

# Cr-Ni オーステナイト系耐熱鋼の熔接部の 機械的性質について

小野 健二\* 鈴木 音次郎\*\*

## The Mechanical Properties at the Welded Part of Cr-Ni Austenite Heat Resisting Steels

By Kenji Ono, Otojirō Suzuki

Hitachi Laboratory, Kasado Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

Writers carried out three kinds of mechanical test, i. e., impact, tensile and creep test, on the welded part of Cr-Ni austenite steels welded with Cr-Ni austenite welding rods.

The results of these tests are summerized as follows.

(1) Brittleness seen into neighbourhood of the boundary between mother and deposited metals is eased a little at high temperatures.

(2) Strength of the specimen with welded part is remarkably influenced by the diffusion of carbon from mother metal to deposited metal.

(3) Creep limit of the specimen with welded part is higher than that of mother and deposited metal at comparatively high creeping velocity, but almost equal to that of deposited metal at low creeping velocity.

### [I] 緒 言

オーステナイト系不銹鋼の熔接は既に一般に廣く行われている處であるが、同じ系統の耐熱鋼の熔接に於ては例えばガスタービンローターの熔接部に見られるように過酷な条件下の應力を受ける場合があるので、熔接部に於ける機械的性質を明らかにし、目的に應じて適切な材料を用いなければならない。しかし従來耐熱鋼として熔接の適用出来るもの數少なく、又熔接棒としても亦同様の憾みがあつたが、入手出来た材料の中 Cr-Ni 系耐熱鋼 2 種と同系統の熔接棒 2 種を以て熔接した場合の熔接部について諸種の機械試験を行つた結果について述べ今後の参考に資する次第である。

### [II] 試 料

耐熱鋼熔接の母材としてイ-301 及び イ-306 を用い、

\* 日立製作所日立研究所

\*\* 日立製作所笠戸工場

熔接棒としては前者に對しては NCT-3 (25Cr-20Ni-Mo 鋼)、後者に對し 18-8 鋼熔接棒を用いた。但し高温抗張、衝撃の兩試験には熔接棒は NCT-3 のみを用いた。第 1 表は母材並びに軟鋼板上に肉盛りしたときの熔着鋼の分析結果を示す。

第 1 表 母材及び熔着鋼の組成 (%)

Table 1 Chemical Composition of mother and deposited metals.

種別	符 號	C	Si	Mn	P	Cr	Ni	W	Mo
母材	イ-301	0.40	2.30	0.75	0.027	15.97	13.30	3.28	—
	イ-306	0.17	0.04	0.41	0.014	18.50	8.05	0.52	—
熔着鋼	NCT-3	0.14	0.47	0.94	0.005	23.84	19.38	tr	0.31
	18-8	0.13	0.12	1.93	0.009	14.57	8.73	tr	0.22

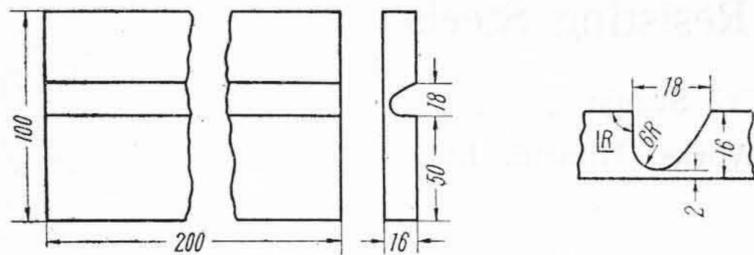
試験片としては熔接部の硬度、衝撃の兩試験、衝合熔接及び熔着鋼の高温抗張試験、熔接部の高温衝撃試験及び耐熱鋼母材、熔着鋼並びに熔接部を含む耐熱鋼の匍匐試験等を目的としてそれぞれ製作したが、それらの製作

方法と熱處理については各試験の章に於て述べる。

[III] 熔接部に於ける硬度及び衝撃値の分布

熔接部特に熔着鋼と母材との境界附近には、脆化が起る場合があり、しばしば龜裂發生の原因となることがある。よつて熔接部附近に於ける硬度及び衝撃値の分布を求め熔接による脆化の生ずる範圍を明らかにした。

(1) 實驗 試験片の製法について述べる。第 1 圖の左に示すような幅 100 mm, 厚さ 16 mm の母材を開先



第 1 圖 硬度測定及び衝撃試験片の製作方法  
Fig. 1 Preparation of Test Piece for Hardness and Impact Test.

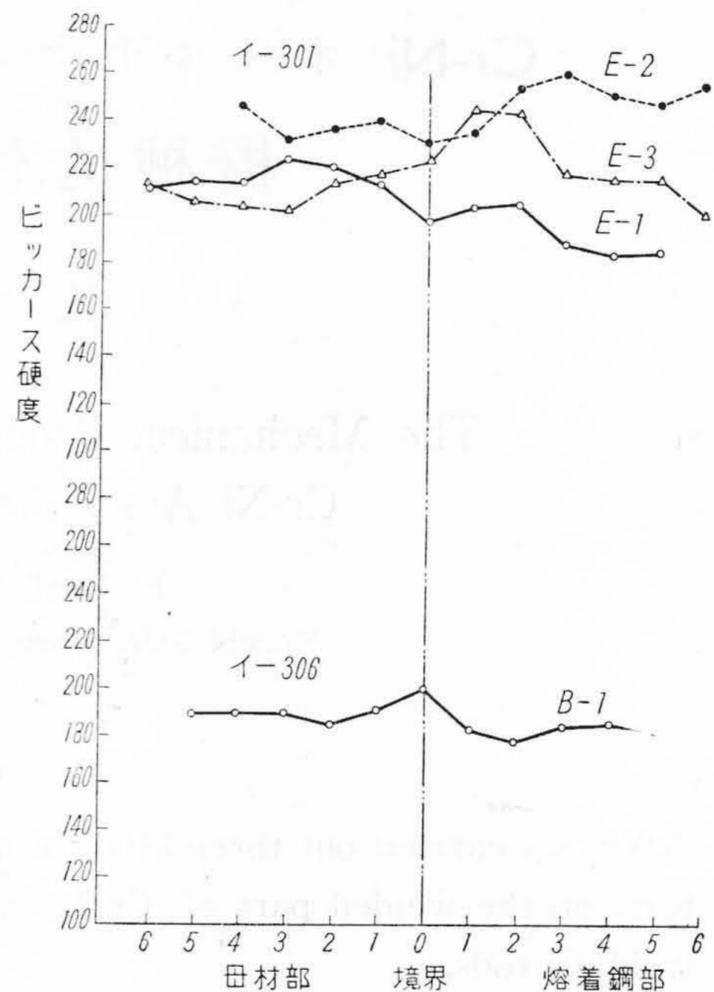
し、開先法は圖の右の如く一方を板面に直角となるようにした開先部に徑 3 mm の熔接棒を以て熔接肉盛した。熔接法は底部をストレートビード、上部は軽くウェービングビードで積層し、熔接に際しては電流 80 A と一定し、直流熔接機を以て逆極性（熔接棒を正極）にして行つた。

硬度分布の測定はヴィッカーズ硬度計によつた。開先に際し板面に直角に切られた側を熔接部の境界とし、これを原點として母材部及び熔着鋼部に 6 mm の距離にわたつて 1 mm ごとに硬度を求めた。次に衝撃試験片のノッチの位置は境界を原點として母材部及び熔着鋼部へ 0.5 mm ごとに、又境界より離れた母材部と、熔着鋼部の中央とに設けた。第 2 表は熔接後の熱處理を示し試験は總て常溫で行つた。

第 2 表 熱 處 理  
Table 2 Heat treatment.

符 號	母 材	熔接棒	處 理
E-1	イ-301	NCT-3	950°C 空冷
E-2	〃	〃	700°C 6 時間 5 回加熱
E-3	〃	〃	800°C 8 時間加熱
B-1	イ-306	18-8	1,050°C 空冷

(2) 結果 第 2 圖は硬度測定結果を示す。母材がイ-301 のときは境界に於ける硬度の増加はないが、イ-306 の場合は境界でやゝ高い。又 イ-301 の場合 700°C 5 回加熱で母材及び熔着鋼部共に硬度が増し、特に熔着鋼部は著しい。800°C 空冷で境界に近い熔着鋼部の硬度は増すが、硬度の増加は炭化物の析出によると考えられるか



第 2 圖 熔接部の母材と熔着鋼との境界附近における硬度分布

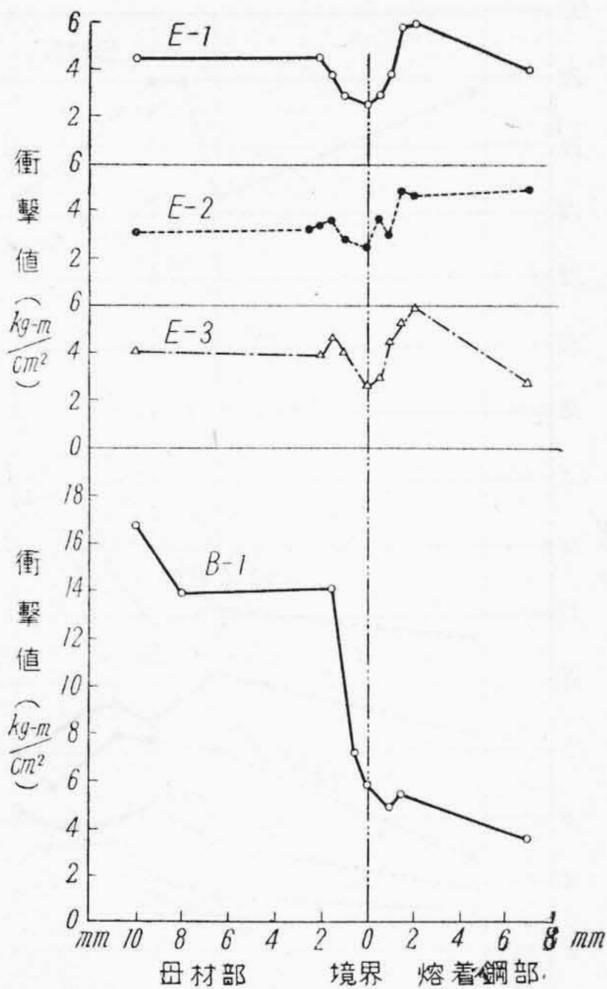
Fig. 2 Distribution of Hardness No. at the Neighbourhood of Boundary between Mother Metal and Deposited Metal.

ら、イ-301 を熔接すると母材から熔着鋼部へ C が擴散するのである。しかし境界では硬度の變化が少ないので、硬度の測定だけでは脆化の範圍を充分知ることは出来なかつた。第 3 圖は衝撃試験結果を示す。イ-301 を NCT-3 熔接棒を以て熔接した場合で熱處理の如何を問わず全般的に衝撃値が低く、特に境界に於て著しい。脆化の範圍は母材及び熔着鋼兩部へ境界から約 1.5 mm に及ぶことがわかる。又 イ-306 と 18-8 鋼熔接棒との組合せでは、母材部は境界に接する附近の約 1.5mm 附近から急激に脆化を示した。

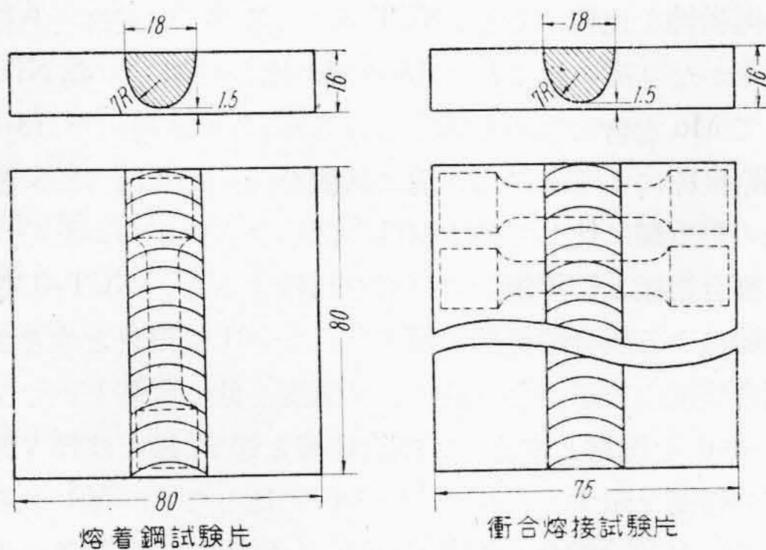
[IV] 熔接部の高温抗張及び衝撃試験

[III] に於て熔接部は母材と熔着鋼の境界附近に於て脆化が見られることを述べたが、耐熱鋼として使用溫度附近の高温に於て果してどの程度の強度及び靱性を有するかを知ると共に、熔接部の一部を占める熔着鋼の性質をも明らかにした。

(1) 實驗 まず試験片の製法について述べる。衝合熔接試験片は第 4 圖右に示すように、厚さ 16 mm の耐熱鋼板を U 字形に開先した部分に NCT-3 熔接棒を以て熔接肉盛した。又熔着鋼試験片は第 4 圖左に示すように、NCT-3 熔接棒及び 18-8 鋼熔接棒を以つて熔接肉



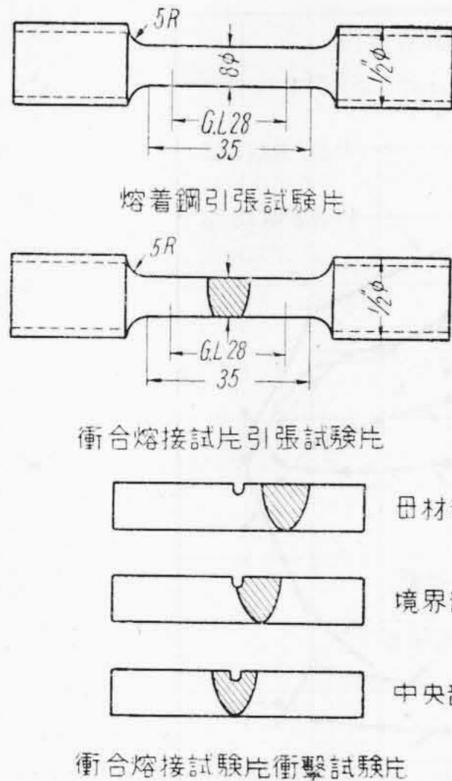
第3圖 熔接部の母材と熔着鋼との境界付近における衝撃値の分布  
Fig. 3 Distribution of Impact Value at the Neighbourhood of Boundary between Mother Metal and Deposited Metal.



第4圖 熔着鋼及び熔接部の抗張試験片の製法  
Fig. 4 Preparation of Tension Test Piece for Deposited Metal and Welded Part.

盛を行った。熔接方法は [III] の場合と同様である。第5圖は試験片の寸法を示し、衝合熔接試験片では試験片の中央部に熔着鋼部が位置するようにし、又衝撃試験片ではノッチの位置を、(i) 熔接の熱影響を受けない母材部、(ii) 母材と熔着鋼との境界及び (iii) 熔着鋼部の中央とに設けた。

高温抗張試験には 20 t アムスラー型万能試験機を使



第5圖 抗張及び衝撃試験片の寸法及び熔接部の位置  
Fig. 5 The Dimension and Position of Welded Part of Tension and Impact Test Piece.

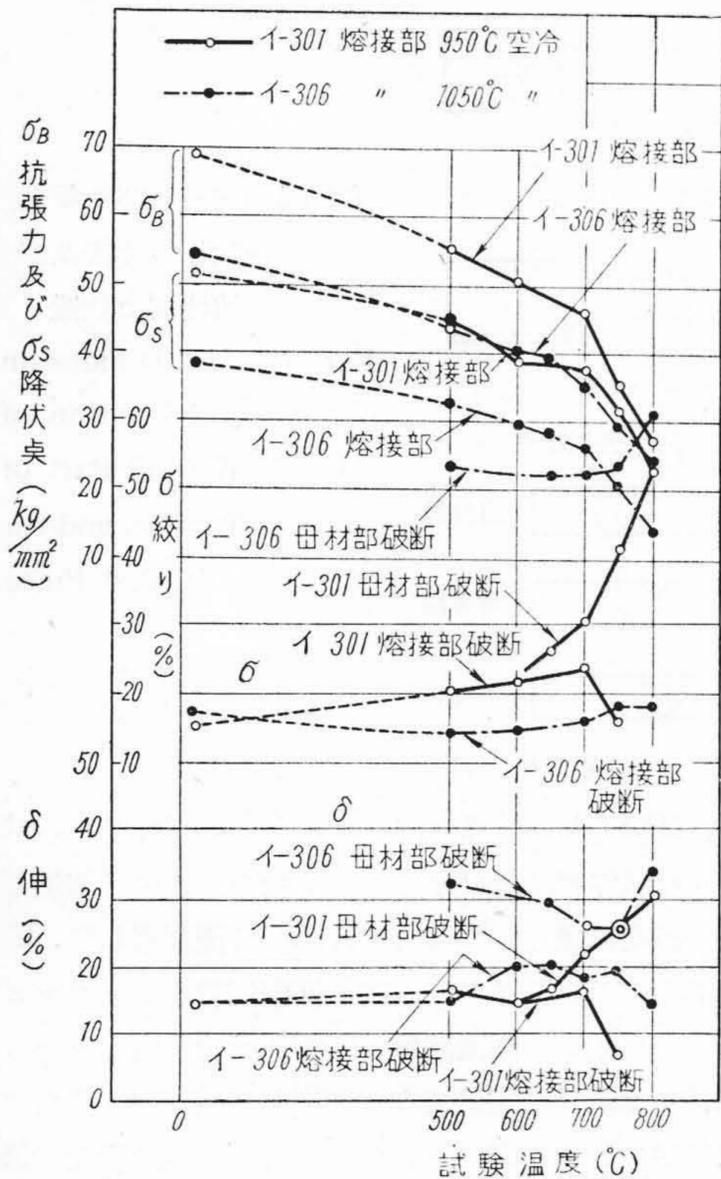
用し、試験方法は普通に行われるものと同様であるが、試験片を試験機に取付けてから管状電気爐中で加熱し、所定の温度に達してから 30 分間保持後荷重して、2 分間で切断するようにした。次に衝撃試験にはシャルピー型試験機を用い、高温試験には豫め所定温度よりやや高く加熱した試片を加熱爐より取出して試験機に取付け、豫備試験によつて定められた一定時間経過後所定の温度に達した處で衝撃するようにした。試験温度は常温、600、650、700、750 及び 800°C とした。試片は熔接後 第3表に示すような熱処理を施し、ある試片に於ては熱処理による機械的性質の相違を求めた。

第3表 衝合熔接及び熔着鋼機械試験片の熱処理  
Table 3 Heat Treatment of specimen butt welded and deposited Metal for Mechanical Testings.

符號	母材	熔接棒	處理	備考
ENA	イ-301	NCT-3	950°C 空冷	抗張、衝撃兩試験片
VNA	イ-306	〃	1,050°C 〃	〃
NN	—	〃	處理せず (熔接のまま)	抗張試験片
NA	—	〃	950°C 空冷	〃
NQ	—	〃	1,100°C 油冷	〃
HN	—	18-8	1,100°C 空冷	〃
HQ	—	〃	處理せず (熔接のまま)	〃

(2) 結果

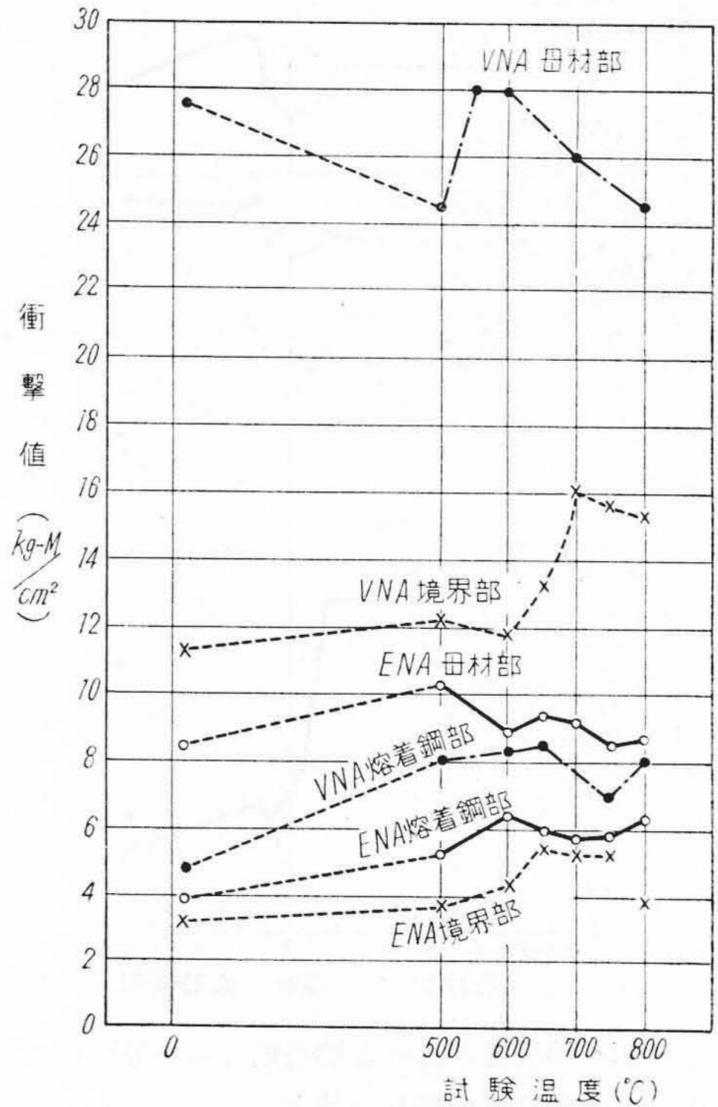
(i) 衝合熔接の場合 第6圖は抗張試験結果を示す。高温試験に於ては熔接部の方が母材より強く、従つて母材部に於て破斷したものがあるので、第6圖では母材部破斷と熔接部破斷とを區別した。強度は母材によつてか



第6圖 耐熱鋼熔接部の高温抗張試験結果  
Fig. 6 Result of Tension Test of Welded Part at High Temperatures.

なり相違し、母材がイ-301の場合はイ-306に比して強度大である。伸及び絞りは熔接部破断のものではイ-301の場合、常温~700°Cでは変化が少なく、750°Cになると低下し、又母材がイ-306では650°C附近で伸がやゝ増し、絞りは常温~800°Cでは変化がない。母材部で破断する場合は伸及び絞りが共に著しく高い。第7圖は衝撃試験結果を示す。これによれば衝撃値は熔着鋼部境界及び母材部の別なくイ-301の場合よりイ-306を母材とした方が大で、兩材とも母材部が境界及び熔着鋼部より高い衝撃値を有する。又高温に於ける衝撃値は常温に於けるより増す傾向があり、常温の値以下になることは稀である。熔接棒が同一なるに拘らず母材によつて熔着鋼部或は境界に於ける衝撃値の異なることは前述した通りである。

(ii) 熔着鋼の場合 第8圖及び第9圖は抗張試験結果を示す。第8圖はNCT-3熔接棒による場合で、熱処理を行わないものは強度が最も高く、伸及び絞りは空冷すると比較的高い。1,100°C油冷では強度がやゝ低下するに拘らず靱性が低い。第9圖は18-8鋼熔接棒による場合で、1,100°C油冷に比し無処理の方が強度高く且伸及び絞りは熱処理の影響が少ない。兩熔接棒による熔着鋼



第7圖 耐熱鋼熔接部の高温衝撃試験結果  
Fig. 7 Result of Impact Test of Welded Part at High Temperature.

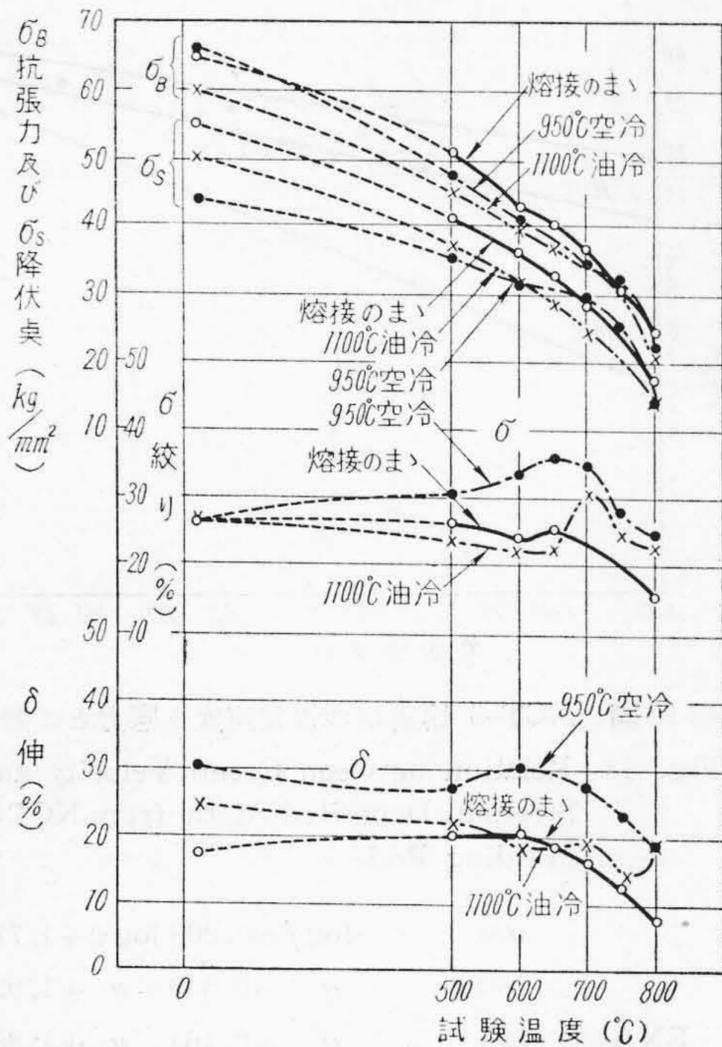
の機械性を比較すると、NCT-3による方が强度高く且靱性もかなり高い。これは18-8鋼に比して高Cr, 高NiにしてMoを含むためと考えられるが、こゝに用いた18-8鋼熔接棒によるものは、別に試験を行つた各種18-8鋼系の熔着鋼に比して多少靱性に低いきらいがあつた。

衝合熔接と熔着鋼との強度を比較すると、NCT-3熔接棒による場合熔接部破断では、イ-301を母材とすると衝合熔接の方がかなり高く、又温度が低い程著しい。又イ-306を母材とすると、衝合熔接と熔着鋼とはほぼ同等の強度を示す。これはイ-306に比してイ-301は高Cのため衝合熔接の熔着部へCを擴散して熔着鋼のC量を高めるためと考えられる。

[V] 熔接部の匍匐限度

[IV] に於ては熔接部の高温抗張、衝撃兩試験の結果について述べたが、耐熱材料の高温機械性を知る方法として更に匍匐試験を行い耐熱鋼の熔接部について検討した。

(1) 實驗 母材と熔着鋼とよりなる衝合熔接片の試験と共に母材並びに熔着鋼單獨の場合についてもそれぞれ試験した。第10圖は熔着鋼及び衝合熔接試験片の作り方を示す。熔着鋼試験片は圖示するように、軟鋼板上



第8圖 NCT-3 熔着鋼の高温抗張試験結果  
 Fig. 8 Result of Tension Test of Deposited Metal from NCT-3 Welding Rod at High Temperatures.

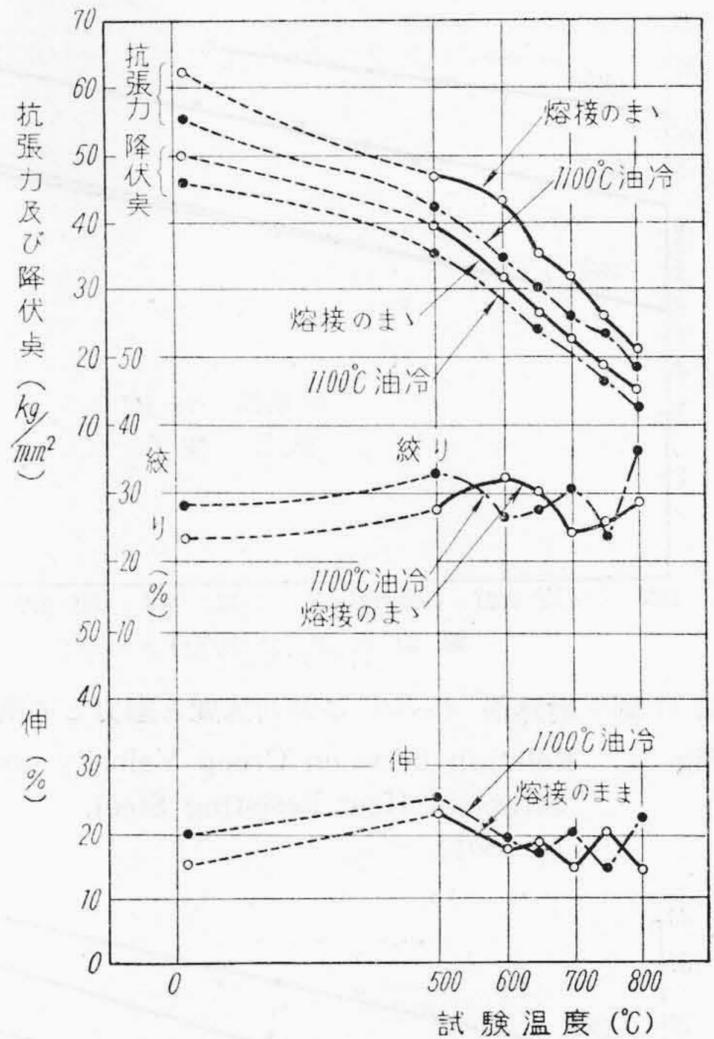
に上部 50 mm, 下部 40 mm の開先を施してこの間に熔接肉盛りを行い、又衝合熔接試験片は [IV] に述べたと同様の方法によつた。熔接方法は [III] に示したのと同様である。匚匚試験片の寸法は平行部の径 4 mm, 長さ 38 mm とし、熔着鋼試験片では平行部全体が熔着鋼よりなり、又衝合熔接試験片では平行部の一部に熔接部が含まれるようにした。第4表は熔接後の熱処理を示す。

第4表 試料の熱処理

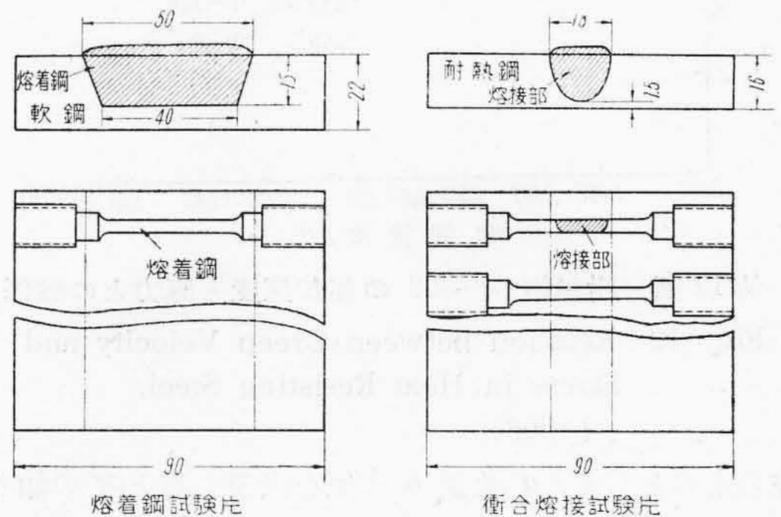
Table 4 Heat Treatment for Specimens.

符 號	母 材	熔 接 棒	處 理	備 考
EA	1-301		950°C 空冷	耐 熱 鋼
VA	1-306		1,050°C //	//
NA		NCT-3	950°C //	熔 着 鋼
HA		18-8 鋼	// //	//
ENA	1-301	NCT-3	// //	衝合熔接
VNA	1-306	18-8 鋼	1,050°C //	//

試験方法は所謂短期試験方法を採用した。試験片が所定温度に達してから1時間後に荷重し、荷重後30分間毎に伸を測定して得られる匚匚曲線から3~8時間に於ける匚匚速度  $v$  を求め、 $v$  と応力  $f$  との関係を對數方眼紙上に描き、任意匚匚速度に對應する応力を求め、匚



第9圖 18-8 鋼熔着鋼の高温抗張試験結果  
 Fig. 9 Result of Tension Test of Deposited Metal from 18-8 Welding Rod at High Temperatures.



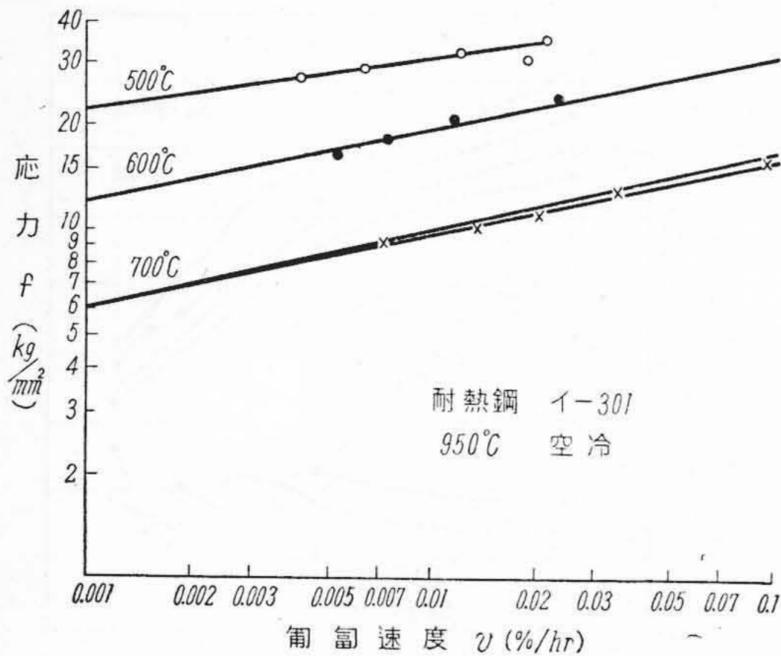
第10圖 熔着鋼及び熔接部の匚匚試験片の製法  
 Fig. 10 Preparation of Creep Test Piece for Deposited Metal and Welded Part.

匚匚限度を決定した。試験温度は 500, 600 及び 700°C とした。

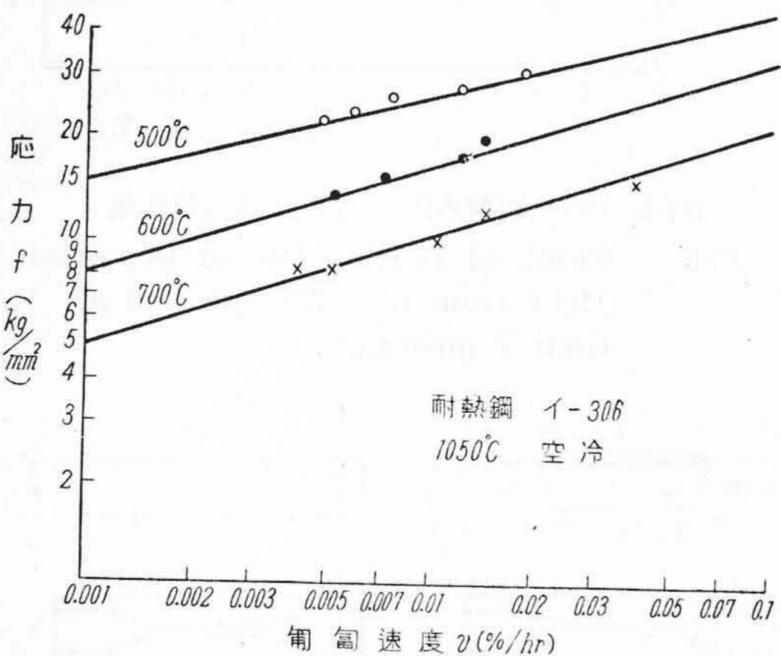
(2) 結果 第11圖~第16圖は匚匚速度  $v$  と應力  $f$  との関係を各温度別に示す。即ち  $v$  と  $f$  との関係を對數方眼紙上に示したもので、何れも直線をなすものと見做すと、 $v$  と  $f$  との間に次の式が成立する。

$$\log f = a \log v + b$$

本研究に於て  $v$  の總ての範圍で上記の實驗式が成立



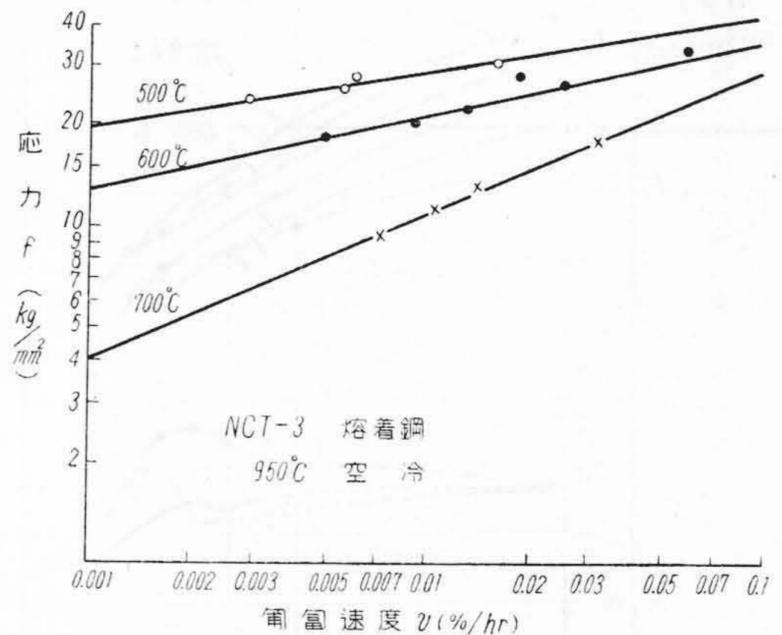
第11圖 耐熱鋼 I-301 の匍匐速度と應力との關係  
Fig. 11 Relation between Creep Velocity and Stress in Heat Resisting Steel.  
(I-301)



第12圖 耐熱鋼 I-306 の匍匐速度と應力との關係  
Fig. 12 Relation between Creep Velocity and Stress in Heat Resisting Steel.  
(I-306)

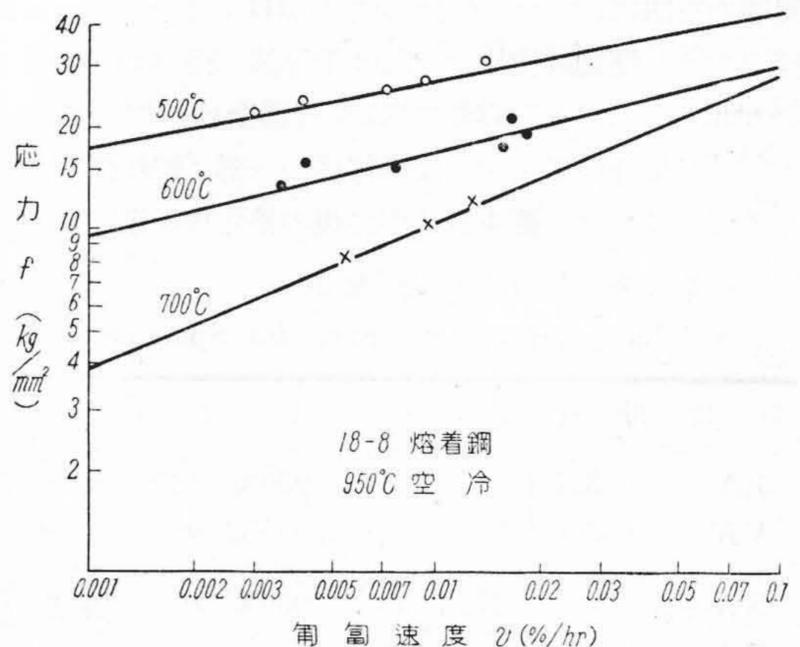
するものとして、*a* 及び *b* の値を決定すると次の如くなる。

符號	溫度 °C	實驗式
EA	500	$\log f = 0.155 \log v + 1,808$
	600	// = 0.217 // +1,730
	700	// = 0.234 // +1,464
VA	500	// = 0.255 // +1,927
	600	// = 0.320 // +1,851
	700	// = 0.331 // +1,673
NA	500	// = 0.166 // +1,789
	600	// = 0.219 // +1,760
	700	// = 0.430 // +1,892
HA	500	// = 0.216 // +1,879



第13圖 NCT-3 熔着鋼の匍匐速度と應力との關係  
Fig. 13 Relation between Creep Velocity and Stress in Deposited Metal from NCT-3 Welding Rod.

ENA	600	$\log f = 0.268 \log v + 1,773$
	700	// = 0.449 // +1,926
	500	// = 0.164 // +1,868
VNA	600	// = 0.195 // +1,775
	700	// = 0.379 // +1,818
	500	// = 0.183 // +1,774
	600	// = 0.191 // +1,622
	700	// = 0.389 // +1,820



第14圖 18-8 熔着鋼の匍匐速度と應力との關係  
Fig. 14 Relation between Creep Velocity and Stress in Deposited Metal from 18-8 Steel.

次に匍匐速度が 0.01, 0.005, 0.001 及び 0.00001% /hr に對する匍匐限度 *f* を上式より算出して第5表に示した。

第5表 各種匏匏速度に對する匏匏限度 (kg/mm<sup>2</sup>)Table 5 Creep Limit for various Creep Velocity (kg/mm<sup>2</sup>)

符 號	溫 度 °C	匏 匏 速 度 %/h			
		0.01	0.005	0.001	0.00001
EA	500	31.5	28.2	22.0	10.8
	600	19.8	17.0	12.0	4.42
	700	9.91	8.41	5.78	1.97
VA	500	26.1	21.8	14.5	4.49
	600	19.3	13.0	7.78	1.78
	700	10.3	8.15	4.73	1.04
NA	500	28.6	25.5	19.5	9.10
	600	21.0	18.0	12.7	4.62
	700	10.8	7.98	4.00	0.55
HA	500	28.0	24.1	17.0	6.30
	600	17.3	14.3	9.31	2.71
	700	10.7	7.83	3.79	0.48
ENA	500	33.6	30.0	23.0	10.8
	600	24.3	21.2	15.5	6.31
	700	11.5	8.81	4.79	0.83
VNA	500	26.6	22.5	16.8	7.23
	600	17.4	15.2	11.2	4.65
	700	11.0	8.41	4.50	0.75

以上によると耐熱鋼 イ-301 の匏匏限度は イ-306 のそれに勝り、熔着鋼では NCT-3 熔接棒によるものは熔接棒のものに比して高く、低匏匏速度の場合を除けば、NCT-3 熔接棒による熔着鋼は イ-301 に、又 18-8 鋼熔接棒によるものは イ-306 に匹敵する。衝合熔接の場合にはほぼ各々構成する熔着鋼及び耐熱鋼母材より高い匏匏限度を有するが、低匏匏速度に於ては母材に劣り、熔着鋼に近い値を示すことが判る。

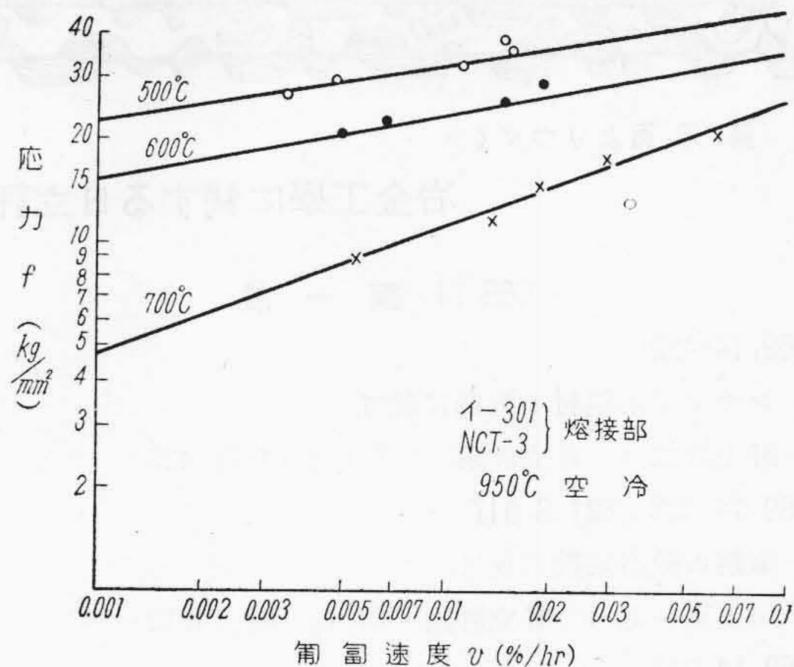
### [VI] 總 括

Cr-Ni 系耐熱鋼 2 種を Cr-Ni 鋼系熔接棒を以て熔接し、その熔接部について各種の機械試験を行つた結果を要約すると次の如くである。

(1) 熔接部に於て熔着鋼と母材の境界附近は常温では靱性が低いが、高温では靱性を増す傾向がある。熔着鋼部は母材より C が擴散するので、C が比較的高い耐熱鋼 イ-301 を母材とすると熔接部は脆化し易い。

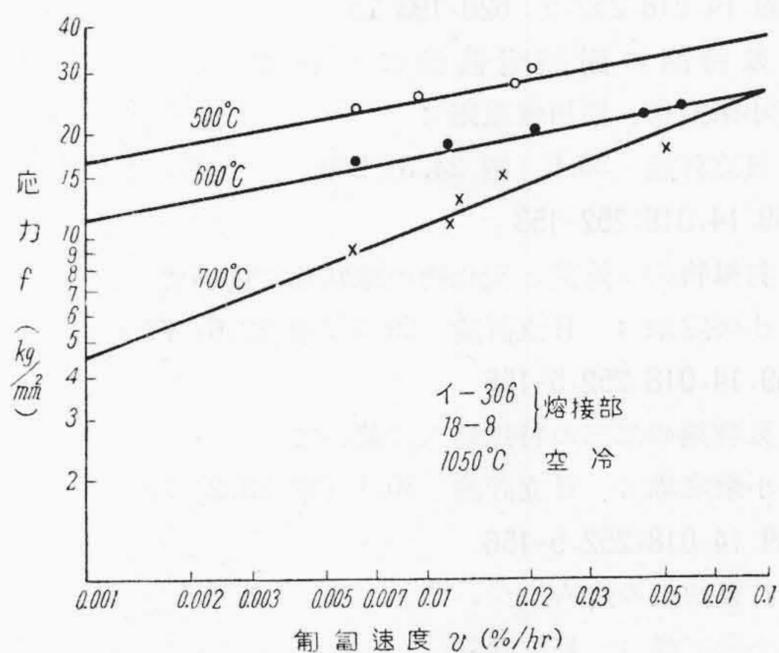
(2) 衝合熔接片の高温強度は、耐熱鋼 イ-301 を母材とするとそれを構成する熔着鋼のそれより高く、イ-306 を母材とすると熔着鋼とほぼ同様である。

(3) 衝合熔接片の匏匏限度は短期匏匏ではそれを構



第15圖 イ-301 を NCT-3 熔接棒を以て熔接した熔接部の匏匏速度と應力との關係

Fig. 15 Relation between Creep Velocity and Stress in Welded Part of Heat Resisting Steel (I-301) Welded by NCT-3 Welding Rod.



第16圖 イ-306 を 18-8 鋼熔接棒を以て熔接した熔接部の匏匏速度と應力との關係

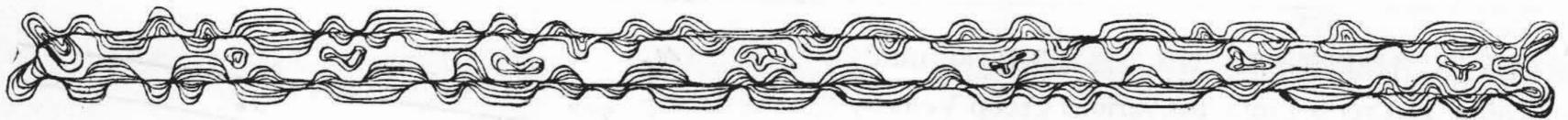
Fig. 16 Relation between Creep Velocity and Stress in Welded Part of Heat Resisting Steel (I-306) Welded by Welding Rod.

成する熔着鋼及び母材のそれに勝るが、長期匏匏では熔着鋼の値に近い。

終りに臨み各種熔接試験片の製作に盡力せられた村松隆一氏に對し感謝する次第である。

### 參 考 文 獻

小野、鈴木：Cr-Mn-W オーステナイト鋼の高温機械性と Cr-Ni 鋼熔接棒による熔接について、日立評論、30(1948)、25



(第 36 頁よりつづく)

UDC 669(048.1)

## 冶金工學に関する日立評論、既刊の論文集 (その三)

### 669.14 鋼 一 般

669.14-422

シャフト用鋼材の選擇に就て

野上熊二；日立評論 8.7 (大 14.7) 425

669.14-423 : 621.3.017

型鋼の線路定數に就て

川上嘉一郎；日立評論 22.12 (昭 14.12) 843

669.14.017

鋼の理論的研究に関する考察

野上熊二；日立評論

その一 8.1(大 14.1)17 その二 8.5(大 14.5)283

### 669.14.018.252.5 打双物鋼

669.14.018.252.5 : 620.193.25

双物鋼の耐酸耐蝕性について

小柴定雄、原田健重郎；

日立評論 30.6 (昭 24.3) 259

669.14.018.252-153

打双物鋼の焼鈍と炭化物の球狀化に就いて

小柴定雄；日立評論 29.3 (昭 22.6) 77

669.14.018.252.5-156

双物鋼の二三の特殊焼入に就いて

小柴定雄；日立評論 30.1 (昭 23.2) 32

669.14.018.252.5-156

打双物鋼の焼入について

小柴定雄；日立評論

第1報 32.9 (昭 25.9) 836 第2報 32.9 (昭25.9)

841 第3報 32.10 (昭 25.10) 899 第4報 32.10

(昭 25.10) 904

669.14.018.256-156.33

白紙印鋼の二段焼入と表面硬化について

小柴定雄；日立評論々文集 1.2 (昭 23.5) 73

669.14.018.256

衝撃ピストン用高炭素鋼について (第1報)

鹽澤益保；日立評論 26.7 (昭 18.7) 397

669.14.018.27

SN 發條鋼の物理的性質に就て

菊田多利男、遠間駒五郎；日立評論 21.6 (昭13.6)

443

669.14.018.29

構造用炭素鋼の機械的性質に及ぼす質量効果に就いて

能勢正元、鈴木憲三；

日立評論 26.8 (昭 18.8) 466

669.14.018.462.002.69

代用肌焼鋼に就て

芥川武、原田健重郎；

日立評論 25.7 (昭 17.7) 376

669.141

鐵及び鋼の製造法並びに加工法の種類名稱

野上熊二；日立評論

その一 5.7(大 11.7)326 その二 5.8(大 11.8)385

669.141.24.856.84 : 620.178.322.2

軟鋼溶接部の疲勞強度 (第1報)

鈴木音次郎、西尾 保；

日立評論 26.11 (昭 18.11) 595

669.141.24.856.84 : 621.178.746

異常溫度に於ける軟鋼溶接部附近の衝撃値分布

鈴木音次郎、村松隆一；

日立評論 25.6 (昭 17.6) 302

669.141.247. [669.187.4]

雲伯地方産眞砂砂鐵製鹽基性電氣爐鋼材の研究

石垣豊造；日立評論 その一 21.5 (昭 13.5) 397

その二 21.6 (昭 13.6) 453 その三 21.7 (昭 13.7) 543

669.141.25

普通鋼鑄物の物理的特質に就て

野上熊二；日立評論 6.2 (大 12.2) 61

669.141.25

鋼鑄物に於ける冶金の效果に就て

松本寅雄；日立評論 22.6 (昭 14.6) 391

669.141.25-15 : 621.313.322-82

水力發電機用鑄鋼品に對する熱處理に就て

野上熊二；日立評論 6.3 (大 12.3) 86

### 669.15 特殊鋼

669.15

モリブデンを節減せる特殊鋼

小柴定雄；日立評論 27.2 (昭 19.2) 119

669.15-156

特殊鋼の焼入性に就いて

芥川 武、原田健重郎；

日立評論 26.3 (昭 18.3) 160 (第 78 頁につづく)