

高濃度窒素鋼の加工 (3)

高濃度窒素ステンレス鋼溶接金属の機械的特性

Mechanical Properties of High Nitrogen Stainless Steel Weld Metal

神谷 修
Osamu Kamiya

秋田大学 工学資源学部 教授

1 はじめに

高濃度窒素ステンレス鋼を溶接した場合、母材には見られない独特な金属組織を形成し機械的性質を低下させる場合がある。溶接特有の組織とは、「柱状晶組織」、「窒化物 Cr_2N の析出」、「凝固割れ」、「窒素含有量低下」、「気孔の形成」などであり、強度や靱性を低下させる原因となる。大きな構造物を作る場合、熔融溶接は避けられないので、溶接は実用的な観点からのキーテクノロジーであると言える。高濃度窒素ステンレス鋼は、高圧窒素中で健全な溶接が可能である¹⁾。一方、低圧窒素雰囲気中で溶接を施すと窒素含有量が低下し、気孔の発生、窒化物の析出や高温割れにより継手性能が低下する場合がある。ここでは、実用的な観点から各種雰囲気中での、アーク溶接および拡散接合を適用し、溶接欠陥との関連から機械的特性について説明する。

2 高圧窒素中GMA溶接

オーステナイト系ステンレス鋼を高圧窒素中で溶接すると溶接金属に窒素が吸収される。それに伴って溶接金属の硬さは上昇し引張強度は増加する¹⁾。一方、窒素含有量がある限界を越えると靱性値は低下する場合がある。図1にSUS316 (18Cr, 12Ni) を高圧窒素中でGMA溶接した場合の靱性変

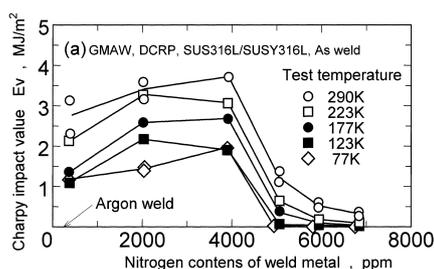


図1 高窒素鋼溶接金属の靱性に及ぼす窒素含有量の影響
SUS316鋼を高圧窒素中で溶接

化を示した¹⁾。4000ppmまでは靱性が増加するが、5000ppm以上では靱性が急激に減少する。この原因は、図2と図3に示した柱状晶粒界の窒化物 Cr_2N の析出と凝固割れであり、何れも低温での靱性を低下させる。この対策として、窒化物は1473Kの溶体化処理により再固溶消失させることが可能であり、凝固割れは6%程度のMnを溶接金属に添加することにより防ぐことが可能である²⁾。

3 大気圧中GTA溶接

高濃度窒素ステンレス鋼で比較的大きな構造物を製作するためには、特殊なチャンバー内ではなく大気開放下で溶接をする必要がある。大気圧中でGTA溶接すると溶融した金属から窒素ガスが放出され、ブローホールなどの欠陥を形成し強度が低下することがある³⁾。図4に示す例は、窒素を0.78%含むSUS316 (18Cr, 12Ni) 鋼であり、GTA溶接時に、シールドガスの種類に関わらず、溶融金属より激しく窒素ガスを発生してブローホール欠陥を形成し、硬さが低下する(図5参照)。窒素ガスにより形成された気孔は、母材側の部分溶融領域 (PMZ: Partial Melted Zone) に観察された。一方、初期の窒素含有量が0.5%の場合には、シールドガスとして窒素を用いた場合、硬さの低下はほとんど起こらないことがわかる。また、溶接金属や溶融境界には気孔は見られ

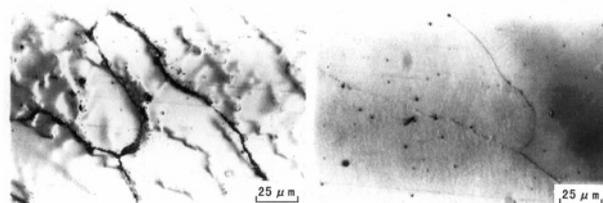


図2 クロム窒化物 (Cr_2N) の析出と溶体加熱処理による消失

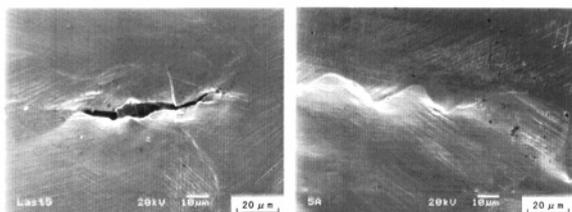


図3 窒素による凝固割れの発生とMn添加による防止

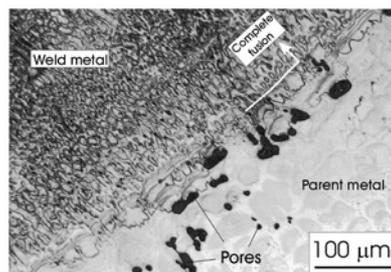


図4 凝固界面の部分溶融領域に残留した気孔 N=0.78%

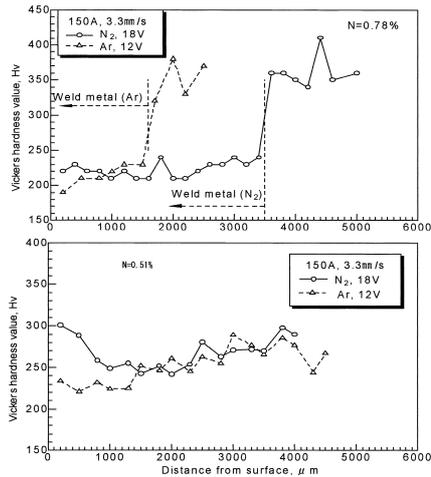
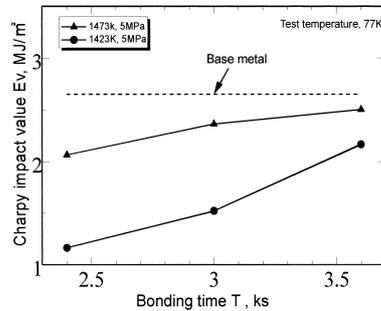
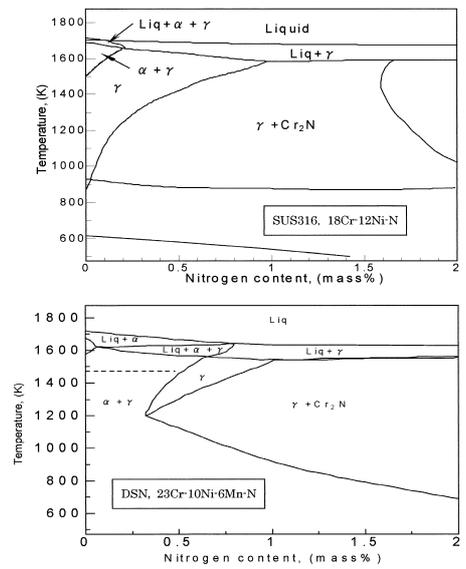


図5 GTA溶接金属の凝固界面付近の硬さ変化

図6 拡散接合継手の低温靱性に及ぼす接合時間の影響
接合条件 温度1423,1473K
圧力5MPa図7 高窒素鋼溶接金属の状態図
Cr増量とMn添加の影響

ない。実用的な観点から、大気圧中でGTA溶接する場合にはSUS316に含まれる窒素含有量を0.5%程度以下にする必要がある。

さらに、Crを23%を増やして窒素固溶量を増加したDSN9 (23Cr, 10Ni, 6Mn, 0.48N)を用いた場合は、窒素シールド中のGTA溶接により窒素量は0.52%に増加する。実用的な観点から、通常のGTA溶接を高窒素鋼に適用する場合、N量を保持するためのCr増量は効果的である。

4 拡散接合

低圧雰囲気中で、溶接金属から窒素を放出させずに接合するには、溶融させない固相接合としての拡散接合が有利と考えられる。ただし、加熱、冷却時に窒化物を形成させないように注意が必要である。

DSN9 (23Cr, 10Ni, 6Mn, 0.48N)型窒素ステンレス鋼を用いて、拡散接合を真空中で温度1473K、圧力5MPaの条件で行った場合には、極めて健全な接合が可能であった。窒化物の析出は確認せず、それに対応して図6に示したように低温衝撃値は、母材と同様に高いことが確認された。

5 溶解度と状態図

図7にThermo-calcによって計算したSUS316鋼およびDSN9における窒素との状態図を示した。領域 $\gamma + Cr_2N$ に大きな違いが見られる。すなわち、DSNでは $\gamma + Cr_2N$ 領域が窒素量0.3%まで離れており、0.3%以下では Cr_2N の析出は起こらないと解釈される。23Cr, 10Ni, 6Mn, 0.48Nの拡散接合において、炉冷したにもかかわらず、窒化物が析出しなかったのはCrとMnの増量により Cr_2N の析出範囲が高窒素側に移動したためと考えられる。

6 まとめ

高濃度窒素鋼の低圧窒素雰囲気における接合においては、気孔の発生、析出物の形成、凝固割れを防止し、優れた機械的性質を保持するため、適切な溶接法と材料を選択する必要がある。

大型構造物を想定した、大気圧の窒素シールドガスを用いたGTA溶接においては、鋼中の初期窒素濃度が0.5%以下の場合、溶接金属の強度低下はほとんど起こらず、気孔の残留も無い。また、Mn添加により凝固割れを防ぐことが可能となった。

精密部品の加工を想定した拡散接合では、Crを増量しMnを添加した23Cr, 10Ni, 6Mn, 0.48Nを用いた場合、窒素含有量が変化せず、析出物も無く、機械的性質の優れた接合ができる。

今後、高濃度窒素ステンレス鋼溶接金属を実際の構造物に応用する場合には、長期的な使用に耐えられることを保障するために、各種雰囲気における、疲労強度やクリープ強度に関する検討が必要になるだろう。

参考文献

- 1) O.Kamiya, Y.Kikuchi and Z.W.Chen : Inter. Jour.of Materials Processing Technology, V117 (2001). (CD-ROM)
- 2) O.Kamiya, Z.W.Chen, Y.Kikuchi and T.Ohyoshi : Inter. Jour. of Modern Physics B, 2002投稿中.
- 3) O.Kamiya, Z.W.Chen and Y.Kikuchi : J. of Materials Science, 37 (2002), 2475.

(2002年8月14日受付)