UDC 669.14.018.252.2-418:621.791.754-52

高炭素帯鋼の自動溶接

近藤 穆*, 井上 健次**

Automatic Welding of High Carbon Hoop Steels

Atsushi Kondô and Kenji Inoue

Synopsis

At Chita Plant of Daido Steel Co. the butt welding of hoop steels, as the preparatory process, is being done aiming at improvement of efficiency and yield of cold rolling work of hoop steels.

The welding has been done manually up to now under TIG method, but the raw material was such a high carbon steel whose weldability was poor and therefore, it was inclined to grow weld defects and there occurred breaking accident very often around the weld zone during rolling.

Therefore, we have made an investigate on automation of welding for the purpose of quality stabilization of weld zone.

Considering that the part to be welded is, before rolling, to be made smooth after removing the reinforcement, the thickness of plate for welding, the most positive trial of making the weld zone into product, the processing at Chita Plant etc. We have come to adopt TIG method without using filler metal.

If the plate thickness is up to 4.2 mm the automation of a one side welding of I-butt by Ar or Ar plus H₂ atmosphere is possible. For the plate thicker than the above mentioned, the double side welding method whose first pass is flat position is preferable.

The above written method is now being tried experimentally at present and our purpose seems to be achieved efficiently.

1. 緒 言

大同製鋼㈱知多工場では、4段可逆式冷間圧延機による冷延作業の能率と歩留まりの向上のために、圧延の前工程として、圧延素材のコイル単重を大きくしたり、コイル端末(圧延不能部分)に安価な材料を接合するための帯鋼の突合せ溶接作業がある。

従来、この溶接作業をTIG法による手溶接で行なっていたが、高炭素の材料であるため溶接性が悪く、

溶接部が圧延中に破断する事故がしばしば発生した。そこで、溶接部の品質の安定化と作業能率の向上を目的として自動化の検討を行なった。

2. 溶接方法の選択

圧延工程における素材の突合せ溶接には、フラッシュユバット溶接法が多用されているが、一般に多額の設備費を要するこの溶接法を採用する価値は小さい。すなわち、溶接と圧延の二つの工程が直結し、溶接時間が圧延機の稼働率に直接影響を及ぼす場合には、溶接時間の短縮に重点を置く必要がある。しかし、圧延素材が高炭素鋼であるために、冷延工程に先だって素材の熱処理が必要であり、溶接工程をこの熱処理工程の

昭和48年11月5日受付

*大同製鋼㈱研究開発本部中央研究所

**大同製鋼㈱知多工場

前に入れて溶接部の熱処理も兼ねるようにするので、溶接と圧延は別々のラインで処理される。

そこで、対象板厚が 4.5mm 程度までであることを考慮して、TIG 溶接による“なめ付け”を採用することにした。この方法によれば、溶接部はほとんど平滑になることが期待され、溶接後の仕上げ時間が省略できると予想され、たとえ溶接速度の遅い TIG 溶接でも、全体の溶接作業時間は他の各種自動アーク溶接法に比べて少なくできると考えられるからである。また、溶接金属は母材とほぼ同一組成になり、圧延、熱処理などを経て母材と同様に製品化できる可能性もある。

3. 試験装置

試験装置の試作にあたっては以下の諸事項が満足されるようにした。

(1) 溶接後の仕上げを簡単にするため、溶接金属ができるかぎり母材表面から盛り上がらないようにする。

大きな入熱を供給して片面から 1 パス溶接するよりは、小さい入熱で表裏各 1 パスずつ溶接した方がビードが平らになり、溶接後の仕上げに要する時間が短縮できると推定される。そこで、上向 TIG トーチと下向 TIG トーチの 2 本のトーチを備えつけた。

(2) 溶接後の急冷による割れを防止する。

帯鋼の材質は焼きのはいりやすいものが多いので、

予熱あるいは後熱用の熱処理装置が必要である。本研究では、とりあえずガスバーナによる予熱および後熱を行なうことにしました。溶接後直ちに熱処理できるように、TIG トーチとガスバーナとを同時に走行させる台車および治具を作成した。

(3) 目違いや溶接中のひずみを防止する。

本研究ではとりあえずジャッキを用いて拘束する方法をとったが、生産ラインの装置の試作品には油圧シリンダで締め付けるようにした。

4. 両面溶接

4.1 予備試験

両面からそれぞれ 1 パスずつ溶接して 100% の溶け込みを確保する方法では、上向溶接を第 1 パスにするほうがルート間隔の溶け込みに及ぼす影響を小さくできるので、第 1 パスを上向溶接、第 2 パスを下向溶接の順で溶接する方法について検討した。用いた鋼種の化学組成および板厚を Table 1 に示す。

予備試験として溶接性がとくに悪い Y 5 CM を母材として突合せ溶接し、X 線検査を行なった。その結果、Photo. 1 に示すように数多くの気孔が認められた。断面を腐食して検査した結果、この気孔は上向溶接時に生じたものであった。したがってこの気孔を防止することが先決であり、これについて検討することにした。

Table 1. Plate thickness and chemical composition standard of test steel material.

Grade	Thickness (mm)	Chemical Composition (%)								
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
Y 5 CM	3.5	0.80~ 0.90	≤ 0.35	0.80~ 1.00	≤ 0.030	≤ 0.025	≤ 0.25	0.40~ 0.60	—	≤ 0.30
Y 5 C	2.4	"	"	≤ 0.50	"	≤ 0.030	"	≤ 0.20	—	"
SKE	4.0	0.65~ 0.75	0.15~ 0.35	0.60~ 0.80	"	"	≤ 0.20	"	—	"
SCM 3	"	0.33~ 0.38	"	0.60~ 0.85	≤ 0.020	≤ 0.020	≤ 0.25	0.90~ 1.20	0.15~ 0.30	≤ 0.20
SS 4 1	6.0	—	—	—	≤ 0.050	≤ 0.050	—	—	—	—
Stainless steel	15.0	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.030	8.00~ 12.00	18.00~ 20.00	—	—

Photo. 1. X-Ray photograph of joint part by double side welding.

4. 2 突合せ溶接試験

まず、上向溶接条件の影響を検討した。溶接電流を140~230A、溶接速度を16~23cm/minの範囲で種々変化させて上向溶接を行ない、X線検査により気孔を調査した。母材は3.5mm厚さのY5CMを用いた。結果をFig. 1に示す。図中の気孔率とは溶接長さ10cmあたりの気孔の数、 $\bar{R}$ はルートの未溶融部の長さの5カ所の平均値である。またnは繰返し数である。100%の溶み込みが得られずルートが残った場合には、ルートから伸びたウォームホールが多く発生している。いっぽう、100%の溶け込みが得られた場合はウォームホールはまったく生じない。

Fig. 1. Rate of blowhole in overhead welding. Base metal: Y5CM

4. 3 ウォームホールの防止方法

ウォームホールの代表的なものに、隅肉溶接部のルートを起点とする気孔がある。この場合は、ルート面に付着していたさびや塗料がアーク熱によってガスを発生し、このガスが溶接金属へ押し込まれて気孔を形成すると考えられている。

帯鋼の突合せ溶接では、溶接直前にシャー切断した面を突合せするのでルート面は清浄であり、上記のウォームホールとは発生機構が異なるものと思われる。帯鋼は一般に高炭素鋼なので、COガスを発生しやすい状態にあり、ルートを核として気泡を形成することが考えられる。そこで、溶接時の気泡形成を防ぐためにルート間隔の効果を検討した同時に、鋼材中の炭素量がウォームホール発生傾向に及ぼす影響も調査するため、炭素量の異なるフェライト鋼三種(Y5C, SCM3, SS41)と参考までに18-8オーステナイトステンレス鋼を試験材に選んだ。化学組成をTable 1に示

Table 2. Overhead welding condition for investigation of porosity.

Grade	Welding current (A)	Welding speed (cm/min)	Ar flow rate (ℓ/min)
Y5C	60	25	25
SCM3	120	20	25
SS41	180	20	25
Stainless steel	180	20	25

Fig. 2. Correlation between root opening and rate of porosity.

す。また溶接条件はTable 2に示すとおりである。

Fig. 2に実験結果を示す。フェライト鋼の場合にはいずれの鋼種にもウォームホールは発生するが、ルート間隔を広くするとウォームホールは減少し、ルート間隔を0.5mmにすればウォームホールは防止できる。そして、ウォームホール発生傾向はSS41, SCM3, Y5Cの順に多くなっている。なお、個々のウォームホールの大きさはルート間隔にかかわらずほぼ同じ大きさであった。したがって、この種のウォームホールは高炭素鋼ほど発生しやすいことを示している。オーステナイト鋼の場合、ルート間隔が狭くてもウォームホールは発生していない。これはオーステナイト鋼ではCOガスが発生しにくいことによると考えられる。

鋼の製鋼理論を溶接に適用するには若干問題があるかもしれないが、CO反応について考察してみる。CとOとの反応に関しては次式が成立することが実験的に確かめられている¹⁾。

$$a_c \cdot a_o = 0.0023 \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{ここで } a_c = f_c^c \cdot f_c^{si} \cdot f_c^{Mn} \dots \dots \dots$$

$$a_o = f_o^o \cdot f_o^{si} \cdot f_o^{Mn} \dots \dots \dots$$

一般的には

$$\log f_c^* = e_c^* [\text{wt}\%X] \dots\dots\dots(2)$$

$$\log f_o^* = e_o^* [\text{wt}\%X] \dots\dots\dots(3)$$

本実験に用いたステンレスの Cr, Ni をおのおの 18~8% とし, R. G. Ward²⁾ が述べている e_c^* , e_o^* を用いると, ステンレスに対し $f_o^* = 0.204$, $f_c^* = 0.462$ が求められる。SS41, ステンレスの C 量とともに 0.06% とすれば(1)(2)(3)式から

SS41 では $[O] = 380 \text{ ppm}$

ステンレスでは $[O] = 4,030 \text{ ppm}$

すなわち, 同じ C 量に対してステンレスでは SS41 の10倍以上の O 量になって, 初めて CO ガスが発生することになる。それだけ CO ガスが発生しにくいことになり, Fig. 2 にその結果が現われているものと考え

えられる。もっとも R. G. Ward の e_c^* , e_o^* は低合金鋼についての値であるが, ステンレス組成範囲まで外そうしてもある程度の推定はできるものと考えられる。

いっぽう, たとえ気泡がルート部に形成されても, 凝固までに浮上して溶接金属から放出されれば気孔を生成しないから, 第1パスを下向で溶接して気泡を放出しやすくすればウォームホールを防止できると考えられる。そこで, 第1パスを下向で, 第2パスを上向で両面から溶接したものについて, X線検査により気孔の有無を調べた。母材として Y5CM を用いた。その結果 Photo. 2 に示すようにウォームホールを防止できることを確かめた。

(a) Bead after the first pass (downhand) welding.

(b) Bead after the first (downhand) and second pass (overhead) welding of double welding.

Photo. 2. X-Ray photograph of weld bead.

すなわち, ビードの形状を安定させるために第1パスを上向で溶接し, 第2パスを下向で溶接すると, 高炭素鋼ではウォームホールの発生しやすいが, 逆の順序で溶接すれば高炭素フェライト鋼でも無欠陥の継手を得ることができる。しかし, 後者の方法をとる場合には第1パス(下向)の溶け込みを少なくして, 溶け落ちを防ぐように注意する必要がある。

4. 4 圧延テスト

板厚 4.0mm の SKE と 3.5mm の Y5CM について突合せ溶接を行ない, 圧延テストを行なった。しかし, この試験片の溶接は装置の都合により上向溶接後下向溶接する方法をとった。予熱および後熱は酸素アセチレン炎で行なった。

知多工場における冷間圧延テストに先立って, 溶接部はグラインダで軽く研削し, 表面をなめらかな曲面にした。そして Y5CM は 2.3mm に, SKE は 1.25mm にそれぞれ圧延した。

圧延後溶接部の化学組成, 組織およびかたさを調査した。Table 3 に溶接部の分析値を示す。母材の化学組成と溶接金属のそれとはほとんど等しい。溶接中に化学反応がほとんど起らない TIG 溶接法を利用していることから, 期待された結果である。Fig. 3 は

圧延後の溶接部近傍のかたさ分布である。溶接金属部と母材部のかたさの差はほとんどない。Y5CM で Hv 270~285, SKE で Hv 255~265 程度である。冷間圧延後の溶接金属と母材の組織を Photo. 3 に示す。組織

Table 3. Chemical composition of welded joint Y5CM.

(%)				
Element	C	Si	Mn	Cr
Kinds				
Base metal	0.80	0.25	0.89	0.46
Weld metal	0.82	0.27	0.91	0.45

Fig. 3. Hardness distribution of weld zone after rolling.

Rolling : Chita Plant

×500

Material : SKE (4.0 t) and Y5CM (3.5 t)

Welding Method : Double side welding

Photo. 3. Structure after rolling.

上もほとんど差がない。成分および組織から考えて、溶接部も製品化できる可能性があると考えられる。

5. 片面溶接

5.1 各板厚に適した溶接条件の検討

溶接作業がより容易な下向姿勢での片面溶接についても前記の試験装置を用いて検討した。溶加材は用いなかった。

対象となる帯鋼素材の板厚は2.3mmから4.2mmまでが多い。そこでこれらの板厚に対する適正溶接条件を求めた。結果をTable 4に示す。I型突合せ溶接に用いる銅の当金は、通常溝つきの当金を用いるが、板厚3.0mm以下の場合には溝のない銅板を当金としても溶接できる。

板厚が3.5mm以上になると、アルゴンふんい気による片面TIG溶接はむずかしくなる。すなわち、溶け込みを深くするために電流を増加させると、溶融金

Table 4. One side welding conditions for each plate thickness.

Thickness (mm)	Welding current (A)	Welding speed (cm/min)	Atmosphere gas		Necessity of groove on backing copper plate
			Kind	Flow rate (ℓ /min)	
2.3	220	25	Ar	20	No need
2.5	220	25	"	25	"
3.0	275	20	"	"	"
3.5	280	20	Ar-4% H_2	"	Need
4.0	320	18	"	"	"
4.2	340	20	"	"	"

属がFig. 4(a)のように分割されてしまう。これは入熱量の増加によってビードの幅が広がり、板厚に比して溶融池の幅が大きくなる結果、表面張力で二つに分割され、あたかも切断をしているような結果になるからである。そこで、アークの拡がりを小さくして熱の集中性を良くし、Fig. 4(b)のようにビード幅の拡が

Fig. 4. Comparison of penetration shape by atmospheric gas.

り以上に溶け込みを深くする（形状係数を大きくする）ことが必要である。そこで、シールドガスの Ar に H_2 を混合した場合の水素の効果について調査した。

5. 2 ブローホール発生傾向に及ぼす水素の影響

シールドガスに H_2 を混合すると、溶接金属内にブローホールが発生する可能性があると考えられ、健全な溶接部を得るために許容される H_2 量についての検討がまず必要である。

Fig. 5 は Ar 中に混合する H_2 量とビード長さ 10 cm あたりの気孔数との関係を鋼種をパラメータとして求めた結果でデータは繰返し 3 回の平均値である。SS41 を母材とした場合には、溶接金属内のブローホールの数は H_2 量の増加と共に急激にふえている。いっぽう、SCM3, Y5C を母材とした場合には、10% H_2 まではブローホールは発生していない。これに対して、 H_2 の溶解度が本実験内で一番大きい 18-8 ステンレスが、10% H_2 ですでにブローホールが発生している。オーステナイト系ステンレス鋼の TIG 溶接

Fig. 5. Correlation between amount of mixed hydrogen and blowhole.

に、35%までの H_2 を含む Ar- H_2 ふん囲気が用いられている³⁾ 例もあり、10% H_2 で気孔が生じた理由は現在のところ不明である。いずれにしても鋼種によりブローホール発生傾向はかなり異なることがわかる。

5. 3 アーク電圧、ビード形状に及ぼす水素の影響

アーク溶接現象が周囲ガスの影響を受けることはよく知られている。ここでは、アーク電圧とビード形状に関して検討することにした。アーク電圧が周囲ガスの影響を受けることについては、Suits⁴⁾ や Hermbrecht⁵⁾ らの研究がある。

Fig. 6 は本実験における結果であり、アーク長を一定にし溶接電流をパラメータとして、混合水素量とアーク電圧との関係を示している。すなわち、混合水素量の増加と共にアーク電圧は直線的に増加しており、Hermbrecht の結果⁵⁾ と一致していることがわかる。

Fig. 6. Arc voltage when hydrogen is added to argon.

Note 1. Base metal: Stainless steel, SCM3, Y5C, SS41
Note 2. Arc length: 2.7mm

Photo. 4 は Ar に H_2 を添加した場合のアークを示している。 H_2 を添加しない場合はアークは拡がっているが、 H_2 を添加すると球形のアークになり絞られている。つまり、アークの集中性がよくなっていることを示している。この傾向は H_2 量の増加とともに著しくなることが Photo. 4 (b)(c) を比較するとわかる。

Fig. 7 は混合水素量とビード幅および溶け込み深さとの関係を示したもので、溶接条件は Table 2 に示すとおりである。いずれの鋼種の場合も混合水素量

(a) Ar 100%

(b) Ar+6% H₂ (c) Ar+10% H₂

Base metal : SCM 3
Welding current : 120 A
Arc length : 2.7mm

Photo. 4. TIG arc when hydrogen is added to argon.

Fig. 7. Correlation between amount of mixed hydrogen and bead shape.

の増加とともにビード幅および溶け込み深さは増加しているのがわかる。Fig. 8 には混合水素量と形状係数との関係を示した。水素量の増加とともに形状係数も増加している。すなわち、ビード幅の拡がり以上に溶け込み深さがましていることを示しており、水素量が増すとアークによる母材の掘下げ作用が強くなる結果、3.5mm 以上の厚さの帯鋼でも片面 TIG 溶接が可能になるものと考えられる。

Fig. 8. Influence of mixed hydrogen amount to coefficient of shape.

6. 熱処理条件

現在は帯鋼コイルの焼鈍をバッチタイプの炉で行なっているので、溶接した帯鋼のコイルを巻取り後焼なましすることになる。したがって、溶接部はコイル径程度の曲げに耐えられるだけの熱処理で充分である。

組成からみて、Y5CMが最も溶接性の悪い鋼材であり、従来問題の多かった鋼種でもある。そこで、Y5CMを対象に熱処理条件を検討した。

Fig. 9は試作試験装置を用い、片面溶接と同時に予熱および後熱を行なった場合の冷却曲線の一例である。温度測定は溶融池に熱電対をそう入して自動記録させた。予熱および後熱は酸素アセチレン炎を用い、予熱には2l/min、後熱にはTIGトーチに近い方のバーナで3.5l/min、遠い方のバーナで2.5l/minのO₂をそれぞれ流して中性炎になるようにアセチレンの量を調整した。

Fig. 9. Cooling curve of weld metal part.

上述の熱処理を行なった溶接部の顕微鏡組織をPhoto. 5に、溶接部近傍のかたさ分布をFig. 10に示す。Photo. 5に示すように、ボンド部にはマルテンサイトがかなり多く見られ、ビッカースかたさは

Base Metal

Heat affected zone
(around base metal)

Heat affected zone
(around bond)

Weld metal

×300

Photo. 5. Structure of part welded by Y5CM.

Fig. 10. Hardness distribution of Y5CM weld zone due to presence of postheating treatment.

約550であった (Fig. 10 参照)。後熱を行なわない場合の溶接部のかたさ分布も Fig. 10 にあわせて示したが、この場合の最高かたさは約Hv830に達している。

いっぽう、曲げ性能については、圧延ロールにコイルリングされる程度の延性を有すればよく、実状 500φ に対して70Rで曲げ試験を行なった。結果を Photo. 6 に示すがき裂は見られない。

すなわち、Y5CMの熱処理は、酸素アセチレン炎の中性炎による予熱および後熱で一応満足できると考えられる。

7. 自動溶接装置

以上の諸結果をもとにして帯鋼の片面自動溶接装置を設置した。Photo. 7 は帯鋼を拘束治具で締めつけた後、TIG溶接とガスバーナによる後熱処理を同時に、自動的に行なっているところを示している。

この熱処理を含めた片面自動溶接装置により、溶接部の品質は安定し、さらにグラインダ作業時間の大幅な短縮により作業能率が著しく向上し、帯鋼の生産に威力を発揮しつつある。

8. 溶接作業に要する時間

両面溶接および片面溶接と、従来知多工場で行なわれてきた溶加材を用いるTIG溶接とについて、溶接およびそれに付随する作業に要する時間の比較を行なった。結果を Table 5 に示す。同表中、従来法は手作業によるTIG法であり、3.5mm×336mmのSCM3を溶接したときのタイムスタディのデータを

(a) Upper surface

(b) Side

Photo. 6. Bending test results of Y5CM weld zone.

Photo. 7. One side automatic welding apparatus.

(Postheating treatment is done after TIG welding)

Content of work Welding method	Scale grinding	Pre-paration	Pre-heating	Welding	Post-heating	Finishing	Total time
Conventional method	2' 00"	1' 50"	1' 10"	4' 10"	4' 55"	9' 45"	27' 50"
Double side welding	2' 00"	2' 50"	30"	1' 45"	30"	30"	8' 05"
One side welding	2' 00"	2' 50"	30"	1' 20"	30"	1' 00"	8' 10"

Table 5. Comparison of labor required for welding work.

引用した。両面溶接については推定値である。また、片面溶接の場合の工数は最近の標準的な数値である。現在試験的に生産ラインに入っているが、セットに若干の問題があるため裏ビードを研削している。しかし、この問題は遠からず解決される見通しである。

また、従来法は共金をシートカットして溶加材を作っていたが、両面溶接および片面溶接の場合、シートカットの必要がないので、この時間も短縮されることになり、全体的には相当の時間短縮が可能となった。

9. 総 括

圧延素材である帯鋼の突合せ溶接の自動化について検討した。圧延機に装入するために溶接部の形状を平滑にすること、対象板厚が薄いことおよび知多工場における製造工程を考慮してその溶接法はI型突合せ継手をTIG溶接で“なめ付け”する方法が最適であると判断した。ビードの表面をとくに平滑にするために一定のトーチ間隔を設けて上下両面から同時に溶接できる試験装置を試作した。そして、おもに炭素工具鋼を対象に溶接試験を行なった。

(1) 両面溶接について検討した結果

- i) 上向トーチを先行する場合にはウォームホールを発生しやすい。このウォームホールは素材が高炭素鋼ほど生じやすい。しかし、ルート間隔を0.5mm以上あげれば、ウォームホールを防止できる。
- ii) 下向トーチを先行する場合にはルート間隔を0mmにしてもウォームホールは発生しない。しかし、下向溶接時の溶け落ちに注意を要する。

(2) 片面溶接について検討した結果

- i) 板厚3.0mmまでの素材はArシールドによる片面TIG溶接が可能である。
- ii) 板厚3.5mm以上の素材の溶接にはArに数%のH₂を混合したシールドガスを用いて片面

TIG溶接が可能である。

- (3) 両面溶接と片面溶接法とを比較すれば、前者は溶接後の研削仕上げがほとんど省略でき後者は操作が簡単であるという特長があるが、4.2mmまでは片面溶接が、4.2mm以上は両面溶接が適していると思われる。
- (4) 両面溶接法および片面溶接法ともに、溶加材を用いない、いわゆる“なめ付け”を利用しているので溶接金属は母材とほぼ同一組成であり、溶接部も製品にできる可能性が大きい。
- (5) 熱処理条件について検討した結果、溶接性の最も悪いY5CMでも予熱トーチで2 l/minの酸素、後熱トーチで6 l/minの酸素を流す酸素アセチレンの中性炎による熱処理で充分であって、溶接の進行とともに熱処理することが可能である。

10. 結 論

溶接対象板厚が4.2mmまでであれば、I型突合せの片面TIG溶接法で自動化できる。それ以上の厚さになれば下向トーチを先行する両面TIG溶接法が望ましい。これらの方法により、溶接時間や仕上げ時間が大幅に短縮でき、能率よく安定した品質の溶接ができる。

最後にこの研究を実施するに当たり終始熱心な実験を担当していただいた故鈴木東亜司君をはじめ、第6研究室の諸氏および実験用鋼板の採取ならびに圧延テストに協力していただいた知多工場帯鋼課の関係者に厚く感謝の意を表する。

(文 献)

- (1) 日本学術振興会編：“製鋼反応の推奨平衡値” p. 2~18
- (2) R. G. Ward: “The Physical Chemistry of Iron and Steel Making” p. 84~85
- (3) Welding Handbook. (6th Edition) Section 2 p. 23.12—23.13
- (4) C. G. Suits: Discussion of Paper on Arc Welding Atmosphere, J. A. W. S 17 (11) 7-S (1938)
- (5) W. H. Hermbrecht: Shielding Gases for Inert-Gas Welding, J. A. W. S. 36 (1957), 969