

討20 転炉溶製による圧力容器用極厚鋼板の特性について

新日本製鐵(株)名古屋製鐵所 高石昭吾, 村田裕信, 大久保寛二

○中尾仁二, 菊竹哲夫

製品技術研究所 乙黒靖男

1. 緒言

原子炉, 石油精製, 各種化学プラントおよびボイラーなどの大型圧力容器の製造に用いられる極厚鋼板は, その用途の安全性の点から非常に厳しい材質特性が要求される。従来この種の鋼板の溶製は電気炉で行われていた。しかしながら近年, 原子炉圧力容器用鋼に対する中性子照射脆化や化学反応容器用鋼に対する焼もどし脆化の低減の要求が非常に厳しくなり, この要求に対処するためにこれら圧力容器用鋼の不純物元素の低減が求められてきた。したがって, 購入スクラップを使用せずに溶銑およびリターンスクラップの管理により, これら不純物元素を低減できる転炉溶製の有利性が注目されはじめた。ここでは大型圧力容器用極厚鋼板の転炉溶製上の問題点と各種圧力容器用極厚鋼板の材質特性を電気炉鋼との比較を主にして検討を行った。

2. 極厚鋼板の転炉溶製上の問題点

極厚鋼板の製造工程は図1に示すとおりであり, 圧延および熱処理の問題点については, すでに報告(1)(2)してあるので, ここでは転炉溶製上の問題点について以下に述べる。

2. 1 不純物元素の低減

転炉溶製では, 不純物元素の組成を管理できる溶銑と製鉄所内で発生するリターンスクラップを使用しているため, 図2に示したようにCu, V, SbおよびSnなどの不純物元素は電気炉鋼に比較して非常に低い値になっている。特に中性子照射脆化に著しい影響をおよぼすCuは0.01~0.02%と非常に低い値になっているのが注目される。

2. 2 極低硫鋼の溶製

Sは各種の特性に有害な元素として知られており, 転炉溶製に際しては, 溶銑の脱硫および吹錬時のスラグのコントロールにより, 図2に示すように非常に低い値にすることができる。

2. 3 低リン鋼の溶製

Pは中性子照射脆化および焼もどし脆性に悪影響をおよぼす元素として知られているが, 転炉溶製では電気炉溶製に比較してPを低くすることは, 一般には容易なことではないが, 最も重要な点である。したが

って, 原子炉や焼もどし脆性が問題になる用途に対しては, 特別な原料管理と操業条件を採用し, さらに特殊炉外処理を実施することにより, 図2に示したように $P \leq 0.010\%$ と電気炉鋼に匹敵する低リン

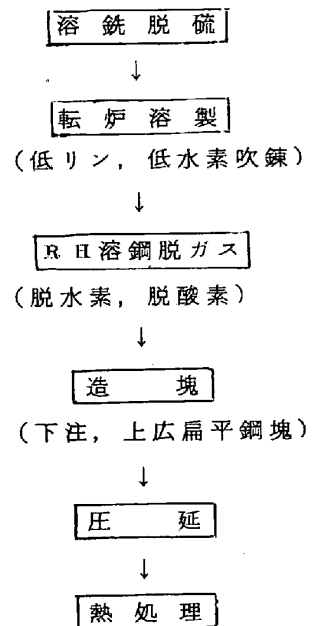


図1 転炉溶製による極厚鋼板の製造工程

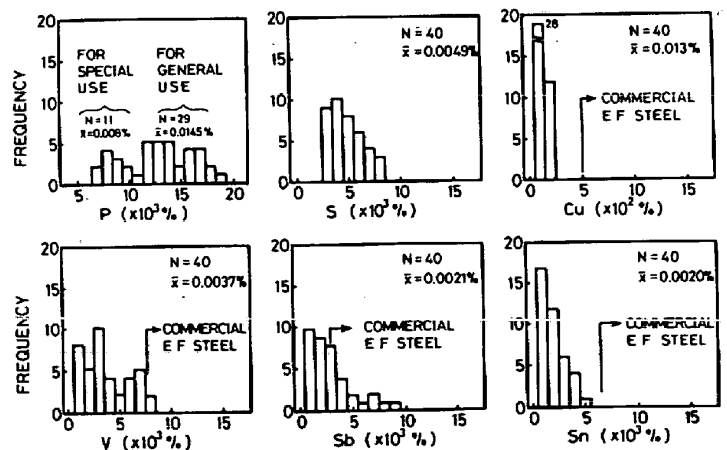


図2 転炉溶製による極厚低合金鋼板の不純物元素の分布

鋼の溶製が可能である。

2. 4 溶鋼の脱ガスおよび酸化物の低減

溶鋼に含まれる水素は極厚鋼板の内部欠陥の発生に大きな影響をおよぼすことが知られており、転炉溶製にあたり、極力その水素量を低減させる低水素吹錬を行ない、ついでRH溶鋼脱ガス処理により溶鋼中の水素をさらに低減し、造塊時には水素の再吸収をシャ断する工夫が行われた。図3に溶鋼中の水素量の変化の一例を示した。このような操業による鑄型内容鋼中の水素量の分布を出鋼脱ガスを行った電気炉鋼のそれと比較して図4に示したがほとんど差は認められない。また溶鋼中の酸素は非金属介在物の原因となり、極厚鋼板の特性に有害な影響を与えるので、転炉溶製では溶鋼中酸素を抑制し、RH脱ガスを含めた特別な脱酸方法を採用するとともに、溶鋼の再酸化と外来性介在物の混入防止の配慮がなされている。その結果、溶鋼の酸素量は図4に示すように転炉鋼のそれは電気炉鋼よりも低い値になっており、清浄な鋼が得られている。非金属介在物の指標としての清浄度の分布を図5に示したが、転炉溶製にあたり、Sおよび酸素量の低減をはかった結果、電気炉鋼のそれと比較してむしろ非金属介在物量は減少しており、転炉溶製により清浄な鋼が得られたことがわかる。

3. 転炉溶製極厚鋼板の特性

このような転炉溶製による大型圧力容器用極厚鋼板の特性について、低合金鋼および炭素鋼板の代表例をとりあげて電気炉鋼との比較を主にして検討してみる。

3. 1 原子炉圧力容器用A533B鋼板

原子炉圧力容器に使用されるA533B鋼板は、原子炉の安全性の点から、特に低温靱性への要求値が厳しくなりつつある。このような要求に対処するために、種々の冶金学的検討(3)(4)(5)(6)(7)が行われたが、この結果にもとづいて転炉および電気炉により、この鋼を溶製した。その低温靱性を図6に示したが両者の間に差は認められない。また原子炉圧力容器用鋼に関しては、中性子照射後の低温靱性が問題になる。したがってアメリカでは、特に原子炉用の溶接材料には、P, S, CuおよびV量を厳しく規制した規格(8)が設けられており、また圧力容器用鋼についても同様の動きがある。そこで不純物元

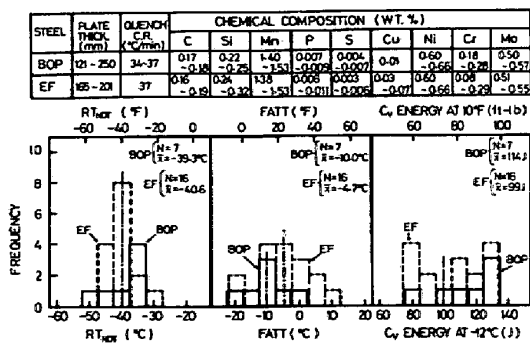


図6 A533B鋼の低温靱性

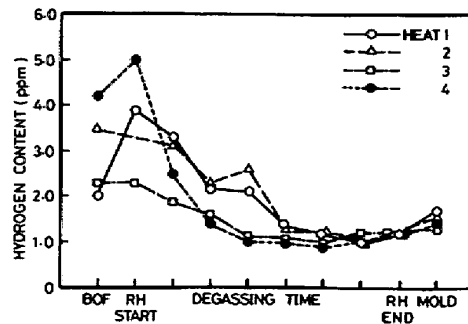


図3 溶鋼中の水素量の変化

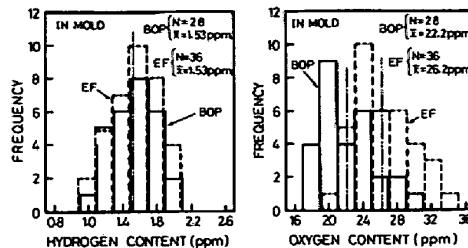


図4 溶鋼中の水素量および酸素量

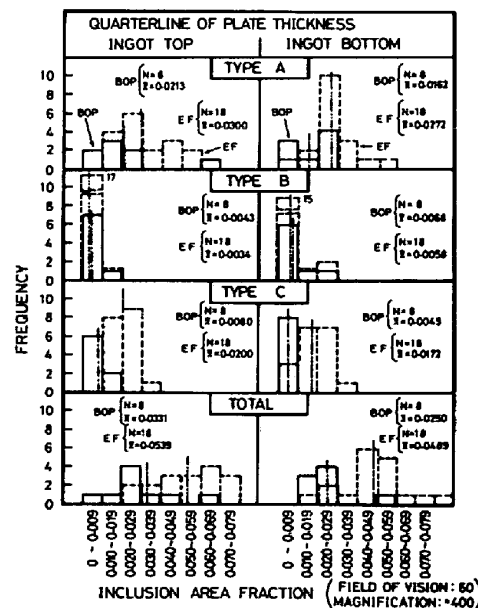


図5 非金属介在物の分布

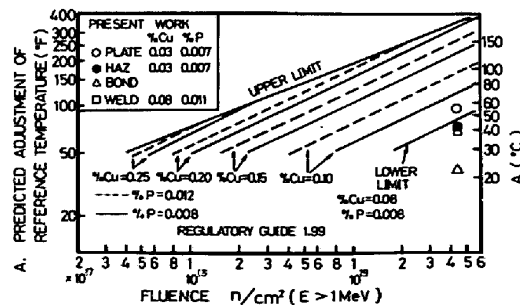


図7 不純物元素の少ないA533B鋼の中性子照射脆化試験結果

素を低減するために転炉スクラップを使用し、特別の電気炉溶製を行った A 5 3 3 B 鋼の中性子照射脆化試験の結果を図 7 に示す。図 7 は中性子照射量と遷移温度の上昇量を鋼中の Cu 量と P 量とで整理したアメリカ原子力規制委員会の Regulatory Guide 1.99 のデータに今回の試験結果を添示したものである。供試鋼の Cu 量および P 量から当然予想できるように、R. G. 1.99 の Lower Limit の値よりも脆化量が少い結果が得られている。この結果は Cu = 0.03%, P = 0.007% についてであるが図 2 に示したようにさらに Cu 量の低い転炉鋼については、中性子照射脆化量がさらに少いことが予想され、照射脆化後の低温靱性を考えれば、原子炉圧力容器用には転炉鋼の有利性が注目される。

3. 2 化学反応容器用 A 3 8 7 - 2 2 鋼

2 ¼ Cr - 1 Mo 鋼はその高温強度と耐水素雰囲気性の点から、石油精製プラントの圧力容器にひろく使用されているが、ASTM 規格によれば、A 3 8 7 - 2 2 鋼板の溶製には、電気炉および平炉の指定があり、転炉溶製が認められていないこともあって、従来はほとんど電気炉のみで溶製が行われてきた。しかし最近はこの種の鋼に対して圧力容器として使用中の焼もどし脆性が重要な問題になり、原子炉圧力容器用鋼と同様に不純物元素を低減させることが不可欠になってきた。そこで A 3 8 7 - 2 2 鋼の転炉溶製を行い、電気炉溶製材との比較検討を行った。表 1 にその供試材の化学組成を示す。

表 1 A 3 8 7 - 2 2 鋼の化学組成 (wt%)

鋼	板厚 (mm)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Sb	Sn	As	Al	N
BOP	270	0.13	0.36	0.58	0.009	0.007	0.14	0.15	2.37	1.00	0.003	0.002	0.001	0.003	0.008	0.0051
EF A	264	0.14	0.39	0.54	0.006	0.007	0.16	0.17	2.37	1.05	0.009	0.002	0.001	0.003	0.003	0.0071
EF B	278	0.14	0.39	0.54	0.007	0.007	0.17	0.18	2.46	1.03	0.011	0.002	0.001	0.003	0.004	0.0078

* BOP: 転炉溶製, EF: 電気炉溶製

表 1 に示した電気炉溶製鋼は前述の A 5 3 3 B 鋼と同様に電気炉溶製に際して、特別に転炉スクラップを使用したものであり、したがって不純物元素の値は転炉鋼と同程度に低くなっている。この転炉鋼と電気炉鋼との詳細な確性試験の結果はすでに報告された(9)とおり、両者の差は全く認められず、ともに充分その性能を満足しているものであった。

さらに焼もどし脆性の感受性を低くした成分系についての焼もどし脆化の試験結果を図 8 に示したが、エレクトロスラグ溶接の熱影響部を含めて脆化量が少なく、不純物元素の低減が焼もどし脆性の抑制に大きな効果があることが認められる。

3. 3 ボイラー用炭素鋼

極厚鋼板の用途としてボイラーなどにひろく用いられている炭素鋼の SB 4 9 鋼についても電気炉鋼と転炉鋼の比較が行われた。表 2 にその化学組成を示す。S 量については転炉鋼の方が低いことが注目される。また C 量は要求される強度レベルにより、0.26% から 0.30% までの範囲で変えてある。

これらの鋼板について、内部性状、強度、靱性、高温強度、再現熱サイクルによる熱影響部の靱性試験などを行なった。

内部性状に関しては、S 量の低い転炉鋼の方が非金属介在物量が少なく、清浄度が良好である。

常温における強度および靱性に関しては、S 量が同じレベルなら、転炉鋼と電気炉鋼における本質的な差は認められず、むしろ

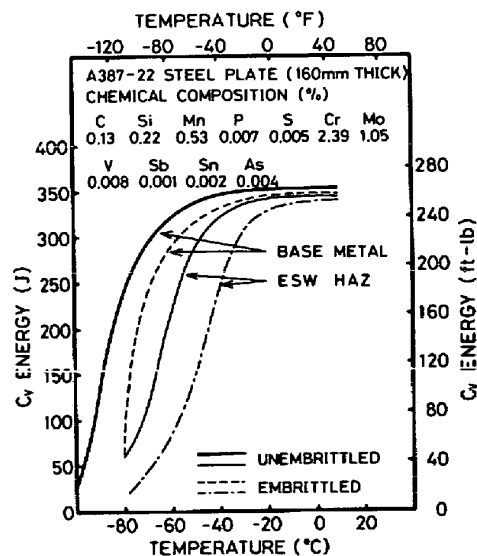


図 8 不純物元素の低い A 3 8 7 - 2 2 鋼の焼もどし脆化試験結果

る、C量およびAl量などの影響が大きいといえる。高温強度について、図9および図10に短時間高温引張試験およびクリープ破断試験の結果を示す。これらの特性は鋼種の差よりも、C量が高く、かつMnが添加されたBOP CおよびC量が高いEF Bがすぐれている。また図11に再現熱サイクルによる溶接熱影響部の衝撃試験の結果を示したが、他の特性と同様、鋼種の差よりもsol Al量の影響が大きいといえる。このようにボイラー用炭素鋼極厚鋼板についても、転炉と電気炉の鋼種の差よりも、化学組成の方が大きな影響をおよぼすといえる。

4. 結論

大型圧力容器用極厚鋼板の製造に関して、従来の電気炉溶製にかわり、転炉溶製による製造を検討した結果、転炉における特殊操業の採用により、Pや溶鋼中のガス組成が低減し、他の不純物元素は一般の電気炉よりも低減できる。その結果、転炉溶製による極厚鋼板は中性子照射脆化や焼もどし脆性に対する感受性が低いという利点を持ち、かつ他の特性は電気炉鋼とほぼ同等であることが確認された。

5. 文献

- (1) 中尾ら：鉄と鋼，62(1976)13, P. 1708
- (2) 菊竹，中尾：鉄と鋼，63(1977)4, S. 219
- (3)~(6) 中尾，菊竹ら：鉄と鋼，61(1975)12, S. 747~8
62(1976)4, S. 271, 62(1976)11, S. 758
- (7) H. Kunitake et al. : 3rd ICPVT
Tokyo, April 1977, Part 2, P. 602
- (8) AWS A5. 23-76
- (9) H. Nakao et al. : ASME Paper No. 76-PVP-56 (1976)

表 2 SB49鋼の化学組成 (wt. %)

鋼	板厚 (mm)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	sol Al	T.N
BOP A	150	0.27	0.25	0.89	0.018	0.002	0.13	0.14	0.13	0.001	0.001	0.0069
BOP B	137	0.26	0.24	0.87	0.009	0.002	0.17	0.18	0.13	0.004	0.010	0.0069
BOP C	137	0.30	0.28	0.94	0.011	0.003	0.14	0.22	0.16	0.106	0.010	0.0071
EF A	180	0.26	0.25	0.82	0.010	0.010	0.18	0.18	0.15	0.016	0.001	0.0075
EF B	180	0.29	0.22	0.80	0.011	0.011	0.15	0.16	0.11	0.048	0.004	0.0079

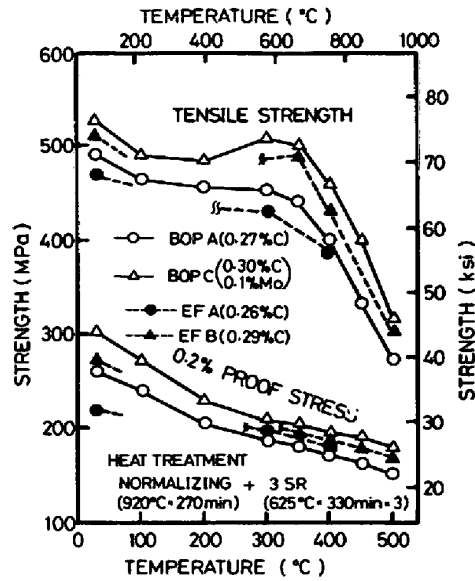


図9 SB49鋼の短時間高温引張試験結果

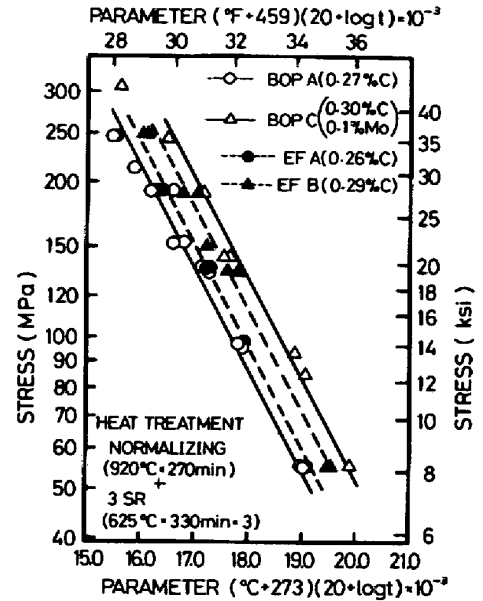


図10 SB49鋼のクリープ破断試験結果

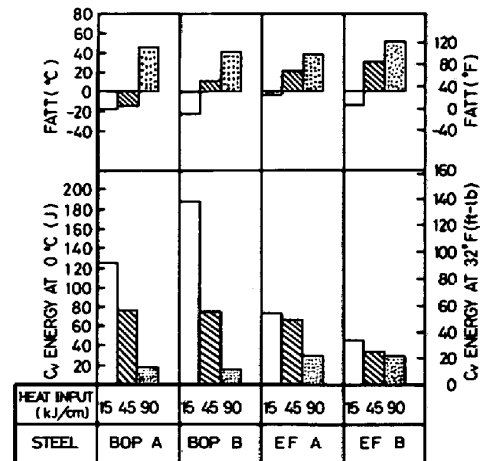


図11 SB49鋼の溶接熱影響部の衝撃試験結果