

別途報告の予定である。

いずれにせよ、加熱計測試験は根本的に、而も実際に即して検討されねばならないと思う。

終りに本研究は株式会社日本製鋼所室蘭製作所において実施されたが、研究の遂行にあたって格別の御指導を賜り、また結果の発表を許可され室蘭製作所長常務取締役皆川孝光氏ならびに同所副所長取締役伊佐治勝利氏に深甚なる敬意を表すると共に、本研究は昭和 33 年度通産省応用研究補助金の交付（日本製鋼所）を受けたことを付記し、当局の御指導御鞭達に併せて謝意を表する。

文 献

- 1) S. H. WEAVER: General Electric Review, 44 (1941), 10, 543
- 2) M. SEDILLE: Bull. Tech. Société Rateau,

No. 178

- 3) M. C. CAPLAN, L. B. W. JOLLEY, J. REEMAN: Symposium on Internal Stresses in Metals and Alloys, (1948), 139, Institute of Metal.
- 4) H. H. BURTON, J. E. RUSSEL: Proceeding of the Forgemasters' Meeting 1954, Spec. Rep. No. 60, (1957) 17, Iron and Steel Inst.
- 5) A. BARKER, J. W. JONES: Proc. Inst. Mech. Engr., 169, 41 (1955), 853
- 6) 阪部, 本間: 日本金属学会第42回講演大会前刷, (S 33-4) 58
- 7) 徳田: 日本金属学会第45回講演大会前刷, (S 34-10) 42
- 8) M. Y. FUCHS, I. G. GLAZINK: Vestn. Maš (SSSR), 35, 6 (1955), 853
- 9) D. P. TIMO, D. F. PARENT: ASME Paper No. 58-A-270, (1958-11)

3% Cr 耐熱鋼の諸性質におよぼす C, Cr, Mo および V の影響*

小 柴 定 雄**・九 重 常 男***

Effect of C, Cr, Mo and V on Properties of 3% Cr Heat-Resisting Steel.

Sadao KOSHIBA and Tsuneo KUNOU

Synopsis:

Experimental studies were made on the effect of C, Cr, Mo and V on hardness on heat treatments, mechanical properties at elevated temperature, rupture strength, microstructures and deformation ratios of 3% Cr heat-resisting steel, which is used for heat-resisting parts of aeroplane structures.

Results obtained were as follows:

- (1) With increase of C contents, the hardness on heat treatment and the tensile strength at elevated temperatures were increased. But the rupture strength showed the maximum value at about 0.36% C.
- (2) By further addition of Cr contents, the as quenched-and-tempered hardness below 600°C were increased. The as-tempered hardness, the tensile strength and the rupture strength in a range of high temperature above 650°C were decreased.
- (3) By increase of Mo, the hardness after heat treatment was increased, but the tensile strength at elevated temperature and the rupture strength showed maximum value at about 2.43% Mo content.
- (4) Addition of V increased the hardness of steel on heat treatment, but the tensile strength at elevated temperatures and the rupture strength became maximum at about 0.55% V content.

I. 結 言

筆者らはさきに航空機用の耐熱構造用部品に使用する目的で、5% Cr ダイキャスト用ダイス鋼の高温強度や耐熱性を調べ、600°C 以下の使用温度では耐熱鋼として十分な性質を有することを確かめた¹⁾。

最近 C 0.5%, Cr 3.25%, Mo 1.4% の組成のダイキャスト用ダイス鋼が従来の 5% Cr 鋼より用途によっては優れた性能を示すと報告されている²⁾。ダイキャスト

* 昭和34年4月本会講演大会にて発表

** 日立金属工業株式会社安来工場 工博

*** 日立金属工業株式会社安来工場

ト用ダイス鋼としては Cr-Mo, Cr-V, Cr-Mo-V, Cr-Mo-V-W 鋼の鋼種が一般に使用されているが, Mo および V は高温における機械的性質を改善する元素であり, これが耐熱鋼として使用する場合に有効な元素となる. したがってさきに述べた 3 Cr-1.5 Mo 鋼に V を添加すれば耐熱鋼としても優れた性質を示すものと考えられる. また C, Cr, Mo および V の量を適当に変えることにより比較的低温に使用される優れた耐熱鋼が得られるものと考えその影響について実験を行なった.

II. 実験方法

標準成分を C 0.35, Cr 3.0, Mo 3.0, V 0.5% とし C は 0.32~0.45%, Cr 約 2.0~6.0%, Mo 約 1.5~3.0%, V は 0~1.0% の範囲にそれぞれかえ, 50 kg 高周波電気炉で 30 kg 鋼塊を吹製し, 15mm 角に鍛伸し

Table 1. Chemical composition of specimens (%).

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
C 1	0.32	0.38	0.66	0.014	0.018	3.02	2.68	0.52
C 2	0.36	0.40	0.65	0.014	0.017	2.95	2.63	0.55
C 3	0.45	0.37	0.67	0.016	0.018	2.94	2.63	0.55
R 1	0.37	0.37	0.66	0.012	0.017	2.13	2.88	0.55
R 2	0.38	0.33	0.67	0.011	0.014	4.24	2.95	0.60
R 3	0.37	0.39	0.68	0.014	0.011	6.14	2.88	0.50
M 1	0.38	0.27	0.72	0.010	0.018	2.88	1.65	0.51
M 2	0.38	0.35	0.69	0.014	0.019	3.06	2.43	0.57
M 3	0.37	0.31	0.69	0.012	0.018	3.03	3.18	0.52
V 1	0.36	0.35	0.57	0.012	0.015	2.78	2.65	Nil.
V 2	0.38	0.27	0.52	0.016	0.014	2.97	2.63	0.33
V 3	0.38	0.40	0.58	0.015	0.013	2.99	2.75	0.90

て実験に用いた. Table 1 に試料の化学成分を示す. なお符号 C で炭素の影響を, R でクロム, M でモリブデン V でバナジウムの影響を調べた.

変態点は 7mm ϕ \times 70mm の熱膨張試料で本多式熱膨張計にて加熱および冷却変態を測定した. 焼入硬度は 15 \times 15 \times 15mm の試料を用い, 950~1150 $^{\circ}$ C の範囲に焼入温度をかえ, それぞれの焼入温度に 30 分間保持後空冷して硬度を測定し, 焼戻硬度は焼入と同様の試料で, 1000~1150 $^{\circ}$ C より空冷後 400~700 $^{\circ}$ C の焼戻温度に各 1 時間焼戻を行ない硬度を測定した. 高温機械的性質は平行部 7mm ϕ の引張試験片を 1050 $^{\circ}$ C に 30 分間保持後空冷して, 650 $^{\circ}$ C に 3 時間焼戻を行ない, 500~700 $^{\circ}$ C の試験温度における高温引張試験を行なった. ラプチャー強度は平行部 5mm ϕ のラプチャー試験片を高温引張試験片と同様の熱処理を行ない, 600 $^{\circ}$ C にて 50 kg/mm² の応力を与え破断にいたる時間を測定した. 変形率は 8

mm ϕ \times 80mm の試料を 1050 $^{\circ}$ C より焼入(空冷)し, 500, 550 $^{\circ}$ C および 600 $^{\circ}$ C の 3 種の温度に焼戻を行ない, 長さおよび直径方向の変形率を測定した.

III. 実験結果

(1) 変態生起状況

Table 2 に各試料の変態生起状況を示した. なお加熱および炉冷の冷却速度は 5 $^{\circ}$ C/mm また空冷の場合の最高加熱温度は 950 $^{\circ}$ C とした. Table 2 に示すごとく C 量の増加にしたがい加熱および冷却の変態点は低温側に移動する. Cr は C と逆の傾向を示すが, 空冷の場合は Cr 量の増加にしたがい低温側に移動する. 本実験の範囲内の Mo では加熱および炉冷の場合の冷却変態点に大差が認められない. 空冷の場合は Mo の増加にしたがい高温側に移動する. つぎに V 量の増加にしたがいいずれの変態点も高温側に移動する.

(2) 焼入硬度

Fig. 1 に C の場合の焼入硬度を示した. Cr および Mo の場合は C とほぼ同様の傾向を示すが, V は焼入温度の低いときは V 量の増加にしたがい硬度を減少する. 1100 $^{\circ}$ C 以上焼入温度が上昇すれば V 量の増加にしたがい焼入硬度を増大する.

(3) 焼戻硬度

Fig. 2 に Cr の場合の焼戻硬度を示す. 焼戻温度 600 $^{\circ}$ C 以

Table 2. Transformation point of the specimens tested.

	Heating transformation $^{\circ}$ C	Cooling transformation $^{\circ}$ C	
		Furnace-cooling	Air-cooling
C 1	823~869	774~716	370~319
C 2	812~860	752~701	295~269
C 3	808~853	718~676	269~190
R 1	798~857	748~700	340~320
R 2	821~870	761~712	279~184
R 3	843~880	775~722	230~127
M 1	813~857	743~699	275~220
M 2	814~859	754~703	285~257
M 3	810~862	756~698	354~302
V 1	805~841	739~673	251~212
V 2	810~860	740~701	262~221
V 3	813~863	774~707	355~319

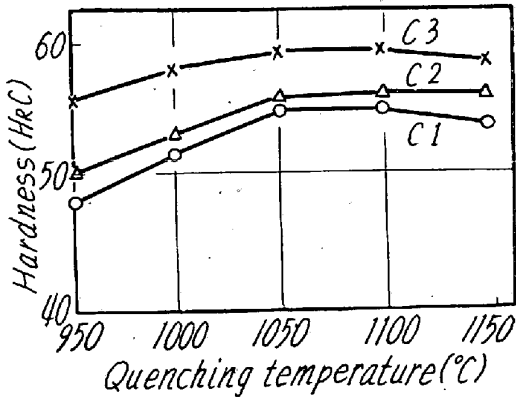


Fig. 1. Relation between quenching temperature and hardness.

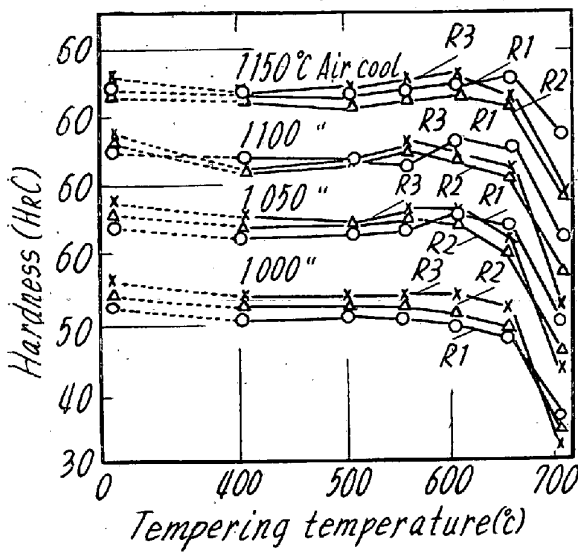


Fig. 2. Relation between tempering temperature and hardness.

下では Cr 量の増加にしたがい硬度を増大するが650°C 以上では逆に Cr の増加にしたがい硬度を減少する。C の場合はその量の増加にしたがい焼戻硬度を増大するが、C の高い試料は焼戻温度が高い場合焼戻温度550°C 付近で二次硬化を示す。Mo および V は C とほぼ同様の傾向を示す。ただ V の場合焼戻温度の低いときは V 量により硬度に大差が認められない。

(4) 高温機械的性質

Fig. 3 に各試料の高温引張強さを、Fig. 4 に Cr の場合の伸びおよび絞りを示した。また Fig. 5 に V 含有量と高温引張強さとの関係を示した。なお図中 V 0.55% の試料は C2 の値である。高温引張強さは C の増加にしたがい増大する。Cr は C と逆に Cr 量の増加にしたがい減少する。Mo および V はそれぞれ約 2.43% および約 0.55% で最大値を示す。伸びおよび絞りは引張強さとまったく逆の傾向を示す。

(5) ラプチャー強度

Fig. 6 に各試料のラプチャー時間を示す。C の場合は 0.36% で最大値を示し、他は高温引張強さと同様の傾向を示す。

(6) 変形率

ダイス鋼として使用する場合は通常油焼入を行なう。しかし油焼入ではダイス鋼として重要な性質の一つであ

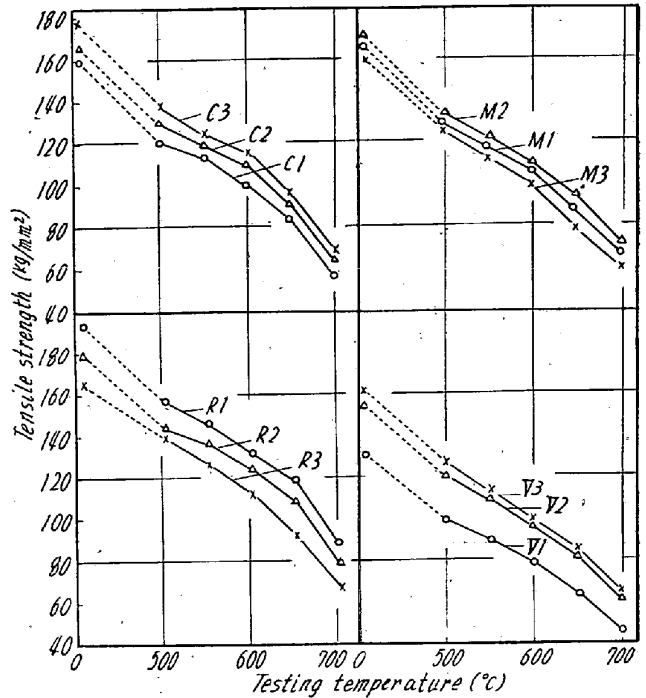


Fig. 3. Relation between testing temperature and tensile strength.

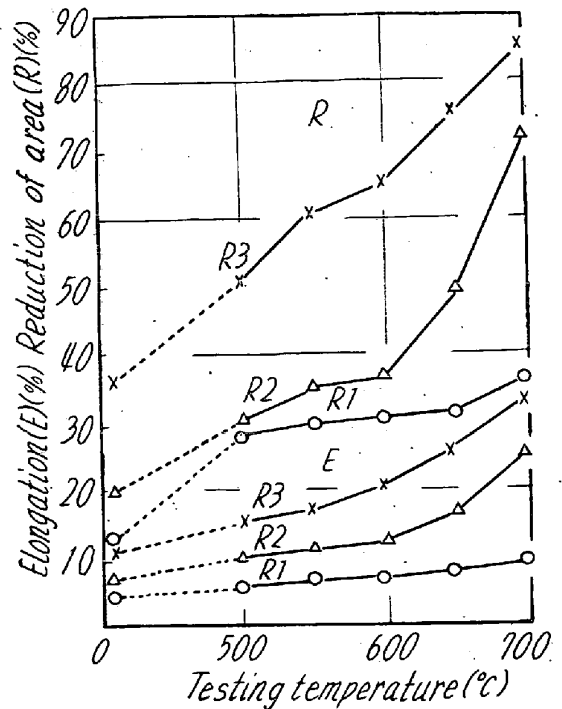


Fig. 4. Relation between testing temperature and elongation and reduction of area.

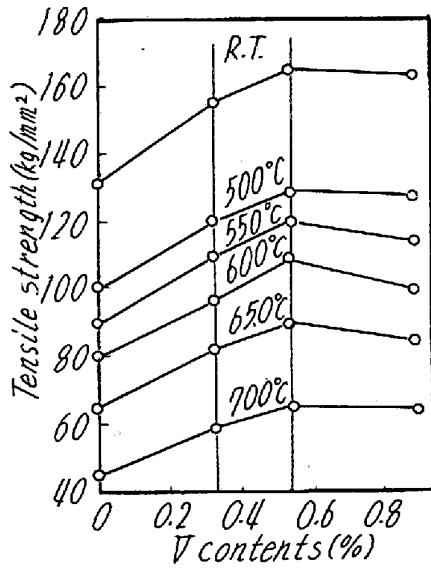


Fig. 5. Relation between V content and tensile strength.

る変形率が大きくなる欠点を生ずる。したがって自硬性の大きい鋼種であれば、空冷による焼入が望ましい。実験に用いた各試料は前述の焼入硬度において示したごとく空冷にて十分な焼入硬度が得られる。またダイス鋼として使用する場合硬度は Hr C で約 45 以上が望ましく、したがって焼戻温度も 500~600°C という比較的低温度において焼戻が行なわれる。Table 3 に各試料の変形率を示す。C の場合は C 量のもつとも少ない C1 が大

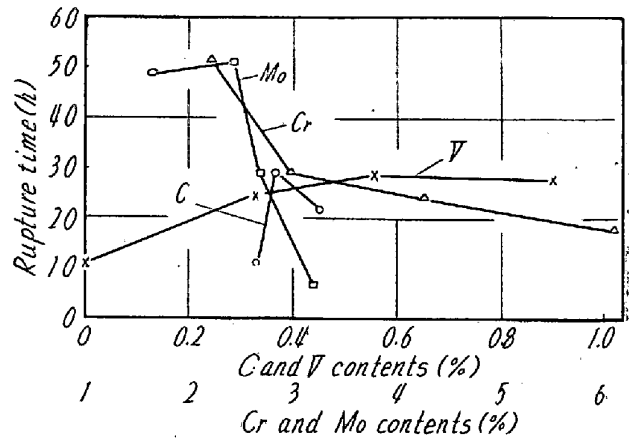


Fig. 6. Relation between C, Cr, Mo as V contents and the time to rupture.

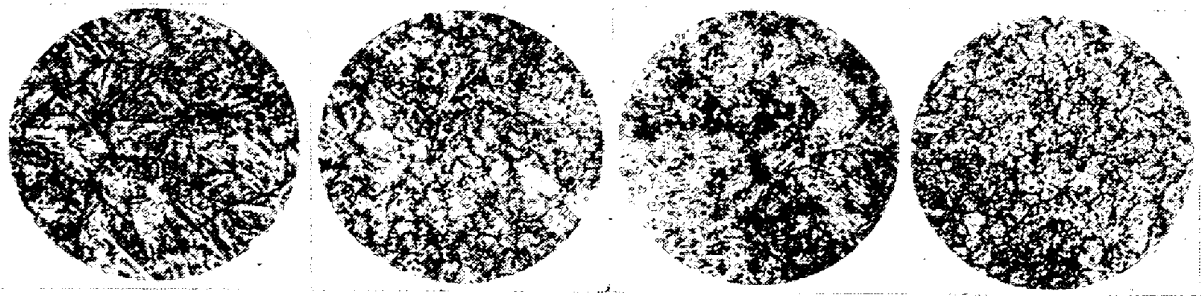
きな変形率を示し、Cr はその量を増加するにしたがい変形率を減少する。Mo および V はおおむね Cr と同様の傾向を示す。

(7) 顕微鏡組織

Photo. 1 (a) および (b) に C2 および C3, (c) に M2, (d) に V3 の顕微鏡組織を示した。Cr の場合は (a) の C2 の組織に似た針状トルスタイト組織を示す。Mo の場合は試料間に大差が認められない。V は V1 および V2 は C2 と同様針状組織を示すが V3 は (d) に示すごとく微細な組織を示している。

Table 3. Deformation ratio of specimens. (%)

		C1	C2	C3	R1	R2	R3	M1	M2	M3	V1	V2	V3
1050°C Air cooling	Diameter	0.081	0.080	0.054	0.082	0.062	0.046	0.062	0.062	0.062	0.091	0.084	0.062
	Length	0.142	0.120	0.120	0.125	0.075	0.063	0.200	0.163	0.154	0.168	0.141	0.075
500°C Tempering	Diameter	0.076	0.075	0.064	0.078	0.050	0.037	0.062	0.079	0.058	0.120	0.077	0.066
	Length	0.063	0.063	0.050	0.072	0.055	0.050	0.050	0.025	0.025	0.087	0.084	0.025
550°C Tempering	Diameter	0.099	0.096	0.079	0.096	0.070	0.046	0.071	0.095	0.067	0.141	0.099	0.092
	Length	0.063	0.063	0.064	0.074	0.055	0.050	0.075	0.050	0.025	0.087	0.084	0.063
600°C Tempering	Diameter	0.110	0.111	0.087	0.121	0.079	0.062	0.083	0.098	0.095	0.141	0.110	0.141
	Length	0.100	0.088	0.088	0.090	0.065	0.062	0.075	0.063	0.025	0.090	0.085	0.113



(a) C2

(b) C3

(c) M2

(d) V3

1050°C air cool. → 650°C × 3h temper

× 420 (2/3)

Photo. 1. Microstructure of C2, C3, M2 and V3 steels.

IV. 結果の考察

航空機に用いられる耐熱鋼は高い応力の下で使用され比較的寿命が短い。したがって適材を適所に使用することにより価格の低減を計らなければならない。かかる見地より最近航空機の耐熱構造用部品に 5% Cr 鋼などの低合金耐熱鋼が用いられるようになった²⁾。

この研究は 5% Cr ダイキャスト用ダイス鋼にかわりダイキャストダイス鋼として優れた成績を示している 3% Cr 鋼³⁾ を耐熱構造部品に転用するため C, Cr, Mo および V を変え耐熱性におよぼす影響を調べたものである。

C の影響についてみると C の増加にしたがい熱処理硬度および高温引張強さを増大するが、600°C におけるラプチャー強度は C 約 0.36% で最大となる。これは C 量が増加すれば炭化物量が多くなり、これが粒界に析出した粒内の炭化物は凝集しやすくなるためであり、また SULLY⁴⁾, JEFFERIES⁵⁾ は高温においては粗粒が細粒よりクリープ強度が大きいと発表しているが、Photo. 2 にみられるごとく C 0.45% の試料は他の試料に比し結晶粒がいちじるしく小さい。かような点より C がある程度以上多くなればラプチャー強度を低下するものと思われる。

Cr の場合は Cr の増加にしたがい熱処理硬度を増大するが、焼戻温度 650°C 以上では Cr の増加にしたがい硬度を減少する。これは C 0.4%, Cr 3.0% 鋼は常温においては $\alpha + (\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3 + (\text{Fe, Cr})_3\text{C}$ の組成⁶⁾ であるが Cr 5% 以上では $\alpha + (\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$ となり、しだいに α が増加するため、高温引張強さおよびラプチャー強度が Cr の増加にしたがい減少するのも同様の理由と思われる。

Mo および V は鋼の高温強度を増す有力な元素であり、とくに Mo は再結晶温度を高くし、安定な炭化物、金属間化合物を作るため高温における強度を増大させるといわれている⁷⁾。本実験に使用した試料は焼入により十分高い硬度を得なければ、大きな強度を期待することができないし、また耐熱鋼として使用するためにはでき得る限り高温度で焼戻を行ない、しかも軟化し難いものでなければならないが、Mo および V はオーステナイト域を狭める元素であり、多量に添加すればフェライト量を増し強度を低下する恐れがある。POWER⁸⁾ はフェライト系耐熱鋼では地の強度および結晶粒が耐熱性に大きく影響すると述べている。V は C との結合力が非常に強く、必要以上に多量添加すれば地の炭素濃度を少なく

し、強度がいちじるしく弱まるものと考えられる。また顕微鏡組織より明らかなごとく V を増加すれば結晶粒が微細化し、これらの原因が総合して高温強度に極大点を生ずるものと思われる。つぎに V の変形率におよぼす影響をみるに V 約 0.33% の場合焼戻温度 600°C のときのみ変形率がもつとも小さい。その理由はさらに検討を要する。

V. 結 言

以上の実験結果を要約するとつぎのごとくなる。

(1) 基準成分を C 0.35, Cr 3.0, Mo 3.0, V 0.5% とし C 約 0.30~0.45%, Cr 2.00~6.00%, Mo 1.5~3.0%, V 0~1.0% にそれぞれ範囲をかえ、変態点、熱処理硬度、高温機械的性質、ラプチャー強度および変形率におよぼす影響について実験を行なった。

(2) C の増加にしたがい熱処理硬度および高温引張強さを増大するが、ラプチャー強度は C 約 0.36% で最大となる。

(3) Cr はその量を増せば焼戻硬度および 600°C 以下の焼戻硬度を増大するが、650°C 以上の焼戻硬度、高温強度を減少する。

(4) Mo の増加により熱処理硬度を増大するが、高温引張強さおよびラプチャー強度は Mo 約 2.43% で最大となる。

(5) V は Mo とほぼ同様の傾向を示し高温強度は V 約 0.55% で最大となる。

終りに本実験に終始熱心に従事された冶金研究所田中康平君および山根吉長君に謝意を表す。

文 献

- 1) 小柴, 九重: 日本金属学会誌, 21 (1957), 3, 157~160
- 2) M. G. GEMILL, H. HUGHES, et alii.: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 188 (1956) Oct. 122
- 3) J. Y. RIEDEL: Metal Progress, 70 (1956) 8, 69~71
- 4) A. H. SULLY: Metallic Creep & Creep Resisting Alloys, (1949) Butterworth Scientific Publ.
- 5) Z. JEFFERIES: J. Amer. Inst. Metals (1917), 300
- 6) JOFAUTE, W. A. SPONHEUER, & H. BENNEK: Arch. Eisenhüttenw., 8, (1934~1935)
- 7) P. GRUM: Arch. Eisenhüttenw., 8, (1938)
- 8) A. E. POWER: J. Metals, 8 (1956) 10, 1373~1377