

1. はじめに

従来、カロライジング法で鋼表面にAlを拡散浸透させ、その機械的性質を調べた研究は少ない。^{(1)~(4)} Alが拡散浸透した鋼は高温耐酸化性が良好である。

したがって、常温ばかりでなく高温における機械的性質を検討することは極めて重要である。そこで、カロライズした0.6%C以下の亜共析鋼の常温から600℃までとSUS304鋼の800℃までの高温引張試験を行い、0.2%耐力降伏点強さ、破断伸び率の温度依存性を、未処理で同じ熱履歴を与えた各種の亜共析鋼と、同様にSUS304鋼では供給状態と比較検討した結果について報告する。

2. 実験方法、供試材、処理条件と表面状態

試験に供した鋼材は、Table 1の化学組成をもつ工業用純鉄(Armco-Iron)、5種類の亜共析鋼とSUS304である。引張試験片の寸法はFig. 1, 2に示した。Alの拡散浸透はFerro-Al(Al50wt.%)を70%, Al_2O_3 を29.5%さらに、試薬1級の NH_4Cl を0.5%混合したものである。

Table 1. Chemical composition of specimen for tensile test

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Fe
wt.-%	0.07	0.62	0.88	0.03	0.005	181	8.72	—

Steel	Element wt.-%	C	Mn	Si	Cr	P	S
Armco. Fe		0.030	0.08	0.01	0.04	0.009	0.011
S15C/Ck15		0.14	0.46	0.37	0.13	0.012	0.034
S20C/Ck22		0.21	0.54	0.19	0.04	0.018	0.026
S35C/Ck35		0.40	0.64	0.31	0.14	0.024	0.032
S45C/Ck45		0.44	0.66	0.27	0.02	0.020	0.025
S55C/Ck60		0.65	0.63	0.26	0.18	0.016	0.032

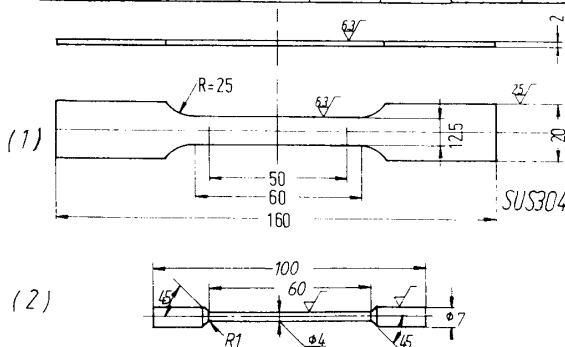


Fig. 1, 2 Form and dimension of specimen for tensile test.

この浸透剤を用いて亜共析鋼は900℃x10h、またSUS304鋼は950℃x10hの条件でカロライズ処理を施した。この顕微鏡組織写真S45CとSUS304をFig. 3とFig. 4に示す。

これらの写真から、前者では約170μmの、後者では150μm程の合金層が形成されている。いずれも、化合物層と拡散層から成る。S45C鋼上に形成された化合物層は $FeAl_3(\theta)$, $Fe_2Al_5(\eta)$, $FeAl(\beta_2)$, $Fe_3Al(\beta_1)$ で、また表面硬さは、亜共析鋼の場合HV400~600、SUS304鋼ではHV800程度である。

一方において、亜共析鋼の未処理のものに真空焼なま

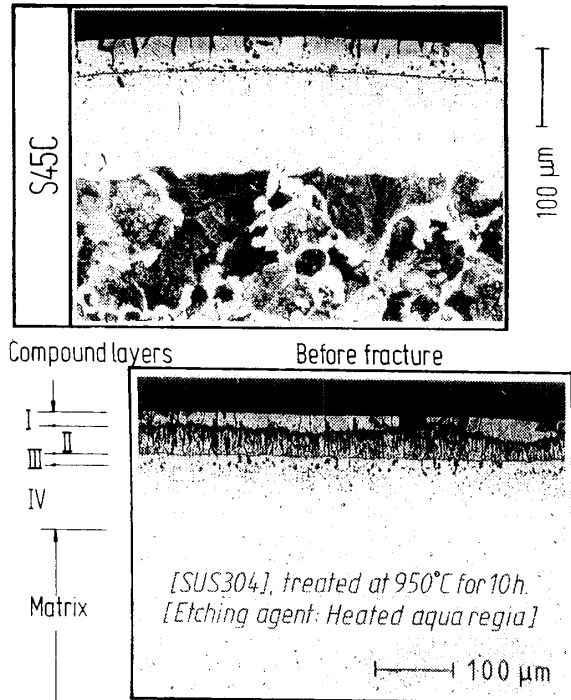


Fig. 3, 4 Sections of Aluminum diffusion coated steel

し(900℃x10h)を施した。工業用純鉄(Armco-Iron)、S15CおよびS20Cについて、Al拡散浸透層が動的ひずみ時効に与える影響を調べた。また、加工硬化の指数則から各鋼種の強さ定数 k と加工硬化指数 n の温度依存性も検討した。使用した引張試験機はZwick社の容量98kNおよび島津社、オートグラフ型490kNである。

この試験機に管状電気炉を取り付け試験片の上端、下端、ならびに中央部の3ヶ所の温度が所定の試験温度に達したのち、15分間保持してから引張試験を行なった。所定の温度に達するまでには30~60分を要した。

ひずみ速度は亜共析鋼では、 $\dot{\epsilon} = 2.7 \times 10^{-4}/s$ 、SUS304は $1.3 \times 10^{-3}/s$ に一定に保った。引張試験はすべて大気中で行なった。Al拡散浸透鋼は高温耐酸化性が大きいので、短時間加熱による試験片の酸化は機械的性質にほとんど影響がないものとみなした。

3. 実験結果

3.1 常温における引張特性

a. 常温における応力-ひずみ Fig. 3には、Alが拡散浸透した亜共析鋼と、SUS304鋼の常温における σ - ϵ 線図を示した。比較のために、同じ熱履歴を与えた未処理の同種の鋼についても破線で示してある。この比較図によるとAl拡散浸透処理鋼はいずれにおいても引張強さは未処理の場合と同程度かあるいは高くなっている。その差は25~30N/mm²である。しかし、破断伸び率は4~6%低い。また変形応力は塑性ひずみが小さい間、すなわち、線図の立ち上がり部分で、処理材は未処理の場合よりもかなり大きくなっている。これは、加工硬化率がひずみの小さい間で、大きいことを示している。未処理のS20C、S35C、S45C各鋼では2%近くのRüders伸びがあるが、カロライズ材ではS20CがわずかなRüders伸びを示した

のみで加工硬化を開始するのが見られた。

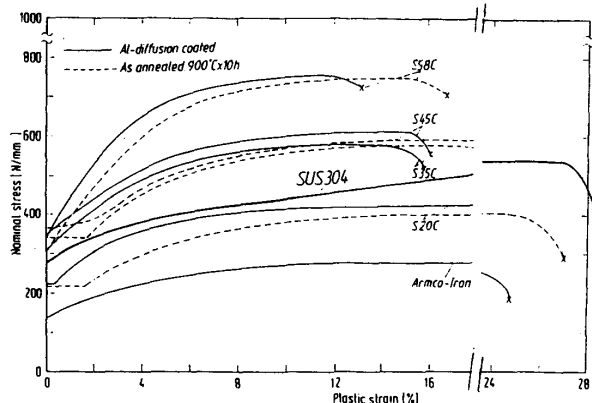


Fig. 3 Stress-strain diagram of Al-diffusion coated steel [SUS304], treated at 950°C for 10 h, tested at room temperature.

SUS304の α - ϵ 線図はS20CとS35C鋼の中間にあり、0.2%耐力は $R_{p0.2}=277$, 引張強さ $R_m=528\text{N/mm}^2$, 破断伸び率は約28%であった。この伸びは未処理のArmco-Feよりも大きい。

3.2 引張強さ(UTS)の温度依存性

Fig. 4と5に各種炭素鋼およびSUS304鋼の処理, 未処理の場合の引張強さの温度との関係を示した。Armco-Fe以外は常温と300°Cにおいて、UTSは最高値を示している。300°C以上ではいずれも急激に低下する。一方、SUS304鋼は未処理の常温でのUTSは660, 処理鋼は540N/mm²で、温度の上昇で急激に低下する。500°Cまでは両者の差はおよそ、100N/mm²で600°C以上では両者共にほぼ同じ強さで減少する。処理鋼のUTSは300~500°Cの範囲で横這いしている。

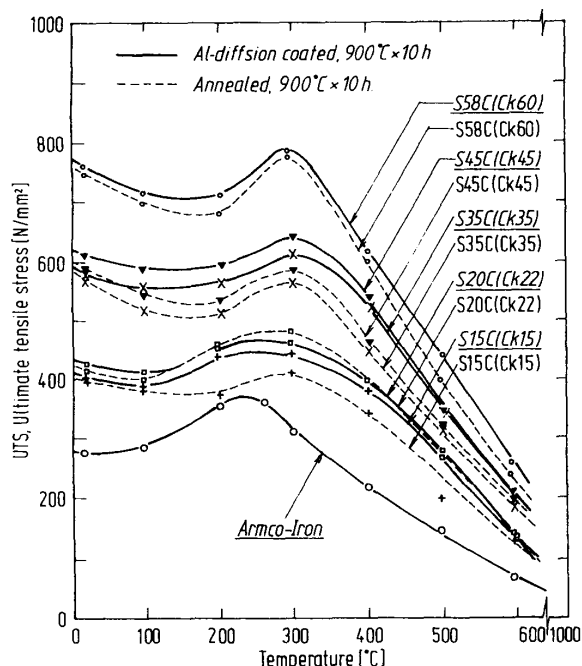


Fig. 4 Temperature dependence of the ultimate tensile strength UTS for Al-diffusion coated hypoeutectoid steels, in comparison with annealed same steels, treated at 900°C for 10 h. Annealing condition: 900°C x 10 h in a vacuum furnace.

4. 考 察

4.1 Al拡散浸透鋼の強さにおよぼす種々の因子
Al拡散浸透処理した鋼の引張特性値に及ぼす因子として2種類が考えられる。第1は強度を高める因子、第2は強度を弱める因子である。

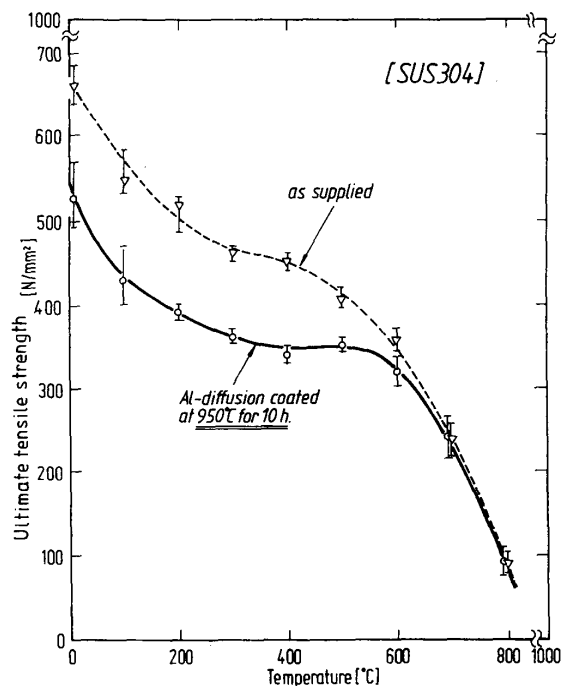


Fig. 5 Temperature dependence of tensile strength for Al-diffusion coated steel SUS304 in comparison with hot treated state.

(1)強度を高める因子 a)母材よりも硬いAl拡散浸透層が表面に付与される。b)Alの拡散に伴い、C原子が母材内部に押し込まれて母材のC濃度が上昇する。

(2)強度を弱める因子 a)拡散浸透処理による母材結晶粒の粗大化。b)鋼中に拡散したAl原子が、N原子と結合して窒化物を形成する。すなわちAlが固溶してるNを固定する。

(1a)については、Fe-Al合金(Al, 30wt%)の縦弾性係数EをKösterの報告から引用すると、20°Cでは173kN/mm²である。また表面の合金層の硬さはHV500前後である。母材を純鉄とすると硬さはHV150程度である。材料の引張強さを単純に弾性係数と硬さで評価出来ないが、Al拡散浸透鋼は未処理と比較すると、引張強さは50N/mm²程度高い。引張試験の途中で、試験片の表面の化合物層が先に剥離する。

この事実から、強度をあげる要因はFe-Alの固溶体層であると考えられる。

(1b)については、前述の如く、C含有量と引張強さは比例しているので妥当である。

(2a)については、いわゆるHall-Petchの式が示しているように、結晶粒が粗大化すれば降伏点強さは下がる。本実験で用いた、例えばS45C鋼では900°C x 10hの処理で結晶粒の平均直径は36 μm であった。

(2b)について、Alが固溶Nを固定すると強度の低下につながる。すなわち降伏点を下げる。

以上の総合された結果が処理材の強さを決めている。

[参考文献]

- (1)百瀬治, 吉田薫, 河上護: H₂-H₂S雰囲気中におけるアルミニウム拡散被覆した鋼の高温硫化, 表面技術 Vol. 42(1991) 8, 92-93
- (2)K. Yoshida, E. Takeuchi: Das Verschleißverhalten von alitiertem Stahl bei Trockenreibung, Arch. Eisenhüttenwes., 52(1981) 329-334
- (3)吉田薫, 河上護: アルミニウム拡散被覆したS45C鋼の衝撃特性, 熱処理, 27(1987) 10-16
- (4)佐々木雅啓, 井形直弘: SUS310ステンレス鋼の機械的性質に及ぼすアルミニウム拡散被覆の影響, 表面技術, Vol. 46(1995) 2, 162-69