

研究速報

UDC 669.14.018.292 : 621.039.53 : 621.772 : 621.785.72.019 : 669.3

銅による A533B 鋼の焼戻時効脆性について*

長谷川正義**・中島 伸也***・楠 信 治***

Temper-Aging Embrittlement of Copper Bearing A533B Steel

Masayoshi HASEGAWA, Nobuya NAKAJIMA, and Nobuharu KUSUNOKI

Synopsis:

The effect of copper on temper-aging embrittlement was investigated using four heats of A533B steel. After quenched and tempered, each specimen was aged at 300, 400, 500, and 600 °C for various lengths of time up to 1 000 hours. The Charpy impact test was carried out and several specimens were subjected to scanning electron microscopic and Auger electron spectroscopic studies.

The results obtained are summarized as follows:

- 1) A533B steel bearing 0.37% copper showed the temper-aging embrittlement which was similar, in behavior, to the temper embrittlement caused by phosphorous under the same heat treatment condition.
- 2) The degree of the embrittlement was affected by aging temperature, aging time, and prior austenite grain size.
- 3) After aging, the copper enrichment was found at the fracture surface by Auger electron spectroscopic study.

(Received May 2, 1974)

1. 緒 言

近年、原子炉圧力容器用鋼の照射脆化におよぼす、微量不純物元素、とくに Cu および P の影響が問題となっているが、その原因は現在なお全く明らかにされていない¹⁾。著者らはこの照射脆化に関係のある 1 つの因子として、高温焼戻脆性が潜在するのではないかと予測のもとに、照射実験に供した Cu あるいは P を含む ASTM A 533 Gr. B 鋼 (Ni-Mn-Mo 鋼) を試料とし、これらを焼入れ・焼戻し後時効させたところ、いずれも顕著な脆化が認められた。P の焼戻脆性への影響に関する報告はあるが^{2)~5)}、このような少量の Cu にもとづく鋼の焼戻時効脆性に関する報告は、いまだみあたらないので、P の影響と比較しながらその結果をとりあえず報告する。

2. 実験方法

供試材は Table 1 に示す化学組成を有する 4 種類の鋼でいずれも 50 kg 高周波炉で溶製し、熱間鍛造、熱間圧延により、17 mm 厚とした。各鋼とも焼戻脆性のチェックのため、とくに微量非金属元素に留意してある。

試料の標準熱処理は 850°C, 1 hr 焼入れ, 670°C, 30 min 焼戻し (水冷) である。なおオーステナイト粒度 Gy は各試料とも ASTM No 6.0~6.5 であつた。時効処理として 300, 400, 500, 600°C の各温度で 10, 100 および 1 000 hr 保持後水冷した。

以上の各熱処理後、1 mm V ノッチ・サブサイズ・シ

ャルピー試験片を作製し衝撃試験を行なつた。また走査型電顕による破面観察およびオージェ電子分析もあわせて行なつた。オージェ電子分析については -140°C, 3×10^{-8} Torr. の条件にて試験片を破断し、ただちにその破面を分析した。

3. 実験結果

脆化の評価は、衝撃試験における延性-脆性遷移温度 T_{rs} により行なつた。以下実験結果を示す。

焼入れ・焼戻し後の各試料の T_{rs} は -80°C 付近にあり、Cu および P の影響はみられなかつた。しかし各時効処理後、Cu 3 (0.37% Cu) および P 4 (0.060% P) はいずれも Cu および P 量の少ない H1, N2 より大きな脆化を示した。この Cu あるいは P による脆化は、同一時効温度において時間とともに増加し、1 000 hr でもなお増加傾向が認められた。1 000 hr 保持における時効温度と脆化量との関係を Fig. 1 に示す。H1, N2 は各時効温度で約 40°C の T_{rs} の上昇が認められるが、時効温度の影響は認められない。しかし Cu 3 および P 4 では時効温度が 500°C 前後で脆化量のピークが見られ、500°C, 1 000 hr の時効後 Cu 3 および P 4 はそれぞれ 168, 117°C T_{rs} が上昇した。

なおオーステナイト粒度についても検討したが、結晶

* 昭和49年4月本会講演大会にて発表

昭和49年5月2日 受付

** 早稲田大学理工学部 工博

*** 早稲田大学大学院

Table 1. Chemical composition of A533B steels (wt%).

Specimen No	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Al	N	Sb	Sn	As	Bi
H1	0.20	0.26	1.31	0.007	0.010	0.14	0.61	0.17	0.53	0.036	0.0011	0.006	0.005	0.002	0.001
N2	0.20	0.19	1.15	0.010	0.013	0.15	0.60	0.17	0.53	0.023	0.0170	0.002	0.008	0.014	tr
Cu3	0.18	0.25	1.39	0.007	0.010	0.37	0.63	0.19	0.55	0.016	0.0108	0.009	0.008	0.013	tr
P4	0.18	0.19	1.10	0.060	0.012	0.15	0.60	0.17	0.53	0.011	0.0170	0.003	0.008	0.014	tr

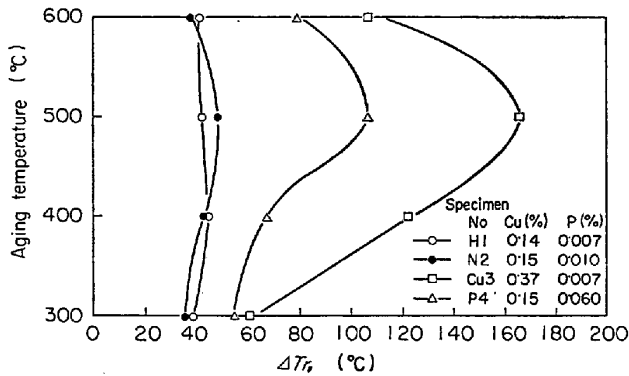


Fig. 1. Effects of copper and phosphorous on temper-aging embrittlement of A533B steels aged at 500°C for 1000hr after quenched and tempered.

粒の粗大化にともない Cu 3 の時効処理後の脆化量は著しく増加したが、H1 ではその影響は少なかった。

焼入れ・焼戻し後の脆性破面は各試料とも焼戻しマルテンサイト特有の擬劈開破壊であった。しかし時効処理後 H1 および N2 でわずかに粒界破壊が認められ、Cu 3 および P4 では明らかに粒界破壊であった。

オージェ電子分析の結果を Fig. 2 に示す。焼入れ・焼戻し後の Cu 3 では Cu のピークは認められないが、500°C で 1000 hr 時効すると明らかに Cu の存在が認められる。また P4 では焼入れ・焼戻し後若干の P のピークが見られるが、時効処理後ピークの高さが増加している。

以上少量の Cu による A533 Gr. B 鋼の焼戻し時効脆性を報告したが、現在なおこの新しい現象をより明確にするため、他の鋼種についても実験を進めているので追って報告する機会がある。また Cu のこの種のマイクロ偏析がいかなる機構によつて現われるかについても、今後の研究にまたねばならない。

4. 結 言

A 533 Gr. B 鋼を用いて少量の Cu にもとづく焼戻し時効脆性を検討し、次のような結果を得た。

(1) 0.37% Cu を含む鋼は焼入れ・焼戻し後の時効処理により、Cu にもとづく脆化を示した。この脆化は P による脆化とその現象がよく似ている。

(2) これらの脆化は時効温度 500°C で最大であった。しかしいずれの場合も時効時間 1000 hr ではなお増加の傾向を残している。なお、オーステナイト粒の粗大化にともなつて脆化量は増加することが知られた。

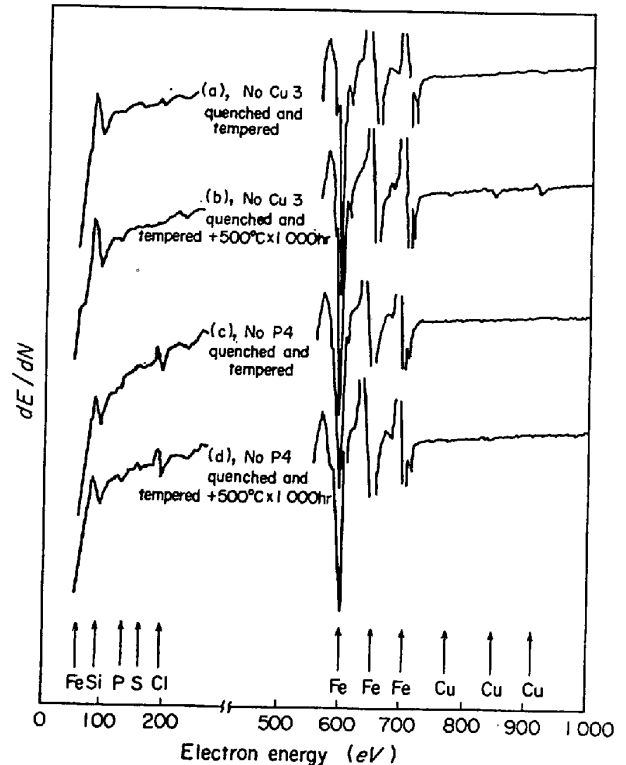


Fig. 2. Auger spectrum of A533B steels before and after aging at 500°C for 1000hr.

(3) 破面観察によると焼戻し後は擬劈開破壊であるが、時効処理後は明らかに粒界破壊であった。

(4) オージェ電子分析により時効処理後の破面に明らかな Cu のピークが認められた。

なお、本研究に用いた試料は新日鉄・八幡技術研究所で溶製された照射用共通試料であり、オージェ電子分析は同社基礎研究所に依頼したものである。終わりにあつて、多大のご協力をいただいた同社技術開発部下川敬治氏および基礎研究所谷野満氏に厚くお礼申し上げる。

文 献

- 1) J. R. HAWTHORNE: Irradiation effects on structural alloys for nuclear reactor applications, ASTM STP 484, ed. by C. Z. Serpan, Jr. and W. C. Morgan, (1970), p. 96 [American Society for Testing Materials]
- 2) J. H. HOLLON: Trans. ASM, 35 (1946), p. 473
- 3) R. VISWANATHAN: Met. Trans., 2 (1971), p. 809
- 4) J. M. CAPUS: JISI, 200 (1962), p. 922
- 5) H. MARCUS and P. W. PALMBERG: Trans. AIME, 245 (1969), p. 1664