

321 高窒素オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属における窒素の挙動

東北大学工学部 ○粉川博之、桑名 武、進藤裕英

Behaviour of Nitrogen in High Nitrogen Stainless Steel Weld Metal

by Hiroyuki Kokawa, Takeshi Kuwana and Yasuhide Shindo

1. 緒言

核融合炉用超電導コイルの支持構造材料として開発された高強度ステンレス鋼は、いずれも0.2%以上の窒素を含有させて高強度化を計ったオーステナイト系ステンレス鋼である。また、核融合炉用超電導コイルは非常に大きくなるため溶接構造が必要不可欠となるが、このような高窒素ステンレス鋼を通常のアルゴンシールドガスを用いてアーク溶接すると、溶接金属の窒素量が減少し、機械的性質に影響を及ぼすことが考えられる。したがって、高窒素ステンレス鋼の溶接時における窒素の挙動を把握することは、溶接部の特性との関連から重要な課題である。そこで本研究では、核融合炉用超電導コイル支持構造材料として開発された高強度オーステナイト系ステンレス鋼JJ1を用いて、アルゴンと窒素の混合ガス雰囲気下で非消耗電極によるアーク溶解及びアーク溶接を行い、溶接金属における窒素の挙動について検討を行った。また、窒素量の異なる溶接金属の硬度、シャルピー衝撃靱性等についても調べた。

2. 実験方法

供試したステンレス鋼母材は(株)日本製鋼所製JJ1で、その化学組成をTable 1 に示す。これを15gの直方体試料に切り出し、Ar-N₂混合ガス0.1MPa雰囲気下でアーク電流150A、アーク電圧12-16V、電極マイナスで、窒素分圧を0~0.1MPa、溶解時間を0~240sの範囲で変化させて非消耗電極式(タングステン)アーク溶解を行った。また、7x60x70mmの板状試料を切り出し、溶接雰囲気調整用シールドボックスを用いて、Ar-N₂混合ガス0.1MPa雰囲気下で溶接電流300A、アーク電圧14-16V、溶接走行速度0.5mm/s、アーク長2mm、電極マイナスで、窒素分圧を0~0.1MPaの範囲で変化させてメルトラン1パスの非消耗電極式(タングステン)アーク溶接を行った。アーク溶解、溶接ともに、雰囲気窒素分圧はガスクロマトグラフを用いて測定した。溶解試料及び溶接金属の窒素量は、中央部より分析試料を採取し不活性ガス融解赤外線吸収法にて求めた。また、光学顕微鏡、走査電子顕微鏡、透過電子顕微鏡にてマイクロ組織観察を行い、ピッカース硬度測定を行った。溶接試料からJIS Z2202の4号シャルピー衝撃試験片のサブサイズ試験片を、Vノッチが溶接金属に位置するように放電加工機にて切り出し、77及び273Kで衝撃試験を行った。

3. 実験結果

3.1 アーク溶解

Fig.1に、Ar-N₂混合ガス0.1MPa雰囲気における窒素分圧を変化させてアーク溶解を行った場合の、溶解時間の増加に伴う溶解金属の窒素量の変化を、各窒素分圧ごとに示す。Ar雰囲気では、窒素量は溶解時間の増加と共に減少している。雰囲気窒素分圧の増加と共に減少は抑えられ、窒素分圧が0.012MPaでは時間に依らずほぼ母材と同じ窒素量で一定の値を示しており、窒素雰囲気(0.1MPa)では、短時間の溶解で、窒素量は約0.28mass%まで増加し、その後ほぼ一定の値を示している。アーク溶解金属のピッカース硬度は窒素量の増加と共にほぼ直線的に増加した。著者のこれまでの鉄合金並びに鋼のアーク溶接における研究結果から、非消耗電極式アーク溶接における鉄合金溶接金属の窒素の挙動は、その窒素吸収量において平衡状態とは異なるものの、個々の合金元素の影響の度合いは平衡状態と大きな差はなく、見掛け上熱力学的に取り扱うことが可能であると考えられる。そこで、平衡窒素溶解度とアーク溶接金属の窒素量の関係について、アーク溶解の場合の結果を介して定量的検討を行っている。それによると、Cr量があまり多くない場合の鋼溶接金属の窒素量は、溶接時の熔融池温度における平衡窒素溶解度に近い値になると推察される。本実験条件のアーク溶解における熔融池温度をステンレス鋼JJ1の化学組成から推定し、その温度でのJJ1の平衡窒素溶解度を計算した。次に、非消耗電極式アーク溶接において推定される熔融池温度における平衡窒素溶解度を求め、その値を溶接金属の予測窒素量と考え、その窒素分圧依存性をFig.2中に一点鎖線で示した。また、母材窒素量を破線で併せて示した。

溶接学会全国大会講演概要 第57集('95-10)

3.2 非消耗電極式アーク溶接

Fig.2より、溶接金属の予測窒素量と母材窒素量の一致する窒素分圧が0.02MPa付近と考えられる。そこで、Ar-N₂混合ガス0.1MPa雰囲気では窒素分圧を0,0.02及び0.1MPaと変化させてアーク溶接を行い、溶接金属の窒素量と窒素分圧の関係をFig.2中に示した。窒素分圧0.02MPaにおける溶接金属の窒素量は母材と一致したが、窒素分圧0及び0.1MPaでは予測値より高い値を示した。この理由は次のように考えられる。Ar雰囲気では溶接金属の窒素は放出しなければならないが、放出速度はFig.1に見られるようになりに遅く、溶接時に十分放出が完了しなかったためと考えられる。また、窒素雰囲気では溶接金属体積が大きいことから冷却速度が遅く、この組成の溶融ステンレス鋼の窒素溶解度の温度依存性が負であるため、冷却中にも窒素吸収反応が進んだためではないかと推測される。Fig.3に溶接金属の窒素量とシャルピー衝撃吸収エネルギーの関係を示す。吸収エネルギーは、77Kより273Kの方が高く、273Kの場合窒素量に依らずほぼ一定であるが、77Kの場合窒素量と共に幾分上昇する傾向が見られる。また、母材と同じ窒素量の溶接金属の吸収エネルギーは母材と同程度の値を示している。また、母材と同じ窒素量の溶接金属の硬度は母材程度の値を示した。以上の結果から、高窒素ステンレス鋼の溶接に際して、溶接金属の窒素量と機械的性質を母材程度に保つために、溶接雰囲気の窒素分圧を制御することが有効であると考えられる。

謝 辞

本実験の供試材料であるステンレス鋼JJ1を提供頂いた(株)日本製鋼所並びに日本原子力研究所に深謝する。

Table 1 Chemical composition of stainless steel

JJ1. (mass%)									
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	
0.046	0.44	9.74	0.02	0.002	11.92	12.21	4.89	0.247	

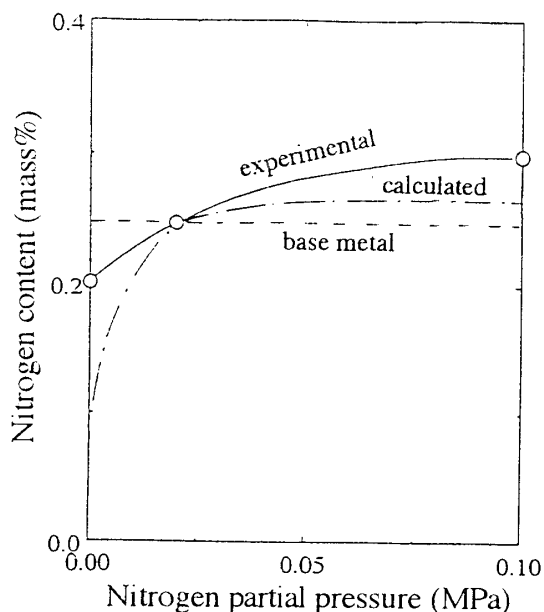


Fig.2 Relationship between the nitrogen content of weld metal and nitrogen partial pressure.

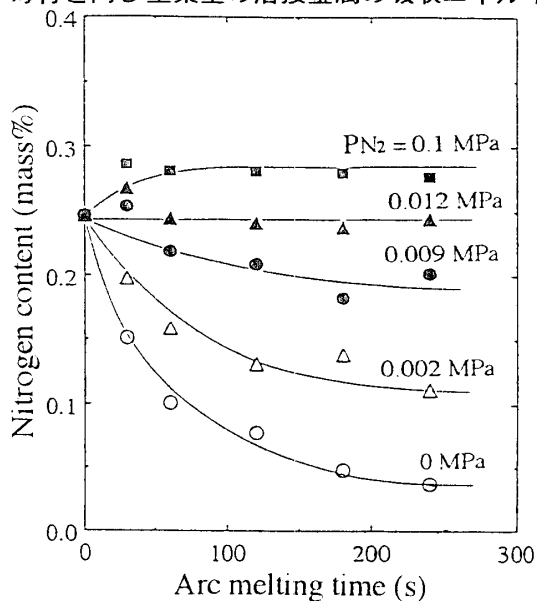


Fig.1 Effects of melting time and nitrogen partial pressure on nitrogen content of arc-melted metal.

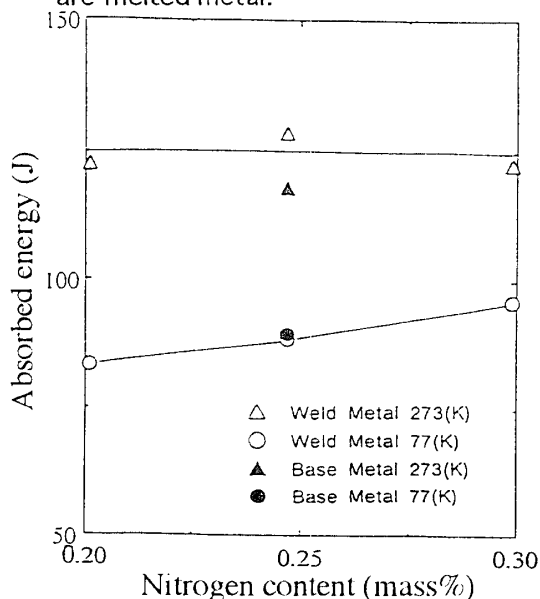


Fig.3 Effect of nitrogen content on absorbed energy of weld metal during impact test.