

窒素利用による SUS304 ステンレス鋼溶接継手の機械的性質

長谷川 正義*

Mechanical Properties of SUS304 Stainless Steel Welded Joints with the Use of Nitrogen

Masayoshi HASEGAWA*

(Received May 24, 1994)

Good-appearance beads were obtained when the nitrogen content in the shielding gas was under 40 %, as described in the previous report. In this study the mechanical properties of SUS304 stainless steel welded joints were investigated with TIG welding without filler metal under various N₂-Ar shielding gases.

The experimental results were as follows;

- 1) Good appearances and sound welded joints were obtained when the nitrogen content in the shielding gas was under 40 %.
- 2) Tensile strength of the welded joint using a nitrogen/argon combination was stronger compared to the Ar only shielding gas.
- 3) Effects of nitrogen in the shielding gas on the shape of tungsten electrodes were not noted.
- 4) It was considered that a nitrogen content under 40 % should be use for the shielding gas in TIG welding.

1. 緒 言

著者はすでに、SUS304 ステンレス鋼の TIG 溶接用シールドガスとして安価な窒素が利用できるか否かを検討するため、種々の混合率の N₂-Ar シールドガスを用いて平板によるビード溶接を行い、気孔の発生、ビード外観及び硬さを調べると共にタングステン電極の損傷状態についても検討を加えた。そしてシールドガス中に N₂ を約 40 % 混合しても溶接金属の気孔、外観、硬さ及び電極の損傷などは Ar のみのそれらに比べ遜色がないことを報告した¹⁾。

そこで本研究では、溶接継手の機械的性質に及ぼすシールドガス中の窒素の影響を明らかにするため、窒素混

合率 40 % までの範囲において、窒素混合率を種々に変化させた N₂-Ar シールドガスを用い、SUS304 ステンレス鋼の継手溶接を行い、機械的諸試験を実施し、その性能を調べた。また、溶接部の腐食試験も行い、窒素混合による耐食性についても検討を加えた。その結果、TIG 溶接の Ar シールドガス中に 40 % までの窒素を使用しても継手の機械的性質及び耐食性は Ar のみの場合と同程度のものが得られることを確かめたので報告する。

2. 実験方法

本実験に用いた母材及び溶接電源は既報¹⁾の場合と全く同様 (板厚 3mm の SUS304 ステンレス鋼及び交直両用の TIG 溶接機を使用し、直径 3.2mm のトリウム 2 % 入りタングステン電極を用い、電極マイナスで溶接)

*機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

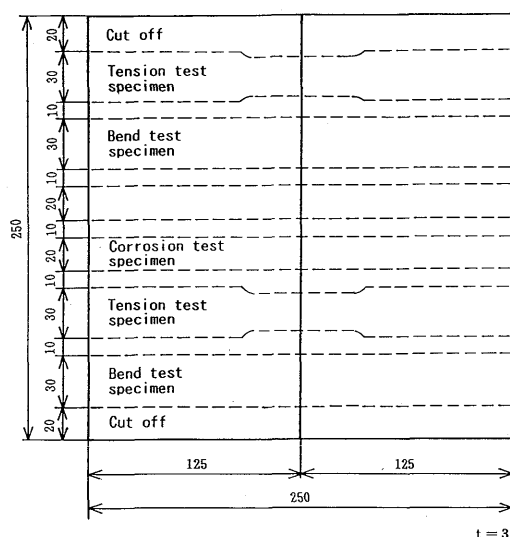


図1 溶接継手試験材の寸法及び試験片の採取要領
単位；mm

である。

溶接継手試験材は125×250mm短冊形ステンレス鋼を母材とし、図1に示すようにルート間隔を0mmとし、I形で突合せ、溶加材を用いずに溶接を行った。この場合、トーチは自動走行装置に固定し、一定速度で溶接を行った。裏あて金には幅6及び深さ5mmのU溝付銅板を用いた。

溶接条件は電極の先端角度 50° 及び溶接電流200Aは一定とし、TIG溶接用Arシールドガス(総流量10ℓ/min)中の N_2 混合率を0, 10, 20, 30及び40%に変化させた。なお、 N_2 混合率を変化させるとそれに伴って溶込みも変化するので¹⁾、継手溶接を行うにあたって、融合不良あるいは逆に溶落ちなどが生じないように溶接速度で調節した。

表1は種々の N_2 混合率における継手溶接条件を示す。溶接完了後、溶接部の外観検査を行い、X線写真を撮

表1 種々の N_2 混合率による継手溶接条件

N_2 , %	Welding current, A	Welding speed, mm/min
0	200	250
10	200	300
20	200	350
30	200	400
40	200	500

影した後、図1に示すように、1枚の試験材から継手引張り試験片(JIS Z 2201-1980, 5号試験片)2個、幅30mmの3点曲げ試験片(表曲げ及び裏曲げ用, JIS Z 3122-1990)2個、顕微鏡観察用試験片1個及び腐食試験片1個を採取した。

腐食試験はステンレス鋼の10%しゅう酸エッチ試験(JIS G 0571-1980)を採用した。

また、 N_2 混合によるタングステン電極の損傷状態についても顕微鏡により詳細に観察した。

3. 実験結果とその検討

3.1 電極先端形状及び溶接継手外観

Arシールドガス中に10及び15% N_2 を混合すると、スパッタが多くなり、電極先端がスパッタと共に飛散し、アークが不安定になる。そしてこの現象は開先内で著しいことが報告されている²⁾。

そこで継手溶接を行うにあたって、予備実験を行い、タングステン電極の損傷状態について検討を行った。すなわち、溶接前の電極先端形状と種々の N_2 混合率のシールドガスのもとで継手溶接を行った後のそれとを顕微鏡で詳細に観察し、比較検討した。その結果、継手溶接においても N_2 混合によるタングステン電極の著しい損傷や変形はほとんど観察されなかった。

しかし、稀にはあるが電極先端にスパッタが付着したりあるいはそのスパッタと電極とが融接していることが観察された。このような現象は既報¹⁾の平板によるビード溶接では全く観察されなかった。

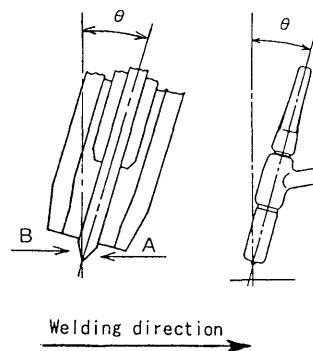


図2 後退角と電極先端形状の観察方向

そこでスパッタの付着及び融接を防止する目的で図2に示すように後退角 θ を0, 7.5及び 15° と変化し、 N_2 混合率40%のもとで継手溶接を行い、 θ と電極先端に付着するスパッタとの関係をA及びBの方向より観察した。その結果を図3に示す。同図によれば、 θ が 0° の場合には電極先端全面にわたってスパッタの付着が観察されるが、 7.5° の場合には電極の後面(同図の記号B側)に見られるだけとなり、さらに θ を 15° とした場合には、スパッ

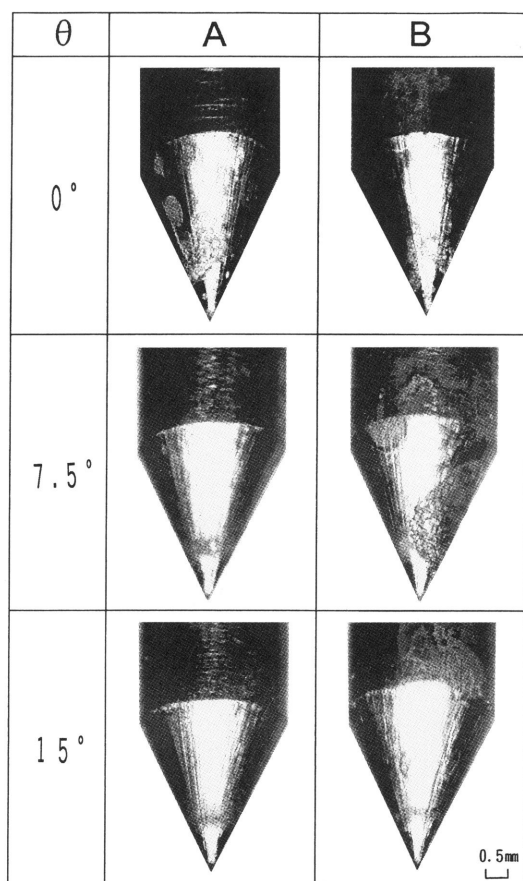


図3 後退角と溶接後の電極先端形状との関係

タの付着は全く認められなかった。したがって、以降の実験での θ は全て 15° で行った。

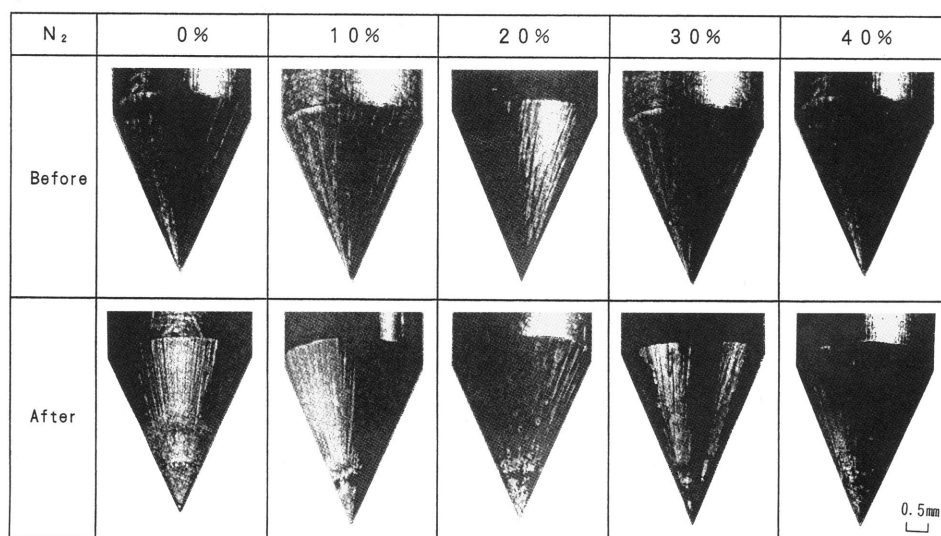
図4は N_2 -Ar混合シールドガス中の N_2 混合率を0, 10, 20, 30及び40%に変化させて、溶接長400mmの継手溶接を行った後の電極先端形状を溶接前のそれと比較して示したものである。いずれの場合も電極の損傷は全く認められなかった。これは本実験で用いた母材の板厚が3mmと薄いため、開先形状がI形でルート間隔も0mmの継手条件を用いたので、継手溶接でありながら条件的には既報¹⁾の平板によるビード溶接とほぼ同様であるためと考えられる。

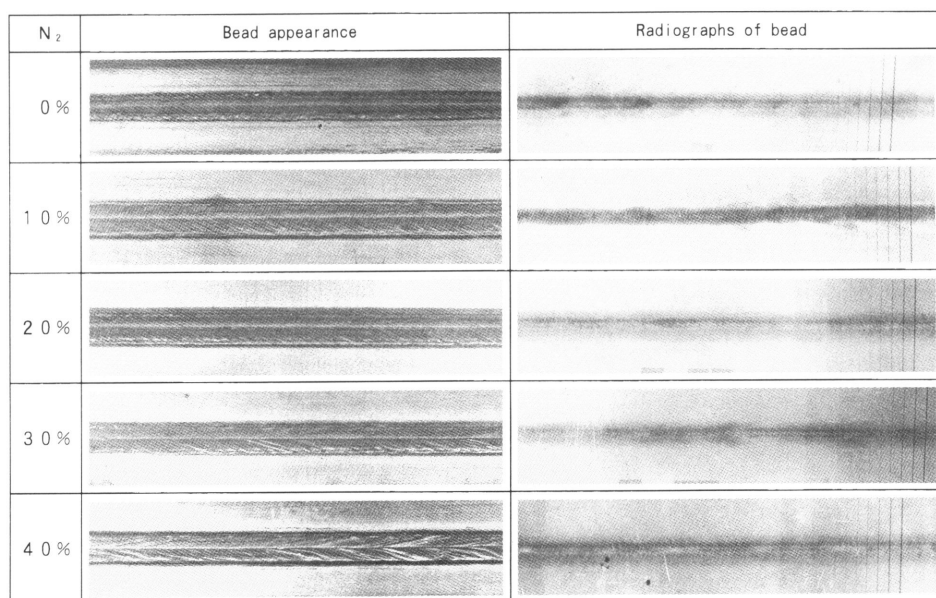
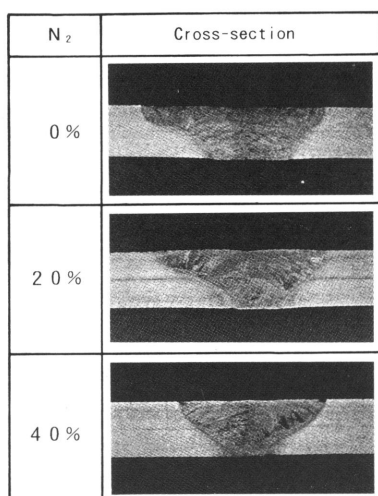
図5は種々の N_2 混合率により得られた継手の外観及びX線写真を示したものである。継手外観は、 N_2 混合率の増加と共にリップルがやや粗くなる程度で、うねりも観察されなかった。これらの外観はArのみの場合のそれに比べ、ほぼ同程度であった。

また、溶接部のX線写真にもスラグ巻込み及び気孔などの欠陥も全く観察されず、健全な継手が得られた。

ステンレス鋼の場合、窒素による気孔が鉄鋼に比べ生じにくいのは、鋼中のCr濃度が高いと平衡窒素の濃度が高くなると共に平衡値に達するまでの時間が増加するためであるとの報告がある³⁾が、本研究の場合も同様な理由により約40%の N_2 混合率においても気孔の発生が認められなかったものと考えられる。

図6は溶接継手の横断面写真の一例を示したものである。いずれの N_2 混合率の場合も溶込みも十分に良好な裏波が得られている。

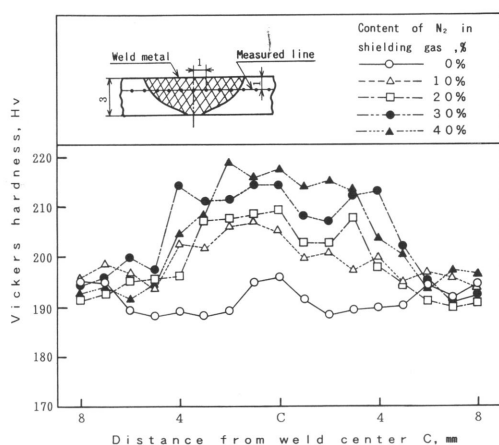
図4 溶接後の電極先端形状に及ぼすシールドガス中の N_2 の影響

図5 種々のN₂混合率による溶接継手の外観及びX線写真図6 種々のN₂混合率による溶接継手の横断面マクロ写真

3.2 溶接継手の機械的性質

図7は種々のN₂混合率により得られた継手の硬さ分布を比較して示したものである。溶接金属の硬さに及ぼすN₂の影響は顕著であり、Arのみの場合のHv188～195に比べ、N₂混合率が増加すると共に硬さも増大し、40%の場合の最高硬さはHv220にも達している。これは溶接雰囲気中のN₂が増加すると溶接金属中のNが増加するため、硬さも上昇するものと思われる。

表2は種々のN₂混合率により得られた継手の機械試

図7 溶接金属の硬さに及ぼすシールドガス中のN₂の影響

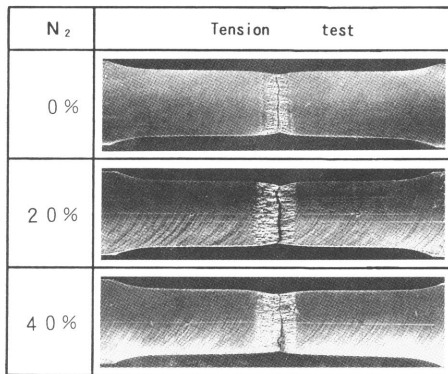
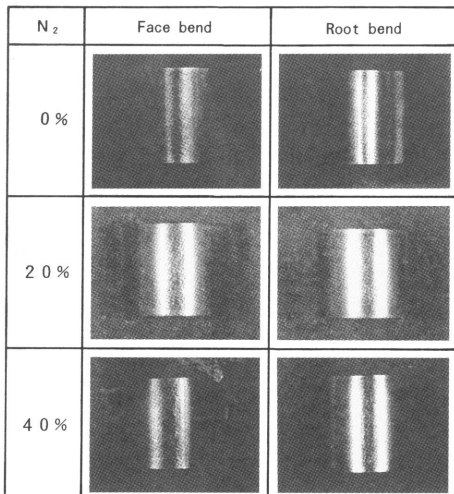
験結果を総括して示したものである。溶接継手の引張強さはArのみの場合は約643MPa(2本の平均値)であるが、N₂混合率10, 20, 30及び40%の場合のそれは、それぞれで656, 653, 661及び675MPaの値を示し、N₂混合率の増加と共に引張強さはわずかに増大する傾向が認められた。これはN₂混合率の増加と共に溶接金属の硬さが増大することに起因するものと考えられる。

なお、破断箇所はArのみの場合を含め、いずれのN₂混合率の場合も溶接金属である。これは継手溶接を行うにあたって、溶加材を用いていないためと考えられる。

図8は引張試験片の破断後の外観写真の一例を示す。

表2 種々の N_2 混合率による溶接継手の機械試験結果

N ₂ , %	Tension test			Maximum vickers hardness, Hv	bend test		Broken part	
	Ultimate tensile strength, MPa	Elongation %	Reduction of area, %		Face bend	Root bend		
					Cracks, mm	Cracks, mm		
0	650 635	643	42 } 42 42 } 42	48 } 50 52 } 50	195	0	0	Weld metal
10	660 652	656	44 } 43 42 } 43	54 } 54 54 } 54	207	0	0	Weld metal
20	650 652	653	43 } 42 41 } 42	50 } 51 52 } 51	209	0	0	Weld metal
30	661 661	661	43 } 44 46 } 44	55 } 55 55 } 55	214	0	0	Weld metal
40	670 680	675	44 } 45 46 } 45	50 } 51 52 } 51	220	0	0	Weld metal

図8 種々の N_2 混合率による溶接継手引張試験片の破断後の外観写真図9 種々の N_2 混合率による溶接継手曲げ試験片の試験後の外観写真

また継手の伸び及び絞りについては、 N_2 混合率による相違はほとんど認められなかったが、伸びについては本実験での標点間距離が40mmであるのに比べ、溶接金属

の幅が約10mmと極端に狭いため、母材部の伸びの影響の方が大きく現れたためと考えられる。

3点曲げ試験結果では、いずれの N_2 混合率の場合も表曲げ裏曲げ共180°曲げて無欠陥であった。図9は3点曲げ試験を行った後の外観写真の一例を示す。

3.3 腐食試験

種々の N_2 混合率により得られた継手の溶接金属及び熱影響部について10%しゅう酸溶液中で電解エッチ後エッチ面を顕微鏡で観察した。その結果、いずれの N_2 混合率の場合も溶接金属及び熱影響部の腐食程度はArのみの場合と同程度であった。したがって N_2 -Ar シールドガス中に40%程度の N_2 を混合してもArのみの場合に比べ、耐食性は低下しないものと考えられる。

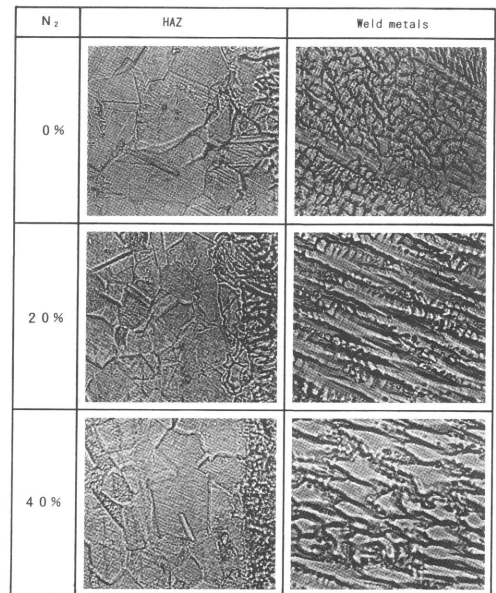


図10 10%しゅう酸エッチ試験後の溶接部の顕微鏡写真

図10はエッチ試験を行った試験片の顕微鏡写真の一例を示す。なお、同図から明らかなように、デンドライトの大きさは N_2 の増加と共に増大することが認められる。

しかし、熱影響部の組織に及ぼす N_2 の影響はほとんど認められなかった。

4. 結 言

SUS304 ステンレス鋼のTIG溶接用シールドガスに安価な窒素を利用する目的で、種々の混合率の N_2 -Ar シールドガスのもとで継手溶接を行い、機械的性質を調べると共に耐食性についても検討を加えた。得られた結果は次のとおりである。

1) N_2 混合率が40%までは、外観も良好で気孔もない健全な溶接継手が得られた。

2) N_2 混合により得られた継手の引張強さは、Ar のみの場合のそれに比べ増大する。これは、 N_2 の混合による硬さの上昇に起因するものと考えられる。

3) 電極先端形状に及ぼす N_2 の影響は、本実験範囲ではほとんど認められなかった。

4) 以上の結果より、Ar シールドガス中に安価な N_2 を40%程度混合しても継手外観、引張強さ、及び耐食性はAr のみのそれらに比べ、遜色が無いことが分かった。

終わりに臨み、本研究を遂行するにあたりご懇切なご助言を賜りました本学生産技術開発センター長岡村健二郎教授に対して深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

1) 長谷川正義；“SUS304 ステンレス鋼溶接における

窒素の利用”中部大学工学部紀要，第28巻，(1992)，p1~4

2) 村田邦昭，小川忠雄，青木司郎，井上史朗，常富栄一；“高Nステンレス鋼のTIG溶接シールドガスからのN添加”溶接学会講演概要，第21集，(1977)，p304~305

3) 桑名武，粉川博之，内藤賢一郎；“非消耗電極式アーク溶接における溶接金属の窒素吸収について”溶接学会論文集，2-4 (1984) p669-675

4) 桑名武，粉川博之，松崎晋一；“高压溶接雰囲気における純鉄溶接金属の窒素吸収”，溶接学会論文集，3-4 (1985)，p737~743

5) 桑名武，粉川博之，松崎晋一；“高压溶接雰囲気におけるステンレス溶接金属の窒素吸収”，溶接学会論文集，3-4 (1985) p744~751