

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。

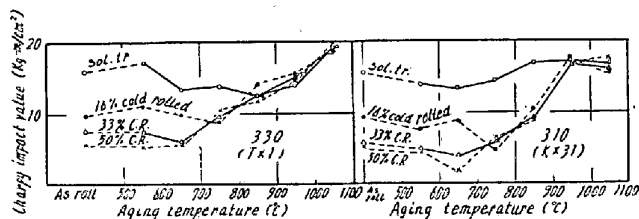
2. 冷間加工の影響

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つてい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

間加工において困難を生ずることが多い。熱間加工性に影響する因子はいろいろあるがとくにステンレス鋼においては変形抵抗の大きいことと変形能の悪いことが重要な問題であつてこれに合金元素、金属組織、微量不純物などの量およびその均一性などが影響をおよぼしているものと考えられている。高温変形能に対しては成分バランスによるフェライト相の生成、鋼中のガス成分とくに O_2 量が影響し適当な脱酸剤や稀土類元素の添加によつて改善されることはすでに報告されている。

これらの報告は主として 18-8 ステンレス鋼を対象としたものでこれよりさらに熱間加工性が問題となる AISI-309, 310 または 330 のごとき高合金オーステナイト鋼に対する系統的な研究は見当らない。よつてこれらの高合金鋼の高温変形能におよぼす合金元素、脱酸剤、溶解雰囲気、結晶粒度など冶金学的な要因について研究を行なつたのでその結果を報告する。

II. 試料および実験方法

実験に供した試料は 200 kg 塩基性高周波炉および 110 kg 真空高周波炉により溶製した 50~100 kg 鋼塊を 16mm ϕ に熱間圧延した棒材より採取した。鋼種は AISI-309, 310 および 330 型で基本成分のほか C, N, Cr, Ni, Nb および Al や B などの脱酸剤の添加量をいろいろ変化せしめたほか溶解条件の影響をみるため大気溶解と同一成分の真空溶解材も製作した。これら試料は特殊の場合をのぞき 1100°C にて 1h 均熱後水冷焼鈍したのち平行部径 8mm ϕ 、長さ 40mm の試験片に加工し 200 rpm で高温捻回試験に供した。試験温度範囲は 900~1300°C である。

III. 実験結果並びに考察

1) 標準鋼種の高温変形能

309, 310 および 330 の各標準鋼種の高温変形能を知るため Cr, Ni 以外の成分、溶解条件のほぼ等しいものについて捻回試験を行なつた。その結果を $C=0.20\%$ の大気溶解と $C=0.013\%$ の真空溶解材について示すと Fig. 1 のごとくなる。

高C鋼においては各鋼種とも試験温度に対し山型の捻回値を示し 1150°C 以下においてはほぼ同様の変形能を有するがこれより高温においては 310, 330, 309 の順に捻回値の低下が起つており、Cr および Ni の高いほど最高の捻回値を示す温度が低下する。この温度は一般に熱間加工のさいの最適加工温度に相当するといわれているので高合金鋼の場合は熱間加工温度を低くすることが必要である。これは高 Ni のため融点が低下し粒界初期融解に近づいたためと考えられる。

一方低C鋼においては 310, 330 は 1250°C に最大値を示す山型の曲線であるのに対し、309 の場合は温度の影響はほとんどみられず、しかも前二者よりはるかに捻回値が低い。これは高 Ni の 310, 330 においては全温度範囲にわたつて完全オーステナイト組織であるのに対し 309 の場合は相当量のフェライトを有する二相組織となつてゐるためである。また 310, 330 においては 1300°C の高温においても捻回値の低下が少なく前述の高C鋼とちがひるしく異なつてゐるのは低Cのため粒界の融点が高くなつたためと考えられる。

2) 合金元素の影響

C: Fig. 1 により C の影響は 309 と 310, 330 との間ではかなり異なつた効果を示しているの、この点をさらに確めるため 309 および 310 について C% の異なる多数の鋼種について実験を行なつた。その結果オーステナイトの安定な 310 においては C% の増加とともに捻回値は低下するが C の影響は高温になるほどい

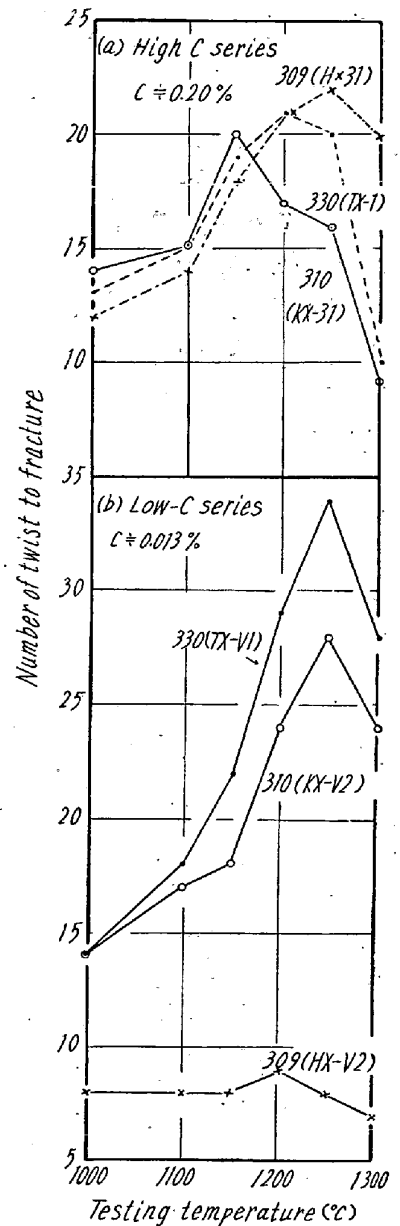


Fig. 1. Hot ductility of high C and low-C austenitic steels.

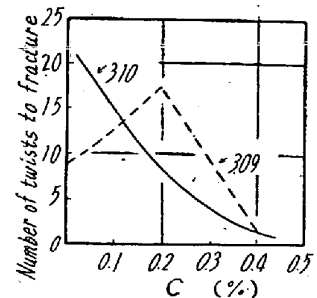


Fig. 2. Effect of C content on hot ductility of type 309, and 310, tested at 1300°C.

じりしく 1300°C においては Fig. 2 のごとくなる。オーステナイトの不安定な 309 においては各試験温度とも C 約 0.2% までは C 量とともに捻回値が向上しさらに C% を増すと却つて低下する。これは 309 においては低 C のものはフェライト相を析出しているが C% とともにこの量を減じ 0.2% 以上では完全なオーステナイト一相になるためである。

Si: Si の添加は 1100°C 以下ではほとんど影響しないが高温では捻回値を低下させる。とくに Ni の高い 310, 330 の場合にこの傾向がいちじるしくあらわれるがこれは Si による融点の低下にともなう粒界液化のためであることが顕微鏡的に確認された。

N: N の影響は比較的少ないが多量に添加するとやや捻回値を低下させるがこの影響は温度が高くなるとほとんどみられなくなる。

Ni: Ni は低 C 309 のごとき不完全オーステナイト鋼に対しては組織安定化のためいちじるしく捻回値を改善するが完全オーステナイト鋼になるとこの効果はほとんど認められない。

Cr: 330 における Cr の影響を検討した結果 Cr が低いほど 1200°C 前後における捻回値が高い。

Nb: 310 に Nb を添加すると高温側の捻回値をいちじるしく低下させ、また最高の捻回値を示す温度が低温側に移動する。すなわち Nb は粒界液化を促進し高温における粒界破断を起させる。

3) 溶解条件の影響

溶解条件の高温変形能におよぼす影響を知るため真空溶解と大気溶解の比較並びに脱酸剤の添加の影響について実験を行なった。

真空と大気溶解とでは同一の化学成分の試料が得られなかつたので厳密に溶解法の比較を行なうことは困難であるが、いずれの種類においても真空溶解と大気溶解との間には有意差は認められなかつた。

つぎに脱酸剤としては Al および B 添加の影響を調べた。これらは同一溶鋼に順次 Al または Fe-B を添加し分割注型を行なった試料について比較を行なったものである。Al は少量添加の場合には脱酸効果のため捻回値を向上させるが多量に合金として添加されると却つて有害となる。また B は 0.01% 程度の添加でも 1300°C 付近の高温の捻回値を急減させる。

4) 結晶粒度の影響

高温変形能におよぼす結晶粒度の影響を知るため C 0.014 および 0.21% を含む 310 をそれぞれ 1100, 1200 および 1300°C に 1 h 加熱水冷の熱処理を行なつ

たのち、捻回試験に供した。その結果 C の低い試料においては熱処理温度の影響はほとんど認められなかつたが 0.21% C 鋼においては Fig. 3 に示すごとく熱処理温度の上昇とともに捻回値の低下が見られる。この事實は熱処理温度までの試験温度においてみられるもので高温では熱処理温度の影響はなくなる。すなわち、低 C の場合には高温変形能に対しては熱処理温度の上昇にともなう結晶粒の粗大化は影響をおよぼさないが高 C 鋼では熱処理温度の高くなるほど高温変形能が劣化する。

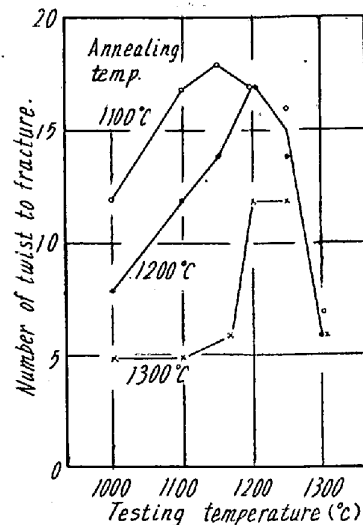


Fig. 3. Effect of annealing temperature on hot ductility of 310 type steels. (KX-VI).

III. 結 言

AISI 309, 310 および 330 型などの高 Cr-Ni オーステナイト鋼の高温変形能におよぼす合金元素、溶解条件および結晶粒度などの影響を調査するため高温捻回試験を行ない以下の結論を得た。

1) 合金元素中もつとも高温変形能に影響するのは C である。C は 310, 330 のごとき完全オーステナイト鋼においては変形能を低下させる。しかし 309 のごとき不完全オーステナイト鋼に対しては 0.20% まではフェライトを減少させる効果により変形能を改善するが、さらに高 C になると逆に悪化させる。また多量の Si, Nb などを添加すると高温で粒界液化を生じ変形能はいちじるしく低下する。

2) 大気溶解と真空溶解との差は本研究の範囲内では認められなかつた。Al は脱酸剤程度の添加量においてはいちじるしく変形能を改善するが B は 0.01% の添加でも高温における捻回値を急減させる。

3) 結晶粒度の影響は低 C 鋼においてはあまり認められないが高 C 鋼においては現われ、焼鈍温度の高いほど変形能が低くまたその回復も高温に移動する。