

# 討25 SUS 304オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属の低温における機械的性質におよぼす窒素の影響

大阪大学溶接工学研究所 圓城敏男 菊地靖志  
大阪大学大学院(現ト37紅) 永田 浩

**1. 緒言** : オーステナイト系ステンレス鋼の諸性質を改善する目的で窒素を合金元素として添加した鋼種が開発され、規格化もされている。この種のステンレス鋼の溶接において溶接金属の窒素含有量および強度を母材と同等のレベルに保持し、かつ健全な溶接部を得ることが重要な課題の一つである。このために、母材と同一成分の電極線や合金の溶加材を用いたMIG法, TIG法, あるいは被覆アーク溶接法等が考えられ、また実溶接法, 電子ビーム溶接法等の適用なども試みられている。本研究は窒素を合金化していない電極線を用いて、N<sub>2</sub>-Ar混合ガスをシールドガスとするMIG溶接をとりあげ、高窒素ステンレス鋼板の溶接への適用を検討した。そして得られた、高窒素含有オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属の機械的性質について主として低温における強さと窒素含有量との関係を検討した。さらに、得られた結果から窒素の強化機構についてもニの考察を行なった。

Table Chemical compositions of base plate and electrode wire

	Chemical composition (wt%)							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N
Base plate	0.06	0.82	0.99	0.028	0.008	8.48	18.23	0.048
Electrode wire	0.02	0.47	2.07	0.026	0.005	9.90	20.10	0.023

表1. 母材および電極線の化学成分

**2. 実験装置および方法** : 表・裏面等を清浄にした溶接用試片を用い(12mm<sup>t</sup>×200×70<sup>mm</sup>)開先角度60度, ルートギャップを2mmで突合せ溶接を行なった。溶接条件はアーク電圧27V, 溶接電流300A, 溶接速度20cm/minとし, 自動溶接機により多層盛(3層)溶接を電極線側を+極として行なった。シールドガスには流量20l/minのN<sub>2</sub>-Ar混合ガスを用いた。高窒素含有オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属はN<sub>2</sub>-Ar混合シールドガス中のN<sub>2</sub>混合量を多くして, アーク雰囲気中の窒素を溶融溶接金属中へ吸収させる方法によって得た。溶接金属の窒素含有量はJIS法によって定量した。また組織観察, フェライト量の測定等も行なった。溶接部から全溶接金属引張試験片(平行部6mmφ, 全長70mmで両端ネジ付)ならびに衝撃試験片(JIS4号, ノッチ部は溶接金属中心で板厚方向)を作製し, これら試験片の低温における機械的性質を調べた。表1に母材および電極線の化学成分を示す。

**3. 実験結果** : (3.1) 溶接金属の窒素含有量(N)について ; N<sub>2</sub>-Ar混合シールドガス中のN<sub>2</sub> vol.%と溶接金属中の窒素含有量(N)との関係を図1に示す。

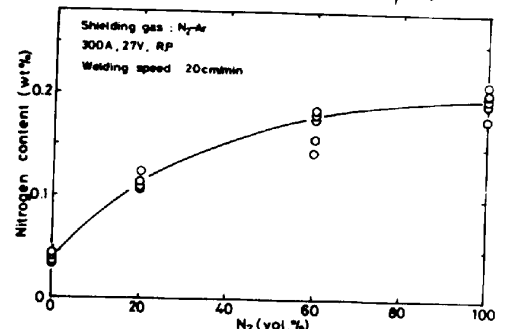


図1. 溶接金属中の窒素含有量とシールドガス中のN<sub>2</sub>混合量との関係

測定値は最上部のビードの分析値である。シールドガス中のN<sub>2</sub>混合量が増加するとN量も一様に増加し, 100%N<sub>2</sub>シールドでは約0.2wt%となる。このような傾向は前報<sup>1)</sup>と同様である。溶接金属部の断面を顕微鏡より検査した結果, 気孔および欠陥等はほとんどみられずほぼ健全な溶接部であった。溶接金属の組織はシールドガス組成の影響を強く受け, Ar100%では約13%のδ-フェライトが存在していたが, 溶接金属のN量が約0.18%をこえると单相の組織を示すことがわかった。

(3.2) 溶接金属の機械的性質 ; (A). 引張り強さ ; インストロニタイプの材料試験機に低温槽をとりつけ, その中で試片を所定の温度まで冷却した。クロスヘッド速度1mm/minで引張り試験を行なった。図2に, -50℃で行なった場合の結果を示す。0.2%耐力はN量と共に上昇し, 約0.2wt%Nで約51kg/mm<sup>2</sup>を示す。抗張力はNには余り影響されずに約92kg/mm<sup>2</sup>ではほぼ一定であった。各試験温度での0.2%耐力の結果をまとめて図3に示す。試験温度が低い程, N量増加とともに, 0.2%耐力の増加が顕著となる。この傾向は鍛造材を用いた他の報告<sup>2,3)</sup>でも認められている。次に抗張力についてまとめたものが

図4である。低温程大きな抗張力を示すが本実験範囲のN量では抗張力におよぼす影響は少ないようである。応力-歪曲線において一部の歪量のところでセレーションが認められた。また破断後に試片にマルテンサイト組織が生じることが観察された。

(B). 靱性 ; シャルピー衝撃試験は-196℃(液体窒素) ~ 600℃までの温度範囲で行なった。溶接金属中央部を板厚方向に2mmVノッチを加工し、破断面がビードの長手方向と平行となるようにした。試片を冷却し試験温度となつてから20分間保持したのち衝撃試験を行なった。400℃および-150℃の試験温度における結果を図5に示す。図から明らかなようにN量の増加と共に吸収エネルギーが増加する傾向がみられる。試験温度と吸収エネルギーとの関係もN量別に整理して示したものが図6である。全域にわたる溶接金属中のN量が高い程、大きな吸収エネルギーをもつことがわかる。そして0℃以下の低温で窒素の効果は顕著である。

4. 考察 ; (4.1) 低温における耐力および衝撃値におよぼす窒素の影響 ; 本実験範囲内では高窒素含有304型オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属は低温において比較的大きな0.2%耐力を示し、また衝撃値も窒素によって低下しないという結果を得た。この窒素の役割について考察する。オーステナイト系鋼が低温で塑性変形を受けた場合、応力誘起マルテンサイト変態をおこすことは一般によく知られている。変形時に試料内に発生した応力集中はこの変態により解放されると言われている。<sup>4-5)</sup> 本実験の試料の場合、オーステナイト相は固着した少量の窒素によって著しく安定化されており、低温で塑性変形を受けた場合でもマルテンサイト変態をおこす割合は低窒素含有のオーステナイト系溶接金属より少ないことが予想できる。破断後の試料から薄膜試料を作成し透過電子顕微鏡にて観察した結果、マルテンサイト組織を確認できたので、それぞれの試料について定量化を試みたが正確にマルテンサイト量を測定することができなかった。そこで(200)および(200)'のX線回折による積分強度を求め、それらと比較することによって破断後の試料のみかかりのマルテンサイト化率を求めた。そして機械的性質との関連性を検討した。まず、最もマルテンサイト変態しやすい試料としてN含有量(0.037wt%)が最も少ない試料を-196℃で破断しこの試料の破断面近くで破断面に平行な位置でX線回折によって得られたマルテンサイト組織の積分強度を $M_{max}$ とし、これを基準とした。その他の試料について同様にして得られたマルテンサイトの積分強度を $M$ とし $M/M_{max}$ をかかりのマルテンサイト化率とした。 $M/M_{max}$ とN量との関係も各試験温度について求めた結果を図7に示す。 $M/M_{max}$ は試験温度が低い程、そしてN量が少ない程大きくなっていることがわかる。つまりN量が多くなるとオーステナイト相は非常に安定化され変形時の応力誘起マルテンサイト変態が阻止されると

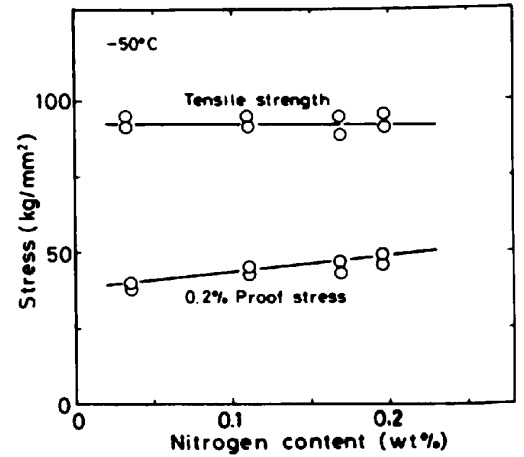


図2. 溶接金属の抗張力および0.2%耐力と窒素含有量の関係

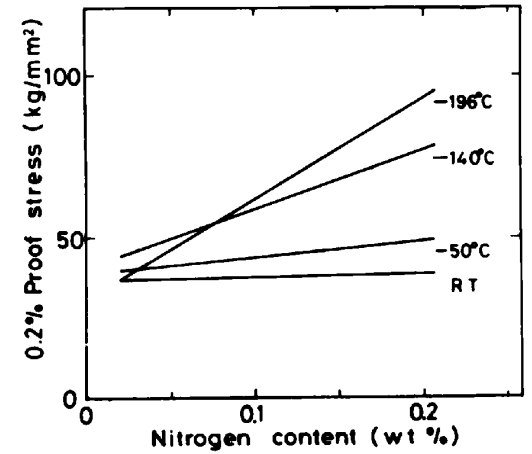


図3. 0.2%耐力と窒素含有量の関係

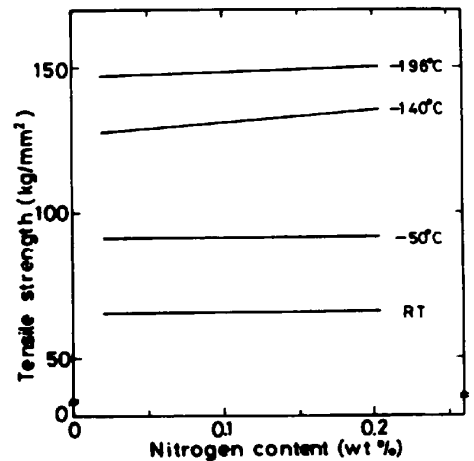


図4. 抗張力と窒素含有量の関係

考えられる。次に0.2%耐力とM/M<sub>max</sub>との関係を調べたものが図8である。試験温度ごとのM/M<sub>max</sub>と0.2%耐力とは大略直線関係にある。つまり、オーステナイト相に固着した窒素は同相を安定化し、変形時の応力誘起マルテンサイト変態を妨害し、よって耐力の上昇をもたらしたものであろう。しかしここで電顕観察したマルテンサイト組織はすべて破断後の試片である。一方耐力の上昇は変形過程の挙動であるから両者の関係についてより厳密な検討が必要であると考えている。引張り強さには本実験範囲のN量は余り効果が認められなかった。次に衝撃試験結果とM/M<sub>max</sub>との関係を

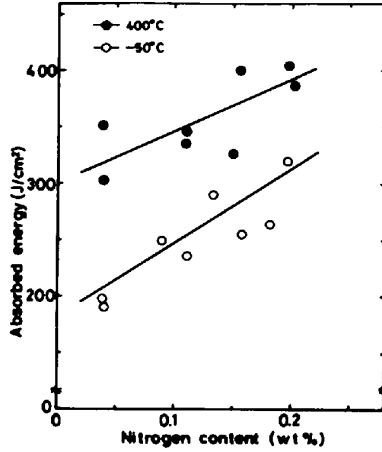


図5. 溶接金属の吸収エネルギーと窒素含有量の関係。

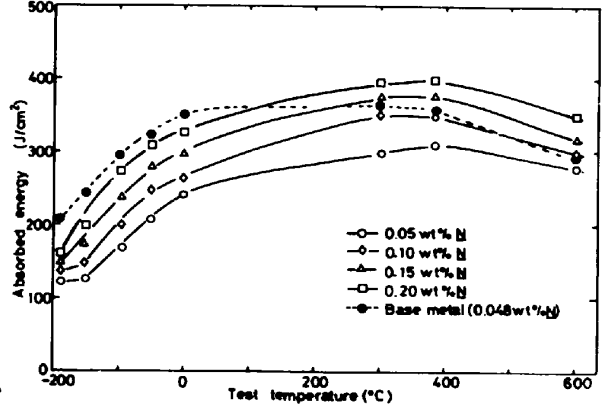


図6. 窒素含有量の異なる試料での吸収エネルギーと試験温度との関係

図9に示す。-150°Cおよび-50°Cでの結果が温度の順になつていないが吸収エネルギーはN量と共に大きくなり、M/M<sub>max</sub>はN量と共に小さくなる。以上のことが窒素で安定化されたオーステナイトが良好な吸収エネルギーを示した一因であろう。

(4.2) 溶接方法および窒素添加方法と溶接金属の衝撃値について溶接金属の低温における衝撃値と試片のN量とに関する研究報告については現在のところ必ずしも一致した結果となっていないようである。他の研究報告、前報<sup>6)</sup>および本結果とを比較し表2にまとめた。

試験温度は-196°Cでの結果である。E.R. Szumachowski<sup>7)</sup>および池田・新等<sup>8)</sup>の報告は試料が316および308タイプのステン

レス鋼であり成分が本実験の試料と同一ではない。F.N. (Ferrite Number) はE.R. Szumachowski<sup>7)</sup>によって示された式によって求めたものである。これらの結果は窒素の増加と共に溶接金属の吸収エネルギーは減少しており前報<sup>6)</sup>および本実験結果と反対の傾向である。彼等の研究では、溶接方法が半溶接で窒素の添加はフラックス(溶接棒の被覆剤)から導入されており、本実験の手法とは大きく異なる。

したがって溶接金属中での窒素の存在形態などにはいかかあるのではないかと予想している。

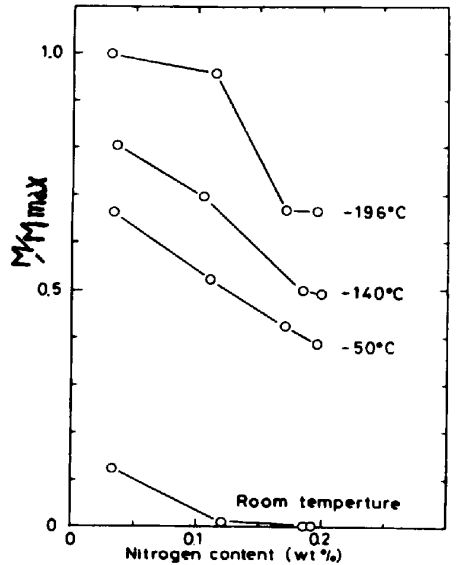


図7. M/M<sub>max</sub>と窒素含有量の関係

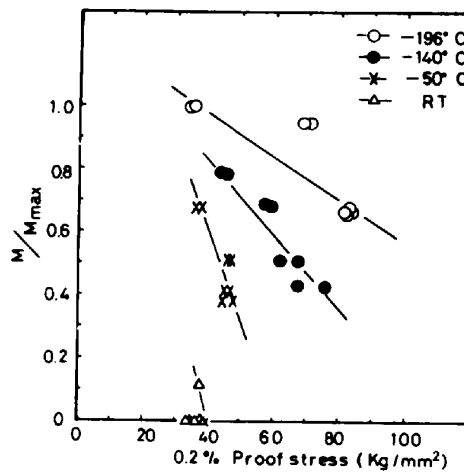


図8. M/M<sub>max</sub>と0.2%耐力との関係

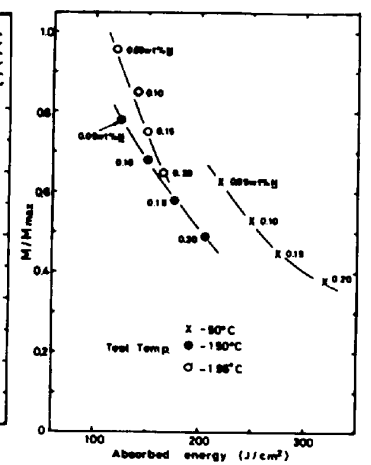


図9. M/M<sub>max</sub>と吸収エネルギーとの関係

のずれにしてもこの点は重要な問題であり、今後詳細に検討する予定である。

5. 結 論

N<sub>2</sub>-Ar混合ガスをシールドガスとして用いたSUS304オーステナイト系ステンレス鋼のMIG溶接を行なった。得られた溶接金属について、低温における機械的性質におよぼす窒素の増量を調べるため、低温における引張り試験および衝撃試験を行なった。得られた結果を次に要約する。

- (1). 溶接金属の窒素含有量(N)はシールドガス中への窒素ガスの混合量を変化させることにより、最高約0.2wt%まで変化させることができた。溶接金属の組織はN量が約0.18wt%をこえると、溶接金属中には $\delta$ -フェライトは認められなくなり単相組織となる。
- (2). 液体窒素温度までの引張り試験の結果、抗張力は本実験範囲内のN量によってはほとんど変化なく0.2%耐力はN量の増加と共に増加する。
- (3). 液体窒素温度までの衝撃試験において、吸収エネルギーはN量と共に増加する傾向が認められた。
- (4). 破断後の試料を透過電子顕微鏡で観察した結果、応力誘起マルテンサイト組織を確認できた。
- (5). 高窒素含有オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属が低温において良好な耐力を示した原因の一つとして、窒素によって安定化されたオーステナイト相の低温における応力誘起マルテンサイト変態の抑制と関連させて考察した。
- (6). 低温における溶接金属の衝撃値におよぼす窒素の効果には、溶接方法および窒素の溶接金属への導入方法によって大きな差がある。これは溶接金属中の窒素の存在形態の相違によるものと予想される。
- (7). 以上のことよりSUS304オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属の低温における0.2%耐力および衝撃吸収エネルギーについては雰囲気から吸収された窒素が良好な影響を与えよることかわかった。

Weld type	Weld number	Welding process	Shielding gas	Test Temp. (°C)	Source of nitrogen	reference
316L	-1	SMA	0.033	5.2	nitrogen enriched metal powders	E.R.szumachowski et al W.J.S. (1979), No.2
			0.055	4.1		
308L	-1	SMA	0.04 - 0.05	5.7	nitrogen compounds	N. Iweda, S. Shin et al preprints N.Met JWS No.25 (1979)
			0.07 - 0.10	4.8		
			0.11 - 0.13	4.1		
316	-5	0.24	7.1	MIG	gaseous nitrogen	Takabayashi, Tenjo et al J.H.T.S. vol 7 (1981) No.2
304L	-1	MIG	0.05	8.5	gaseous nitrogen	this study
			0.10	10.8		
			0.19	12.8		

表2. -196°Cにおける溶接金属の吸収エネルギーと窒素含有量の関係のため。

Test Temp. -196°C

参 考 文 献

- (1). 小林, 菊名, 菊地, 溶接学会誌, vol. 40 (1971) No.5, 221-231
- (2). 大西, 三浦, 鉄と鋼, vol. 67 (1981), No.13, 鉄鋼協会年102回講演概要集(II), P.271
- (3). 向井, 星野, 他, 鉄と鋼 vol. 65 (1979) No.12, 1756-1765
- (4). 田村 今男, "鉄鋼材料強度学, 日刊工業新聞社 (544年)
- (5). 同上, 日本金属学会報 vol. 20 (1981), No.12, 987-994
- (6). 小林 圓城, 菊名, 菊地, 高温学会誌, vol. 7 (1981), No.1, 27-34, vol. 7 (1981), No.2, 72-79
- (7). E.R. SZUMACHOWSKI 他 W.J. vol. 58 (1979), No.2, 345-445
- (8). 池田, 新他, 溶接学会全口大会講演概要, NO.25 (1979)