

(α - SiO_2) とロドナイト ($\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2$) の共存状態よりなる珪酸塩系介在物と、 MnS と FeS の共存状態あるいは MnS 単独状態よりなる硫化物系介在物との2つの系統に大別された。したがって珪酸塩介在物の組成は SiO_2 - MnO 系中の SiO_2 と $\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2$ の共存範囲にあり、また硫化物系介在物のそれは MnS - FeS 系中の MnS と FeS の共存範囲あるいは MnS 範囲にあるものと考えられる。以上の非金属介在物の他に、他の組成の化合物からなる介在物および電子回折によつては同定できなかった介在物がわずかではあるが存在した。

終りに臨み本研究の発表を許可された大河原社長、いろいろと御教示を賜つた村上先生、玉置前研究部長、佐々木研究部長ならびに石原常務に対し、深甚の謝意を表するとともに、分析その他でお世話になつた森脇次長、松本課員その他の関係各位に御礼申し上げます。

(昭和 34 年 2 月寄稿)

文 献

- 1) R. M. Fisher; Symposium on Technique for Electron Microscope, A.S.T.M., (1953) 49
- 2) 芥川, 内山, 深見; 鉄と鋼, 43 (1957) 1222
- 3) G. R. Booker; British J. Appl. Phys., 6 (1955) 430
- 4) Metals Hand Book, A.S.M., (1954) 449
- 5) A. M. Portevin & R. Castro; J. Iron and Steel Inst., 2 (1936) 213
- 6) J. H. Whiteley; J. Iron and Steel Inst., 160 (1948) 365
- 7) J. Amer. Ceram. Soc., 21 (1938) 121
- 8) R. Vogel u. W. Hotop; Arch. Eisenhütt., 1 (1937) 41

実用 Ni 基耐熱合金の機械的性質の比較*

(Ni 基耐熱合金に関する研究—V)

長 谷 川 太 郎**

Comparison of Mechanical Properties at Elevated Temperature of Some Commercial Ni-base Heat-Resisting Alloys.

(Studies on Ni-base heat-resisting alloys—V)

Taro Hasegawa

Synopsis:

Mechanical properties at elevated temperature of six commercial Ni-base heat-resisting alloys were investigated, and the effects of Co, Mo and Nb on mechanical properties were compared.

When compared the mechanical properties of Ni-Cr were with Ni-Cr-Co alloys, Co was found to be effective to increase strength at high temperature and long time test, and it also increased ductility at room & elevated temperature.

Mo was found to be effective to increase strength at high temperature, but it gave effect to decrease at high and long time test. M252 which contained 10% of Mo was found to have a lower creep rupture strength above 750°C than Inco 700 which contained lower Mo, but higher Ti, Al and Co. But M252 had the highest creep ductility at high temperature.

Nb was found to be effective to increase high-temperature strength as well as Ti & Al. But its effect was not clear in short time test of tensile strength. Therefore, Inconel X-550 had the highest stress rupture strength among Ni-Cr alloys. Creep ductility was decreased remarkably by the addition of 1.2% Nb as Ni-Cr alloys which contained high Ti and Al.

*昭和 33 年 4 月本会講演大会にて発表 ** 住友金属工業KK製鋼所

I. 緒 言

前報までに6種の Ni 基耐熱合金の機械的性質についてのべてきたので、本報ではこれらの結果を総合して、実用成分の合金により Ti, Al, Nb, Mo, Co など添加元素の機械的性質におよぼす影響についてのべたい。

II. 供 試 材

すでに報告した各合金の中で最も良好な機械的性質を示した試料をえらび、また熱処理法は各合金について代表的方法を採用した。Table 1 に供試材の化学成分を Table 2 におおの熱処理法を示す。供試材は既報のごとく真空熔解した 40kg 鑄塊を 15mmφ に鍛伸したものである。

III. 短時間機械的性質

Fig. 1 に常温 700, 750, 800°C の短時間引張試験結果を示し、Fig. 2 に常温衝撃値を示す。これらの結果を要約するとつぎのごとくなる。

(1) 抗張力、耐力では6種の合金中 M252 は最も高く、Inco 700 はこれについている。しかるにこれらと同系の Ni-Cr-Co 系合金に属する Nimonic 90 は上の二者よりかなり低く、Ni-Cr 系の Nimonic 80A とくらべると 700°C 以上で高い強度をもつが、Inco 739 と同等かむしろ低い強度となる。すなわち Ni-Cr 系合金に約 18% Co を添加したのみでは高温強度はやや高くなるが、Mo を 3% 添加した場合と大差ない程度の効果である。

(2) Ni-Cr 系合金の抗張力、耐力は Mo を含む Inco 739 が最も高い強度をもち Nimonic 80A, Inconel X-550 がこれについている。Inconel X-550 は Nb を含んでいるが、強度はむしろ Nimonic 80A より低い。

(3) 伸び、絞りには各合金共常温では比較的大きいが、700, 750°C の試験温度では高温試験中の析出硬化のため低下する。

Ni-Cr 系と Ni-Cr-Co 系ではとくに明らかな相違はなく、Mo, Nb を含ま

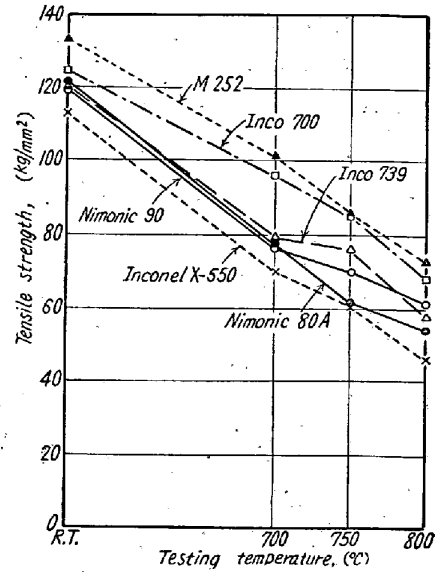


Fig. 1. a) Short-time tensile properties of various Ni-base heat-resisting alloys.

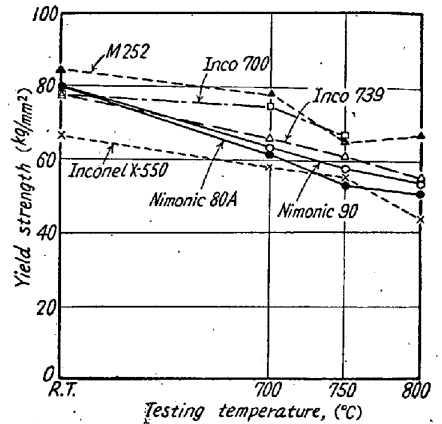


Fig. 1. b) Short-time tensile properties of various Ni-base heat-resisting alloys.

Table 1. Chemical compositions of materials tested.

Alloy	No. charge	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Co	Mo	Nb+Ta	Ti	Al
Nimonic 80A	A52	0.07	0.27	0.21	0.006	0.005	19.97	74.40	1.95	—	—	2.37	1.22
Inconel X-550	A57	0.06	0.21	0.21	0.010	0.006	15.11	78.58	—	—	1.22	2.18	1.21
Inco 739	A74	0.07	0.04	tr	0.016	0.004	15.16	77.25	—	2.95	—	1.79	2.76
Nimonic 90	N43	0.07	0.07	0.07	0.016	0.008	20.03	59.53	16.51	—	—	2.39	1.67
Inco 700	N44	0.11	0.07	0.11	0.011	0.007	15.37	48.40	28.49	2.97	—	2.12	3.33
M252	N21	0.11	0.42	0.35	0.008	0.005	19.27	55.80	10.81	9.37	—	2.98	0.81

Table 2. Heat treatment of specimens tested.

Alloy	Symbol of heat treatment	Procedures of heat treatment
Nimonic 80A	A	1065°C×8h-AC, 700°C×18h-AC
Inconel X-550	F	1180°C×1h-AC, 870°C×4h-AC, 730°C×4h-AC
Inco 739	E	1120°C×4h-AC, 980°C×1h-AC, 730°C×4h-AC
Nimonic 90	A	1065°C×8h-AC, 700°C×18h-AC
Inco 700	D	1180°C×2h-AC, 870°C×4h-AC
M252	G	1065°C×8h-AC, 760°C×15h-AC

ぬ Nimonic 80A
Nimonic 90 は高
い靱性をもつ。
M252 は多量の
Mo を含むが、C
量が高く γ' 相を
析出せぬためか高
温における靱性の
低下は少ない。ま
た Al 含有量の高
い Inco 739, Inco
700 および Nb
を含む Inconel
X-550 はいずれも
 γ' 相の析出が多
いため靱性は低
い。とくに Inco
700 は試験温度
750°C より 800°C
となつても靱性は
低下していること
は、800°C でもな
お γ' の析出の影響
が他の軟化より
大きいと考へられ、他の合金が高温となれば靱性が
向上しているのに対比される。

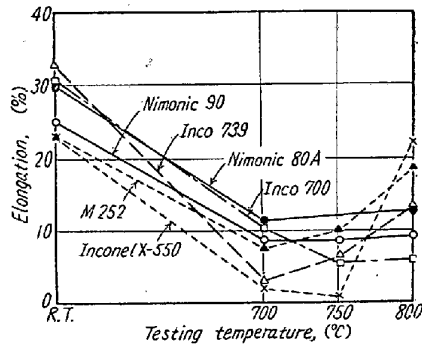


Fig. 1. c) Short-time tensile properties of various Ni-base heat-resisting alloys.

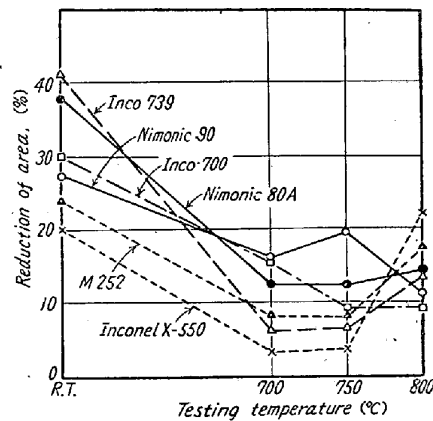


Fig. 1 d) Short-time tensile properties of various Ni-base heat-resisting alloys.

大きいと考へられ、他の合金が高温となれば靱性が
向上しているのに対比される。

(4) 常温衝撃値は M252, Inco 739 がとくに低く
Inconel X-550 はこれにつき, Nimonic 80A, Nimonic
90, Inco 700 が最も高い。

すなわち Mo, Al, Nb 含有量が高くなれば衝撃値は低
下するが, Inco 700 のごとく Co 含有量が高くなれば
Mo を含んでもその量が少ないので衝撃値の低下は緩和
される。Inco 739 は常温引張試験の伸び, 絞りが高い
が, 衝撃値のみ低い点は他の合金と異つている。

Table 3. Stress rupture strength at 750 and 816°C of various Ni-base heat-resisting alloys (kg/mm²)

Alloy	No. charge	750°C			816°C	
		100 h	300 h	1000 h	100 h	300 h
Nimonic 80A	A52	28.0	23.0	19.0	14.5	12.5
Inconel X-550	A57	32.5	28.0	24.0	18.2	15.2
Inco 739	A74	30.0	24.8	20.3	17.2	14.3
Nimonic 90	N43	29.0	25.0	20.5	18.0	14.5
Inco 700	N44	36.0	32.5	29.0	24.8	20.0
M 252	N21	37.0	32.0	27.0	21.8	18.0

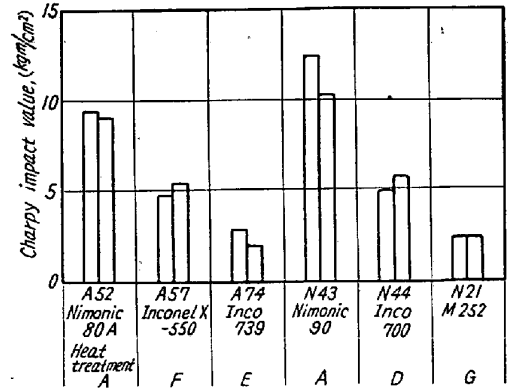


Fig. 2. Charpy impact value of various Ni-base heat-resisting alloys.

IV. クリープ破断試験結果

Fig. 3, 4 に 750 および 816°C におけるクリープ破
断応力-時間関係を示し, Table 3 にこれらにより求め
たクリープ破断応力を表示する。これらの結果および短

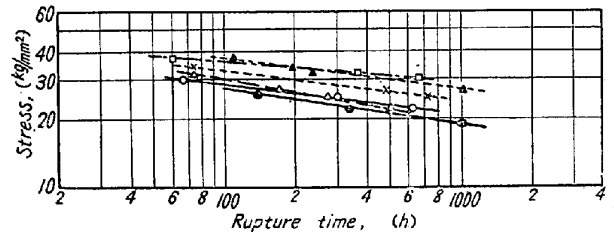


Fig. 3. Stress rupture strength at 750°C.

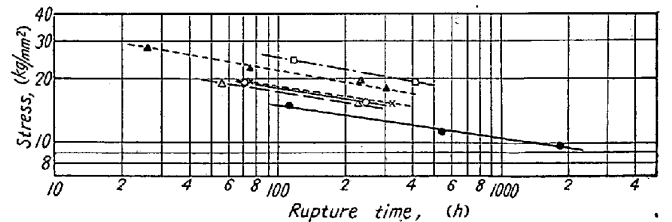


Fig. 4. Stress rupture strength at 816°C.

Table 4. Stress rupture strength calculated by master rupture curves (kg/mm²)

Temperature °C	Time h	Nimonic 80 A A53	Inconel X-555 A57	Inco 739 A74	Nimonic 90 N43	Inco 700 N44	M 252 N21
600	10	—	—	—	—	—	—
	100	—	—	—	—	—	—
	1000	59.0	55.0	65.0	63.0	73.0	79.0
650	10	—	—	—	—	—	—
	100	56.0	53.0	62.0	61.0	69.0	76.0
	1000	44.0	45.0	48.0	47.0	55.0	60.0
700	10	54.0	52.0	60.0	59.0	67.0	73.0
	100	41.0	43.0	45.0	43.0	53.0	58.0
	1000	29.5	34.0	31.0	31.0	40.0	41.0
750	10	40.0	42.0	44.0	42.0	52.0	56.0
	100	28.0	32.5	30.0	29.5	38.5	39.0
	1000	19.0	23.5	20.0	20.5	28.0	26.0
800	10	27.5	32.0	29.5	29.0	38.0	38.0
	100	18.0	23.0	19.5	20.0	27.5	25.0
	1000	12.0	14.0	13.0	13.5	18.5	16.5
850	10	18.0	23.0	19.5	20.0	27.5	25.5
	100	11.7	13.5	13.0	13.5	18.2	16.0
	1000	—	—	—	—	—	—
900	10	12.2	14.5	13.5	13.8	18.8	16.5
	100	—	—	—	—	—	—
	1000	—	—	—	—	—	—

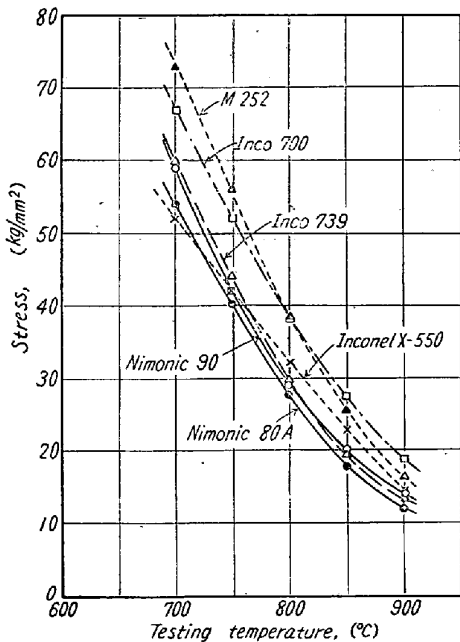


Fig. 5. 10 hours stress rupture strength.

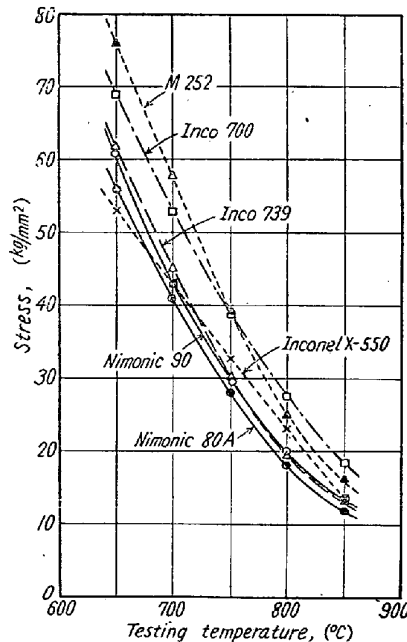


Fig. 6. 100 hours stress rupture strength.

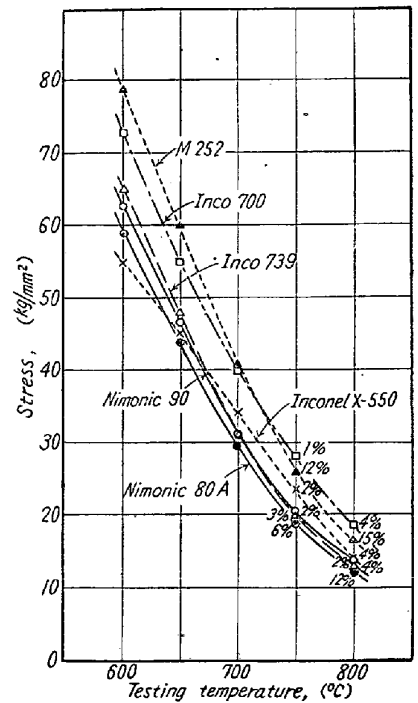


Fig. 7. 1000 hours stress rupture strength.

時間引張試験結果を総合して Larson & Miller¹⁾ の Master Rupture Curve をえがきこれより 600~900

°C の間のクリープ破断応力を求めたのが Table 4 で、Fig. 5, 6, 7 はこの結果よりクリープ破断応力-温度

関係をえがいたものである。これらの結果より各合金のクリープ破断特性を比較すればつぎのごとくなる。

(1) Ni-Cr-Co 系では Mo 含有量の最も多い M252 は 700°C 以下では最も高いクリープ破断応力を示すが、高温または長時間では Mo 量は少ないが Ti, Al 含有量の多い Inco 700 が高い強度となる。すなわち 10 h および 100 h の破断強度では 800°C 以上、1000 h の破断強度では Inco 700 の強度が M252 より高くなる。

(2) Ni-Cr 系合金で 3% Mo を含む Inco 739 は Mo を含まぬ Nimonic 80A より明らかに高い強度を示す。また Nimonic 90 と比較すれば 100 h のクリープ破断応力では 750°C 以下、1000 h では 700°C 以下でより高いクリープ破断応力を示す。すなわち Mo により高温強度が高くなることは前項と同様で、比較的長時間または高温ではその効果は次第に減少する。

(3) Nimonic 80A と Nimonic 90 を比較すると Nimonic 90 のクリープ破断応力は Nimonic 80A より常に高いのは Co の影響によるものと考えられる。

(4) Inconel X-550 は 10 h クリープ破断応力で 750°C は以上で Nimonic 80A および Nimonic 90 より高い強度となる。また 100 h および 1000 h クリープ破断応力では 700°C 以上で Nimonic 90 より高くなり、Inco 700 および M252 について高い強度をもっている。すなわち Nb は短時間試験ではその効果は明らかでなかつたが、高温長時間試験では明らかに強度向上に有効である。

(5) Fig. 7 に 1000 h クリープ破断時の伸びを記入したが Al 含有量多く $Ni_3Al-\gamma'$ を多く析出する Inco 700, Inco 739 および Nb を含む Inconel X-550 はいずれもいちじるしく靱性が低い。

また Ni_3Al をほとんど析出しないといわれる M252

は最も高い靱性を示し、比較的 Al 含有量の低い Nimonic 80A がこれについて靱性が高い。

V. 結 論

6 種の Ni 基耐熱合金の機械的性質を比較し Mo, Co, Nb など添加元素の影響をまとめるとつぎのごとくなる。

(1) Ni-Cr 系と Ni-Cr-Co 系を比較すると Co は高温強度の向上に有効であるが、低温または短時間では明らかでなく、高温または長時間試験で明らかとなる。また Co は常温および高温の靱性向上に有効であるが、Ti, Al 量が高くなれば Co が多くともクリープ靱性は低下する。

(2) Ni-Cr 系, Ni-Cr-Co 系いづれに対しても Mo は高温強度の向上に有効であるが、その効果は長時間または高温度では次第に減少する。したがって Mo 含有量の最も多い M252 は 750°C 以下では最も高い強度を示すが、これ以上の温度では Ti, Al, Co 量の多い Inco 700 が最も高い強度となる。Mo は常温衝撃値を低下するが、高温クリープ靱性を必ずしも低下せず M252 は 6 種の合金中最高のクリープ靱性を示す。

(3) Nb は Ti, Al と同様に高温強度の向上に有効であるが、短時間引張強度では Nb を含まぬ Nimonic 80A より低い強度で、クリープ破断試験にてはじめてその効果があらわれ、Ni-Cr 系合金中最も高い強度を示した。Nb による靱性の低下ははなはだしく、Ti, Al 含有量の多い合金と同様に Inconel X-550 のクリープ靱性は低い。(昭和 33 年 11 月寄稿)

文 献

- 1) F. R. Larson & J. Miller: Trans. ASME, Vol. 74 (1952) p. 765~776

書 評

ドイツの鉄鋼協会から独一英、英一独対訳の鉄鋼用語辞典が出ている。これは英国の鉄鋼協会と協力して編輯されているが、その企劃の始まりは遠く 1936 年ドイツのデュッセルドルフにおける上記両学会の連合講堂大会にさかのぼる。わが国にもこの辞典の初版を母体とした日独英対訳製鉄用語集が出ているが、それと比較するとさすがに長年月を経るだけに語数はいちじるしく増加している。ポケットに入る 10.5×14.5cm 264 頁の小型の辞典で、巻末には英、米、独の各種の単位の換算表も付してある。わが国の本屋のカatalogを見ると定価 1250 円となっている。

(S. S)