

数種のオーステナイト系耐熱合金の高温機械的性質について

On the Mechanical Properties at Elevated Temperature of the Several Austenite System Heat Resisting Alloys

小 柴 定 雄* 九 重 常 男**
Sadao Koshiba Tsuneo Kuno

内 容 梗 概

オーステナイト系耐熱合金のうちで特に使用度の多い Timken, LCN-155, S816, Nimonic 80A および LCN-155 と, 日立金属工業株式会社安来工場において改善した Ni-Cr-Co 系 (15-20-15%) 耐熱合金ならびに JIS 耐熱鋼 SEH4, SEH5 の高温における機械的性質, ラプチャー強度および耐酸化性について実験を行い使用上の参考に供した。

1. 緒 言

Turbo-Supercharge, Gas Engine および Jet Engine などの発達に伴い, 耐熱合金は目ざましい進歩をとげてきた。したがって熱機関の作動温度も逐次上昇し, 800°C および 900°C という高温になりつつあり, これに使用される耐熱材料は当然オーステナイト系の材料に限られてくる。戦後いち早くわが国に紹介された Fe 基耐熱合金 Timken および LCN-155, Co 基の S816, Ni 基の Nimonic 80A の高温機械的性質, ラプチャー強度および耐酸化性について実験を行い使用上の参考に供した。なおわが国のオーステナイト系耐熱鋼 SEH4 および SEH5 の諸性質についても言及すると同時に, 日立金属工業株式会社安来工場において研究した Ni-Cr-Co (15-20-15%) 耐熱合金 (試料符号をかりに Y-155 とする) の諸性質も併記した。

2. 実 験 試 料

各試料は SEH4 および SEH5 を除き 50kg 高周波誘導電気炉にて吹製した鋼塊を, 15mm 角に鍛伸して実験に用いた。その化学成分を第1表に示す。

Timken は 15-15 鋼系より発達したもので, Mo を

添加して高温強度の増加を図っている。LCN-155 は Mo, W および Nb の複合添加の効果により, NbC および σ 相の析出による耐熱性の増大を図っている。Co 基の S816 はステライト系の合金で C を低め, Ni を加えて靱性を与え鍛造用合金としているが, W, Mo および Nb をそれぞれ 4% 添加して高温強度の増大を図っており, 現用鍛造超耐熱合金としては最高級の一つとされている。Ni 基の Nimonic 80A は英国独自の超耐熱合金の一つであるが, Ti, Al を加えて Ni との化合物を生成させ, 時効硬化により高温強度の増大を図っている。

3. 実 験 結 果

3.1 SEH 4

JIS 耐熱鋼のうちでは最もすぐれた耐熱性を有するもので, 旧航空規格イ 301 に該当する。

本鋼の常温機械的性質は時効温度 500~900°C の範囲ならばほとんど差が認められない。第1図に500~850°C の試験温度における高温機械的性質を示す。なお試料はあらかじめ 1,100°C より水冷し 700°C に1時間時効したものをを用いた。

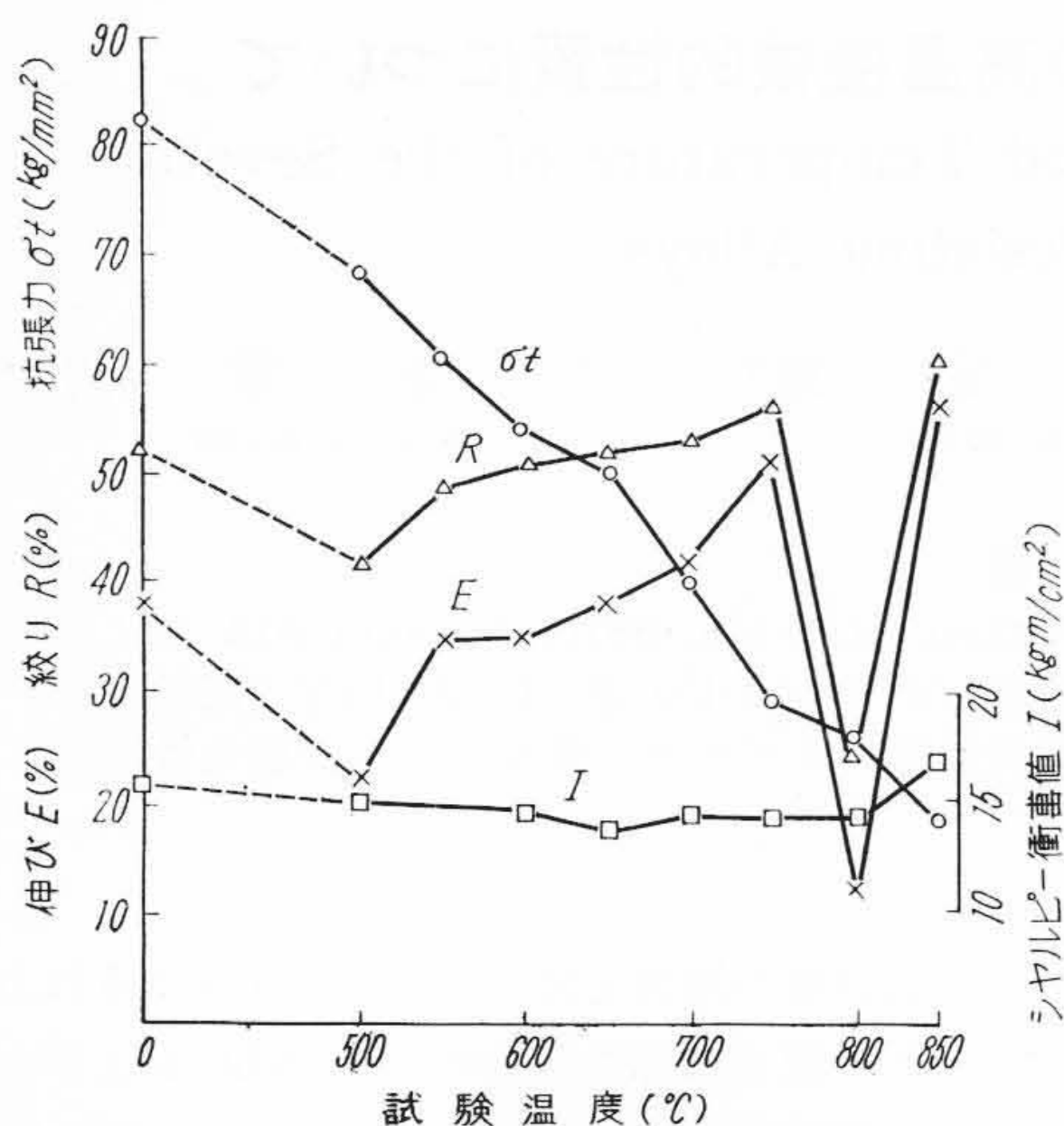
抗張力は試験温度の上昇に従い減少する。伸びおよび絞りも試験温度の上昇に従い増大するが, 800°C で著し

第1表 試 料 の 化 学 成 分

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	Nb	Ti	Al	N	Co
SEH 4	0.42	2.12	0.42	0.021	0.009	14.72	15.10	2.63	—	—	—	—	—	—
SEH 5	0.16	0.21	1.52	0.015	0.013	19.64	24.72	—	—	—	—	—	—	—
Timken	0.06	0.93	1.66	0.014	0.012	25.20	15.64	—	6.56	—	—	—	0.16	—
LCN-155	0.15	0.57	1.42	0.016	0.013	20.14	19.63	2.52	3.22	0.90	—	—	0.14	19.93
Y-155	0.41	0.82	1.31	0.010	0.014	15.64	19.98	2.03	2.48	—	—	—	0.13	15.07
S816	0.37	0.56	0.51	0.006	0.011	20.20	19.10	4.14	3.52	4.09	—	—	—	40.60
Nimonic 80A	0.05	0.59	0.61	0.005	0.004	73.4	17.10	—	—	—	2.11	1.20	—	—

* 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



第1図 SEH 4 の高温機械的性質
(1,100°C×1/2時間水冷,700°C×1時間時効)

第2表 100 時間のラプチャー強度 (kg/cm²)

試料	温度(°C)	600	650	700	750
SEH 4		34.7	23.0	—	—
SEH 5		29.1	22.4	—	—
Timken		—	31.4	22.3	16.0
LCN-155		—	35.1	30.7	18.2
Y-155		56.0	—	26.1	—
S816		—	41.1	30.4	20.9
Nimonic 80A		—	42.4	30.9	18.4

く減少する。これは炭化物の析出によるものと考えられる。衝撃値は本実験の範囲内では大差ない。

次に 600°C および 650°C の2温度における100時間のラプチャー強度を測定したが、この結果を第2表に示す。なお試験片の熱処理は前述のとおりである。また同表にはほかの耐熱合金のラプチャー強度も併記した。

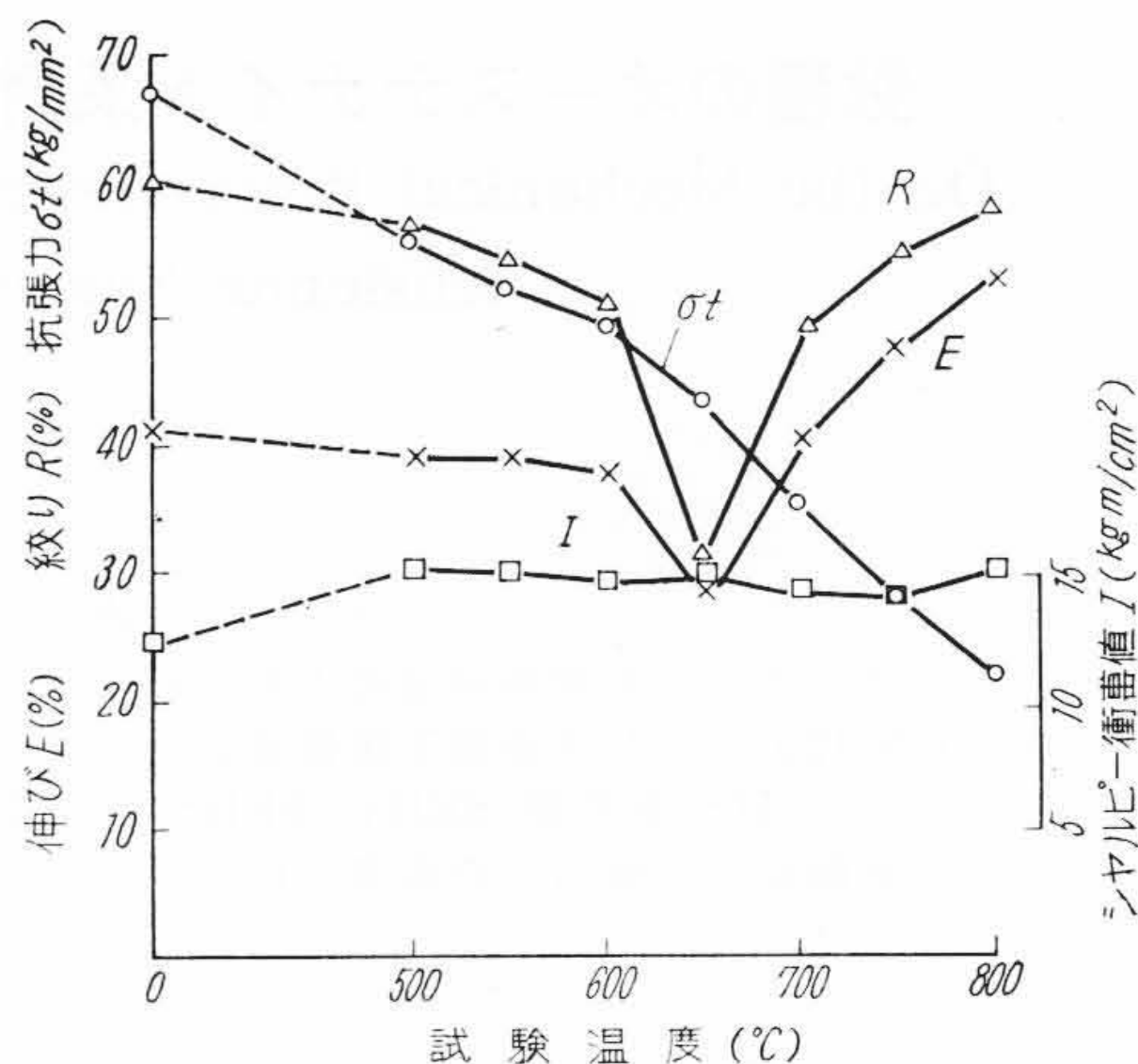
3.2 SEH 5

オーステナイト系耐熱鋼ではあるが、Ni, Cr 以外には特殊な元素もなく、強度の点についてはあまり期待できない。本鋼種は耐熱鋼および耐蝕鋼として用いられるものである。第2図に高温機械的性質を示したが、SEH4に比し抗張力は低い。なお試験前の熱処理は 1,100°C×1/2時間水冷,750°C×1時間時効とした。

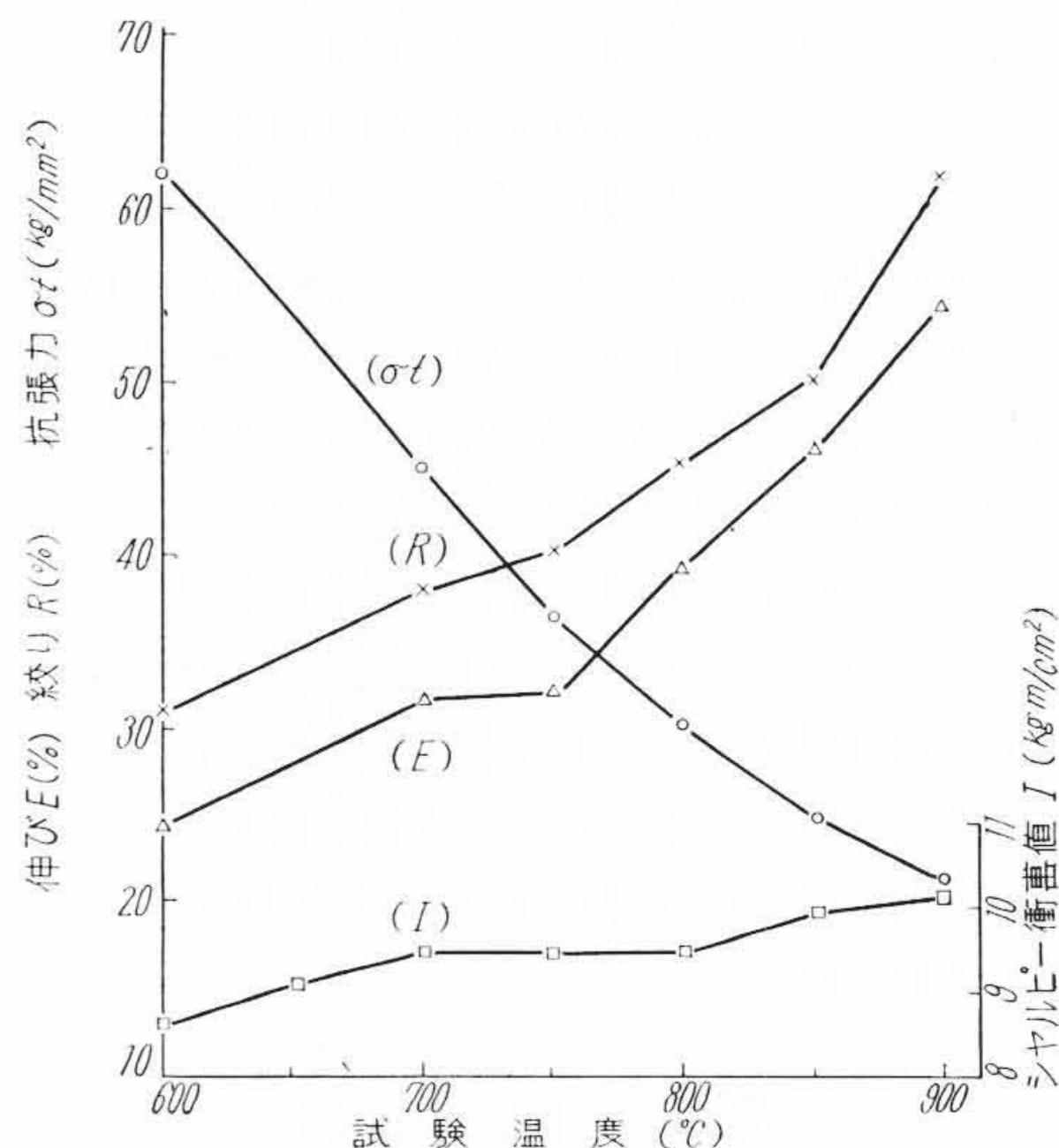
次にラプチャー強度は前記第2表に示したが、かく温度とも SEH4 に比しやや低い値を示す。

3.3 Timken

前述のように Timken の高温強度は Mo におうところが大きい、同時に N の影響も大きく、これは主として析出硬化に重要な影響を及ぼす。高温機械的性質に及ぼす窒素の影響については、筆者らの研究⁽¹⁾もあるが、



第2図 SEH5 の高温機械的性質
(1,100°C×1/2時間水冷,750°C×1時間時効)



第3図 Timken の高温機械的性質
(1,150°C×1時間水冷,700°C×10時間時効)

今回は標準組成の試料についてのみ結果を示す。試料はあらかじめ 1,150°C より水冷して溶体化処理を行い、700°C に10時間時効を行って試験に供した。第3図に600~900°Cの高温における機械的性質を示す。抗張力は試験温度の上昇に従い減少するが、伸び、絞りおよび衝撃値は逆に増大する。

ラプチャー強度は前記第2表に示したが、SEH4 および SEH5 に比しかなり大きな値を示す。

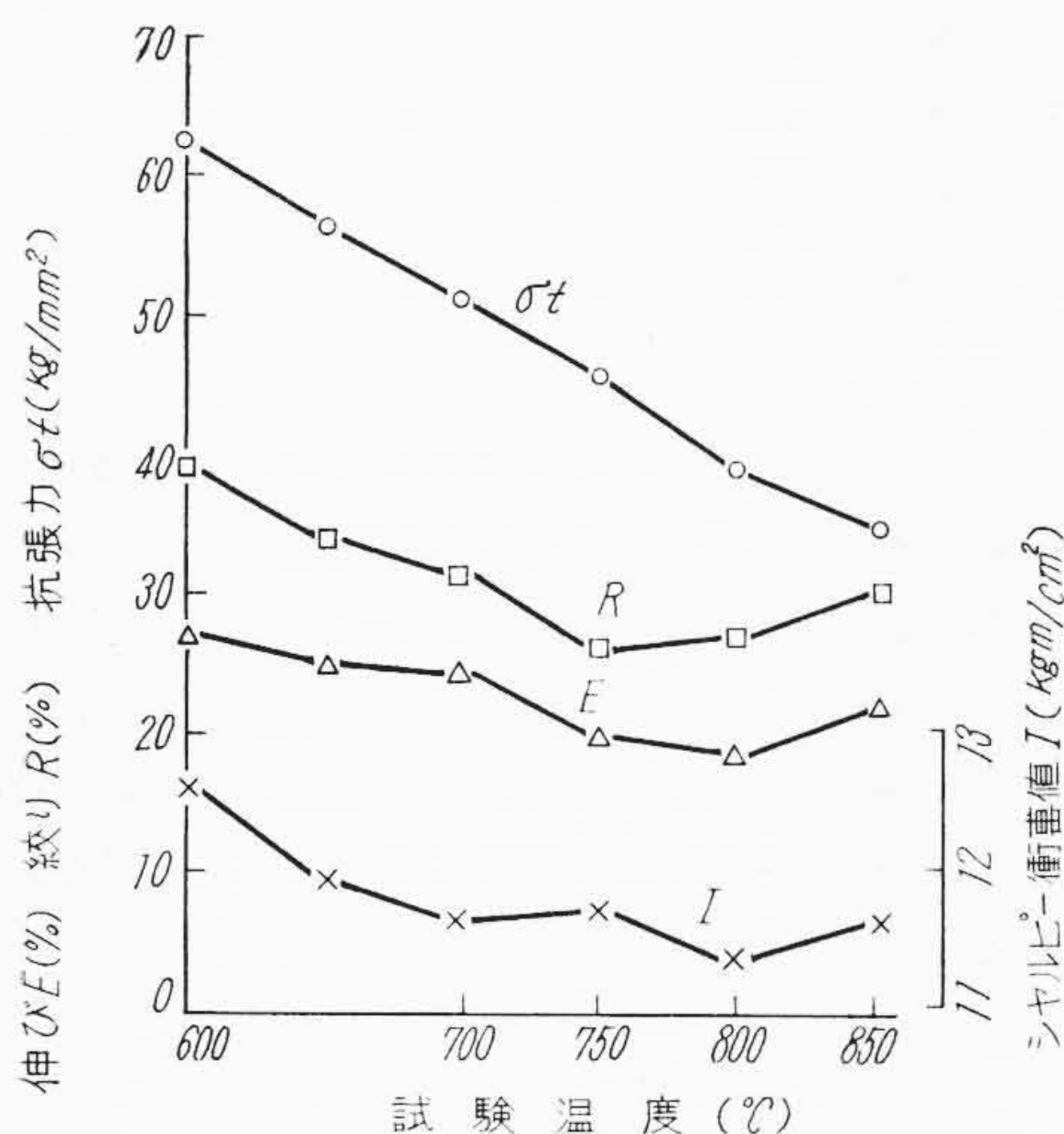
次に Timken は Mo を多量に含有するため、高温における耐酸化性が著しく低下するものと考えられる。第3表に700°C に20時間空気中において加熱し、酸化増量を秤量した結果を示す。なお同表にはほかの試料の酸化増量を併記したが、Timken の酸化増量はかなり大きい。

3.4 LCN-155

LCN-155 は Timken と同様析出型の耐熱合金で、

第3表 試料の酸化増量 $\times 10^{-5}$ g/cm²

試料	温度(°C)	700	750	800
Timken		21.0	—	—
LCN-155		7.0	8.9	—
Y-155		7.1	—	9.0
S 816		6.7	10.4	—
Nimonic 80A		3.4	5.6	—



第4図 LCN-155 の高温機械的性質
(1,210°C×1時間水冷,800°C×20時間時効)

車盤,あるいは鋳に加工して Jet Engine の尾筒などに広く使用されている。第4図に高温機械的性質を示したが,試料は 1,210°C に1時間保持後水冷して溶体化処理を行い,800°C に20時間時効して試験に用いた。

ラプチャー強度は前記第2表に示したが, Timken より大きい値を示す。

酸化増量は第3表に示すように Timken より少ないが,ほかの試料に比べると多い。

3.5 Y-155

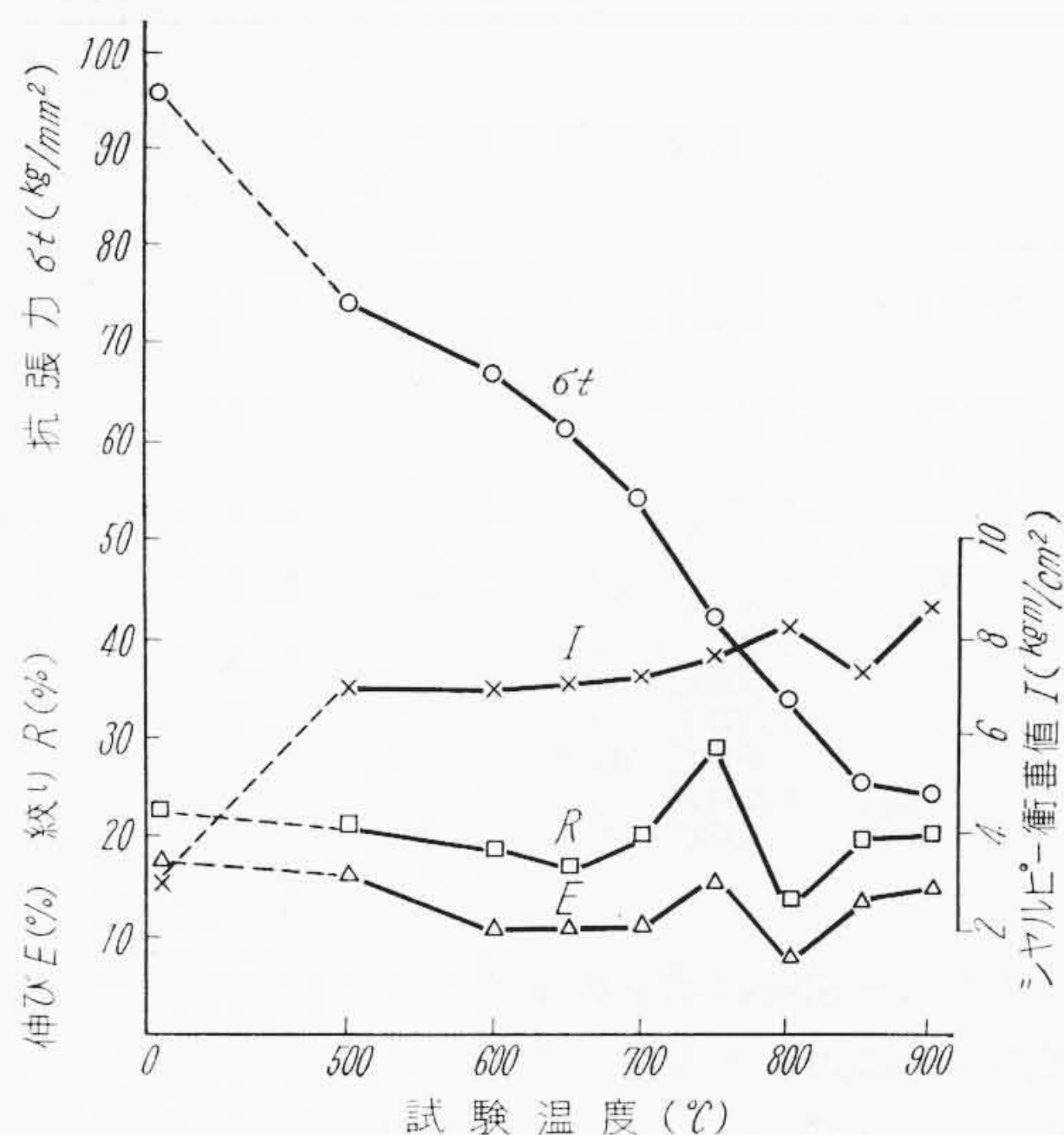
これは LCN-155 の Ni および Co をそれぞれ5%節減し,しかも耐熱性の大きい耐熱合金を得るため試作研究を行つたもので,詳細はすでに報告⁽²⁾がなされている。

第5図に高温機械的性質を示したが,試料は 1,250°C に3時間保持後水冷して溶体化処理を行い,800°C に20時間時効したものを用いた。

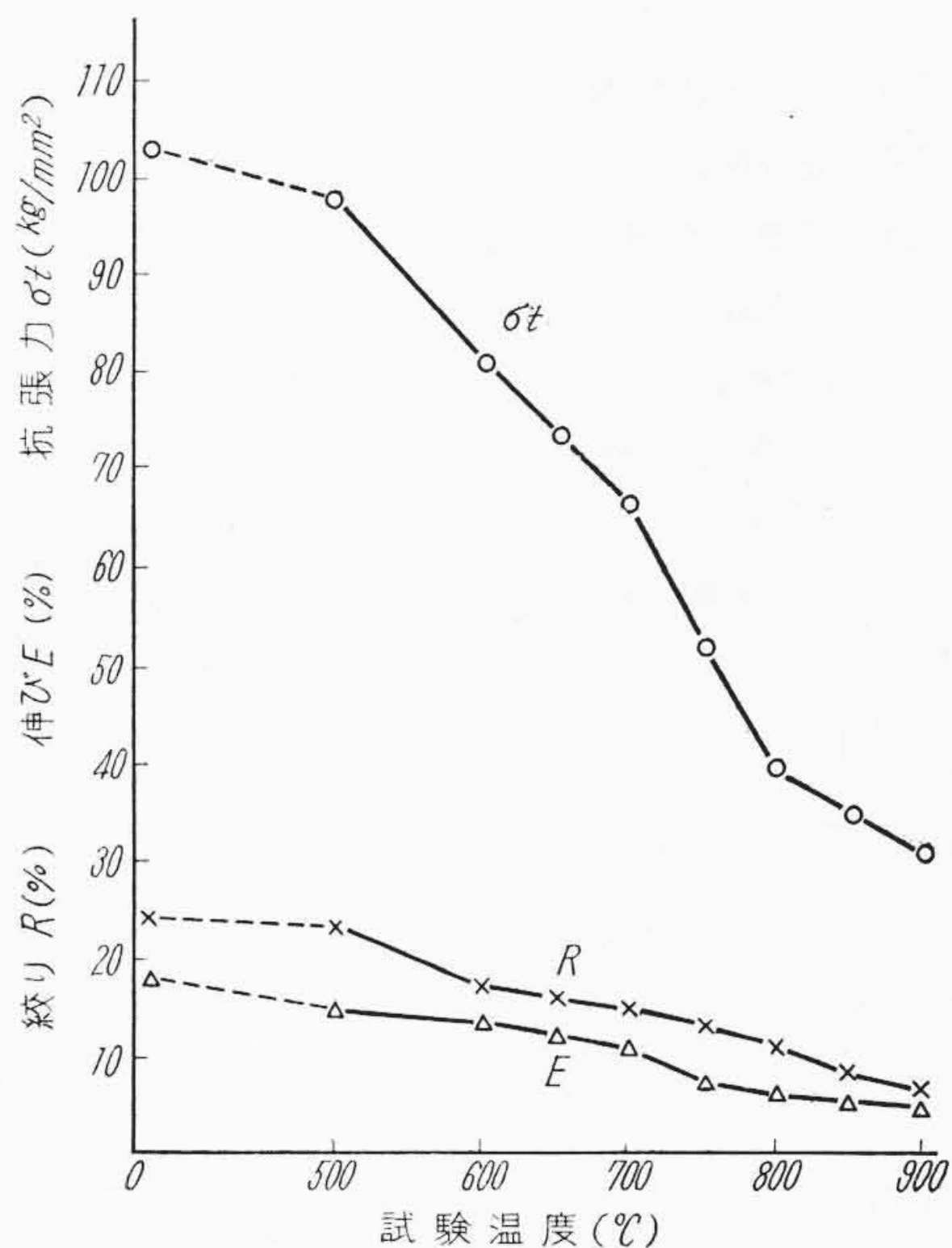
ラプチャー強度および酸化増量はそれぞれ前記第2表および第3表に示したが, Y-155 は総体的にみて 700°C 以上の高温においては LCN-155 にやや劣るが,700°C 以下の温度では LCN-155 に比しなんなら遜色がない。また Timken に比べればかなり大きい耐熱性を有している。

3.6 S 816

Co 基の鍛造可能耐熱合金のうちで最もすぐれた耐熱



第5図 Y-155 の高温機械的性質
(1,250°C×3時間水冷,800°C×20時間時効)



第6図 S 816の高温機械的性質
(1,250°C×1時間水冷,800°C×100時間時効)

性を有し,ブレード材として広く使用されている。高温における機械的性質を第6図に示す。なお試料はあらかじめ1,250°Cに1時間保持後水冷して溶体化処理を行い,800°C に100時間時効した試料を用いた。抗張力は試験温度の上昇に従い減少する。伸びおよび絞りも抗張力と同様の傾向を示す。これはCが高く W, Mo および Nb を多量に含有するため炭化物および化合物が逐次析出しその量を増加するためと思われる。

第4表 高温における機械的性質, ラプチャー強度および酸化増量

	試 験 前 熱 処 理	高 温 機 械 的 性 質						ラプチャー強度 100 時間 (kg/mm ²)		酸化増量20時間加熱 ×10 ⁻⁵ g/mm ²	
		700°C			800°C			650°C	700°C	700°C	750°C
		抗張力 (kg/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)	抗張力 (kg/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)				
SEH 4	1,100°C×1/2時間 油冷 700°C× 1時間 時効	40.0	42.0	53.0	26.0	12.1	24.5	23.0	—	(650°C) 8.75	—
SEH 5	1,100°C×1/2時間 水冷 750°C× 1時間 時効	35.0	40.0	48.5	21.5	52.7	57.5	22.4	—	(650°C) 7.5	—
Timken	1,150°C× 1時間 水冷 700°C× 10時間 時効	45.7	32.2	38.5	30.8	40.0	46.0	31.4	22.3	21.0	—
LCN-155	1,210°C× 1時間 水冷 800°C× 20時間 時効	51.2	24.5	32.0	39.0	19.0	27.1	35.1	30.7	7.0	8.9
Y-155	1,250°C× 3時間 水冷 800°C× 20時間 時効	54.5	11.0	20.0	34.5	8.0	13.8	—	26.1	7.1	—
S 816	1,250°C× 1時間 水冷 800°C× 100時間 時効	65.8	11.1	15.0	40.0	6.3	11.4	41.1	30.4	6.7	10.4
Nimonic 80A	1,250°C× 1時間 水冷 800°C× 100時間 時効	65.8	2.9	5.2	44.5	1.9	3.0	42.4	30.9	3.4	5.6

ラプチャー強度は前記第2表に示すとおりで、前述の各耐熱合金に比し大きなラプチャー強度を示す。

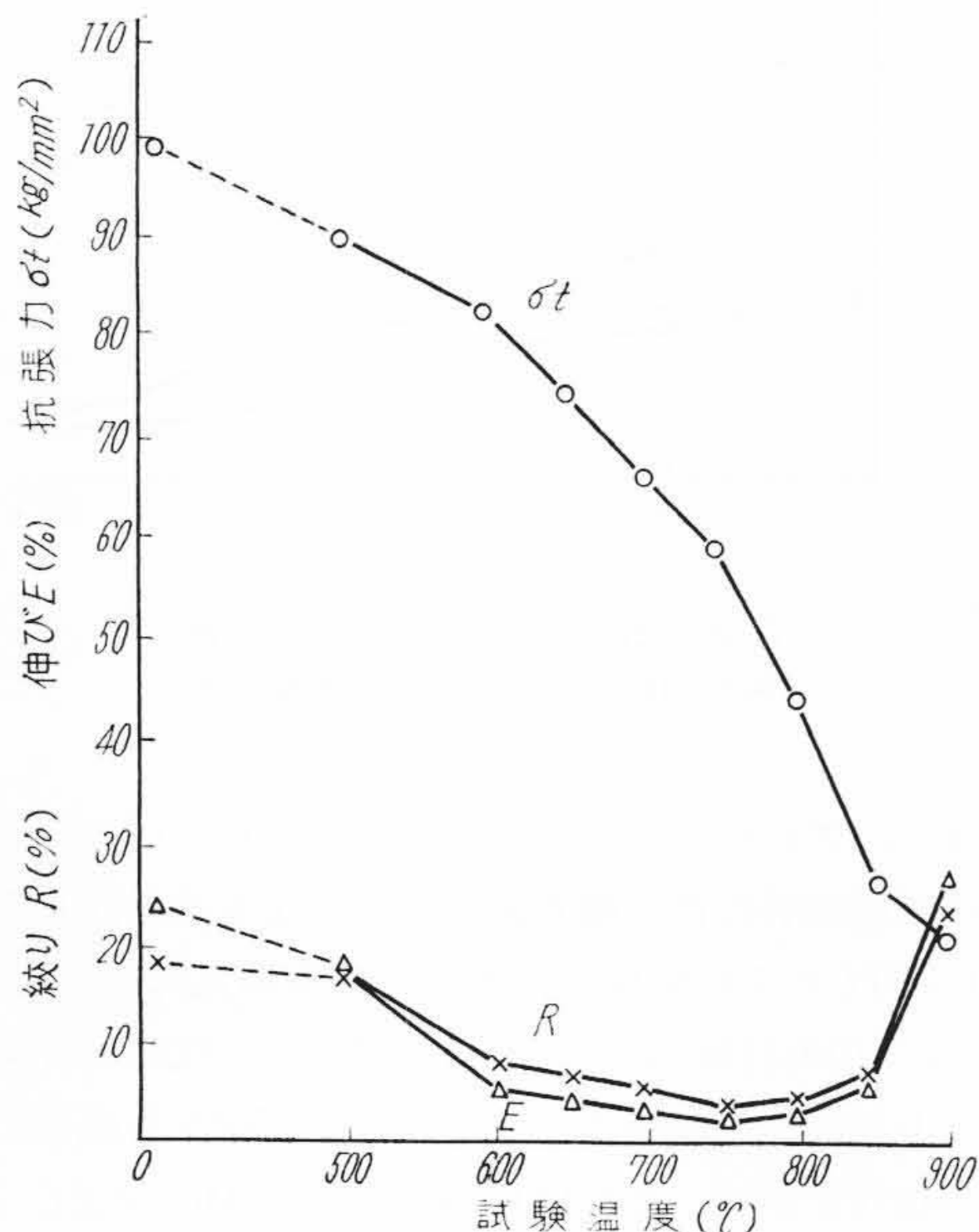
酸化増量はCの高いため LCN-155, Y-155 とほぼ同等の値を示す。

3.7 Nimonic 80A

Ni 基耐熱合金で英国のモンド会社の製品であるが、この系耐熱合金は現在 Nimonic 90, 100 とあり性質の点でも Nimonic 80A に比し、かなりすぐれている。この Nimonic 系統の耐熱性は Ti および Al が主要因となるが、最近では Mo を加えて性能の改善を図っている。

Nimonic 80A の高温機械的性質を第7図に示す。なお試料は S816 と同様 1,250°Cより溶体化処理を行い、800°C に 100時間時効したものを用いた。

ラプチャー強度は前記第2表に、酸化増量は第3表に



第7図 Nimonic 80A の高温機械的性質
(1,250°C×1時間水冷, 800°C×100時間時効)

示したが、ラプチャー強度は S816 とほとんど変わらず、酸化増量は最も少なく、すぐれた耐酸化性を示す。

なお本合金は高 Ni のため Ni 中に含有されるガスのため高温における加工性、機械的性質が阻害されるが、これを真空熔解すればガスおよび非金属介在物が減少したために、靱性に富みかつ高温強度のすぐれた製品⁽³⁾が得られる。これについては後刻詳細を発表する。

4. 総 括

第4表に各試料の 700°C および 800°C における高温機械的性質、ラプチャー強度、酸化増量を示し試料間の比較を行ってみた。

高温抗張力は Nimonic 80A が最も大きく、S816 は Nimonic 80A とほぼ同等の値を示す。JIS 耐熱鋼は抗張力が最も低い。やはり Ni, Co を多量に含有し、Mo, W および Nb など炭化物および化合物を生成する元素を多量に含む材料ほど抗張力が高くなる。

ラプチャー強度は抗張力とほぼ同様の傾向を示す。

耐酸化性は Nimonic 80A が最もよく、Mo を多量に含有する Timken が最も悪い。

5. 結 言

JIS 耐熱鋼 SEH4 および SEH5, 超耐熱合金と称せられる Timken, LCN-155, Y-155, S816 および Nimonic 80A の高温機械的性質、ラプチャー強度耐酸化性を測定し、相互間の比較を行って使用上の参考に供した。

耐熱性は Nimonic 80A, S816 など合金元素を多量に含有し、Fe 含有量の少ないものほどすぐれた性質を示す。

参 考 文 献

- (1) 小柴, 九重: 安来研報 第718号 (昭28-4)
- (2) 小柴, 九重: 日立評論 38, 493 (昭31-3)
- (3) 小柴, 九重: 日本金属学会 1957 年秋戸畑大会に講演