

鍛造用型鋼に関する二三の基礎実験

小野健二* 根本正** 八重樫敏雄***

Some Fundamental Experiments on the Heat Treatment and Mechanical Strength for the Die Block

By Kenji Ono, Tadashi Nemoto, and Toshio Yaegashi
Hitachi Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

To make clear the hardenability of Ni-Cr-Mo, Ni-Cr-Mo-V and Mn-Cr-Mo-V die block steels, the isothermal transformation and quenching diagrams of these steels shown in Figs 6~9 were determined through dilatometric and microscopic study and hardness measurement. Also, effects of heat treatment methods on the mechanical properties of the above steels at high temperatures were studied.

From these results we have ascertained the following facts.

- (1) The hardenability of Mn-Cr-Mo-V steel is greater than another steels.
- (2) Impact value of Ni-Cr-Mo steel at high temperatures is larger than that of Mn-Cr-Mo-V steel.
- (3) By the addition of vanadium element the transformation rate below Ar' transformation temperature can be accelerated, and elongation and reduction of area at high temperatures are increased.
- (4) The impact value of the steel quenched in oil and tempered is higher than the steel austempered.

[I] 緒 言

鍛造用型鋼は自動車工業の発達に伴う型鍛造による多量生産の進展と相俟って優秀な材料が切望されている。終戦後一部外国から調質型鋼が輸入されているが輸入型鋼は Ni-Cr 鋼系から Cr-Mn 鋼系に移行しつつあり、これらの材質に関する調査報告は未だ発表されていない。

型鋼が具備すべき条件として特に (1) 焼入性が大であること即ち質量効果が小で内外均一に焼が入り易いこと、(2) 使用時の繰返し加熱及び冷却並びに応力に対して亀裂が発生し難いこと、(3) 使用時に於ける磨耗量の少いこと、(4) 被削性が良好なること等が挙げられる。これら材質に関する多くの文献があるが (1)~(7) 熱処理方法と機械的強度との関係を求めたものはあまりないよ

うである。

よつて著者等は既に外国製品とほぼ同等の成績を示している日立製 Ni-Cr 系型鋼⁽⁸⁾についてまずその恒温変態図を決定して熱処理性を確認し又熱処理方法と機械強度との関係を究明するとともに、他方 Mn-Cr 鋼系についても同様の実験を行い両者の諸性質を比較検討し、優秀なる型鋼の性能を明らかにした。

[II] 試 料

供試料はエルー式電気炉又は高周波電気炉により熔製した 5 ton 及び 56 kg 鋼塊の一部又はすべて所定の寸法に鍛造後変態点の上下に繰返し加熱冷却を行い炭化物を球状化してから後述の各種実験に供した。第 1 表 (次頁参照) は供試料の化学成分を示す。A 試料は Ni-Cr-Mo 鋼、B 試料は Ni-Cr-M-V 鋼、又 C 及び D 試料は Mn-Cr-Mo-V 鋼で、C 試料は熱処理実験、D 試料は機械試験に供した。

* ** *** 日立製作所日立研究所

第1表 供試料の化学成分 (%)
Table 1. Chemical Composition of Specimens (%)

成分 試料	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V	熱 処 理	備 考
A	0.58	0.50	0.13	1.41	0.83	0.31	—	(1) 850°C 油焼入れ後 675°C 焼戻し (2) 850°C→625°C 5h 恒温処理	Ni-Cr-Mo 鋼
B	0.62	0.76	0.44	1.52	1.08	0.18	0.28	(1) 850°C 油焼入れ後 675°C 焼戻し (2) 850°C→600°C 5h 恒温処理	Ni-Cr-Mo-V 鋼
C	0.54	1.14	0.06	—	0.77	0.59	0.13		Mn-Cr-Mo-V 鋼
D	0.47	1.26	0.26	—	1.13	0.34	tr	(1) 870°C 油焼入れ後 575°C 焼戻し (2) 870°C→420°C 4h 恒温処理	〃

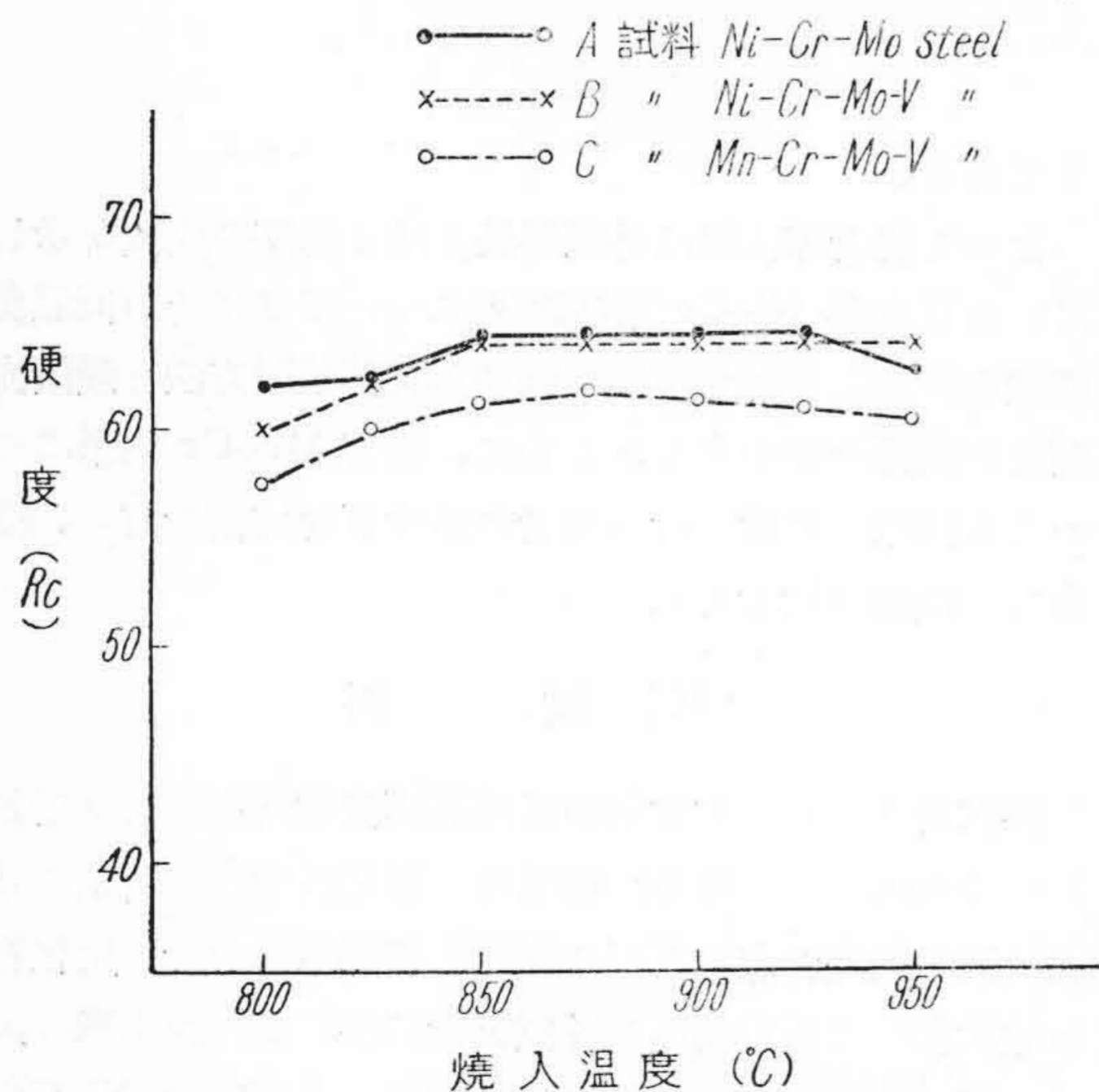
註 (1) は焼入れ焼戻法 (2) は恒温処理法を示す。

[III] 焼入及び焼戻温度と硬度

まず各鋼種について変態点並びに滲炭法による結晶粒度を測定した。次いで 800~950°C の温度範囲で 25°C おきの各温度に 15 分間保持後油焼入れを行い焼入温度と硬度との関係を求めた。更に A 及び B 試料は 850°C, C 試料は 870°C よりそれぞれ油焼入れしたものを 100~700°C の範囲で 100°C おきに 1 時間焼戻しを行い焼戻温度と硬度との関係を求めた。

第2表は各試料の変態点及び結晶粒度を示す。D 試料は他に比してC量がやゝ低く又 Cr 量が高いため変態温度が高く現われている。

第1図は各試料の焼入温度と硬度との関係を示す。この図から焼入温度 850°C までは焼入温度の上昇に従い硬度は増加するが、一定温度を超えると残留オーステナイ

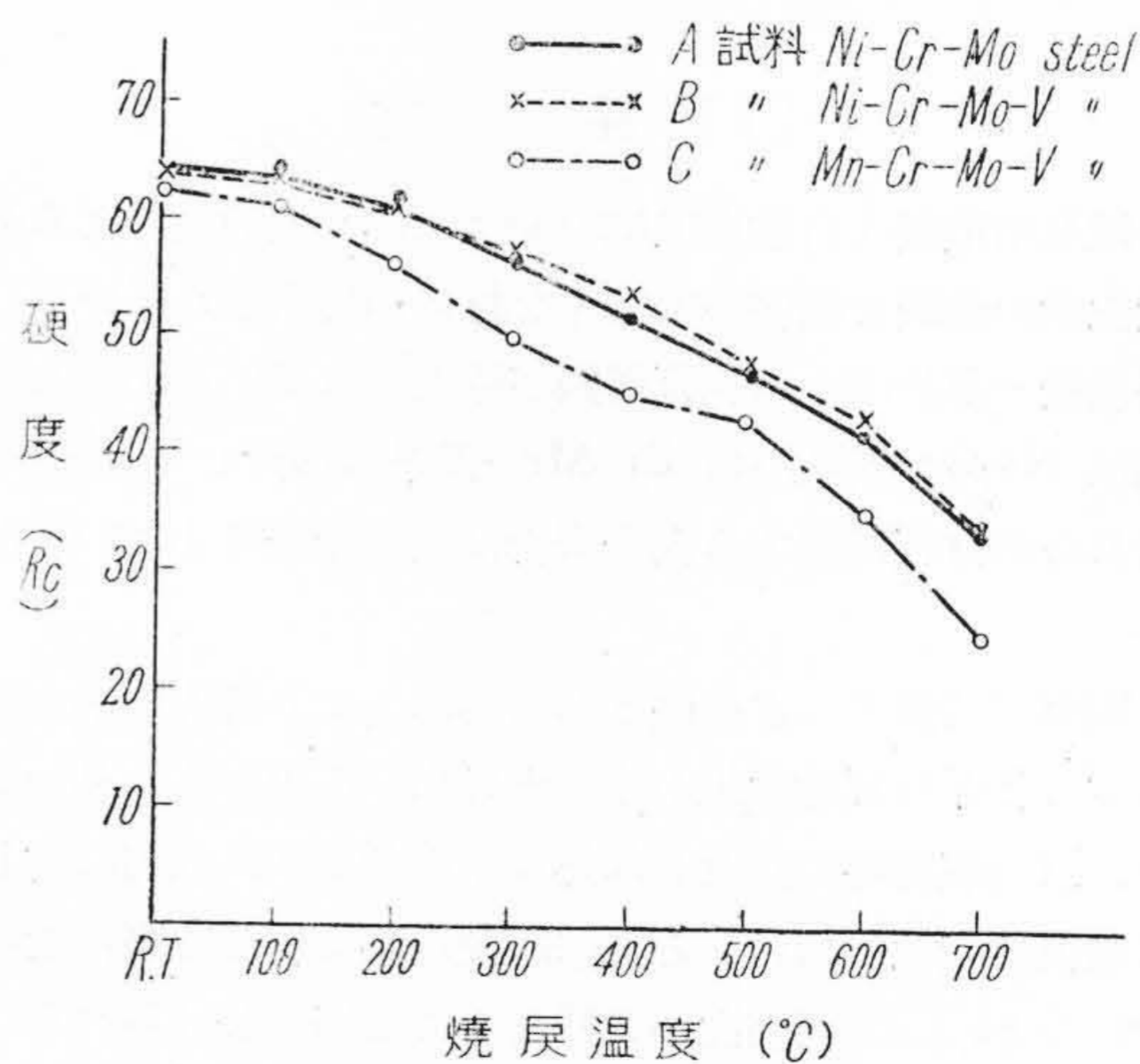


第1図 試料 A, B 及び C 焼入温度と硬度との関係
Fig. 1. Relation between Quenching Temperature and Hardness of Specimens A, B and C.

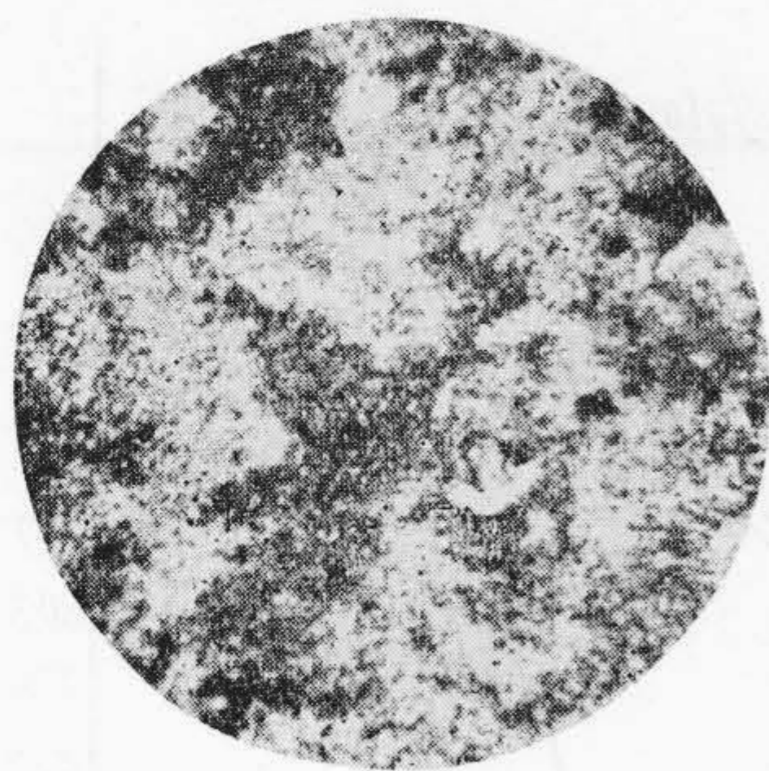
第2表 各試料の変態点及び結晶粒度
Table 2. Transformation Points and Grain Size of Specimens

試料	変 態 点 (°C)				結晶粒度 No.
	加 熱		冷 却		
	開 始	終 了	開 始	終 了	
A	735	760	657	617	7
B	733	774	664	641	7
C	730	755	678	655	5 20% 7 80%
D	750	780	678	658	6

トの生成により硬度減少の傾向がみられる Ni-Cr 鋼系と Mn-Cr 鋼系の焼入硬度を比較すれば前者が僅か高い。これは Mn-Cr 鋼は焼入性が大であるため残留オーステナイ



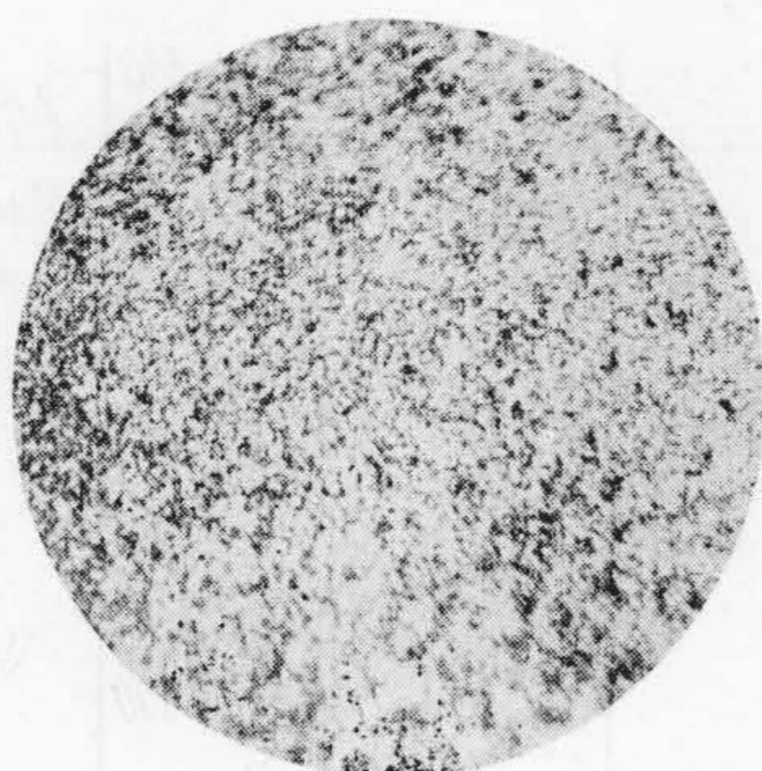
第2図 試料 A, B 及び C 焼戻温度と硬度との関係
Fig. 2. Relation between Tempering Temperature and Hardness of Specimens A, B and C.



×450

第3図 試料 A 850°C 油焼入後 675°C 1時間焼戻し (ソルバイト)

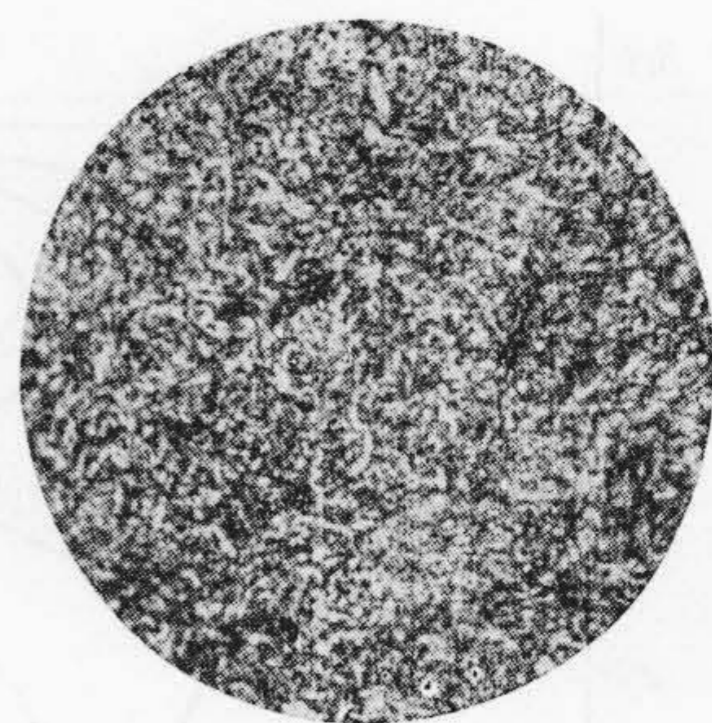
Fig. 3. Specimen A Quenched in Oil at 850°C and Tempered at 675°C for 1 Hour (Sorbite)



×450

第4図 試料 B 850°C 油焼入後 675°C 1時間焼戻し (ソルバイト)

Fig. 4. Specimen B Quenched in Oil at 850°C and Tempered at 675°C for 1 Hour (Sorbite)



×450

第5図 試料 C 870°C 油焼入後 575°C 1時間焼戻し (ソルバイト)

Fig. 5. Specimen C Quenched in Oil at 870°C and Tempered at 575°C for 1 Hour (Sorbite)

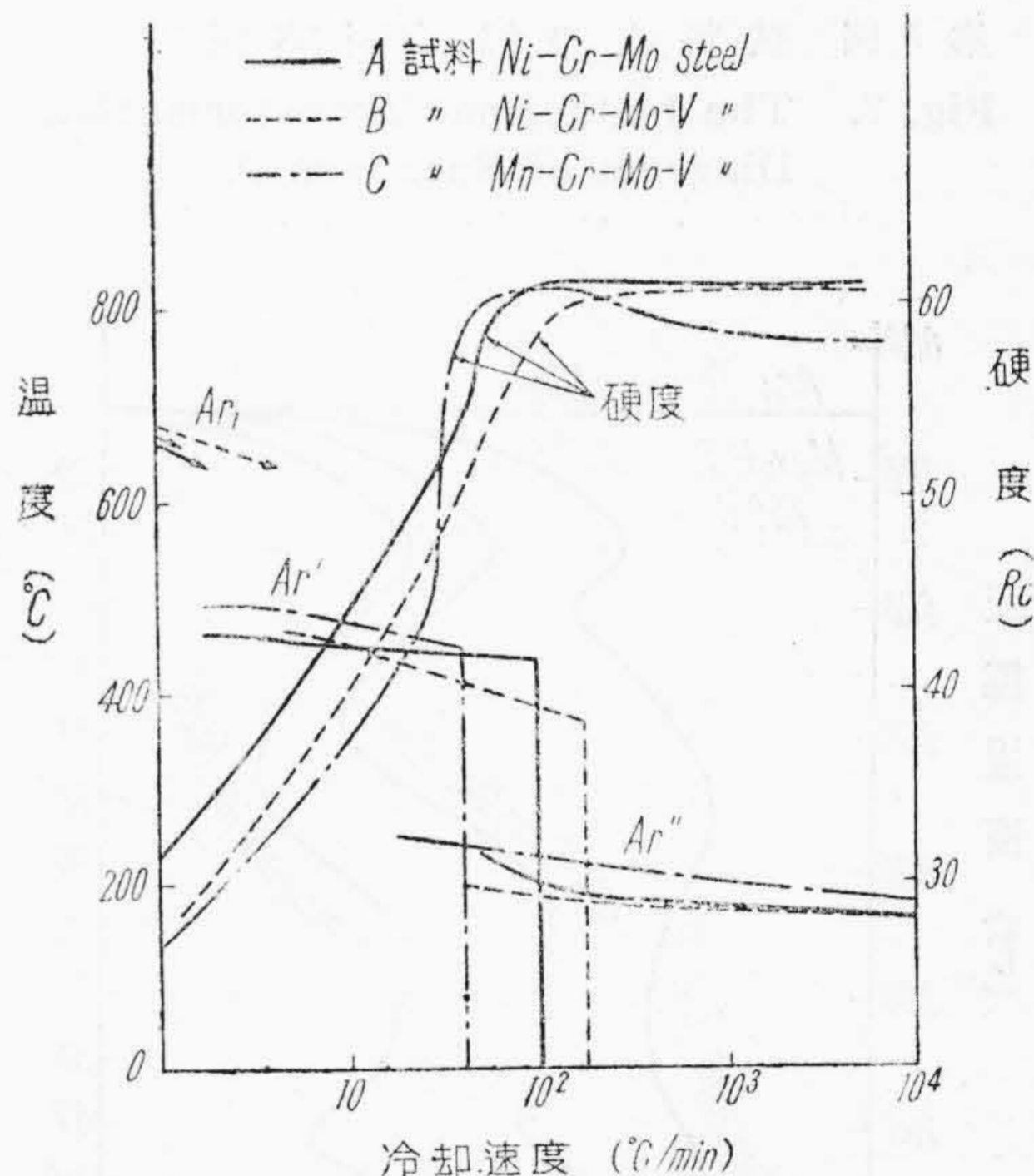
ナイトが生成され易いことに起因するものと考えられる。次に第2図は焼戻温度と硬度との関係を示し、Mn-Cr 鋼系が Ni-Cr 鋼系に比しやや低い硬度を示すが、焼戻温度による変化に対して各試料とも同傾向を示している。

以上の結果より型鋼の規格硬度 SHN 45~52 (Rc 29~37) とするために A 及び B 試料は焼入温度 850°C、C 試料は 870°C とし、焼戻温度は A 及び B 試料は 675°C、C 試料は 575°C が適当なことが知られる。

第3~5図は各試料を上述の方法で熱処理した顕微鏡組織を示す。組織はどれもソルバイトであるが、C 試料は焼入温度が高いために他の試料に比し粗い組織を示している。

[IV] 焼入状態図

佐藤式自記焼入試験機を用い種々の速度で等速冷却を行い冷却速度と変態生起温度を知り、又硬度との関係を求めた。実験に際し予め試験片の中央に孔をあけておきこの中に熱電対の先端を挿入して試料の温度を測定した。但し高温より低温まで等速冷却を行うことは困難であるから比較的変態の生起し易い温度即ち 500~600°C に於ける平均冷却速度をもつて示した。第6図は A、B 及び C 試料の焼入状態図をまとめたもので、左縦座標に変態生起温度、右縦座標に常温に冷却後の硬度を示した。この図から各試料の焼入性を比較すると C 試料の Mn-Cr 鋼が最大で次いで A 及び B の Ni-Cr 鋼がこれにつぐことがわかる。即ち完全なマルテンサイト組織を得る臨界冷却速度は C 試料では 40°C/分、A 試料では 100°C/分、B 試料では 120°C/分 である。本鋼種は



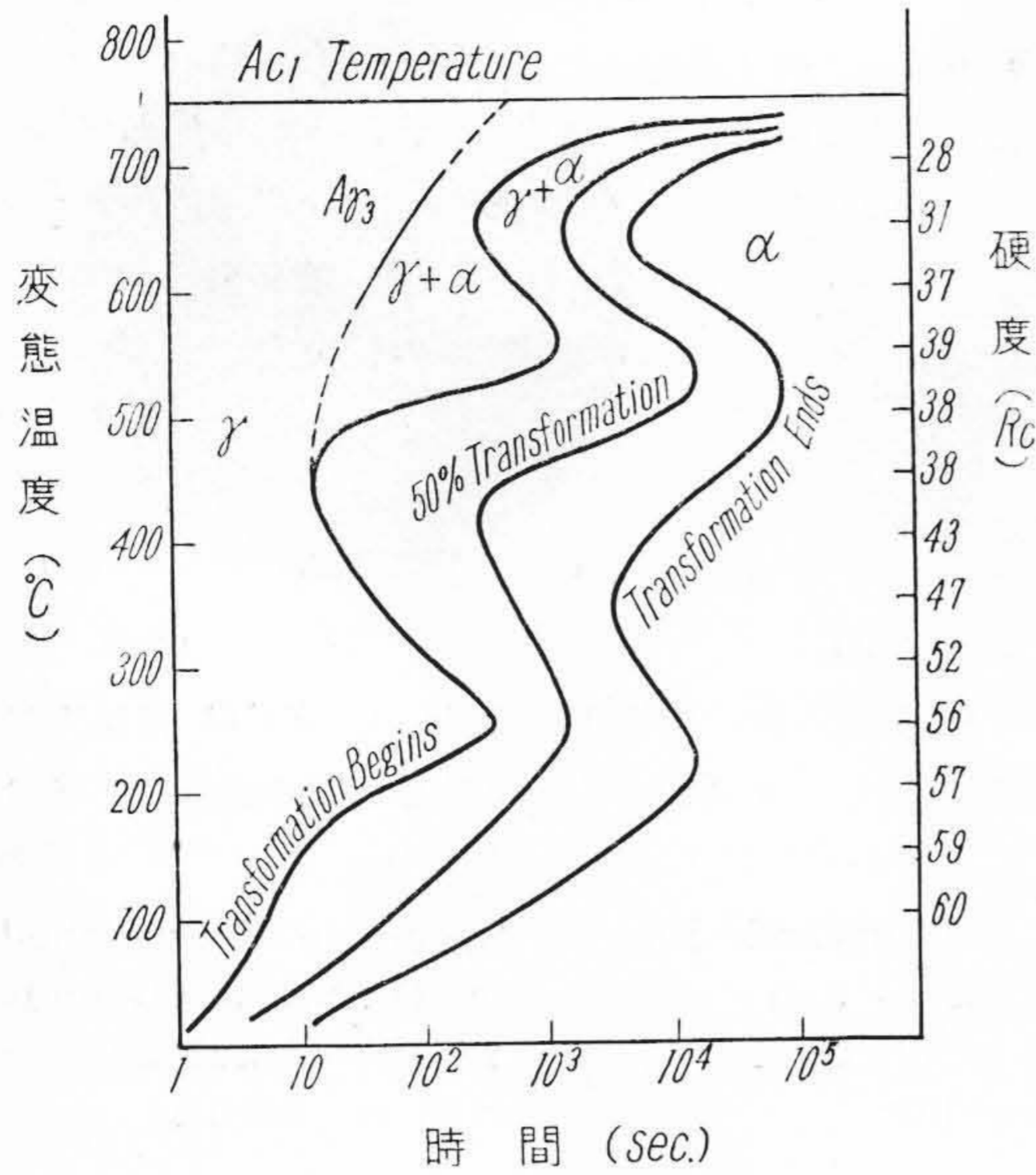
第6図 試料 A、B 及び C の焼入状態図
Fig. 6. Quenching Diagrams of Specimens A, B and C

Cr 及び Mo を含有しているから等速冷却で中間段階のベーナイト組織が現われるためベーナイト+マルテンサイト組織を示す。この事実は Grange 氏及び河合、小川両氏もみとめている(9)~(10)。又図中に示してある冷却速度と冷却後の硬度との関係からも上述の傾向は明らかに察知される。

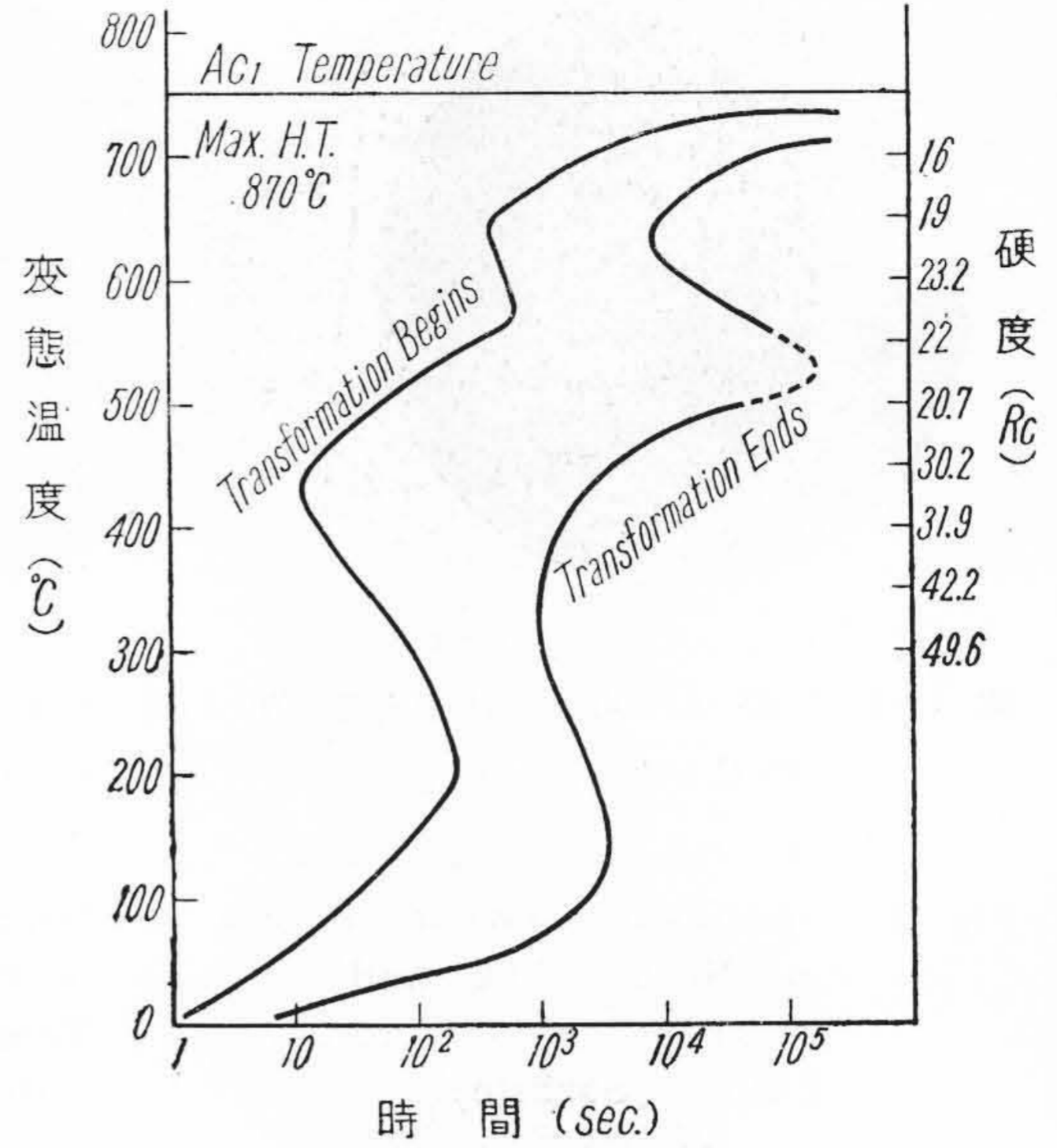
以上の結果より Mn-Cr 鋼が他の2種の Ni-Cr 鋼系に比し熱処理の容易であることが首肯されるのである。

[V] 恒温変態図

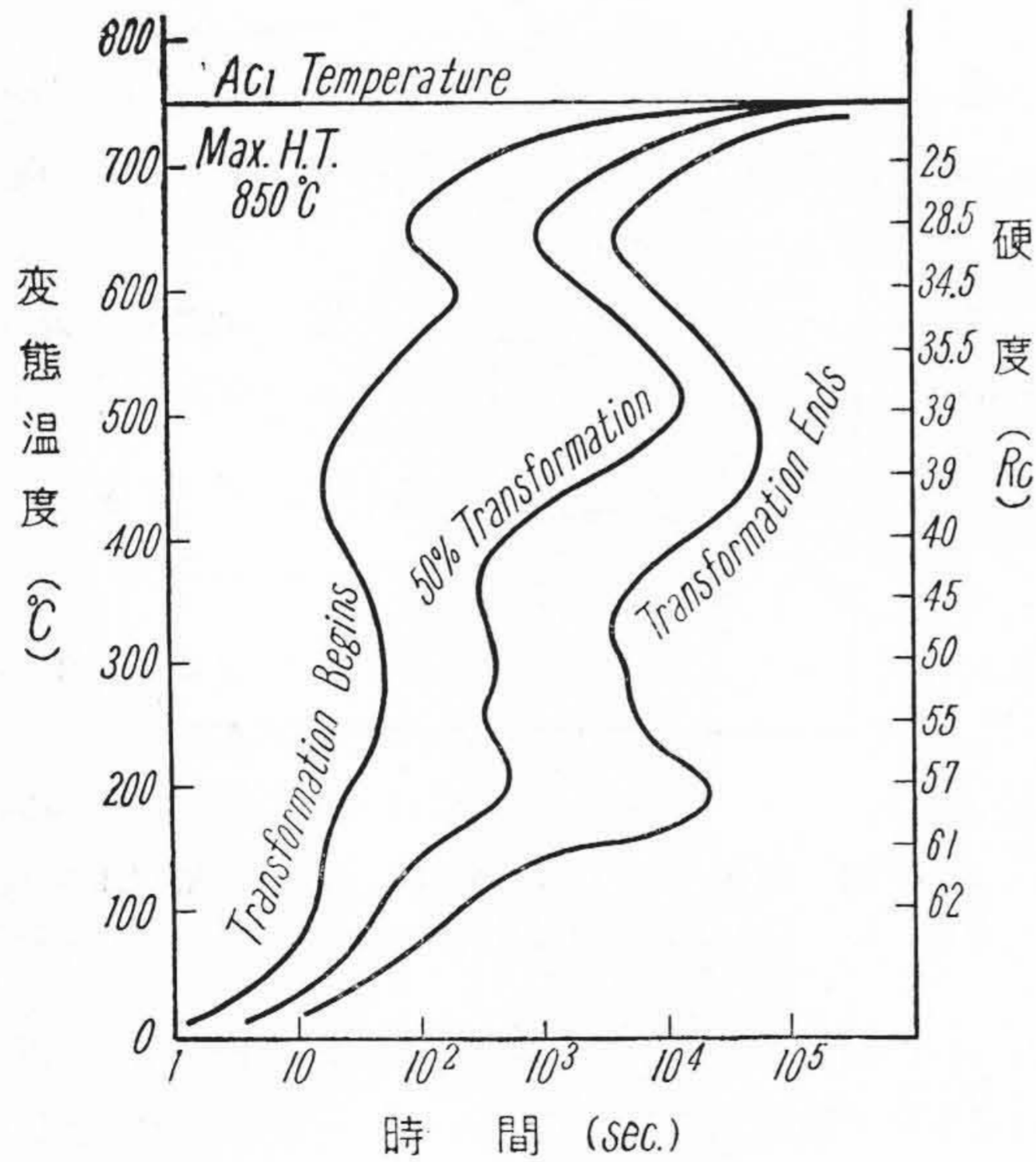
各試料につき佐藤式自記焼入試験機を用い第1表に示



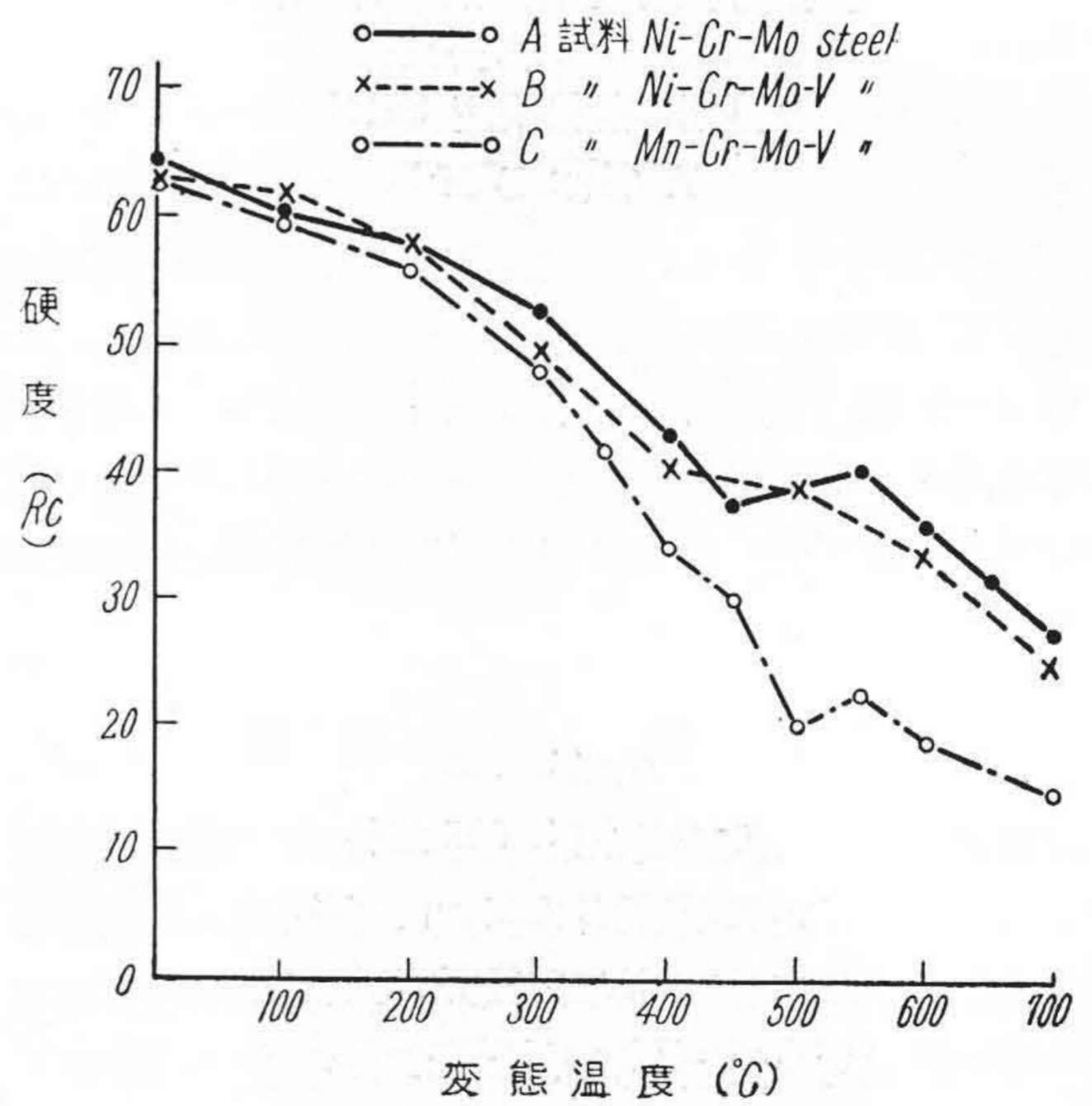
第 7 図 試料 A の恒温変態図
Fig. 7. The Isothermal Transformation Diagram of Specimen A



第 9 図 試料 C の恒温変態図
Fig. 9. The Isothermal Transformation Diagram of Specimen C



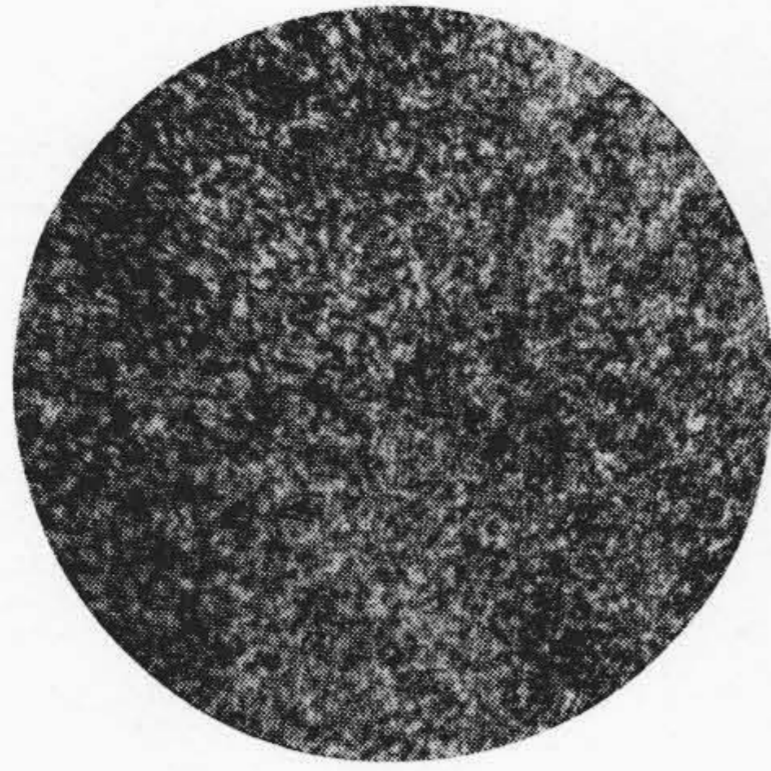
第 8 図 試料 B の恒温変態図
Fig. 8. The Isothermal Transformation Diagram of Specimen B



第 10 図 試料 A, B 及び C の変態終了後の硬
度と変態温度との関係
Fig. 10. Relations between Hardness and
Transformation Temperature of
Specimens A, B and C after Is-
othermally Transformed

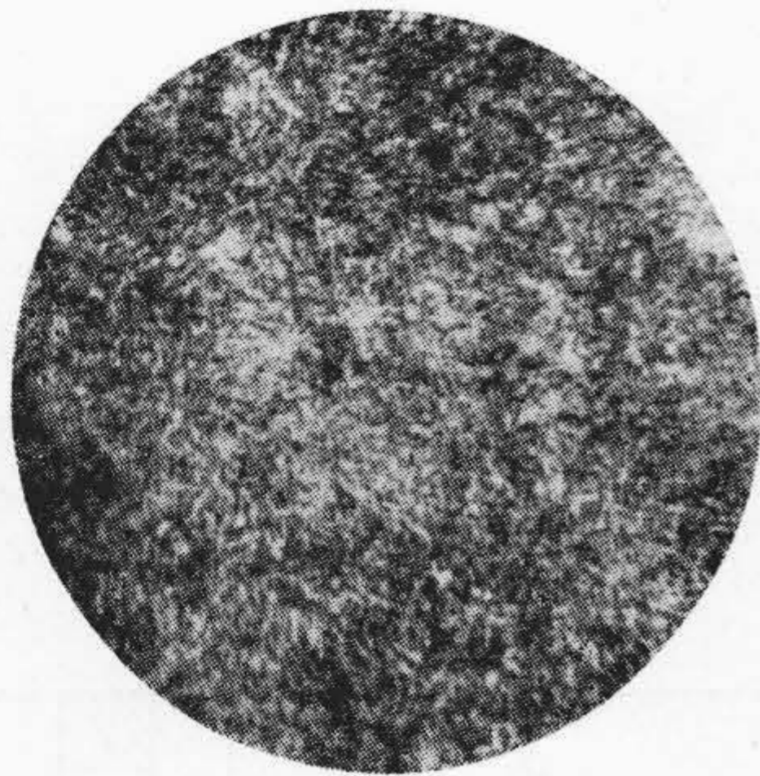
す焼入温度から A_1 点以下の各変態温度まで急冷しその温度に於ける長さの変化と又 300°C 以上の各温度では変態保持時間に伴う組織及び硬度的変化を求め、これらよりそれぞれの恒温変態図を定性的に決定した。第 7~9 図は A, B 及び C 試料の恒温変態図を示す。何れの鋼も

Cr 及び Mo を含有するために恒温変態図に於て 2 段のノーズがみとめられ、又 600°C 附近の Ar_1 変態開始曲線は Ar' 変態開始曲線よりおくれていることが知られる。又恒温変態速度に及ぼす V の影響は村上、今井両博



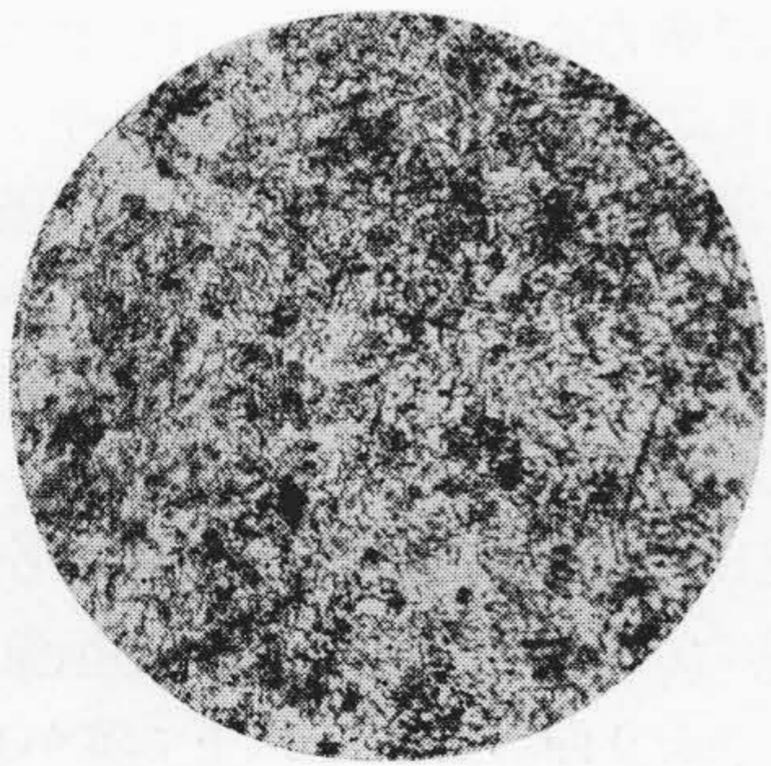
×450

第 11 図 試料 A 最高加熱温度 850°C より 625°C
5 時間恒温処理後水冷 (ソルバイト)
Fig. 11. Specimen A Austempered at 625°C
for 5 Hours and Quenched in Water
(Austenitizing Temperature 850°C)
(Sorbite)



×450

第 12 図 試料 B 最高加熱温度 850°C より 600°C
5 時間恒温処理後水冷 (ソルバイト)
Fig. 12. Specimen B Austempered at 600°C
for 5 Hours and Quenched in Water
(Austenitizing Temperature 850°C)
(Sorbite)



×450

第 13 図 試料 C 最高加熱温度 870°C より 420°C
4 時間恒温処理後水冷 (ソルバイト)
Fig. 13. Specimen C Austempered at 420°C
for 4 Hours and Quenched in Water
(Austenitizing Temperature 870°C)
(Sorbite)

士⁽¹¹⁾により明らかにされているが、本実験に於ても第 8 図及び第 9 図からその影響が明らかにみとめられる。即ち変態開始時間は早く、特に Ar' 変態温度以下でその傾向が著しい。又この結果と前述の臨界冷却速度とはよく一致していることがわかる。第 9 図の Mn-Cr 鋼系と第 7 図の Ni-Cr 鋼系の恒温変態図を比較すると 600°C 以上及び 200°C 以下の温度に於ける変態速度は前者が小さい。

次に第 10 図は各試料の各変態温度に於ける変態終了直後の硬度 (Rc) を示す。図から硬度は 500°C 附近まで変態温度の上昇するにしたがつて減少し 500~550°C の範囲で一旦増加後再び減少し、400~500°C の範囲で著しく減少するのがわかる。これは 400~500°C の範囲に於て変態開始時間が早いにも拘らずその後の変態速度が極めて緩慢であるために変態初期に生成された組織が、一部炭化物の球状化をおこし、又 500~550°C の範囲では変態終止に長時間を要するために見掛上終止した如く認められるが、なお一部未変態のオーステナイトが残留し水焼入れでマジテンサイトに変態したことによると考えられる。

以上の結果から型鋼の規格硬度を得る恒温処理としてはそれぞれの最高加熱温度より急冷し A 試料は 625°C に 5 時間、B 試料は 600°C に 5 時間及び C 試料は 420°C に 4 時間保持するのが適当で以下述べる恒温処理はこの方法によつた。

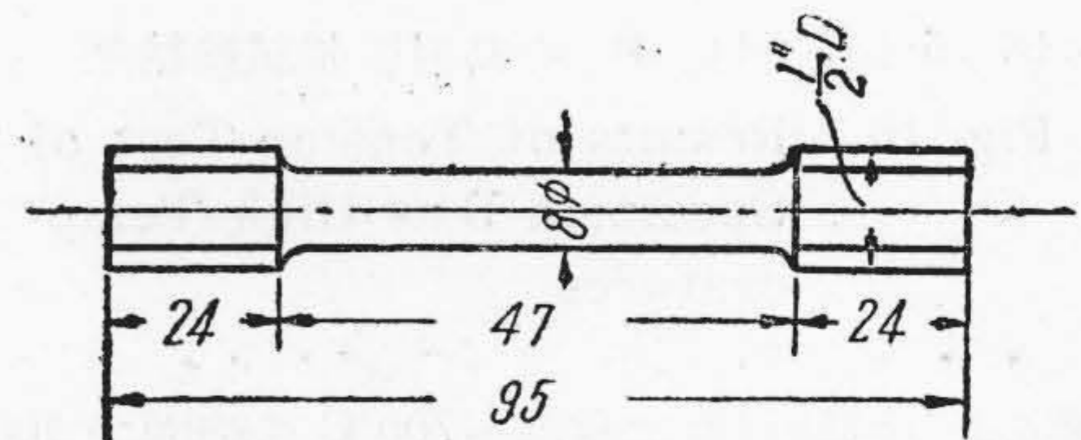
第 11~13 図は各試料を上述の方法で処理した場合の顕微鏡組織を示す。いずれもソルバイト組織である。

[VI] 高温に於ける機械的性質

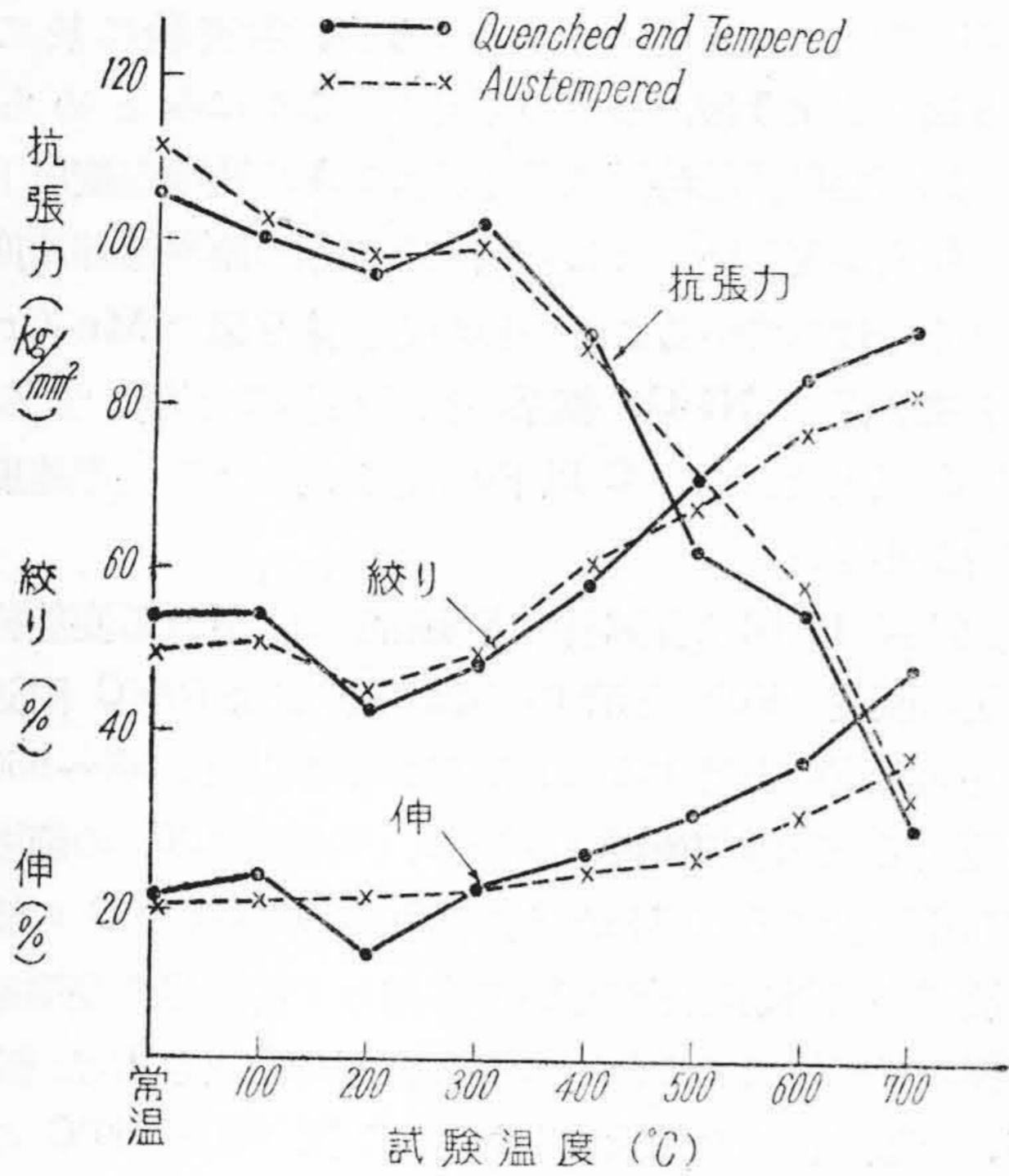
型鋼は高温で繰返し応力を受けながら使用されるので高温強度の大なることが望まれるが、材質並びに熱処理方法と強度との関係を明らかにするため高温に於ける機械的性質について実験した。即ち A, B 及び D 試料につき第 1 表に示すような焼入焼戻し及び恒温処理を施して次に述べる各種実験に供した。

(1) 高温抗張試験

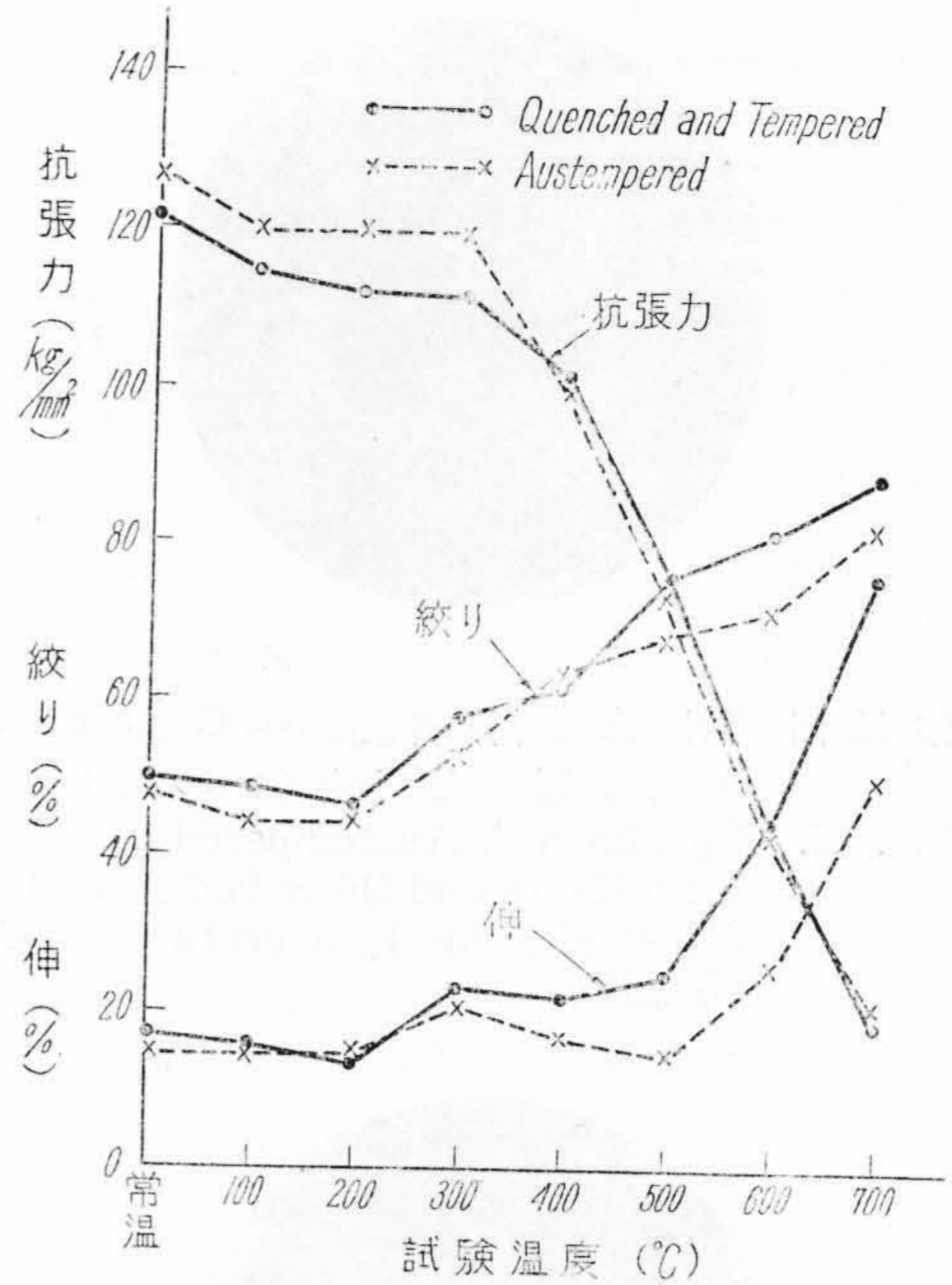
第 14 図に示す試験片を用い、20ton アムスラー引張



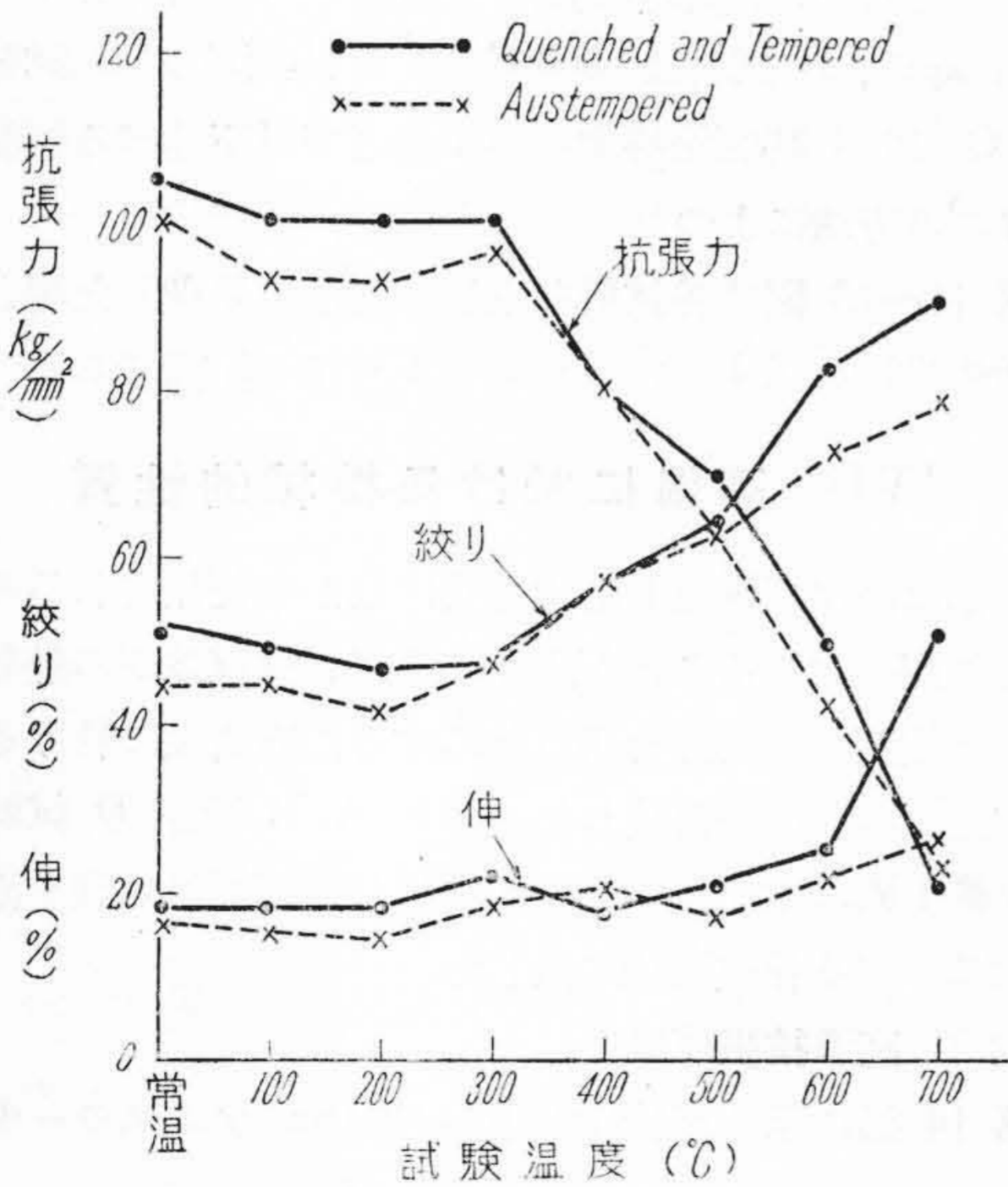
第 14 図 高温引張試験片
Fig. 14. Dimensions of Tensile Test
Piece for High Temperatures



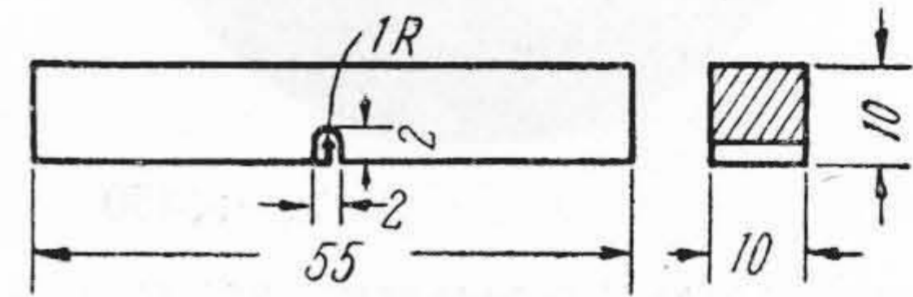
第 15 図 試料 A の高温引張試験結果
 Fig. 15. Results of Tension Test of Specimen A at High Temperatures



第 17 図 試料 D の高温引張試験結果
 Fig. 17. Results of Tensile Test of Specimen D at High Temperatures



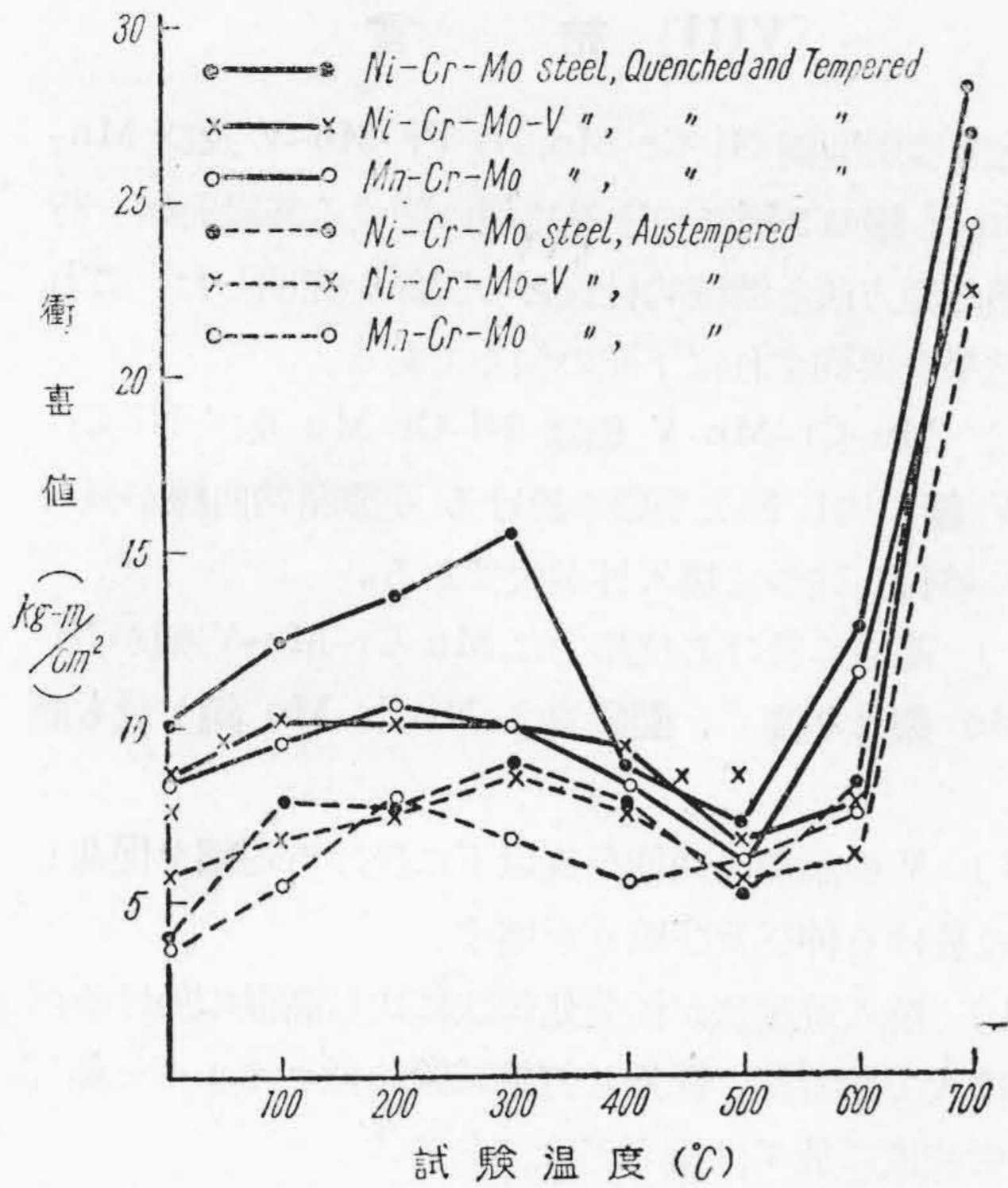
第 16 図 試料 B の高温引張試験結果
 Fig. 16. Results of Tension Test of Specimen B at High Temperatures



第 18 図 衝撃試験片
 Fig. 18. Dimensions of Impact Test Piece

試験機により試験温度は常温～700°C の範囲で 100°C おきの各温度とし、その温度に 30 分間保持後荷重し破断せしめた。第 15～17 図はこれらの試験結果を示し、図中実線は焼入焼戻し、点線は恒温処理を行ったものであ

る。即ち第 15 図は A 試料の試験結果で、抗張力及び絞りの変化より判るように 300°C 附近に青熱脆性がみとめられる。又抗張力は 300°C 以上では急激に減少し、絞りは増加するが、伸は 500°C 附近まで変化がなく 600°C 以上で増す。熱処理方法による強度の差は僅かではあるが、恒温処理法が焼入焼戻法に比し劣っている。次に第 16 図の B 試料に於て耐熱性は Ni-Cr-Mo 鋼に比し良好であるが、抗張力及び絞りにみられるように青熱脆性が明らかに現われている。熱処理方法による強度の差は A 試料と同様にあまりみとめられないが恒温処理が、焼入焼戻しのものより伸が 500°C 以上で僅か低い。又第 17 図は D 試料の試験結果を示す。抗張力は 300°C まで変化がなくこれ以上の温度に於て A 及び B 試料と同様に急減する。絞りは 200°C で最小値を示し温度上昇に従い増加し、伸は 500°C まで漸増するが、伸の回復温度は A 及び B 試料のそれに比し高温側に移行している。



第 19 図 試料 A, B 及び D の高温衝撃試験結果
Fig. 19. Results of Impact Test of Specimens A, B and D at High Temperatures

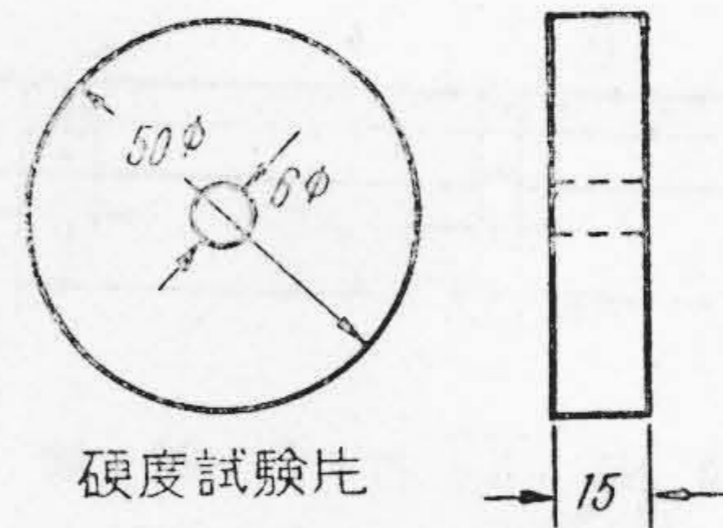
以上の結果を各鋼種について比較すると抗張力はMn-Cr 鋼が最も高く、絞りは三者間にあまり相違がないが、伸は焼入焼戻処理の Mn-Cr 鋼が比較的高い。特に型鋼の使用温度即ち 400~500°C の範囲に於ける強度を比較するに Mn-Cr 鋼が Ni-Cr 鋼系に比し優秀である。又熱処理方法による強度の差は恒温処理の場合が、焼入焼戻に比し伸及び絞りが僅かに低い。

(2) 高温衝撃試験

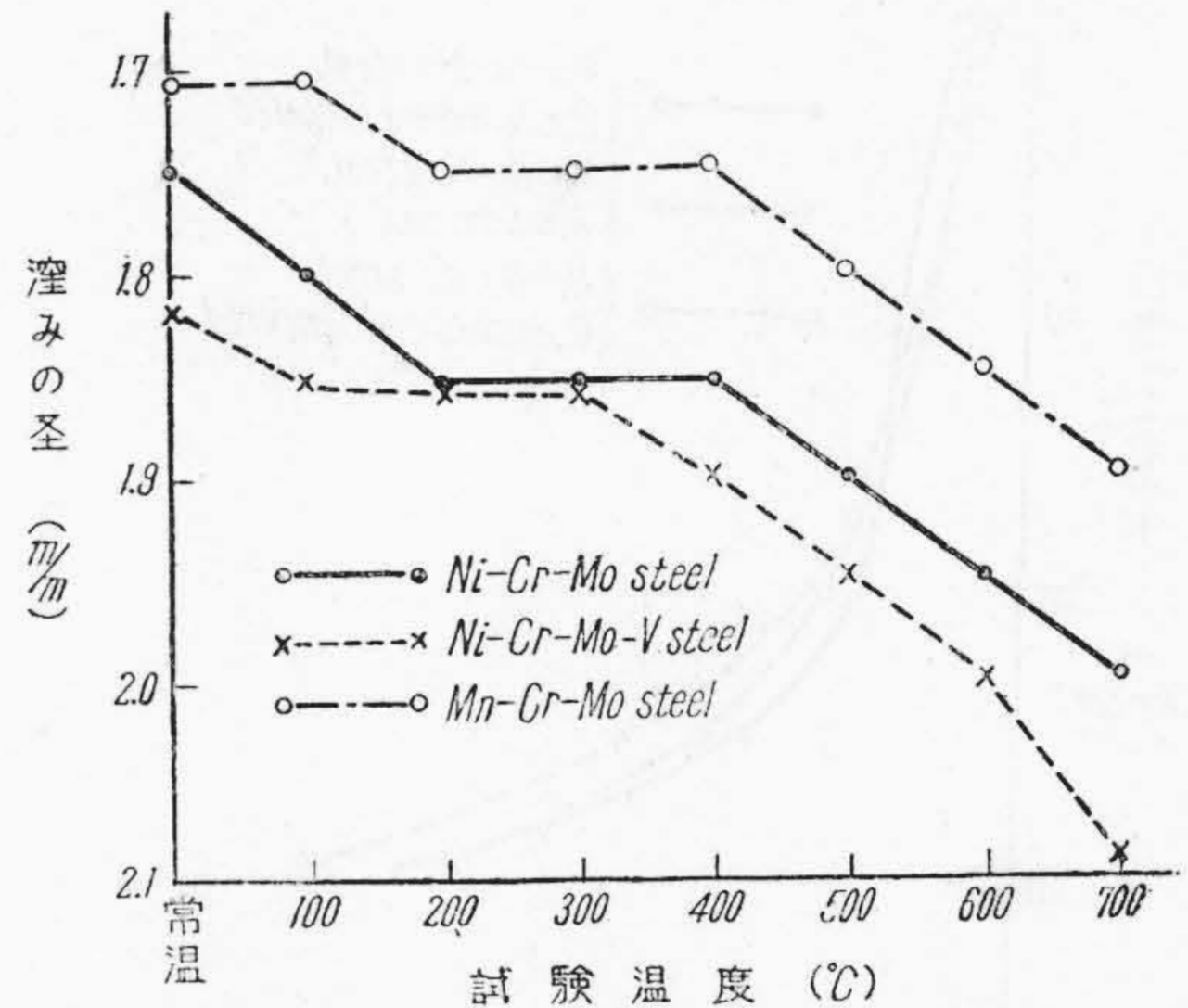
第 18 図は試験片の寸法を示す。シャルピー試験機を使用し常温 ~700°C の温度範囲で 100°C おきの各温度に於てそれぞれ 30 分間保持後試験機に取付け衝撃破断した。第 19 図はこれらの試験結果を示し、図中実線は焼入焼戻し、破線は恒温処理を行つた場合の結果を示す。この結果によると衝撃値は 300°C までは温度の上昇と共に増し更に温度が昇ると漸減して 400~500°C で急激に低下し、特に 500°C に於てこの傾向が大きい。又 600°C 以上では衝撃値は急激に増加する。処理方法による衝撃値の差は何れの場合も焼入焼戻しの場合が、良好である。鋼種による相違は Ni-Cr-Mo 鋼が最も優秀で次いで Ni-Cr-Mo-V, Mn-Cr 鋼の順で低下する。

(3) 高温硬度

焼入焼戻し処理した場合につき試験を行つた。第 20 図は試験片の寸法を示す。試験には衝撃式の本多佐藤式高温硬度計を用い常温から 700°C の範囲で 100°C おきの各温度に 30 分間保持後試験し常温まで冷却して「窪み」



第 20 図 高温硬度試験片
Fig. 20. Dimensions of Test Pieces for Hardness at High Temperatures



第 21 図 試料 A, B 及び D の高温硬度試験結果
Fig. 21. Results of Hardness Measurement of Specimens A, B and D at High Temperatures

の径を測定した。測定値は 2~3 回の平均値である。

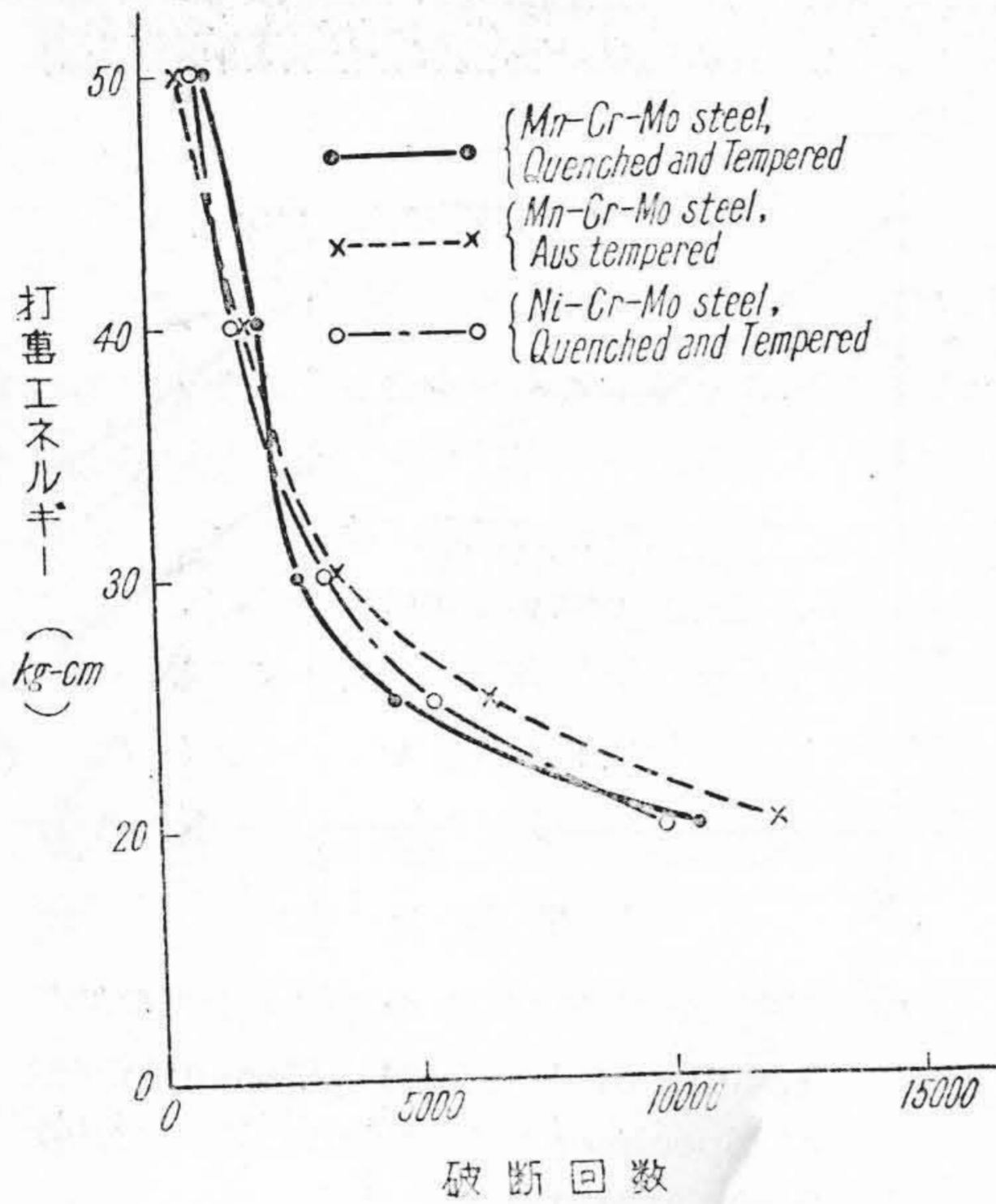
実験に先立ち常温で硬度を測定したが、各鋼種により「窪み」の径に差がみとめられ、高温硬度は鋼種別の比較が困難であつたのでこの実験では温度による硬度変化の傾向を比較することゝめた。第 21 図はその試験結果を示す。硬度は高温になるにしたがいいずれも減少し、400°C の温度に於て急減し三者に優劣はみとめられなかつた。特に型鋼の使用温度範囲附近に於て硬度が減少し初めることが首肯せられる。

[VII] 繰返し打撃試験

試料 A 及び D を用い第 1 表 に示す焼入焼戻しを施したものと D 試料のみは更に恒温処理を施したものにつき試験を行つた。第 22 図は試験片の寸法を示す。試験には松村式打撃試験機を用い、打撃エネルギーを 20~50kg-cm の範囲に変え各打撃エネルギー毎に破断するまでの打撃回数を求めた。第 23 図はその結果を示す。図によると焼入焼戻処理の場合 Ni-Cr 鋼系と Mn-Cr



第 22 図 繰返し打撃試験片
Fig. 22. Dimensions of Test Pieces for Repeated Impact



第 23 図 試料 A 及び D の繰返し打撃試験結果
Fig. 23. Results of Repeated Impact Test of Specimens A and D

鋼系との相違は殆んどみとめられないが、恒温処理したものは焼入焼戻したものに比較して打撃エネルギーが、35kg-cm 以上の場合に破断回数は低く、それ以下ではむしろ高く熱処理方法による影響が明らかにみとめられる。新持氏⁽¹²⁾は本試験では高エネルギー側で衝撃試験的性質をおび、低エネルギー側では疲労試験的性質をおびると報告しているが、この考えに従えば恒温処理は焼入焼戻し処理に比し疲労強度を高めるものといえる。

[VIII] 結 言

以上鍛造用型鋼・Ni-Cr-Mo, Ni-Pr-Mo-V 及び Mn-Cr-Mo-V 鋼の 3 種につき熱処理に関する基礎実験を行い又熱処理方法と機械的性質との関係を究明した。これらの結果を要約すれば下記の如くである。

(1) Mn-Cr-Mo-V 鋼は Ni-Cr-Mo 及び Ni-Cr-Mo-V 鋼に比し恒温状態に於ける変態開始曲線が長時間側に移行し従って焼入性が大である。

(2) 高温に於ける抗張力は Mn-Cr-Mo-V 鋼が Ni-Cr-Mo 鋼より高く、衝撃値は Ni-Cr-Mo 鋼が最も高い。

(3) V の添加は変態温度以下に於ける変態を促進し高温に於ける伸び及び絞りを増す。

(4) 焼入焼戻法が恒温処理法に比し高温に於ける衝撃値は大であるが、繰返し打撃試験の低エネルギー側即ち疲労強度に於ては後者が大である。

終りに臨み本研究に対し終始御懇篤なる御指導を賜わった村上博士並びに兼先所長に対し深厚なる謝意を捧げるとともに試料の便宜と御鞭撻を賜わった檜垣部長、野村部長及び武市係長の方々に感謝申上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) J. L. Gregg : Alloys of Iron and Molybdenum, 1932, p. 305.
- (2) 錦織 : 最近の特殊鋼, (1942), p. 106.
- (3) 足立 : 日本金属学会誌, 11 (1947), 1~3 号 4~6 号
- (4) 小柴、永島 : 鉄と鋼, 34 (1948), 4~6 号 p. 7
- (5) Metals Handbook, 1948. p. 609.
- (6) R. L. Rickett and F. C. Kristufek : Metal Progress, September (1950), p. 325.
- (7) 阿部、斎藤、鉄と鋼, 36 (1950), p. 24.
- (8) 武市、笠間 : 日立評論鉄鋼特集号, 33 (1951), p. 79.
- (9) R. A. Grange, J. F. Boyce and V. G. Peck ; Metal Progress, May (1950), p. 637~642.
- (10) 河井、小川 ; 鉄と鋼, 37 (1951), p. 23.
- (11) 村上、今井 ; 日本金属学会誌, 7 (1943), p. 145~252.
- (12) 新持 ; 鉄と鋼, 35 (1949), p. 29.

