

ガスタービン用 Ni-Cr 系 (20—15%) 耐熱鋼の諸 性質におよぼす Nb, V, Ti および N₂ の影響

小柴定雄* 九重常男**

The Effect of Nb, V, Ti and N₂ on the Properties of Ni-Cr (20—15%) System Heat Resisting Steel for Gas Turbine

By Sadao Koshiha, D.S.E. and Tsuneo Kunō
Yasugi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

Some time ago, the writers conducted a study on the effects given out by various elements on Ni-Cr (20—15%) system heat resisting steel in relation to its ageing hardness. And on the basis of the results of this study they determined a most suitable composition for this type of steel.

They have gone with the study in this direction for a further improvement of the steel, and this time they studied the various influences of various chemicals added to this steel separately, such as Nb, V, Ti and N₂ and observed the change caused by the addition in such phases of the steel characteristics as forgibility, ageing hardness, microstructure, mechanical properties at high temperatures, resistance to oxidation, and creep limit.

〔I〕 緒 言

航空機その他の交通機関にガスタービンが採用されているが、高温において燃焼ガスに直接接触し、しかも高い応力をうける動翼材にはぜひとも Ni および Co を多量に使用しなければならない。しかし Ni および Co 資源は我国においてはきわめて少くその節減を計ることは重要である。しかしてガスタービンの発達には耐熱材料にさらに高度の性能を要求している。そこで筆者らは中級の耐熱材料として広く使用されている Ni-Cr 系 (20—15%) についてより高い性能を付与せんがため添加元素として Nb, V, Ti および N₂ が鍛造性、時効硬度、顕微鏡組織、高温機械的性質、耐酸化性、クリープ限におよぼす影響について実験を行った。

〔II〕 試料の熔製および化学成分

実験に使用した試料は 50kg 高周波誘導電気炉にて金属ニッケル、フェロクロム、フェロモリブデン、フェロ

* 日立製作所安来工場 工博

** 日立製作所安来工場

タングステン、フェロシリコン、金属マンガンおよび純鉄を原材料とし、添加元素としてフェロニオブ、フェロバナジウム、フェロチタンおよび窒化フェロクロムをそれぞれ単独に加え、50 kg 鋼塊 5 本を吹製した。また同時に 30×30×300 mm の鍛造試験用鋼塊を吹製した。試料の化学成分を第 1 表(次頁参照)に示す。

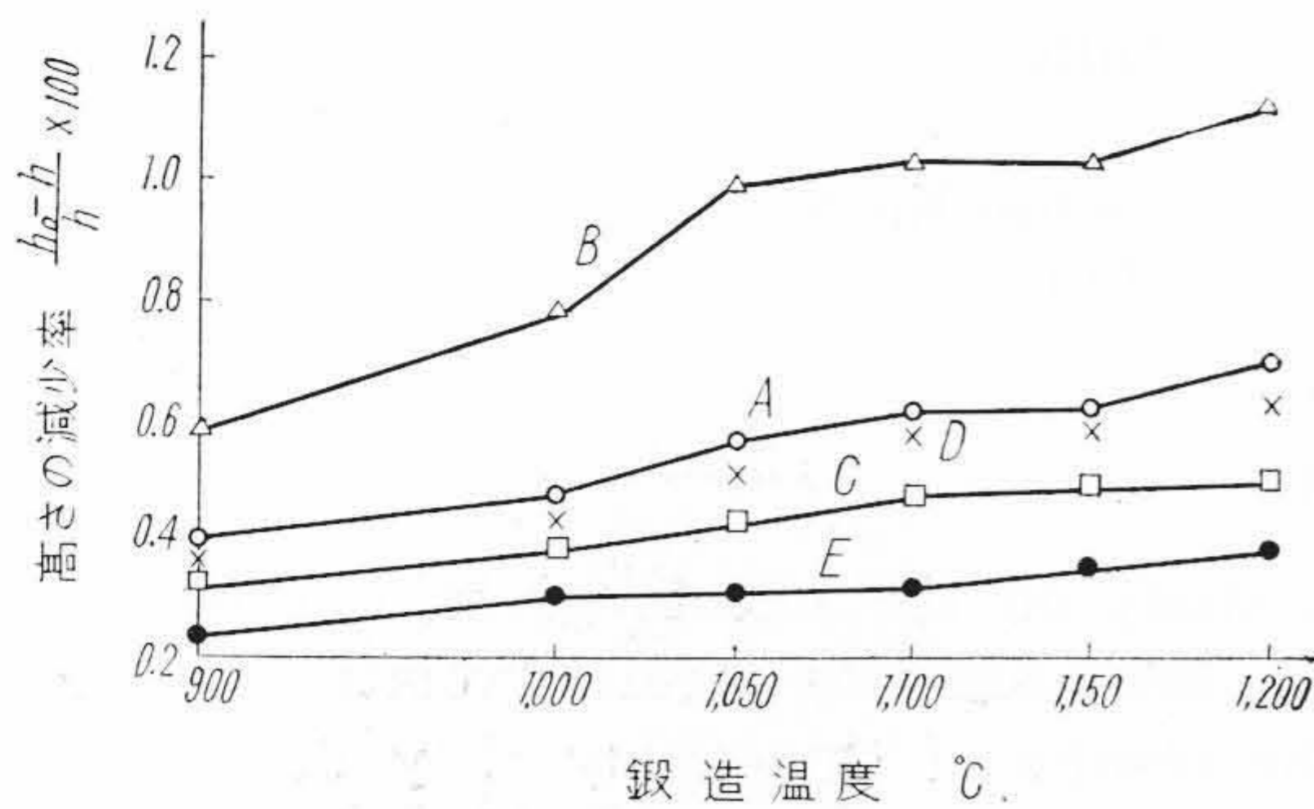
〔III〕 実験結果

(1) 鍛 造 性

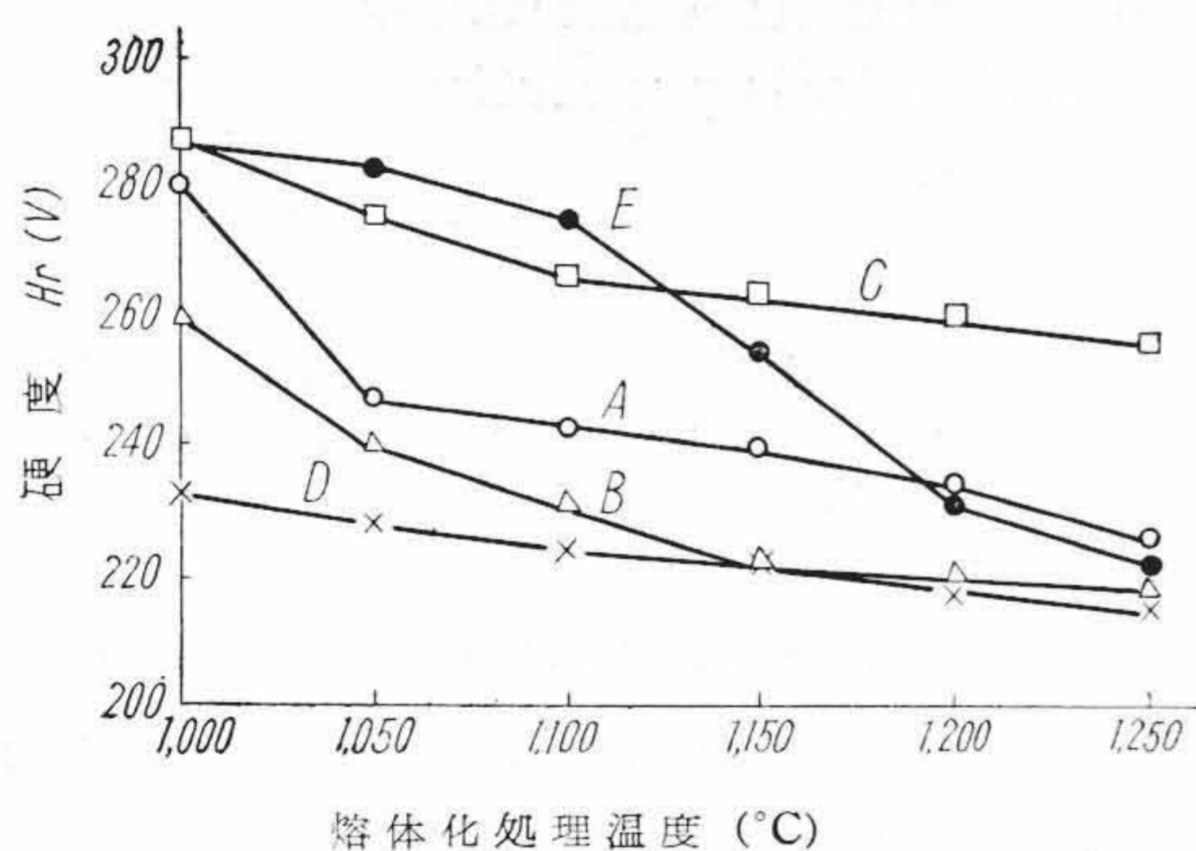
鍛造試験用インゴットを 25 mm 角に切削し厚さ 20 mm に切断して 900—1,200°C におのおの 1 時間保持後重量 25 kg の鋼製錘を 1 m の高さより落下せしめ、高さの減少率を測定した。その結果を第 1 図(次頁参照)に示す。図に示すごとく各試料とも温度の高くなるにしたがつて鍛造による高さの減少率は次第に大きくなる。Nb を含む B 試料は 1,050°C よりやゝ急激に大きくなる。A, C および D の各試料も鍛造温度 1,050°C よりやゝ鍛造による高さの減少率は大きくなるが、N₂ を含む E 試料は 1,200°C まで試験温度が高くなつても鍛造性に大差なく鍛造性の悪いことを示す。なお各試料とも

第1表 試料の化学成分
Table 1. Chemical Composition of Specimen

試料	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	添加元素
A	0.50	0.81	1.03	15.63	21.70	3.98	3.91	—
B	0.51	0.75	1.16	16.07	20.70	3.97	4.10	Nb 4.1
C	0.51	0.98	1.22	16.05	21.10	4.01	4.22	V 2.4
D	0.49	1.10	1.21	15.97	21.40	3.94	3.94	Ti 2.0
E	0.52	1.04	1.17	15.80	20.80	4.02	4.03	N ₂ 0.14



第1図 鍛造温度と高さの減少率との関係
Fig. 1. Relation between Forging Temperature and Reduction Rate of Highness

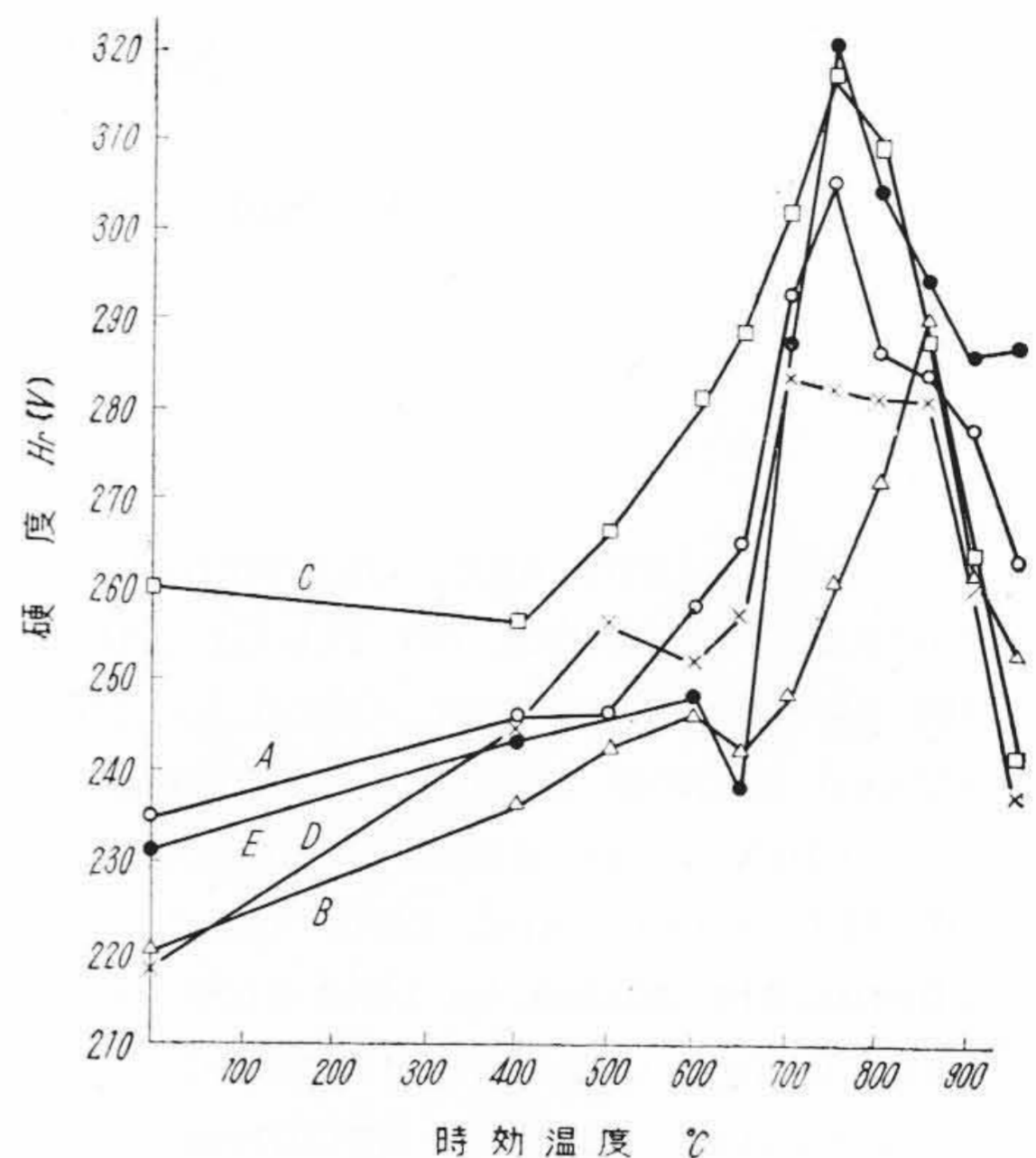


第2図 熔体化処理温度と硬度との関係
Fig. 2. Relation between Solid-Solution Treatment Temperature and Hardness

1,200°C の鍛造温度では表面の酸化はなほだしく、したがって鍛造温度は 1,050~1,150°C が適当である。

(2) 熔体化処理硬度

50 kg 鋼塊を前述の鍛造温度にて 15mm 角に鍛伸した後長さ 15mm に切断し、1,000~1,250°C にそれぞれ 1 時間保持後水冷して硬度を測定した。この結果を第2図に示す。図に示すごとく各試料とも熔体化処理温度の高くなるにしたがって硬度は次第に低くなる。A は 1,050°C でやゝ急激に硬度は低くなり、B は 1,150°C まで温度の高くなるにしたがってやゝ著しく硬度は低下し、C および D は温度が高くなっても硬度の低下は緩慢

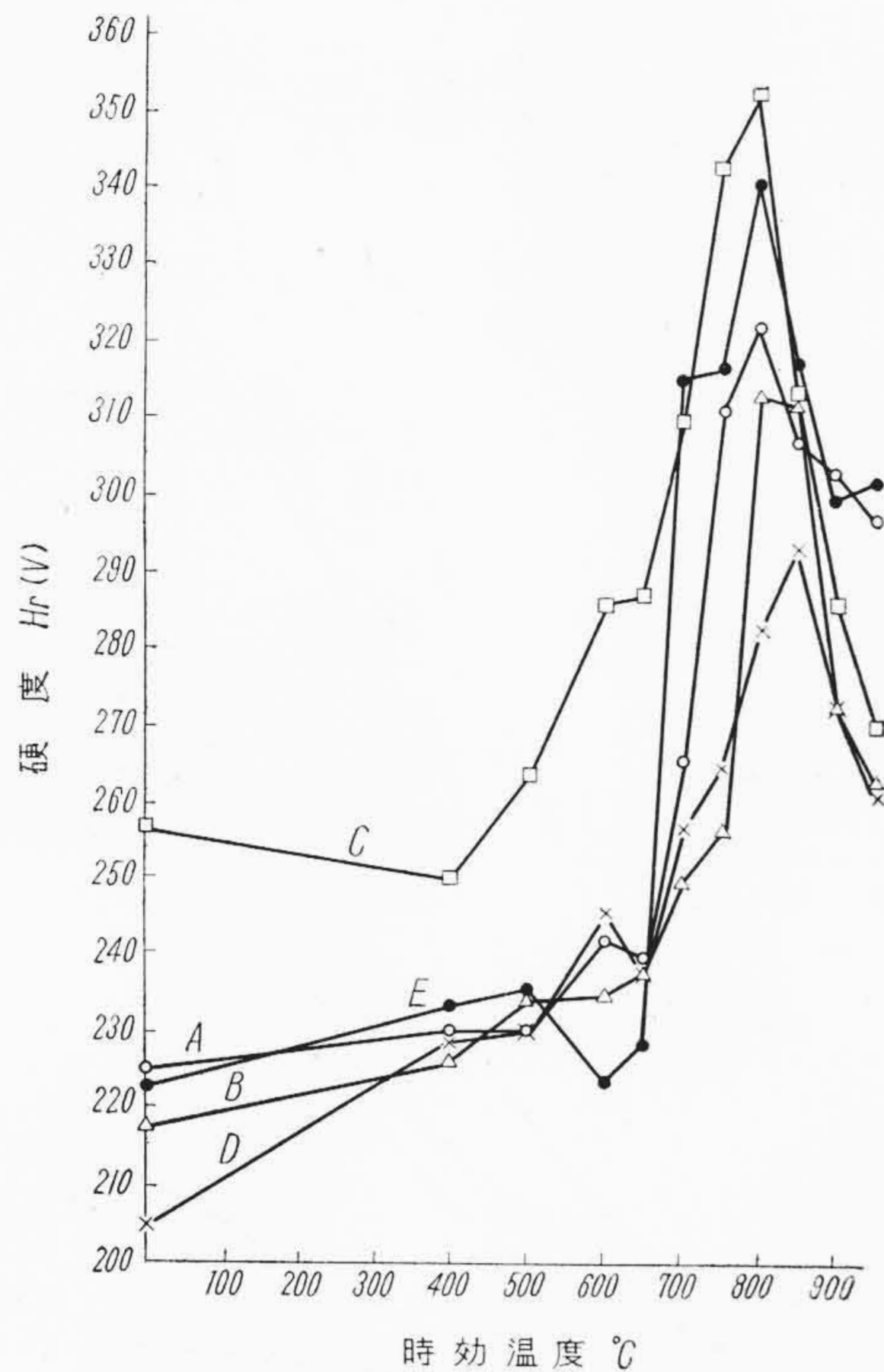


第3図 時効温度と硬度との関係 (1,200°C 水冷)
Fig. 3. Relation between Aging Temperature and Hardness (1,200°C Water Cooling)

である。E は 1,150°C よりやゝ著しく硬度は低下する。

(3) 時効硬度

試料は 15×15×15 mm とし 1,100~1,250°C に熔体化処理を行つて後 400~950°C にそれぞれ 1 時間時効して硬度を測定した。この結果のうち 1,200°C および 1,250°C 熔体化処理のものを第3図ならびに第4図に示す。1,100°C 水冷の場合 A, C および E の各試料はそれぞれ 700°C で最高硬度を示し、B は 500°C および 850°C, D は 500°C ならびに 750°C の時効温度で二つの極大値を示す。1,150°C 水冷の場合は各試料とも時効温度 700°C より急激に硬度は上昇し A, E は 700°C, B, C は 850°C, D は 750°C でそれぞれ最高硬度を示す。1,200°C 水冷の場合は第3図に示すごとく A は 750°C, B は 850°C, C および E は A と同様 750°C, D は 700°C でそれぞれ最高硬度を示す。しかして各試料とも析出硬化は 1,100°C および 1,150°C 水冷に比し著しい。1,250°C 水冷の場合は第4図に示すごとく析出硬度は最も著しく、A, B, C, E の各試料は 800°C, D

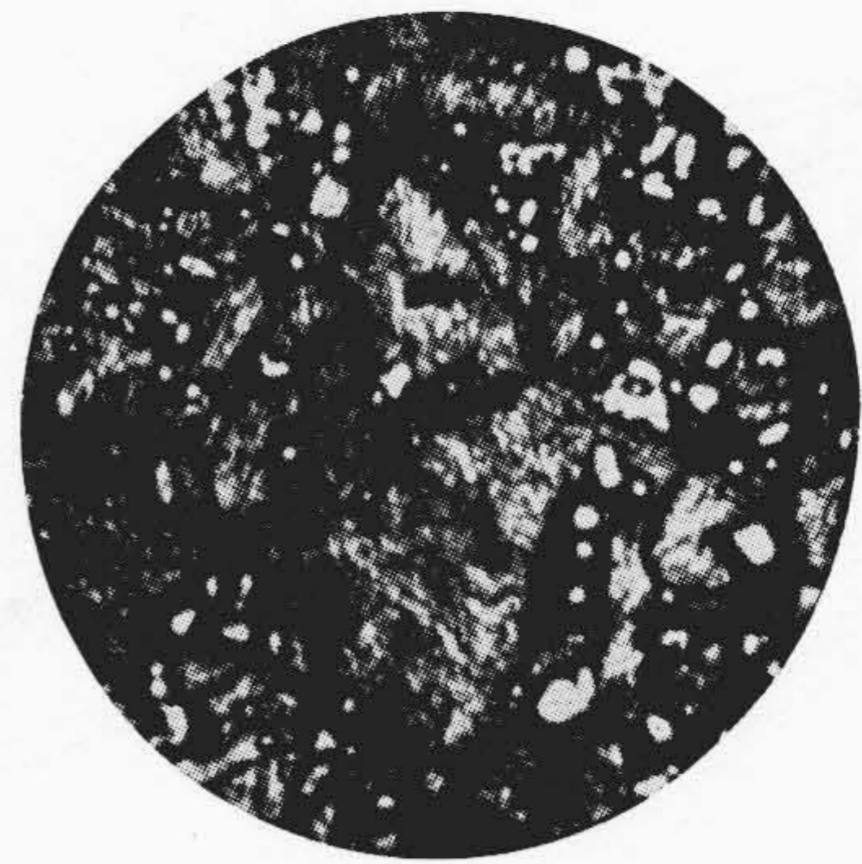


第4図 時効温度と硬度との関係 (1,250°C 水冷)
Fig. 4. Relation between Aging Temperature and Hardness (1,250°C Water Cooling)

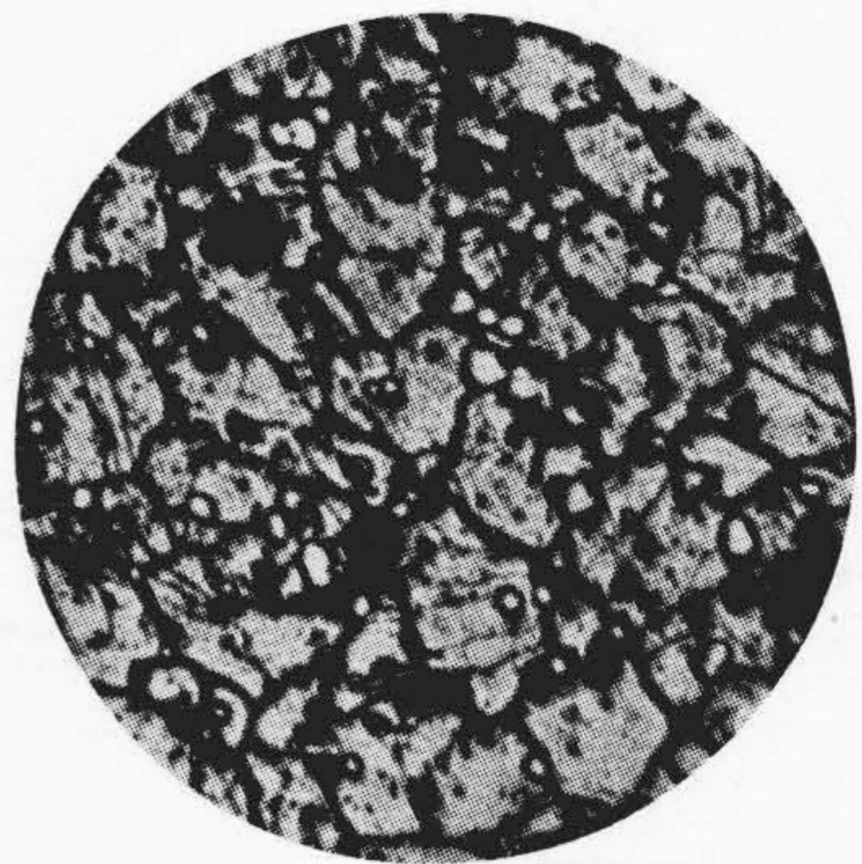
は 850°C でそれぞれ最高硬度を示す。以上時効実験より各試料とも熔体化処理温度の高くなるにしたがって、時効による析出硬度は著しい。しかして 1,250°C 熔体化処理の場合は各試料とも酸化はなほだしく実際操作の場合は著しい困難を示すものと考えられ、熔体化処理温度は各試料とも 1,200°C が適当と考えられる。

(4) 顕微鏡組織

各試料とも 1,200°C に熔体化処理し A, C および E は 750°C, B は 850°C, D は 700°C にそれぞれ1時間時効して組織を調べた。A および D の組織を第5図および第6図に示す。Fe-Ni-Cr 合金は Cr 15% の場合は Ni 12% 以上で安定なオーステナイト組織を示す⁽¹⁾ので、本実験に使用した Ni-Cr 系はすべてオーステナイト組織を示す。Mo, W および V は高温強度向上に役立つ、Ti および Nb は炭化クロムの析出による粒間腐蝕を防ぐ作用をする元素である。第5図に示すごとく A は炭化物がかなり大きく現われ V を含んだ C 試料も A とほぼ同様の組織を示す。Ti を含んだ D 試料は第6図に示すごとく A, C に比し炭化物はかなり小さい。Nb を含んだ B 試料は D とほぼ同様の組織を示す。N₂ を含む E 試料は他の 4 試料に比しオーステナイトの結晶粒が大



第5図 A 試料の顕微鏡組織 ×400 (1,200°C 水冷, 750°C 時効)
Fig. 5. Microstructure of A Specimen ×400 (1,200°C Water Cooling, 750°C Aging)



第6図 D 試料の顕微鏡組織 ×400 (1,200°C 水冷, 700°C 時効)
Fig. 6. Microstructure of D Specimen ×400 (1,200°C Water Cooling, 700°C Aging)

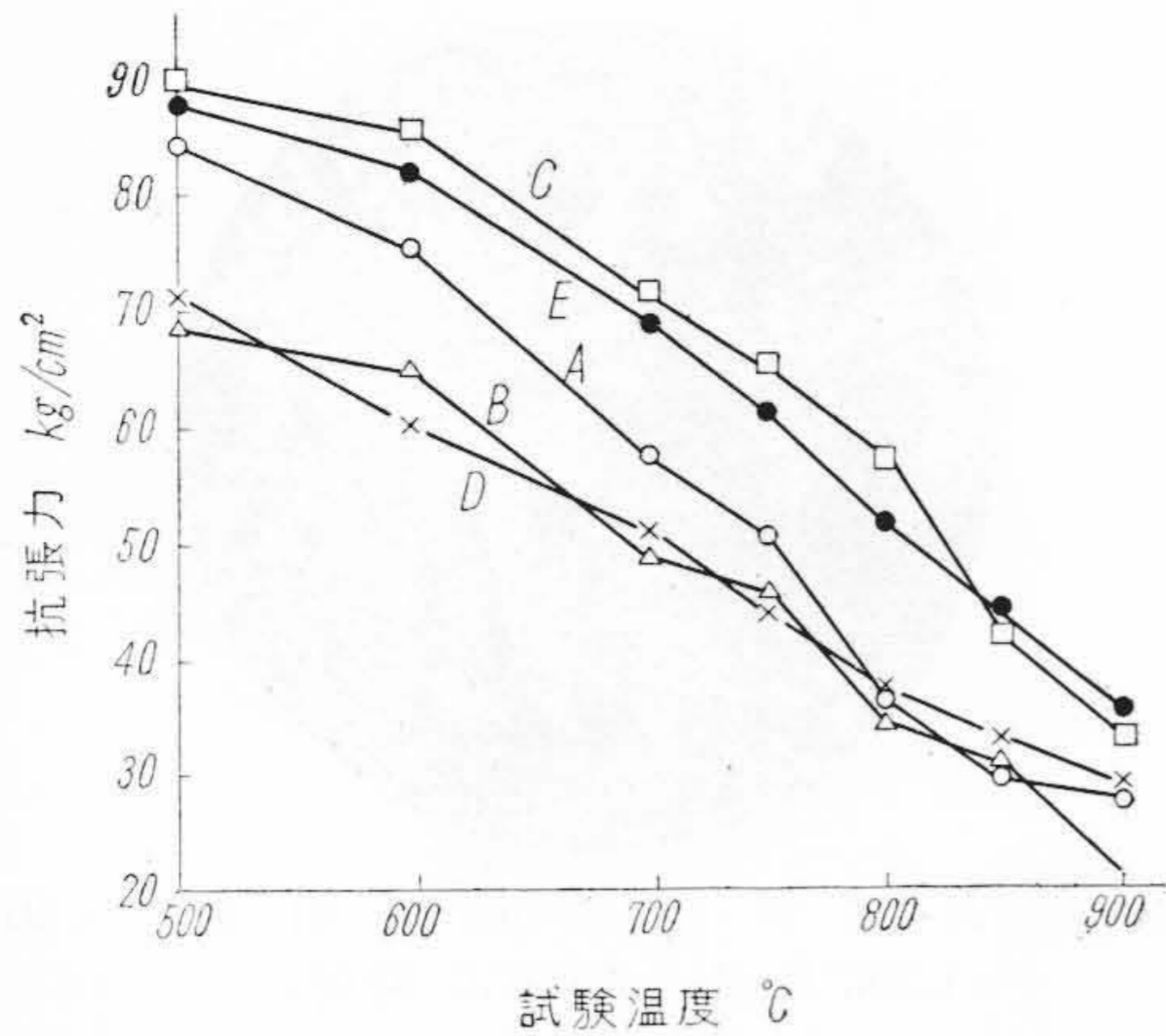
第2表 試料の熱処理方法
Table 2. Heat Treatment Process of Specimen

	A	B	C	D	E
熔体化処理 (°C)	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
時効温度 (°C)	750	850	750	700	750

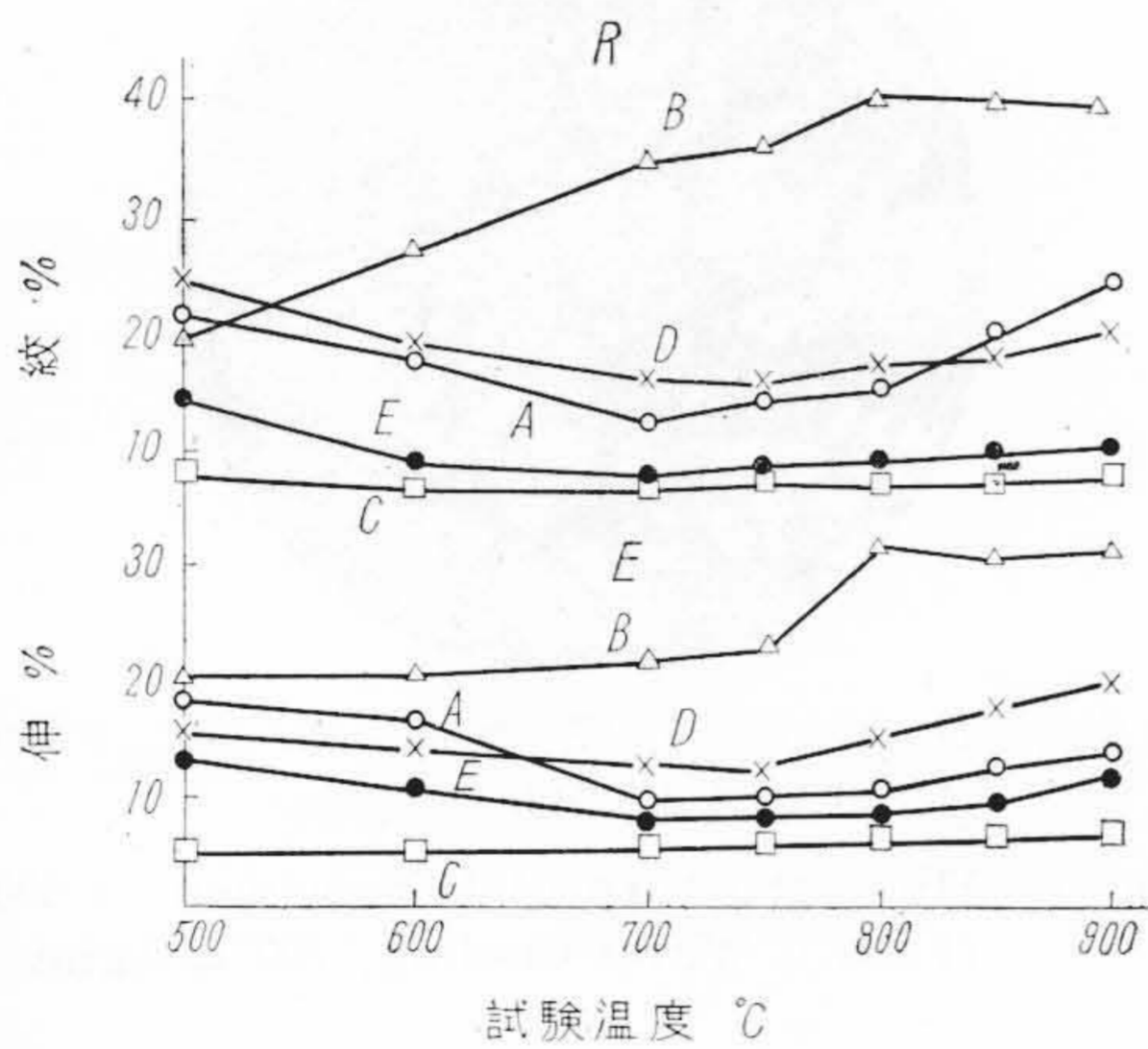
きく炭化物は他の試料ほど認められない。

(5) 高温機械的性質

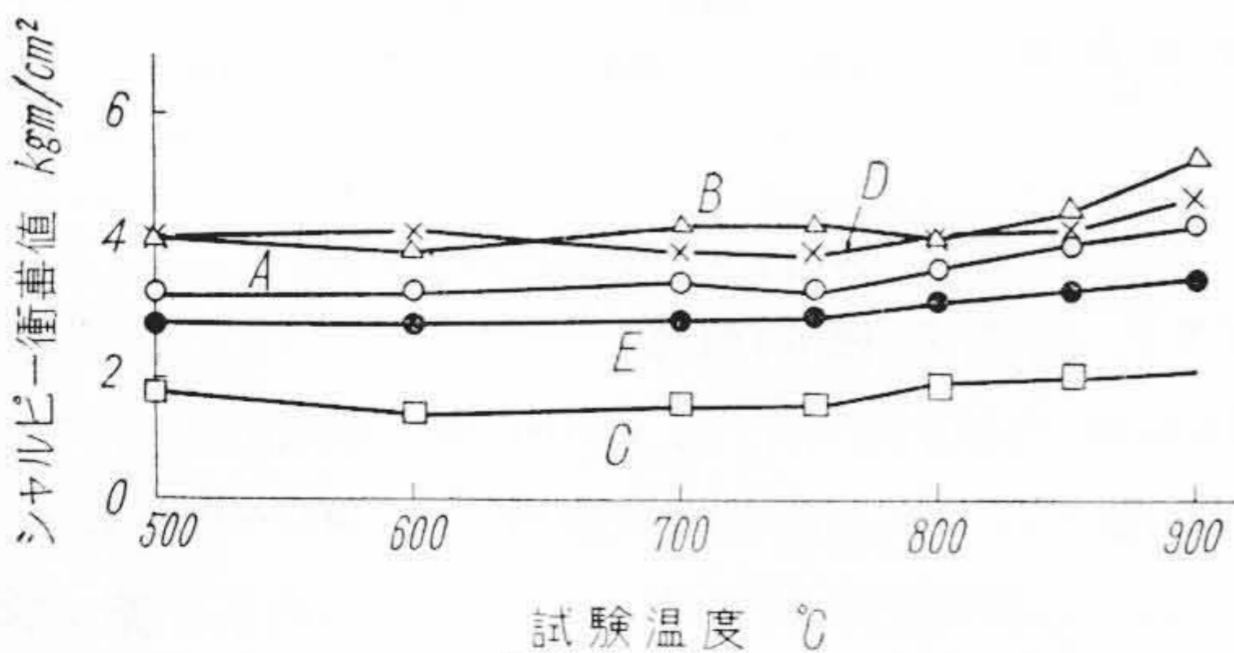
15mm 角試料を平行部 7mm 丸の熱間抗張片に仕上げ 50 噸アムスラ万能引張試験機にて 500~900°C の温度における機械的性質を測定した。この結果を第7図~第9図(次頁参照)に示す。なお試料の試験前の熱処理方法を第2表に示す。高温抗張力は第7図に示すごとく各試料とも試験温度の高くなるにしたがって次第に低くなる。しかして C が各温度を通じおおむね最高の値を示す。ついで E, A の順となる。B および D 間には大差なくこれらの試料が最低値を示す。伸および絞は第8図



第7図 試験温度と高温抗張力との関係
Fig. 7. Relation between Testing Temperature and Tensile Strength

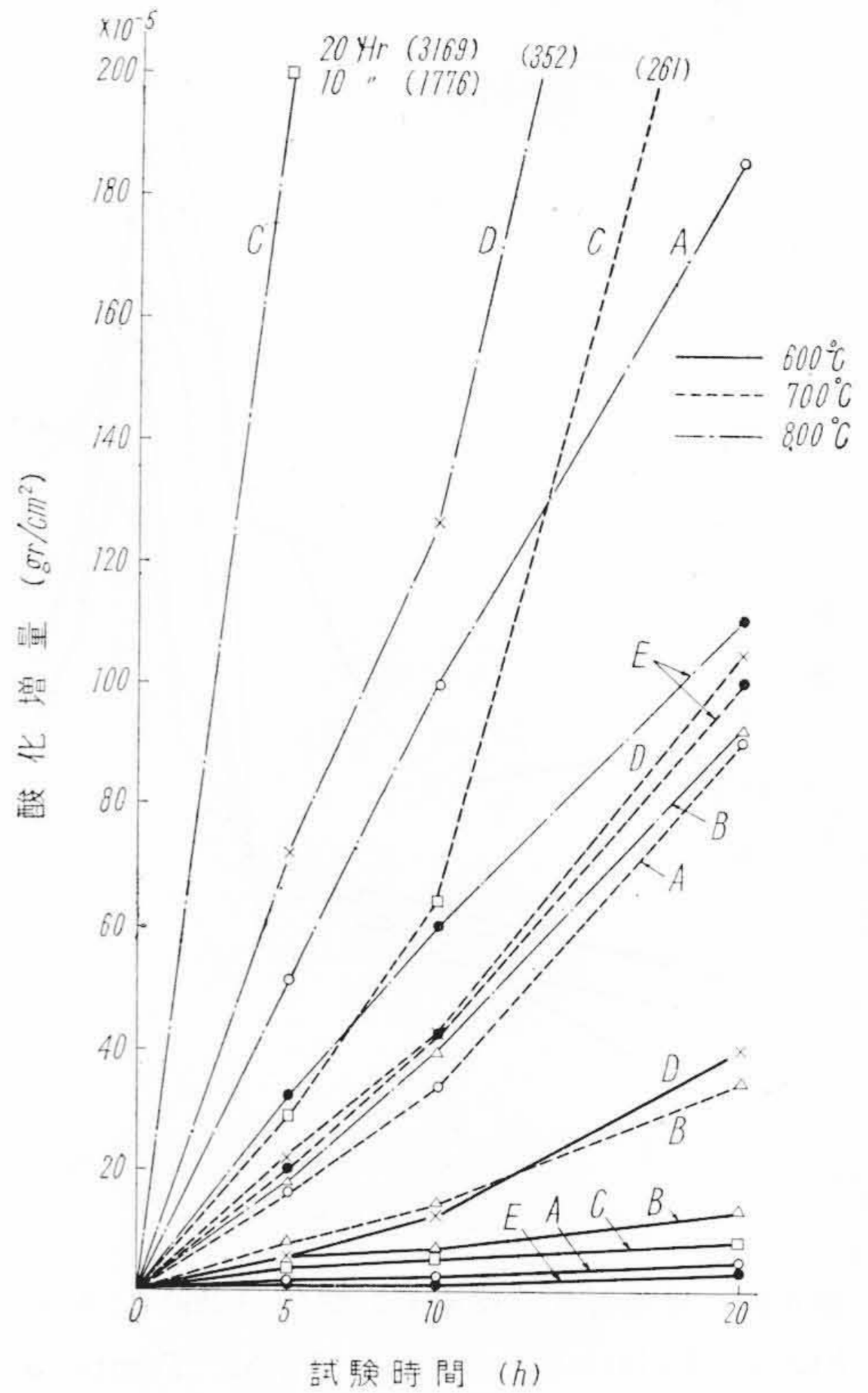


第8図 試験温度と伸, 絞との関係
Fig. 8. Relation between Testing Temperature and Elongation and Reduction of Area



第9図 試験温度とシャルピー衝撃値との関係
Fig. 9. Relation between Charpy Impact Value and Testing Temperature

に示すごとくで *B* が最も大きくついで *D, A, E* の順となり *C* が最も小さい。また *B* は試験温度の高くなるに



第10図 試験時間と酸化増量との関係
Fig. 10. Relation between Time and Increasing in Weight After Oxidation

したがって伸および絞とも次第に大きくなるが、*A, D* および *E* の各試料は試験温度 700°C で一度小さくなる。*C* は試験温度が高くなつてもほとんど変らない。衝撃値は第9図に示すごとく各試料ともおおむね試験温度の高くなるにしたがつて次第に高い値を示す。しかして伸の場合と同様 *B* が最も高くついで *D, A, E* の順となり *C* が最低値を示す。

(6) 耐酸化性

15mm 角試料を $10\phi \times 20\text{mm}$ に旋削し、表面をエメリー紙 04 まで仕上げ後ベンゾールおよびエーテルにて洗滌して試料とした。試料は直径 30mm 高さ 30mm の磁性坩堝に入れ管状電気炉にて $600, 700^{\circ}\text{C}$ および 800°C の各温度に 20 時間加熱し、化学天秤にてその増量を秤量した。この結果を第10図に示す。なお試験前の各試料は第2表に示すごとく熱処理を施した。 600°C の場合は *E* が最も酸化増量少く、ついで *A, C, B* の順となり *D* が最も多い。 700°C の場合は *B* が最も酸化増量少くついで *A, E, D* の順となり *C* が最も大きい。 800°C の場合は *B* が最も少く、僅少の差で *E* がこれにつづ

第 3 表 調節器による温度範囲
Table 3. Temperature Limit Depend on Controller

500°C	600°C	700°C	800°C
±1°C	±1.5°C	±2.2°C	±3.5°C

第 4 表 ASTM および BS 規格による温度範囲
Table 4. Temperature Limit of ASTM and BS Standard

ASTM	650°C	650~871°C	>871°C
	±1.7°C	±2.8°C	±5.6°C
BS	<600°C	600~1,000°C	>1,000°C
	±1°C	±2°C	±4°C

き、ついで A, D, C の順となる。以上の実験結果よりあきらかなごとく、V および Ti を含有する試料は酸化増量はなほだしく、特に温度が 700°C 以上となれば一層酸化が著しい。この傾向は V を含む試料が最も顕著である。また生じた酸化被膜はなほだしくポーラスでかつ地金と容易に剝離する。

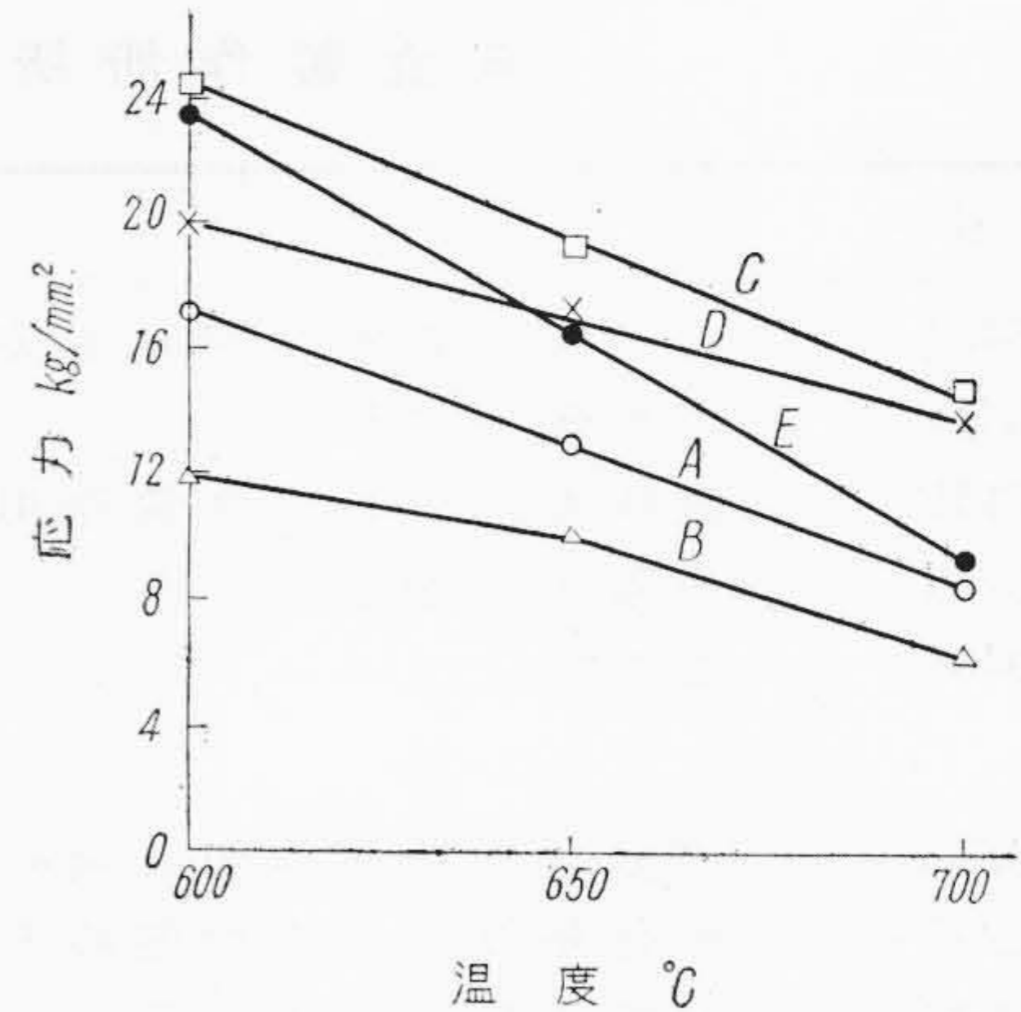
(7) クリープ限の決定

最近ガスタービンおよびジェットエンジンが急速に発達し、700°C 以上の高温において相当高い強度を持つ材料が要求されている。ガスタービンなどは長時間高温において使用されるため、タービン材が長時間の使用に耐えるか否かが問題となり、これを知るためにはクリープ試験を行いクリープ限を求めなければならない。

クリープ試験機には縦型と横型があり、おのおの一長一短があるが近年はほとんど縦型が採用されている。本実験に使用した試験機は縦型で最大荷重は 2 噸である。

試験片は直径 10 mm, 標点距離 100 mm で、伸測定はマルテンスエキステンソメータ式による。温度調節は 4 段切換のシンクロナスモータ付自動温度調節器にて行つた。その温度調節の範囲を第 3 表に示す。なお第 4 表に BS および ASTM にて定めた温度調節範囲を示したが、本実験の温度調節範囲は ASTM には十分許容される。

クリープ限の決定には短時間の DVM 法を採用した。DVM 法は 25~35 時間の平均クリープ速度が $1 \times 10^{-3} \%$ /h で 45 時間の全残量 0.2% 以下なる応力を限度としている。この方法で求めた 600~700°C のクリープ限を第 11 図に示す。なお試験前の各試料の熱処理は第 2 表に示す通りである。図に示すごとく各試料とも温度の高くなるにしたがつてクリープ限は低下する。た各温度を通じ C が最も高く B が最低値を示す。



第 11 図 温度とクリープ限との関係 (DVM 法)
Fig. 11. Relation between Temperature and Creep Limit (DVM Method)

[IV] 結 言

以上の実験結果を要約すればつぎのごとくなる。

(1) Ni-Cr 系耐熱鋼の鍛造性、時効硬度、顕微鏡組織、高温機械的性質、耐酸化性およびクリープ限におよぼす Nb, V, Ti および N₂ の影響について実験を行つた。

(2) 鍛造性には Nb が効果的でありついで A (特殊元素を含有しない試料) Ti, V, N₂ の順となる。

(3) 熔体化処理温度は各試料とも 1,200°C が適当であり、時効温度は A, V および N₂ は 750°C, Nb は 850°C, Ti は 700°C が適当である。

(4) 顕微鏡組織は N₂ を含有すればオーステナイトの結晶粒は大きくなり、やゝ異つた組織を示すが他の A, V, Ti, Nb 間には炭化物の大きさに多少の差異はあるが、大差は認められない。

(5) 高温抗張力には V が最も良く、ついで N₂, A, Ti, Nb の順となる。伸、絞および衝撃値には Nb が最も良く、V が最も悪い。

(6) 耐酸化性には Nb が最も良く、ついで N₂, A, Ti の順となり V が最も悪い影響を与える。

(7) クリープ限には V が最も良くついで Ti, N₂, A の順となり、Nb が最も悪い。

なお本研究は通産省研究補助金の交付によつてなされたものである。

終りに臨み本実験遂行に当り援助された日立製作所冶金研究所永島研究所員ならびに実験に終始熱心に従事された田中康平研究所員、山根吉長君に深甚なる謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) 山口： ニッケル合金鋼の性質および用途 (昭 19)



日立製作所所有鉄鋼金属関係特許一覧

(その1)

特許番号	名 称	工場別	発 明 者
145489	鍛錬用起重機における安全装置	亀有工場	松久清次
146474	回転鋳石焙焼炉	若松工場	隅田熊雄
147141	低圧ならしむべき鑄造用鋸湯溜	亀有工場	西山太喜夫
153780	多階式鑄造装置	桑名工場	武田順一郎
159464	放電によるニッケルとコバルトの分離精製法	中央研究所	山口与平 山牟田明政 朝比奈政勝
159732	不銹鋼伸線鍍金用合金	日立工場	小野健二
162997	圧延機などの方向転換装置	若松工場	松尾健造
163092	減摩用特殊鑄鉄の製造法	川崎工場	広田博次
163288	導電摺動用銅合金	日立工場	高武橋広隆 治一
164252	傾注鑄造装置	日立工場	鈴木木井静五 吉郎
166241	鑄造用そのほかの造型機における砂締装置	桑名工場	宇津巖夫
167422	シリンダ頭冷却鑄込予熱装置	日立工場	田岡英義 夫一
167423	シリンダ頭冷却鑄込予熱装置	日立工場	田岡英夫
167424	シリンダ頭冷却鑄込予熱方法	日立工場	田岡英夫
168095	山形鋼曲げ装置	笠戸工場	矢多部満進
168705	帯状物圧延作業における圧延比指示方式	日立工場	松石源三
175525	切削用鋼	安来工場	菊田多利男 小柴定雄
175712	内燃機関用曲軸の全型鑄造法	亀有工場	西山太喜夫
182145	JES型ユニオン鑄造用鑄造型法	桑名工場	久原柳太郎
186369	高炉の送風装置	日立工場	松本嘉雄
187664	白縁可鍛鑄鉄製造法	桑名工場	金田宣
193051	鑄造用金型の製造方法	亀有工場	割上石田官市 博
200466	耐磨工具合金	安来工場	小柴定雄
200467	切削工具合金	安来工場	小柴定雄
200470	半自動ダイカスト機	戸塚工場	田山富辰三郎 山富川政三 信三
200977	光輝焼鈍方法	日立工場	小野健二
201951	抜型用合金	安来工場	小九柴重定常 雄男
201954	光輝焼鈍方法	安来工場	五牧重賀善武 夫男正
201955	光輝焼鈍法	安来工場	五重賀善暢 夫正
201958	フランジパッキング用合金	中央研究所	大原秀晴
202471	可撓性大なるリンクチェーン	戸畑工場	三原正一
202946	耐磨切削合金	安来工場	小柴定雄
202949	葉板加熱炉における葉板の送出装置	若松工場	鳩岡俊一
204567	高炭素高クロム系磁石鋼の焼入予備処理方法	安来工場	小西柴沼定輝 雄美
204588	圧縮空気を利用する砂型造型機の作動制御装置	桑名工場	宇津巖
204589	加圧震動型込機における重錘部の移動装置	桑名工場	宇津巖

(第15頁へ続く)