

り、Ni 量が増すにしたがいオーステナイトの回折線の強度が強くなりフェライトの強度が減少する。S3 ではフェライトがさらに減少し、オーステナイトの強度はさらに増加したマルテンサイトの強度も増加している。またこれらの試料を液体窒素中に 1h 浸漬した試料はすべてマルテンサイトの強度が増加している。

一方 1200°C で溶体化処理を行なうとマルテンサイトの強度が増加する。これは普通の炭素鋼の場合と逆の現象であるが、この種の鋼においては溶体化処理温度を上げることにより δ 量が増加するためと思われる。

c) 引張り強さ

引張り試験は 1100°C 溶体化処理後、室温、500°C、600°C、700°C、800°C において行なつた。Fig. 2 に Ni 量と引張り強さとの関係を示す。S 系列では 500°C までは引張り強さは Ni 量とともに減少するが、600°C 以上では一定である。これは 500°C 以下ではオーステナイトよりフェライトの強いためであり、600°C 以上ではほとんど差がなくなるためと思われる。

溶体化処理温度による影響を調べるために 1250°C、1200°C、1150°C、1100°C で溶体化処理後 S4、S7 は 500°C で S5、S6 は 600°C の温度で試験を行なつた。その結果を Fig. 3 に示す。500°C での試験結果では δ フェライト量の変化の多い S4 は溶体化処理温度が 1200°C 以上で引張り強さは低下しているが δ フェライト量の変化の少ない S7 は地の組成変化がきわめて小さいため溶体化処理温度による差はほとんどないが、1250°C

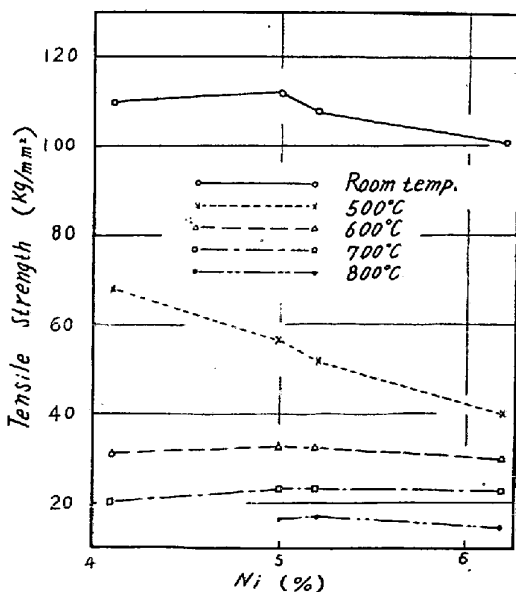


Fig. 2. The relation between Ni content and tensile strength at various temperatures. (1100°C x 1h sol. treat.)

でわずかに低下している。600°C では相による強さの差がきわめて小さいため溶体化処理温度にかかわらずほぼ一定となる。

M 系列では引張り強さはいずれの温度でも Mo 量とともに増加している。また溶体化処理温度の影響はほとんどないが試験温度 500°C ではわずかに増加し、600°C ではわずかに減少している傾向を示している。

これは δ フェライト量の変化から説明できる。

d) クリープ・ラプチャー強さ

クリープ・ラプチャー試験はすべて 650°C で行ない、荷重は S 系列では 9 kg/mm²、M 系列では 18 kg/mm² で行なつた。試験結果の一部を述べると S 系列では引張り試験の場合と異なり、Ni 量の多いほどいちじるしくクリープ・ラプチャー強さは増加し、フェライト相の弱いことを示している。

M 系列では明らかに Mo の影響により、Mo 量の多いほど、クリープ・ラプチャー強さは高くなっている。

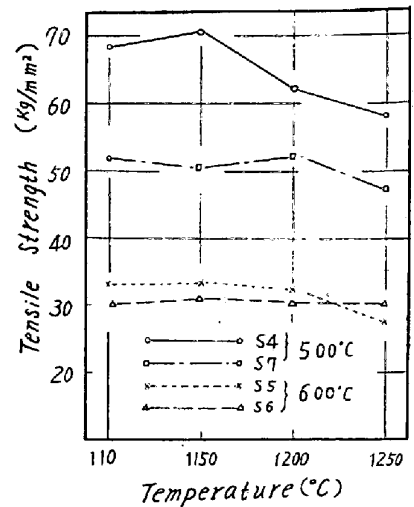


Fig. 3. The relation between tensile strength and solution-treatment temperature.

(169) 高 Cr-Ni オーステナイト鋼の時効による脆化

(高Cr-Niオーステナイト鋼の研究-I)

日本金属工業

塚本富士夫・矢ヶ崎汎・細江兼吉  
Embrittlement by Aging with High Cr-Ni Austenitic Steels.

(Study on high Cr-Ni austenitic steels-I)

Fujio TSUKAMOTO, Hiroshi YAGASAKI  
and Kenkichi HOSOE.

I. 緒 言

高クロムニッケル耐熱ステンレス鋼は 500°C 以上の高温で使用されることが多いが、このような温度範囲に長時間加熱すると炭化物、窒化物あるいはシグマ相の析

Table 1. Chemical composition of test specimens.

AISI Type		C	Cr	Ni	Si	Mn	N	Nb	Others
309	Standard composition	0.15	23.5	13.5	0.6	1.5	0		
	Variation range	0.008 ~0.42	23.5	12.06 ~15.02	0.47 ~2.22	1.5	0.009 ~0.23		B 0~0.01
310	Standard composition	0.15	25.5	20.5	0.6	1.5	0	0	
	Variation range	0.014 ~0.47	25.5	20.5	0.42 ~2.69	1.5	0.009 ~0.22	0~1.59	BO ~0.01 AlO ~1.23
330	Standard composition	0.15	15.0	35.0	0.6	1.5	0		
	Variation range	0.013 ~0.25	14.63 ~24.87	35.0	0.46 ~2.73	1.5	0		

出などによつて脆化し、また粒間腐食を含む耐食性を劣化することが知られている。

このような欠陥の防止のためにC, Nなど析出物を形成する元素の含有量を低下させたり、Ti, Nbなどで固定し、あるいは他の成分調整によりシグマ相の析出を阻止することなどの防止法がとられるが耐熱用ステンレス鋼として要求される高温強度および耐食性の見地からするとその効果の相反するものもあり、いずれも完全なものとはいえない。

本研究においては主としてこれら高温での脆化に対する合金元素および熱処理、加工など各種処理条件の影響を明らかにすることを目的とした。

### II. 試料

試料は Table 1 に示す AISI 309, 310, 330 型鋼の三種につき各種合金元素を変動させたものを 200 kg 塩基性高周波炉または 100 kg 真空高周波炉で熔製し 16 mm φ 熱間圧延丸棒としたのち溶体化熱処理を施してから 550°C から 1050°C の範囲で 500 h までの脆化処理を行ない、主として常温衝撃試験により脆化を調査した。

### III. 実験結果

#### 1. 液体化処理の影響

オーステナイト系ステンレス鋼は一般に 1100°C より水冷の溶体化処理を行なうが C 0.1% 以上の耐熱用材では相当量の粒状炭化物が固溶せず残存する。

したがつて完全オーステナイト型の高C高N材はさらに溶体化処理温度を上昇させることによりC, Nの固溶がより完全となり靱性はいちじるしく改善される。しかしその後の時効処理により粒界のみならず粒内全面に多量に炭化物が析出し粒界近傍には析出物の凝集による低濃度帯を生ずる。この結果溶体化処理温度の高いほど時効後の脆化がいちじるしい。

330 型ではとくに 650~750°C の脆化温度でいちじる

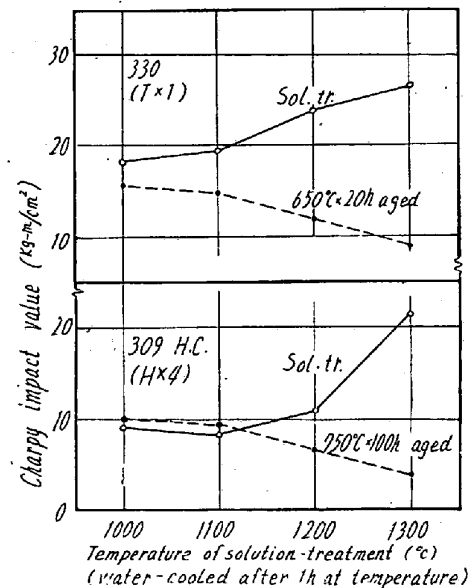


Fig. 1. Effect of solution-treatment on the embrittlement by aging.

しい強磁性を生ずる。Cr量を20および25%に高めると磁気変態点が常温以下に低下して磁性を生じない。この低Cr材の磁性はCr炭化物の析出によりNi基強磁性オーステナイトを生じたものと考えられる。

炭化物の析出による脆化は短時間に現われ時効時間を延長しても衝撃値の低下傾向が少ない。

これに対し309型の低Cまたは高Si材は溶体化処理状態でγ+αの二相組織となり、溶体化処理温度とともにα相が増加する。時効により短時間にてα相がシグマ相に変態して靱性をいちじるしく低下させるがこの場合溶体化処理温度の影響はほとんど認められない。

高Siの310型のごとくオーステナイトから直接シグマ相を析出するものは溶体化処理温度の低い場合には時効によつてまず粒界の交点にシグマ相を析出し塊状になつて発達するが溶体化の温度が高い場合には粒界に沿つて板状に析出し靱性の低下がいちじるしい。

これらのシグマ相による脆化は 100 h 時効後もなお脆化が進行し完全脆化に近づく。

以上の時効による脆化は衝撃値および引張試験の伸び、絞りの低下にのみ認められ硬度、抗張力、耐力はほとんど変化をみない。

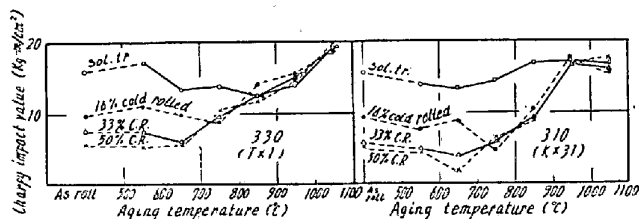
## 2. 冷間加工の影響

各系鋼種に 16, 33, 50% の冷間圧延を行なったもの時効を行ない脆性を調査した。

完全オーステナイト型でシグマ相を生じない 330 型では冷間加工材に比べ時効を行なっても衝撃値は低下せず再結晶の開始する 650°C を超えると靱性は急上昇し 750°C 以上では冷間加工の影響は消失する。(Fig. 2)

これに対しシグマ相による脆性を呈する 309, 310 型では冷間加工により脆化し圧延のままですでにオーステナイトの不安定なものほど衝撃値の低下、硬度の上昇がいちじるしい。

冷間加工後の時効によつてシグマ相の析出はいちじるしく促進され再結晶部分に微細に析出し衝撃値をさらに低下させる。加工度が大きくなるにしたがいもつとも脆化のはなはだしい温度は再結晶温度と一致して低温側にずれる。(Fig. 3)



(water-cooled after 20h at temperature)

Fig. 2. Effect of cold work on the embrittlement by carbide precipitation. Fig. 3. Effect of cold work on the embrittlement by sigma precipitation.

750°C 以上では再結晶はほとんど完了し全面にシグマ相が析出し凝集が始まる。これ以上の温度では加工度に関係なく回復に向う。

二相組織の 309 型では 550°C よりフェライトのシグマ相への変態により脆化が始まり 650°C 以上で再結晶が始まると完全オーステナイト型と同様オーステナイトよりシグマの析出が起り、衝撃値はきわめて低い値まで劣化する。

これに対して硬度の変化は 750°C 以上ではすべて同一軟化傾向をたどりシグマ相析出による硬度および加工度による差は認められない。

## IV. 結 言

309, 310, 330型オーステナイト系 耐熱用 ステンレス

鋼を 550~1050°C で長時間加熱したさいの脆化について主として常温機械的性質および組織より検討した。

1. 炭化物の析出に依る脆化はシグマ相による脆化に較べて靱性の低下が少ない。1100°C にて溶体化処理したものは炭化物の固溶が不充分であるため析出処理による脆化が少ない。これに対し 1200°C 以上で溶体化処理を行なうとその状態での靱性は改善されるが以後の析出処理による脆化は大きい。

3. 330 型鋼は溶体化処理温度が 1100°C 以下であると弱い磁性を示す。1200°C 以上の場合には磁性は無いがいずれの場合も炭化物を析出させると強い磁性を示すようになる。これらは Cr 炭化物の析出に依つて地の Cr が減少し Fe-Ni 系のオーステナイトが生ずるため Cr 20~25% のものでは炭化物析出後もなお多量の Cr がオーステナイト中に残存するため磁気変態点の上昇が少ない。

3. オーステナイトからのシグマ相の析出は冷間圧延によりいちじるしく促進され、またこの場合のシグマ相は再結晶部分に選択的に析出する。再結晶が完了する 750°C 以上では冷間加工率の差の影響は認められず同一の回復状態をたどる。

フェライトを含む 309 鋼ではフェライトのシグマ相への変態が 1 時間以内の処理で起り脆化するがオーステナイトよりのシグマ相の析出は 310 鋼よりも遅い。

4. 炭化物およびシグマ相などの析出による脆化は衝撃値および引張試験における伸び、絞りなどの靱性を減少させるのみであつて、硬さおよび常温、高温引張試験における耐力、引張強さは変化しない。

## (170) 高 Cr-Ni 鋼の高温変形能について (高 Cr-Ni オーステナイト鋼の研究—II)

日本金属工業

○塚本富士夫・鈴木 隆志

### Hot Ductility of High Cr-Ni Steels.

(Study on high Cr-Ni austenitic steels.—II)

Fujio TSUKAMOTO and Takashi SUZUKI.

## I. 緒 言

ステンレス鋼の熱間加工性は炭素鋼あるいは低合金鋼に較べて劣っていることはよく知られているが、この傾向はとくに高クロムニッケル系の耐熱用オーステナイトステンレス鋼においていちじるしく鍛造、圧延などの熱