × 55
SKD 鋼	980	空冷	200	62.5	10 × 55

第4表 研削条件

と石の速度	1,600 m/min
切込み	0.005 mm
テーブル往復速度	10 m/min
テーブル送り	1.0 mm/stroke

一部の切刃ピンをCr-V-Mo-W鋼とSKD鋼とで作り打抜試験を行って寿命の比較を行った(第15図参照)。第6表は両鋼種の熱処理方法を示し、第16図は切刃ピンの外観を示す。打抜用鋼板としては0.35mm厚さの珪素鋼板を用い所定の回数打抜試験後切刃ピンの刃先の摩耗状況を観察して比較検討した。第17および18図は打抜試験後の切刃ピン刃先部の摩耗状況を示す。切断写真からも知ら

第 5 表 研 削 試 験 結 果

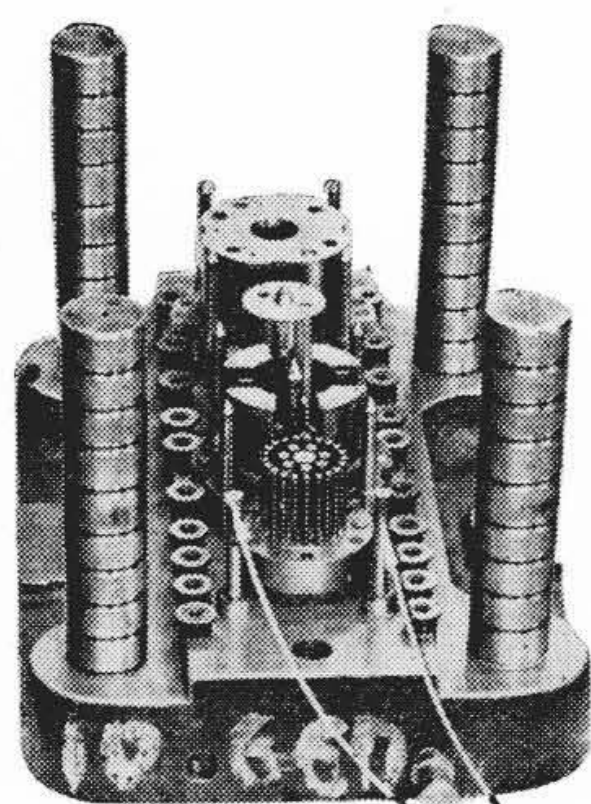
と石の種類	鋼 種	脱落せる 全重量(A) gr	脱落せると 粒の重量(B) gr	研削屑の 重量(C) gr	重量比(%) $\frac{B}{C} \times 100$	比 較
WA-46-I	SKS-3鋼	2.599	0.230	2.370	9.7	1
	SKD鋼	1.911	0.232	1.680	13.8	1.42
	Cr-V-Mo-W 鋼	1.809	0.377	1.432	26.4	2.72
Gc-120-1	SKS-3鋼	1.603	0.089	1.404	6.36	1
	SKD鋼	1.484	0.209	1.276	16.4	2.58
	Cr-V-Mo-W 鋼	1.280	0.335	0.945	35.5	5.58

第 6 表 切刃ピンの熱処理方法

鋼 種	熱 処 理 方 法	硬 さ (Rc)
Cr-V-Mo-W 鋼	950°C 油焼入後 200°C 焼戻し	65
SKD 鋼	980°C 油焼入後 200°C 焼戻し	65

第 7 表 摩耗量の測定結果

形の種類	打抜枚数	鋼 種	摩 耗 量 (X)mm					摩耗量の比較 (SKD 鋼を 1.0 とした場合)
			1	2	3	4	平均	
SR-4形	55,000	SKD 鋼	0.160	0.170	0.182	0.217	0.182	1.0
		Cr-V-Mo-W 鋼	0.124	0.112	0.143	0.104	0.121	1.5
SR-2形	32,700	SKD 鋼	0.120	0.08	0.117	0.120	0.119	1.0
		Cr-V-Mo-W 鋼	0.075	0.072	0.075	0.076	0.075	1.6



切刃ピン

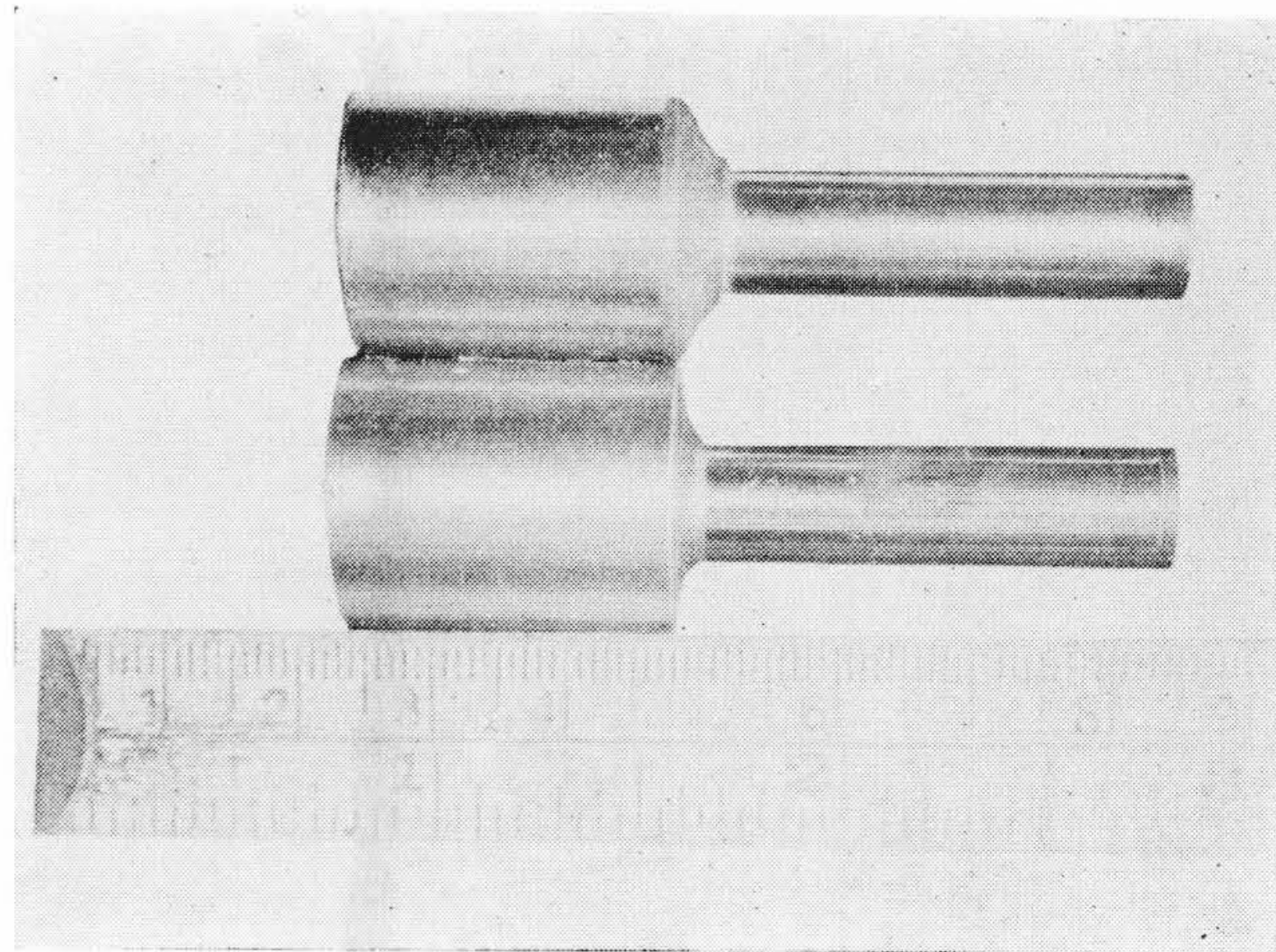
第 15 図 寿命試験用形の外觀

れるように摩耗した部分は上図における X+Z 部の刃先の側面であるが、実際には Z 部の摩耗量は著しく少ないので摩耗量の測定に際しては省略した。第 7 表は Cr-V-Mo-W 鋼と SKD 鋼とを用いて切刃ピンを作りこれらを 2 種の形に取付けて打抜後の摩耗量をピンの円周 4 箇所 X 部の長さを測定して比較したものである。これによると耐摩耗性は Cr-V-Mo-W 鋼が SKD 鋼に比して著しくすぐれ、その寿命は SKD 鋼の 1.5 倍以上あることが知られる。

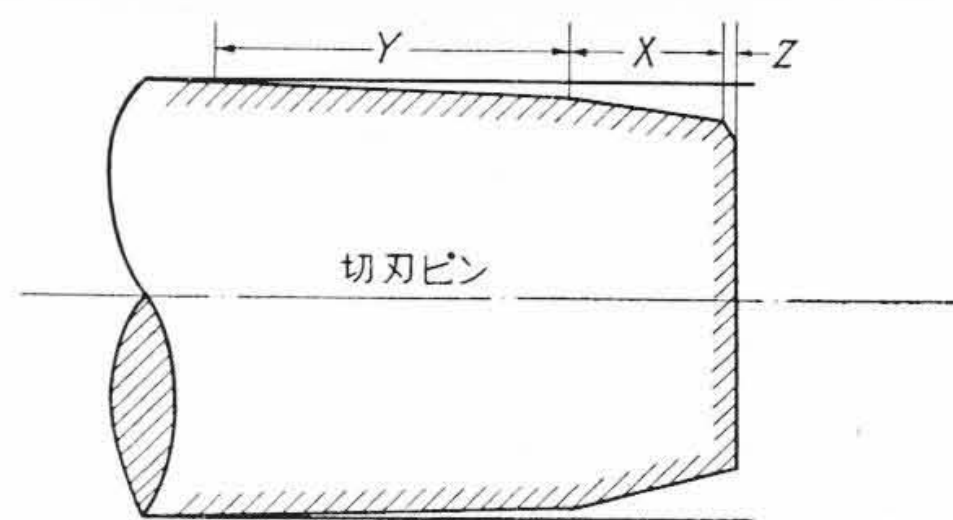
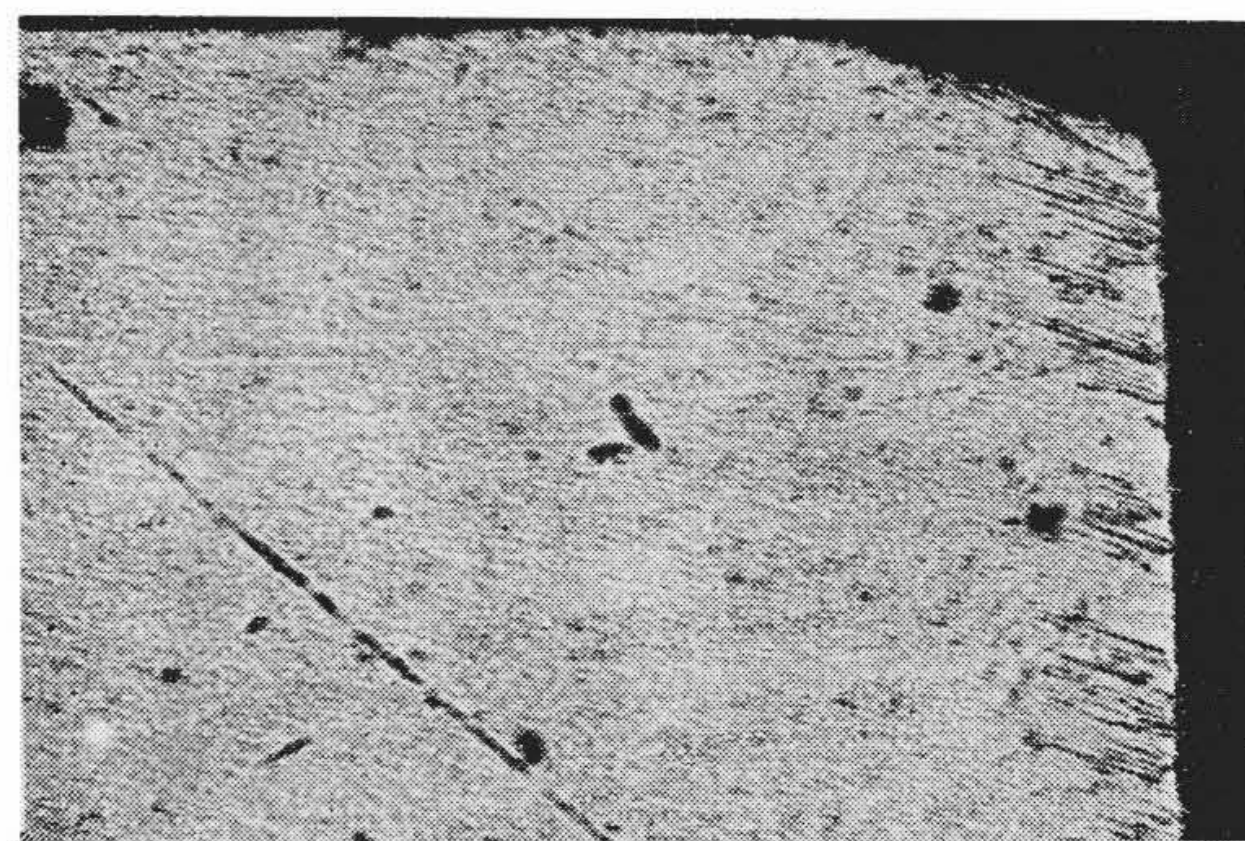
次に第 18 図は摩耗部の拡大写真である。SKD 鋼は比較的深い不規則な摩耗状況を呈しているが、Cr-V-Mo-W 鋼はこまかい均一な摩耗状況を示している。これからも Cr-V-Mo-W 鋼が打抜作業のような衝撃荷重に対しすぐれた性能を有することが知られよう。

5. 考 察

Cr-V-Mo-W 鋼の焼入性は従来の SKD 鋼とほぼ等しいことが知られ⁽²⁾、その焼入温度は 950°C 付近が適当である。しかし Cr-V-Mo-W 鋼に現われる炭化物をみるとバフ研磨のままで検出できるものと

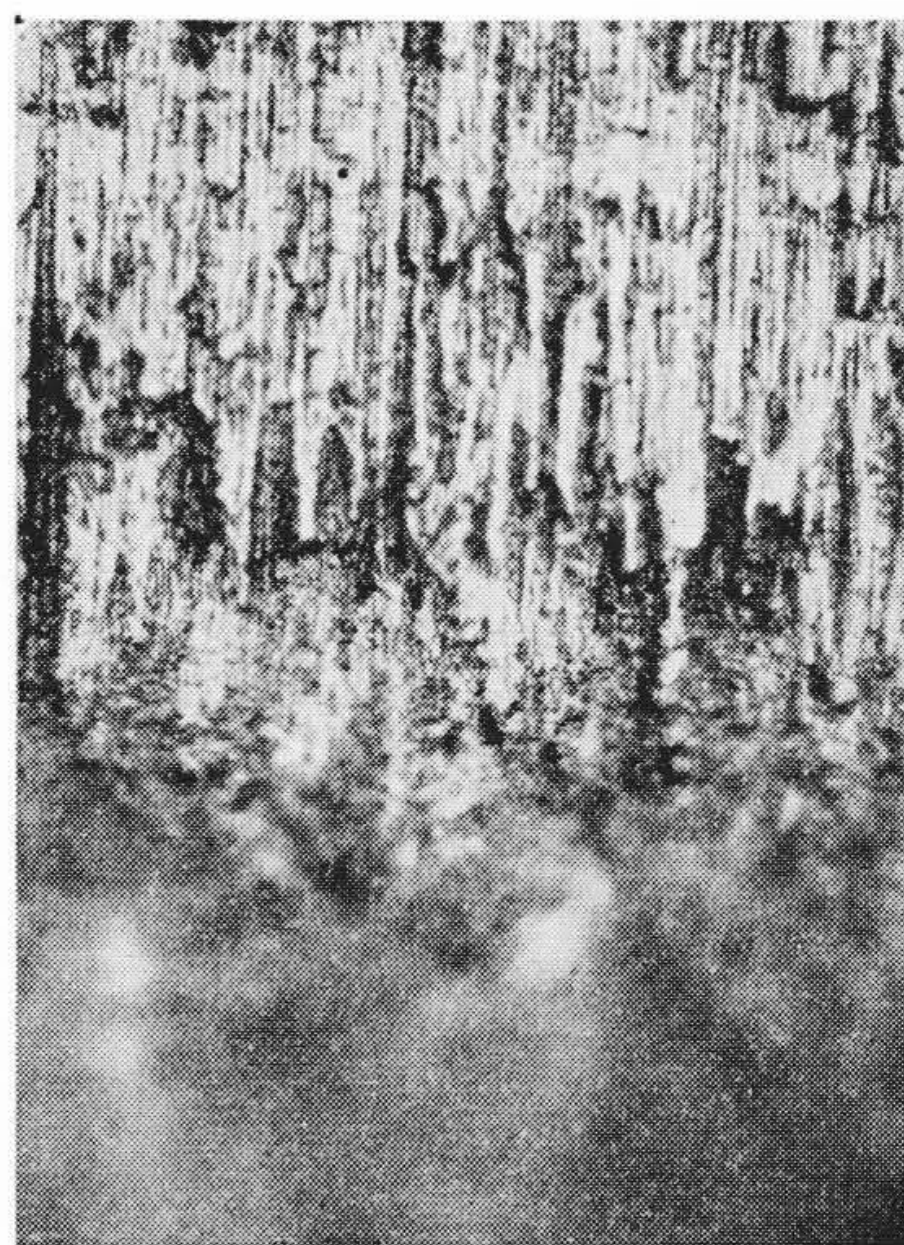


第 16 図 切刃ピンの外觀



摩耗部切断面×100

第 17 図 切刃ピンの摩耗状況



Cr-V-Mo-W 鋼



SKD 鋼

×400

第 18 図 切刃ピン尖端の摩耗状況

腐蝕後初めて検出できるものとがあって明らかに Cr または V を主体とする 2 種以上の炭化物が存在する。これについて佐藤博士ら⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾は高 C 高 Cr 鋼には (Cr, Fe)₇C₃ のいわゆる M₇C₃ 形の炭化物のみが存在し、高 C 高 Cr-V 鋼にはさらに MC 形の炭化物が存在することを報告しており、一方 Shaw and Quarrel⁽⁶⁾ は低炭素

Cr-V 鋼について 3 種以上の炭化物が存在することを述べている。したがって Cr-V-Mo-W 鋼の炭化物には M_7C_3 形の外に V を主成分とする MC 形を含む 2 種以上のものが存在するものと考えられる。

次に被研削性は Cr-V-Mo-W 鋼が SKD 鋼よりも劣っている。これは形の寿命の点からみれば前者が著しくすぐれていることを示すものであり、その耐摩耗性の向上には V を主成分とする MC 形の炭化物の存在が大きく影響しているものと考えられる。一方 Cr-V-Mo-W 鋼の被研削性が劣ることは作業工程上の隘路となるが、被研削性と耐摩耗性とは互に相反する関係にあり、むしろ被研削性は研削条件あるいは石などを吟味することにより改善することができよう。また形としての寿命は切刃ピンにより比較検討したが、これを一組の形について行うならばさらにその寿命は向上するものと考えられるので添加元素の吟味とともに今後さらに検討したい。

また熱処理方法とじん性との関係(第12図)をみると 2 段焼入法がじん性の改善に最も効果がある。これは焼入温度から一たんオーステナイトの準安定温度範囲に恒温保持する間に一部熱ひずみが除去されるとともに基質より炭化物が一様にかつ微細に析出することによる組織の微細化に基因するものと考えられる。

6. 結 言

以上の結果を要約すると下記のようなものである。

6.1 焼入温度によってかたさ、 M_s 点および γ_R 量は著しく相違し、 $1,100^\circ\text{C}$ 以上で M_s 点は常温以下に達する。焼入温度は 950°C 付近が適当である。

6.2 Cr-V-Mo-W 鋼には 2 種以上の炭化物が存在しその一つは

バフ研磨の状態で検出されるが、そのほかは腐食により容易に検出される。

6.3 焼入温度が高い場合には γ_R の分解による 2 次硬化が $550\sim 600^\circ\text{C}$ で顕著に現われる。

6.4 γ_R はサブゼロ処理により容易にマルテンサイトに変態するが、 300°C 以下の低温における焼戻しでは分解しない。

6.5 恒温変態図には 700°C と 300°C 付近に 2 段のノーズが現われ、 $400\sim 500^\circ\text{C}$ ではオーステナイトが準安定である。

6.6 2 段焼入法はじん性の改善に有効である。

6.7 Cr-V-Mo-W 鋼の熱処理変形率は SKD 鋼よりわずかに大きい。

6.8 本鋼の被研削性は従来の型鋼よりも劣るが耐摩耗性は大きい。

6.9 打抜試験結果によると本鋼の寿命は SKD 鋼の 1.5 倍以上である。

終りに臨み本研究を遂行するにあたり終始ご指導を賜った村上武次郎博士を初め三浦所長、小野部長、多賀工場の景浦、永井両課長の方々に敬意を表するとともに実験に協力された秋山浩君の労に対し感謝する。

参 考 文 献

- (1) 小柴：特殊鋼(昭27年)
- (2) 根本：日本金属学会誌，20，670 (1956)
- (3) 佐藤：鋼中の炭化物の挙動 (1956)
- (4) 佐藤，本田，西沢：鉄と鋼，42，118 (1956)
- (5) 佐藤，西沢：日本金属学会春季講演，講概 81 (1957)
- (6) S. W. K. Shaw and A. G. Quarrel: Jour. of the Iron and Steel Inst., 185, 10 (1957)

日 立 評 論

車 両 特 集 号 第 2 集

別 冊 第 40 号

- ◎わが国における最近の鉄道車両
- ◎ED71 形交流電気機関車の性能について
- ◎インド国鉄納直流 1,500V 3,020 kW (4,050 A P) 回生ブレーキ付電気機関車
- ◎台湾鉄路局納 1,500 P S ディーゼル電気機関車
- ◎1,100 P S 液体式ディーゼル機関車
- ◎最近の産業用電気機関車について
- ◎交流および交直両用電車用電気品

- ◎車両用主変圧器および高圧タップ切換器
- ◎電車用主電動機の進歩
- ◎最近の高速電車用制御装置
- ◎最近の車両用発動発電装置
- ◎列車自動制御装置
- ◎車両用冷房装置
- ◎車両用速度記録計

日 立 評 論

水力発電機器特集号第2集

別 冊 第 41 号

- ◎最近の水力設備の動向
- ◎四国電力大森川ポンプ水車および発電電動機の運転実績について
- ◎揚水発電所主機の計画について
- ◎揚水発電所の制御方式
- ◎可動翼斜流水車の特性
- ◎筒形水車および発電機について
- ◎ペルトン水車設計上の諸問題

- ◎水車调速機と系統制御
- ◎水力発電用大口弁
- ◎最近の水力発電所の制御と計測
- ◎水車材料の最近の進歩
- ◎発電機用材料の進歩
- ◎熔接構造水車ランナの製作
- ◎水車模型試験法の推移

発行所 日立評論社 東京都千代田区丸の内1丁目4番地 振替口座 東京 71824 番
取次店 株式会社オーム社書店 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 振替口座 東京 20018 番