

氏名(本籍)	木口立而(岡山県)
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第264号
学位授与年月日	昭和46年1月13日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科専門課程	東北大学大学院工学研究科 (博士課程)金属材料工学専攻
学位論文題目	電極鋼線中の合金元素と溶接金属の窒素含量
論文審査委員	(主査) 教授 小林 卓郎 教授 斎藤 恒三 教授 不破 祐 教授 大谷 正康

## 論文内容要旨

### 1 緒言

アーク溶接金属の大きな特徴のひとつとして水素，酸素，窒素などのガス成分が通常の鋼材に比較して多いことがあげられる。

このようなガス成分は溶接部の欠陥の原因となり，また溶接部の機械的性質を劣化させることがある。したがって，溶接に際してのガス吸収の問題は溶接工学の重要な課題である。

ところがこれらのガス吸収に対する合金元素の影響に関する系統的研究はほとんど行なわれていない。

そこで本研究では，Fe-M2元系電極鋼線(M：合金元素)を多数，系統的に作成し，溶接金属の窒素含量に対する合金元素の影響を系統的に調べることにした。溶接雰囲気としては窒素およ

び空気を用いた。

著者はすでに修士課程においてTi, Zr, Alの影響について研究しており<sup>1)</sup>Ni, Crの影響については, Fe-Cr-Ni系溶接金属の窒素吸収に関する研究の一部として小林ら<sup>2)</sup>により行なわれている。

したがってC, Si, Mn, Nb, Mo, V, Co, Ta, W, Cuの影響を調べることによりほとんどの通常合金元素を網羅することができる。

これらの元素の影響を総括することにより窒素含量におよぼす合金元素の影響を体系化でき, 溶接時のガス-メタル反応の一端を明らかにすると同時に「無被包アーク溶接法」<sup>3,4)</sup>の基礎的データを得ることができるであろう。

## 2 実験装置および実験方法

溶接はすべて溶接雰囲気調整装置内で自動溶接機を用いた。同装置内を排気したのち, 窒素あるいは空気を封入し, 1 atmとし, 消耗電極を正極, 母材を負極として溶接を行なった。使用する消耗電極線(1.6 mmφ)は目的元素のみを最大5%程度まで順次増加させたものを各元素系について5~6種宛調整した。目的元素以外は微量にとどめるようにした。母材は市販の軟鋼板(SS41)を用いた。

## 3 実験結果および考察

3.1 1 atmの窒素雰囲気中で溶接を行なった場合の軟鋼溶接金属の窒素含量におよぼす電極鋼線中の合金元素の影響

1 atmの窒素雰囲気中( $P_{N_2} = 1 \text{ atm}$ )で溶接を行なった場合の鋼線の合金元素含量と溶接金属の窒素含量( $N$ 量)の関係をアーク電圧25 V, 溶接電流250 Aの場合について総括したものがFig.1である。

実験ではアーク電圧25 V一定とし, 溶接電流を3段階(150 A, 250 A, 350 A)に変化させているが, いずれの溶接電流においても合金元素の影響は250 Aの場合と同じ傾向を示すことが知られた。また, いずれの電極線についても溶接電流の増加とともに窒素含量は減少することが知られた。

Fig.1は横軸に電極線の合金元素量をとっているがこれを溶接金属の合金元素量にとっても合金元素の影響の傾向は変わらない。

これを溶鉄の窒素溶解度におよぼす合金元素の影響に関する研究結果<sup>5)</sup>と比較してみると, おおむね傾向が一致していることがわかる。

すなわち，C，Siのように窒素溶解度を減少させる元素は溶接金属の窒素含量を減少させ，Ti，Zr，Vなどのように窒素溶解度を増加させる元素は溶接金属の窒素含量を増加させる。

また，Co，Cuなどは平衡測定の場合と同様溶接金属の窒素含量にほとんど影響を与えないことがわかった。

1 atmの窒素雰囲気中で溶接を行なった場合の結果について平衡測定の場合と同様な手順により活量係数，相互作用助係数に相当する $f_N^{(M)}(W)$ ， $e_N^{(M)}(W)$ を求め，平衡測定の結果と比較検討を行なった。

Table 1は本研究より求めた $e_N^{(M)}(W)$ および多くの研究者が平衡測定により求めた $e_N$ を示したものである。

相当バラツキを示したのもや，係数を求められないものもあるが，比較的多くの元素について平衡測定で得られた結果とほぼ類似の結果が得られた。

### 3.2 1 atmの空気雰囲気中で溶接を行なった場合の軟鋼溶接金属の窒素含量におよぼす電極線中の合金元素の影響

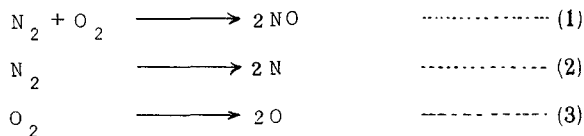
さきの窒素雰囲気の場合と異なり溶接電流の相違により窒素含量に対する合金元素の影響が大きく異なり，

(i) 比較的低い溶接電流(150A，250A)を用いた場合と(ii)高溶接電流(350A)を用いた場合に大別される。

Fig 2は(i)の例で溶接電流150Aの場合であり，Fig 3は(ii)の例で溶接電流350Aの場合の結果である。

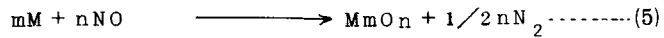
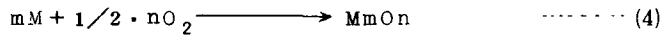
Fig 2の結果から窒素含量におよぼす合金元素の影響をTable 2のように分類することができる。これは次のように説明できる。

空気雰囲気中でアークを発生させると，アーク柱内では



なる反応あるいは解離がおこる。

空気雰囲気中で純鉄に近い鋼線を消耗電極として溶接を行なうと，窒素雰囲気中で溶接を行なった場合に比較して窒素含量が著しく多くなるが，これは熔融金属表面へのNOガスの吸着を介しての窒素吸収機構で説明できる。この場合NOガスあるいはNO生成に関与する $\text{O}_2$ と電極線中の合金元素の反応を考えるとTable 2に示したような合金元素量による窒素含量の変化を説明することができる。すなわち，酸素との親和力の強い元素が電極線に含まれていると熔融金属表面で



なる反応がおこり、熔融金属表面へのNOの吸着量が少なくなる。鋼線中の合金元素Mの増加につれてNOを介しての溶接金属の窒素吸収は減少していくが、N量の極小値あるいは変曲点より右側（高合金量側）では窒素雰囲気中で溶接を行なっている状態に近くなり、Nb, Vなど溶鉄の窒素溶解度を増加させる元素の場合はN量が再び増加し、C, Siのように溶鉄の窒素溶解度を減少させる元素の場合はさらにN量を減少させるように働く。

また、酸素との親和力が弱いMo, Co, Cuなどの場合は(4), (5)式のような反応がおこりにくいし、窒素溶解度にもほとんど影響を与えないのでN量の変化はほとんどみられない。

高電流で空気雰囲気中で溶接した場合の溶接金属の窒素含量におよぼす合金元素の影響 (Fig 3) は窒素雰囲気中で溶接した場合のそれ (Fig 1) に類似していることがわかる。

溶接電流が高い場合は熱入力が大きいため溶接金属の冷却速度が遅くなり、吸収された窒素の放出が行なわれやすくなること、溶滴の移行速度の増加による窒素の吸収量が減少することなどにより  $P_{Air} = 1 \text{ atm}$  のもとでのN量が  $P_{N_2} = 1 \text{ atm}$  のもとでのN量に近づいたものと考えられる。したがってまた  $P_{Air} = 1 \text{ atm}$  のもとで高電流で溶接を行なった場合のN量におよぼす合金元素の影響は  $P_{N_2} = 1 \text{ atm}$  の場合のそれに類似するものと考えられる。

#### 4 結 論

得られた結果をまとめてみると次のようになる。

##### 1) 窒素雰囲気中で溶接を行なった場合

溶接金属の窒素含量におよぼす電極鋼線中の合金元素の影響は溶鉄の窒素溶解度におよぼす合金元素の影響と類似の傾向がある。

また、平衡測定に準じた方法で計算を行ない、溶接金属の窒素含量におよぼす合金元素の影響の程度について検討した結果、多くの元素について平衡測定の場合と近似した結果が得られた。

##### 2) 空気雰囲気中で溶接を行なった場合

溶接電流が異なると合金元素の影響が異なる。

比較的低い溶接電流を用いた場合、窒素含量は合金元素の性質により大別して3種類の変化を示す。

i) 酸素との親和力がFeより大きくかつ、窒素の溶解度を増加させるNb, V, Ta, Mn, Ti, Zr, Alなどの元素を電極鋼線に添加した場合、合金元素の増加とともに窒素含量は一時減少するが、さらに添加量を増すと窒素含量は再び増加する。

ii) 酸素との親和力がFeより大きくかつ、窒素の溶解度を減少させるC, Siなどの元素を電

極鋼線に添加した場合，合金元素の増加とともに窒素含量は一様に減少する。

iii) 酸素との親和力がFeに近いかFeより弱くかつ，窒素の溶解度にあまり影響を与えないMo, Cu, W, Coなどの元素を電極線に添加した場合，合金元素が増加しても窒素含量はほとんど変化しない。

窒素含量を減少させる合金元素の能力は，酸素との親和力が大きいほど大なる傾向がある。

また，高電流で溶接を行なった場合，窒素含量におよぼす合金元素の影響は窒素雰囲気中で溶接を行なった場合のそれに類似している。

3) 以上の結果より窒素および空気雰囲気における窒素吸収におよぼす合金元素の影響の機構について提案を行なった。

## 参 考 文 献

- 1) 小林，桑名，木口，「溶接金属の窒素含量におよぼす電極鋼線中のTi, Zr およびAlの影響」，溶接学会誌，Vol. 37(1968)，No. 2, 171~180
- 2) T. Kobayashi, T. Kuwana, Y. Kikuchi, "The nitrogen contents of Fe-Cr, Fe-Ni and Fe-Cr-Ni weld metals", Trans. Jap. Weld. Soci., Vol. 1(1970), No. 1, 35~42,
- 3) T. Kobayashi, "Non-Shielded arc welding of steel", I. I. W. Doc. XII-264-65,
- 4) T. Kobayashi, "High current non-shielded arc welding", I. I. W. Doc. XII-417-68,
- 5) 例えばR. D. Pehlke, J. F. Elliott, "Solubility of nitrogen in liquid iron alloys. 1, Thermodynamics", Trans. A. I. M. E. Vol. 218 (1960), 1088~1101,

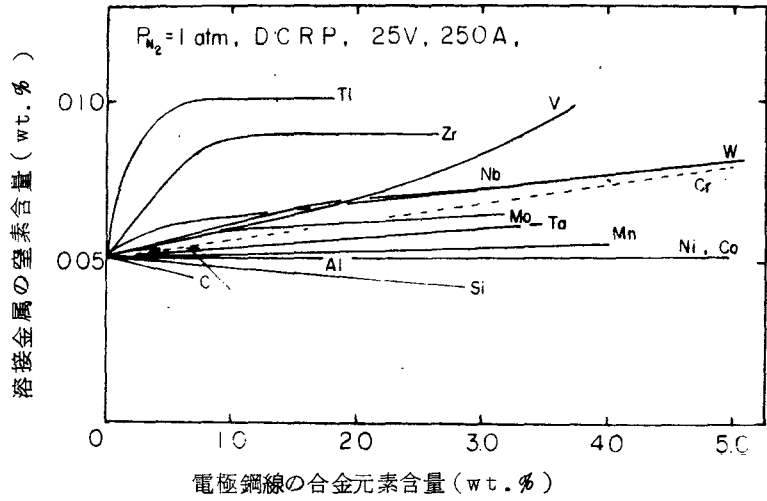


Fig. 1. 軟鋼溶接金属の窒素含量におよぼす電極鋼線中の合金元素の影響 ( $P_{N_2} = 1 \text{ atm}$ , 25V, 250A)

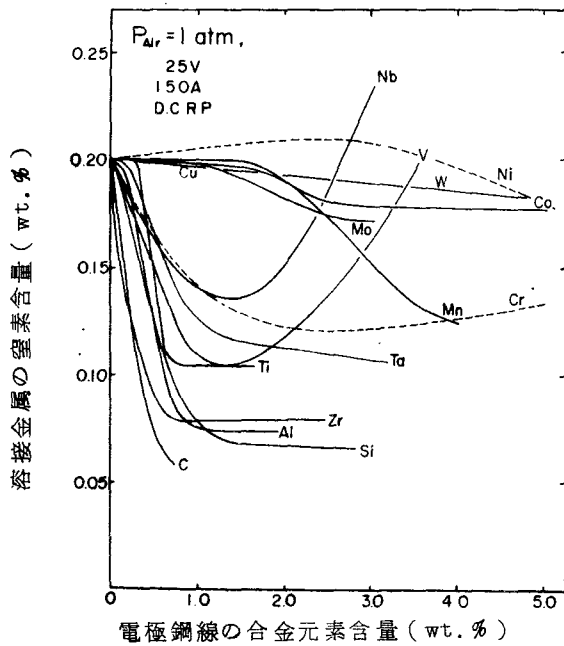


Fig. 2. 軟鋼溶接金属の窒素含量におよぼす電極鋼線中の合金元素の影響 ( $P_{Air} = 1 \text{ atm}$ , 25V, 150A)

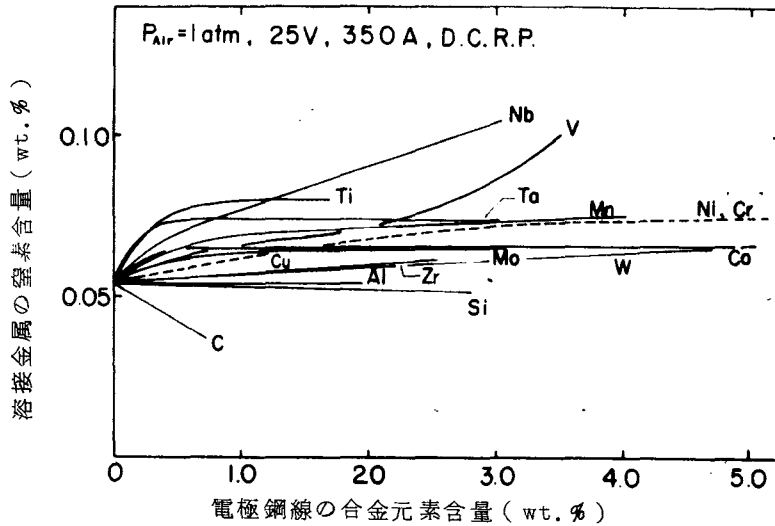


Fig. 3. 軟鋼溶接金属の窒素含量におよぼす電極鋼線中の合金元素の影響  
( $P_{Air} = 1 \text{ atm}, 25 \text{ V}, 350 \text{ A}$ )

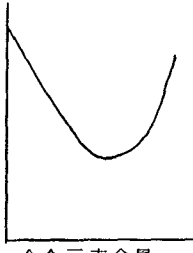
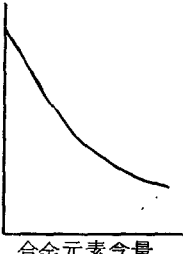
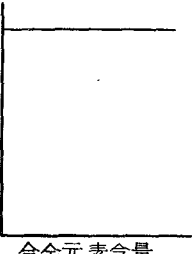
Table 1. 本研究より求めた $e_N^{(M)}$ (W)および諸研究者による $e_N^{(M)}$ の値  
(主として $1600^\circ\text{C}$ )

合金元素 M	$e_N^{(M)}$ (W)	$e_N^{(M)}$					
		Pohlke Ehloff	不純 石井	前川 中川	Evans Pohlke	Schenck ?	中田, ?
C	0.16	0.25	0.13	0.135	-	0.125	-
Si	0.06	0.047	0.06	0.048	-	0.065	-
Mn	-0.01	-0.02	-0.020	-0.020	-	-	-
Nb	-0.13	-0.067	-	-	-0.061	-	-
Mo	-0.05	-0.011	-	-0.013	-	-0.0043	-0.0079 (A) -0.0061 (L)
V	-0.09	-0.100	-	-0.11	-0.093	-	-0.050 (A) -0.062 (L)
Co	0	0.011	-	0.005	-	0.0072	-
Ta	-0.04	-0.034	-	-	-0.032	-	-
W	< 0	-0.002	-	-	-	-	-
Cu	< 0	0.009	-	-	-	0.0023	-
Al	< 0	0.0025	-	0.006	-	-	-
Ti	-0.56	-	-	-0.63	-0.53	-	-
Zr	-0.40	-	-	-	-0.63	-	-

※計算困難, ※※ $1700^\circ\text{C}$ の値, (A)アーク溶解

(L)レビテーション溶解

Table 2 1 atmの空気雰囲気中で比較的低い溶接電流を用いた溶接金属の窒素含量によぼす電極鋼線の合金元素の影響の総括

溶接金属の窒素含量の変化 (模式図)	電極鋼線に合金させた元素の性質		
	合金元素	合金元素の酸化物標準 生成自由エネルギー	$e_N^{(M)}$
 <p>窒素含量</p> <p>合金元素含量</p>	Al, Ti, Zr Nb, V, Ta <sup>*</sup> Mn <sup>*</sup> , Cr, a)	負で大きな値を示す。 (酸素との親和力が Feより大)	負で大きな値を示す。 (溶鉄の窒素溶解度を 増加させる。)
 <p>窒素含量</p> <p>合金元素含量</p>	C, Si, .	負で大きな値を示す。 (酸素との親和力が Feより大)	正の値を示す。 (溶鉄の窒素溶解度を 減少させる。)
 <p>窒素含量</p> <p>合金元素含量</p>	Mo, Cu, W, Co, Ni <sup>a)</sup> ,	0に近い値を示す。 (酸素との親和力が Feに近いかFeより 弱い)	0に近い値を示す。 (溶鉄の窒素溶解度を ほとんど変化させない 。)

※ 本実験範囲以上に添加するとこのような変化をすると推定される元素

a) 小林, 桑名, 菊地の結果



## 審 査 結 果 の 要 旨

溶接金属に窒素が吸収されると溶接欠陥の原因となり、また溶接部の性質をいちじるしく劣化させることがある。したがって、溶接に際しての窒素吸収の問題は溶接工学における重要な課題の一つであるにも拘らず、系統的研究が少ない。

本論文は、アーク溶接過程での窒素吸収におよぼす電極鋼線中の合金元素の影響を多種類の電極線を用い系統的に調べ、その影響の機構についても提案を行なった研究結果をまとめたもので6章からなる。

第1章は緒言である。第2章で実験材料の作成、実験方法について述べている。第3章は、窒素雰囲気中で溶接を行なった場合の溶接金属の窒素含量におよぼす電極鋼線中の合金元素の影響についての実験結果を述べたもので、短時間内のガス・金属間の反応であるにも拘らず溶鉄の窒素溶解度におよぼす各合金元素の影響と類似の傾向が、溶接電流密度が相違しても、常に認められることを示している。

第4章では酸化性雰囲気である空気雰囲気中で溶接した場合の溶接金属の窒素含量におよぼす合金元素の影響を総括した実験結果を述べている。空気雰囲気中での溶接の場合は合金元素の挙動が窒素雰囲気の場合といちじるしく異なることおよび溶接電流密度の相違により同一合金元素でも影響が相違してくることがあることなどを示している。すなわち、比較的低い溶接電流密度の場合は、溶接金属の窒素吸収は、当該合金元素の酸素との親和力および溶鉄の窒素溶解度におよぼす影響の両因子によって影響されるが、高電流溶接になると、溶接金属の窒素含量におよぼす合金元素の影響は窒素雰囲気中で溶接を行なう場合のそれに類似してくるとい興味ある結果を示し、その理由についても考察している。

第5章では、前章までの実験結果および考察から、窒素および空気雰囲気中での窒素吸収におよぼす合金元素の影響の機構について著者の提案を行なっている。特に酸化性雰囲気中での溶接金属の窒素吸収に際しての合金元素の機能についての著者の提案は、アーク溶接過程での窒素吸収機構の解明および今後の溶接材料の開発に対して貴重な指針を与えたものと評価される。第6章は結論である。

以上要するに、本論文は鋼のアーク溶接に際しての窒素吸収におよぼす電極鋼線中の合金元素の影響を多数の合金元素について総括し、それらの機能についての新しい提案を行なったもので、金属工学に寄与するところが少なくない。

よって本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。