6 9 0 M P a 級高張力鋼板用 M A G 溶接ワイヤの開発

竹之内優^{*}，永見郁夫^{**}，冷水孝夫^{***}，近藤 穆^{****}，
徳和吉一^{*****}

Development of Welding Wire for 690MPa High Tensile Strength Steel Plate

Masaru Takenouchi, Ikuo Nagami, Takao Shimizu, Atsushi Kondo and
Yoshiichi Tokuwa

Synopsis

Effects of Ti addition to C-Si-Mn system welding wire on the weldability in pulsed MAG arc welding process of 690MPa high tensile strength steel plate for automobile application were investigated.

Results are shown as follows.

(1) Mechanical properties of welded 690MPa high tensile strength steel plate joint

and all deposited metal were increased by addition of Ti to welding wire.

(2) The total amount of welding spatter was increased by addition of Ti to welding wire. But it was improved by addition of S to welding wire and by

【 1 . 緒 言 】

自動車の燃費改善の手段として自動車車体重量の低減が有効であることは広く知られ，鉄鋼材料からアルミニウム合金などの非鉄金属材料，あるいは，合成樹脂などの非金属材料への転換が行われている^{1)，2)}。

一方，自動車重量の約43%を占める鋼板の重量軽減を目的として，高強度鋼板を適用することにより使用鋼板板厚を減少させて車体重量を軽減する試みが行われている^{1)～6)}が，その多くは軟鋼クラスから490MPa級あるいは590MPa級高張力鋼板への転換が中心であり，それらをアーク溶接する溶接材料（溶接ワイヤ）としては，従来から用いられているYGW12,YGW14クラスで十分対応可能であった。

しかし，最近，さらに自動車重量の軽減を図るため，より高強度の鋼材の適用が検討され始めた^{2)，4)～6)}が，これら高張力鋼板のアーク溶接に適用できる溶接ワイヤとしては主として鉄骨・橋梁などで用いられる中厚板高張力鋼板用溶接ワイヤがあるのみで，自動車に用いられる薄板高張力鋼板用溶接ワイヤはほとんど実用化されていない。

また，それら溶接ワイヤは，溶接金属の機械的性質を確保するためにNi,Cr,Moなどの合金元素を含有しているので，溶接ワイヤのコスト面にも問題があった。

そこで，本研究では690MPa級高張力鋼板薄板のアーク溶接に適し，かつ，合金元素の添加を極力抑えた溶接ワイヤを開発するため，690MPa級高張力鋼板の溶接性に及ぼす溶接ワイヤ組成の影響を調査した。

1996年5月27日受付

- * 小川工業(株) (Ogawa Industry Co., Ltd.)
- ** 日産自動車(株) (Nissan Motor Co., Ltd.)
- *** 大同特殊鋼(株)技術開発研究所(Research & Development Lab., Daido Steel Co., Ltd.)
- **** 大同特殊鋼(株)溶材販売部(Welding Wire Sales Dept.,Daido Steel Co., Ltd.)
- ***** 大同特殊鋼(株)鋼材販売部(Special Steel Sales Dept.,Daido Steel Co., Ltd.)

2. 実験方法

2.1 供試材

溶接実験に用いた690MPa級高張力鋼板 (t4.5mm) および4種類の試作溶接ワイヤの化学組成をTable 1に示す. 試作溶接ワイヤは, Ni, Cr, Moなどの合金元素添加を

Table 1. Chemical compositions of steel plate and welding wires(mass%).

	C	Si	Mn	P	S	Ti	B
Steel plate	0.15	1.96	1.37	0.015	0.001	0.01	-
Welding wire A	0.04	0.81	1.74	0.014	0.006	0.04	0.0025
Welding wire B	0.05	0.80	1.76	0.014	0.003	0.07	0.0024
Welding wire C	0.06	0.84	1.73	0.014	0.006	0.09	0.0022
Welding wire D	0.06	0.82	1.77	0.013	0.003	0.16	0.0030

抑制するため, C-Si-Mn系をベースとして, TiおよびB添加による溶接金属の機械的性質の確保を指向し, 予備実験により求めた基本組成の溶接ワイヤ (0.05%C-0.8%Si-1.7%Mn-0.0025%B) へのTi添加量を変えた試作溶接ワイヤを用いた690MPa級高張力鋼板溶接継手強度および全溶着金属強度に及ぼすそれら添加元素の影響を調査した. なお, 試作溶接ワイヤは銅メッキ処理を施し, ワイヤ寸法は 1.2mmとした.

2.2 溶接実験

供試溶接ワイヤの溶接性はスパッタ発生量および溶接ビード外観などの溶接作業性, 溶接継手の機械的性質, および溶着金属の機械的性質で評価した.

Table 2に示す条件で板厚4.5mm×板幅150mm×長さ500mmの690MPa級高張力鋼板上にパルスMAG溶接法を用いてビードオン溶接し, 発生した溶接スパッタを銅製捕集容器⁷⁾を用いて全量捕集して, その量および粒度構成を調査した. なお, シールドガスは低コスト化を

Table 2. Welding condition of bead-on

Wire feeding rate	12.7m/min
Welding current	280A
Peak current	460A
Arc voltage	26V ~ 31V
Pulse width	0.6ms ~ 1.7ms
Welding speed	800mm/min
Wire extension	20mm
Shielding gas	60%Ar + 40%CO ₂ 25l/min

目的として60%Ar+40%CO₂混合ガスを基本とし, 一部の条件では比較のためシールドガスを80%Ar+20%CO₂混合ガスとした溶接実験も実施した.

つぎに, Table 3に示す条件で板厚4.5mm×板幅150mm×長さ500mmの690MPa級高張力鋼板を突合せて溶接継手を作製し, 溶接継手の引張試験を実施した.

Table 3. Welding condition of butt welding.

Wire feeding rate	12.7m/min
Welding current	280A
Peak current	460A
Arc voltage	28V
Pulse width	1.3ms
Welding speed	800mm/min
Wire extension	20mm
Shielding gas	60%Ar + 40%CO ₂ 25l/min

また, JIS Z3111に準拠してTable 3で溶接速度=400mm/minとした条件で肉盛溶接し, 全溶着金属の引張試験およびシャルピー衝撃試験を実施するとともに最終パスのミクロ組織観察を行った.

3. 実験結果および考察

3.1 ビードオン溶接実験結果

パルス幅=1.3msにおける試作溶接ワイヤA~試作溶接ワイヤDの溶接スパッタ量測定結果をFig.1, Fig.2およびFig.3に示す. いずれの試作溶接ワイヤもアーク電圧

Fig. 1. Effect of arc voltage on the total amount

が上昇するにつれて溶接スパッタ発生量は減少する傾向を示したが, 試作溶接ワイヤBおよび試作溶接ワイヤDの溶接スパッタ発生量は, 試作溶接ワイヤAおよび試作溶接ワイヤCのその1.5~2.0倍の値を示した.

試作溶接ワイヤBおよび試作溶接ワイヤDの大粒溶接スパッタ (0.8mm) 発生量はアーク電圧が上昇するにつれて減少する傾向を示したが, 試作溶接ワイヤAおよび試作溶接ワイヤCの大粒溶接スパッタ発生量はアーク電圧によらずほぼ一定であった. 小粒溶接スパッタ

Fig. 2. Effect of arc voltage on the total amount

Fig. 3. Effect of arc voltage on the total amount

($< 0.8\text{mm}$) 発生量はFig.1の溶接スパッタ発生量と同様に、いずれの試作溶接ワイヤもアーク電圧が上昇するにつれて小粒溶接スパッタ発生量は減少する傾向を示したが、試作溶接ワイヤBおよび試作溶接ワイヤDの小粒溶接スパッタ発生量は、試作溶接ワイヤAおよび試作溶接ワイヤCのそれよりも大きい値を示した。

溶接スパッタ発生量の少なかった試作溶接ワイヤAおよび試作溶接ワイヤCにおける、溶接スパッタ発生量に及ぼすアーク電圧およびパルス幅の影響をFig.4, Fig.5およびFig.6に示す。アーク電圧が低い場合には、試作溶接ワイヤAの溶接スパッタ発生量は試作溶接ワイヤCのそれよりも少なく、溶接スパッタ発生量に及ぼすパルス幅の影響は顕著ではなかったが、アーク電圧が上昇するにつれて両試作溶接ワイヤの溶接スパッタ発生量の差異はほとんど認められなくなり、パルス幅の短い領域で溶接スパッタ発生量が最小値を示した。

アーク電圧=28V, パルス幅=0.7ms, 0.9ms, 1.3msの溶接スパッタ発生量に及ぼす溶接ワイヤのTi含有量の影響をFig.7, Fig.8およびFig.9に示す。パルス幅の短い範囲で

Fig. 4. Effect of pulse width on the total amount of welding spatter (arc voltage=26V).

Fig. 5. Effect of pulse width on the total amount of welding spatter (arc voltage=28V).

Fig. 6. Effect of pulse width on the total amount

は溶接スパッタ発生量に及ぼす溶接ワイヤのTi含有量の影響はほとんど認められないが、パルス幅が広くなるにつれて溶接ワイヤのTi含有量の増加とともに溶接スパッタ発生量が増加する傾向が認められた。

アーク電圧=28V, パルス幅=1.3msの溶接スパッタ発生量および大粒溶接スパッタ発生量に及ぼす溶接ワイヤ

Fig. 7. Effect of Ti content of welding wire on the total amount of welding spatter (pulse width=0.7ms).

Fig. 8. Effect of Ti content of welding wire on the total amount of welding spatter (pulse width=0.9ms).

Fig. 9. Effect of Ti content of welding wire on the total amount of welding spatter (pulse width=1.3ms).

のS含有量の影響をFig.10およびFig.11に示す。溶接ワイヤのS含有量の増加にともない溶接スパッタ発生量および大粒溶接スパッタ発生量は減少し、特に大粒溶接スパッタ発生量は溶接ワイヤのTi含有量にかかわらず、溶接ワイヤのS含有量が0.003%から0.006%に増加するだけで約1/3に減少した。

Fig. 10. Effect of S content of welding wire on the total amount of welding spatter (pulse width=1.3ms).

Fig. 11. Effect of S content of welding wire on the total amount of large-sized welding spatter (pulse width=1.3ms).

つぎに、シールドガスとして80%Ar+20%CO₂混合ガスを用いたアーク電圧=28V、パルス幅=1.3msの場合の溶接スパッタ量測定結果をFig.12およびFig.13に示す。

Fig. 12. Effect of arc voltage on the total amount of welding spatter (pulse width=1.3ms, shielding gas= 80%Ar + 20%CO₂).

Fig.1およびFig.2に示すシールドガスとして60%Ar+40%CO₂混合ガスを用いた場合と比較して、い

Fig. 13. Effect of arc voltage on the total amount of large-sized welding spatter (pulse width=1.3ms, shielding

ずれの試作溶接ワイヤにおいても溶接スパッタ発生量および大粒溶接スパッタ発生量は少なく、それらはいずれも60%Ar+40%CO₂混合ガスをシールドガスとして用いた場合の約1/4であった。しかし、Fig.1およびFig.2と同様、試作溶接ワイヤAおよび試作溶接ワイヤCのスパッタ発生量は試作溶接ワイヤBおよび試作溶接ワイヤDのそれらよりも少なく、大粒スパッタ発生量においてその傾向が顕著であった。

溶接スパッタ発生量および大粒溶接スパッタ発生量と溶接ワイヤ組成および溶接条件との相関係数をそれぞれTable 4およびTable 5に示す。溶接ワイヤへのTi添加お

Table 4. Effects of chemical composition of welding wire and welding condition on

Element	Correlation coefficient	Level of significance
C	0.1353	0.0560
Si	-0.1175	0.0975
Mn	0.2856	0.0000
P	-0.1605	0.0232
S	-0.3434	0.0000
Ti	0.1916	0.0066
Arc voltage	-0.2876	0.0000
Pulse width	-0.4487	0.0000

Table 5. Effects of chemical composition of welding wire and welding condition on total

Element	Correlation coefficient	Level of significance
C	0.2523	0.0003
Si	-0.2675	0.0001
Mn	0.6018	0.0000
P	-0.3375	0.0000
S	-0.7108	0.0000
Ti	0.3836	0.0000
Arc voltage	0.1254	0.0768
Pulse width	0.1646	0.0198

びMn添加は溶接スパッタ発生量、特に大粒溶接スパッタ発生量を増加させるが、溶接ワイヤへのS添加は溶

接スパッタ発生量、特に大粒溶接スパッタ発生量を著しく減少させることが分かる。

シールドガスとして80%Ar+20%CO₂混合ガスを用いた場合、ある一定のアーク電圧以上では溶接ワイヤ先端から溶融池への溶滴移行はスプレー状となり（スプレー移行現象）、溶接スパッタ発生量は少ない。一方、60%Ar+40%CO₂混合ガスの場合にはスプレー移行現象が生じ難く、アーク電圧の低い条件で短絡移行現象により溶滴が移行するので、溶接ワイヤのS含有量が増加すると、Millsら⁸⁾の実験結果で示されるように溶鋼の表面張力が減少し、表面張力特性の異なる溶接ワイヤを用いた後藤ら⁷⁾のCO₂ガスシールドアーク溶接における溶接スパッタ発生量測定結果に示されているような機構でスパッタ発生量が減少したと考えられる。

3.2 溶接継手の引張試験結果

4種類の試作溶接ワイヤを用いてTable 3に示す条件で作製した690MPa級高張力鋼板溶接継手の引張試験結果をTable 6およびFig.14に示す。溶接ワイヤのTi含有量

Welding wire	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Fractured portion
A	710	20.1	Weld metal
B	740	28.7	Base metal
C	741	29.5	Base metal
D	744	21.5	Base metal

Fig. 14. Tension test result of welded butt joint with

の最も少ない試作溶接ワイヤAでは溶接継手は溶接金属で破断したものの、他はすべて690MPa級高張力鋼板母材で破断し、690MPa級高張力鋼板母材と同等の特性を示した。したがって、本実験の範囲では溶接ワイヤのTi含有量が0.04%以上で690MPa級高張力鋼板母材と同等の溶接継手強度が得られると考えられる。

3.3 全溶着金属の機械試験結果

4種類の試作溶接ワイヤを用いて肉盛溶接した全溶着金属の機械試験結果および最終パスのミクロ組織観察結果をTable 7およびFig.15に示す。試作溶接ワイヤのTi

Welding wire	0.2% Proof (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation strength (%)	Absorbed energy (J)		
				-40	-20	0
A	573	634	27.7	76	111	155
B	585	654	28.1	82	129	144
C	674	695	26.0	100	134	158
D	709	730	24.8	143	174	187

含有量が増加するにつれて全溶着金属の引張強さは上昇し、試作溶接ワイヤAおよび試作溶接ワイヤBの全溶着金属の引張強さは690MPa以下であったものの、溶接ワイヤのTi含有量が0.09%以上の試作溶接ワイヤCおよび試作溶接ワイヤDの全溶着金属の引張強さは690MPa以上であった。また、それらのシャルピー衝撃試験結果は良好で、いずれも0における吸収エネルギー（ $vE0$ ）は150J以上であった。

Fig.15に示す試作溶接ワイヤを用いた全溶着金属の最終パスのミクロ組織は、溶接ワイヤのTi含有量が増加す

るにつれて初析フェライト相が微細で不連続となっていた。溶接ワイヤのTi含有量が0.16%と最も多い試作溶接ワイヤDでは、連続した初析フェライトはほとんど観察されず、非常に微細で均一な組織であった。

4. 結 言

690MPa級高張力鋼板を用いて、Ti含有量の異なる4種類の試作溶接ワイヤ（0.05%C-0.8%Si-1.7%Mn-0.0025%B-Ti系）の溶接作業性、溶接継手の引張試験および全溶着金属の機械試験を行い以下の結果を得た。

- （1）溶接ワイヤのTi添加量を増加するにつれて、690MPa級高張力鋼板溶接継手および全溶着金属の機械的性質は向上し、0.1%程度のTi添加により690MPa級高張力鋼板母材と同等の機械的性質が得られた。
- （2）溶接ワイヤのTi添加量の増加につれて溶接スパッタ発生量は増加したが、溶接ワイヤのS添加および溶接条件の適正化などにより溶接スパッタ発生量を抑制することができた。
- （3）0.05%C-0.8%Si-1.7%Mn-0.0025%B-0.1%Ti溶接ワイヤを適正な条件で溶接することにより、母材と同等の優

Fig. 15. Microstructures of deposited metals.

れた機械的性質の690MPa級高張力鋼板溶接継手が得られることが明らかになった。

(文 献)

- 1) (財)機械振興協会・経済研究所:自動車材料の経済性に係わる諸因子の調査研究報告書(1996)
- 2) 大内千秋,新倉正和:金属,64(1994), 6, 16
- 3) 森口由起夫:日経メカニカル,1993年5月17日号, 117
- 4) 三菱自動車工業乗用車開発本部材料技術部:日経マ

- テリアル&テクノロジー, No.125(1993),86
- 5) 三菱自動車工業乗用車開発本部材料技術部:日経マテリアル&テクノロジー, No.126(1993),72
- 6) トヨタ自動車:プレス技術,29(1990), 2,41
- 7) 後藤典雅,森川弘昭,井上倫人,越知 斉,竹内宥公,小貝正徳,冷水孝夫:第118回溶接法研究委員会資料(1988)
- 8) R. F. Brooks and K. C. Mills: National Physical Laboratory Report DMA(A)188(1989)