炭酸ガス関口線材アーク熔接法について (第12報)*

— 送給ガスの露点上昇についての実験および考察 —

関口 春次郎** 益 木 功**

On the Carbon Dioxide-Sekiguchi's Filler Wire-Arc Welding Process (Report 12)*

—Experiments and Consideration on Elvation of Dew Point of Supplied Gas—

By H. Sekiguchi** and I. Masumoto**

Abstract

Carbon dioxide and oxygen, each of which is compressed and charged into two separate cylinder added intentionally enough free water (1 litre), were prepared. Dew points of flowing gases from these cylinders were continuously measured by a photoelectric tube type dew-pointmeter. It was recognized that the relations between dew point of flowing gas and pressure of residual gas in each cylinder are the same as the cases of carbon dioxide out of the specification of JIS and an ordinary oxygen reported previously. And these relations are discussed. The results of calculation about these relations agreed with the results of measurement of actual gases.

From the results of the calculation, it was deduced that a elevation of temperature of a cylinder, an increment of pressure of flowing gas considerably and a drop of temperature of flowing gas slightly elevate a dew point of flowing gas.

Hydrogen content of weld deposited by the carbon dioxide-Sekiguchi's filler wire-arc welding, i.e., $\text{CO}_2\text{-O}_2$ arc welding using carbon dioxide and oxygen in two separate cylinders with free water increases as the pressure in the cylinder decreases and temperature of supplied gas increases.

1 緒 言

前報では、ボンベから炭酸ガスまたは酸素が連続して流出送給される場合、流出ガスの露点は流出時間の経過すなわちボンベの残留ガス圧の減少と共に上昇することを明らかにした。そして市販の普通の無水炭酸および酸素ボンベから流出するガスには、ボンベが空に近づくと、露点が 0°C に達するものがあることを認めた。そこで本報ではこのような露点上昇が何故起るかを明らかにするために実験を行い、この原因についての理論的考察を行った。

2 実験方法

流出時間の経過すなわちボンベ内残留ガス圧の減少につれ、流出ガスの露点が異常に上昇することの一因として、ボンベ内に遊離水が存在する場合が当然考えられる。そこで予め容量 40 l のボンベの中に 1 l の水を注入し、充分な遊離水が存在する状態で、純度 99.56 % の液体無水炭酸 24 kg を JIS 指定の某無水炭酸製造工場で充填した。また

酸素の充填容量 4000 l のボンベの中に同じく 1 l 水を注入し、某酸素工場で酸素圧縮機により、所定圧まで酸素を充填した。これらのボンベから流出する炭酸ガスおよび酸素について、これまでと同じ方法で露点を連続測定した。

露点の変化におよぼす温度の影響を明らかにするため、無水炭酸について、前記 1 l の水を故意に注入した空ボンベと、JIS 第 2 種規格無水炭酸の空ボンベとに、夫々 JIS 第 2 種規格無水炭酸の別のボンベから炭酸ガスのみを充填し、ボンベの一部を温湯で加温あるいは水が冷却して測定を行い比較した。加温および冷却には Fig. 1 の如き恒温槽を用い、この中にボンベを立て、その周囲に 15°C または 30°C の温湯あるいは水を入れた。

また炭酸ガスおよび酸素の露点連続測定中、各ボンベ残留ガス圧のある段階で $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク熔接を行い、熔接部の水素をグリセリン法で定量した。熔接はおゝむね次の条件で行った。

電極鋼線、市販 DSI 1.6mm；熔接電流、430A；アーク電圧、33V；ビード進行速度、50cm/min；送給ガス流量、 CO_2 29 cfh + O_2 11 cfh

水素定量用熔接試験片の形状並びに熔接後の処置は JSI Z-3211 (1957)「軟鋼用被覆アーク熔接棒」の水素試験に準拠した。送給ガスの導管は既報の導管の影響¹⁾

* 原稿受付 昭和33年7月30日 (昭和33年度熔接学会秋季学術講演会において発表)

** 正員、名古屋大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Nagoya University.

2) を避けるため、予め乾燥したガラス管を用いた。

3 実験結果

(i) 遊離水を含むボンベから流出する炭酸ガスおよび酸素の露点 1 l の水を予め注入したボンベから流出する炭酸ガスおよび酸素

Fig. 1 Water bath for constant temperature

Fig. 3 Relations between pressure of residual gas in cylinder of oxygen, dew point of flowing gas and flowing time

Remarks: — Oxygen was charged into the cylinder in which 1 l of water was intentionally added.
flow rate=11.2 cfh

- pressure
- dew point

room temperature at start of flow=23°C, relative humidity of atmosphere=63%

の露点を連続測定した結果を Fig. 2 および Fig. 3 に示す。炭酸ガスの場合は流量 9.5cfh で一定時間連続測定し、それから 57cfh でガスを放出し、それからまた流量 9.5cfh で一定時間連続測定した。そしてかようなことを繰返した。従ってボンベの残留ガス圧は、流量 57 cfh で放出するときは急激に減少している。しかしこの圧の減少は、既述の如くボンベ内に液体無水炭酸が存在する間は、炭酸ガスの流出中止により再び上昇している。始め露点は、ボンベの残留ガス圧および温度の変動により、かなりのバラつきがあるが、ほぼ -24°C で一定の値を示している。

ボンベ内に液相の無水炭酸がなくなって、気相のみとなったと見られる 700分附近から、前報で報告した規格外無

Fig. 2 Relations between pressure of residual gas in cylinder of carbon dioxide, dew point of flowing gas and flowing time
Remarks: — Carbon dioxide was charged into the cylinder in which 1 l of water was intentionally added.

- flow rate=9.5 cfh
 - " =57 cfh
 - pause of flowing
 - dew point
- change of pressure

room temperature at start of flow=24°C, relative humidity of atmosphere=57%

水炭酸の場合と全く同様に露点の著しい上昇が現われ、ボンベが空に近づくとき -4°C に達している。

酸素の場合も、既報の市販普通酸素の測定結果と全く同一の傾向を示し、流出時間の経過と共に圧は直線的に減少し、露点は始めは徐々に最後は急激に上昇し、0°C に達している。

Fig. 4 および Fig. 5 はこれらの測定結果をボンベの残留ガス圧と流出ガスの露点との関係として現わしたものである。何れの場合も、圧の減少につれ、同じような露点上昇の傾向が見られる。図中の2曲線は露点測定室における圧力を減圧弁における圧力 1.5 atm. および 1 atm. と仮

Fig. 4 Relation between dew point of flowing gas and pressure of residual gas in cylinder of carbon dioxide

Remarks: — Carbon dioxide was charged into the cylinder in which 1 l of water was intentionally added. flow rate=28.5 cfh

room temperature at start of flow=24°C, relative humidity of atmosphere=57%, solid lines =calculated with the assumptions that room temperature is 24°C, temperature of flowing gas is 24°C and pressures of flowing gas are 1 atm. and 1.5 atm.

Fig. 5 Relation between dew point of flowing gas and pressure of residual gas in cylinder of oxygen

Remarks: — Oxygen was charged into the cylinder in which 1 l of water was intentionally added.
flow rate=11.2 cfh
room temperature at start of flow = 23°C, relative humidity of atmosphere=63%
solid lines=calculated with the assumptions that temperature is 23°C, temperature of flowing gas is 23°C and pressures of flowing gas are 1 atm. and 1.5 atm.

定して後述の計算法により求めたものである。何れの場合も測定値はこの両曲線の間にある。

(ii) 露点変化と温度との関係

予め 1 l の水を注入したポンベに第2種無水炭酸ボンベから炭酸ガスのみを充填し、ポンベの底部の一部を、恒温槽で加温または冷却して、流出ガスの露点を連続して測定した結果を Fig. 6 に示す。同図は残留ガス圧と露点との関係として示してある。曲線は流出ガスの温度が室温と同一で、その圧力を 1.25 atm. と仮定した場合の室温すな

Fig. 7 Effect of temperature of cylinder on the relation between dew point of flowing gas and pressure of residual gas in the dried cylinder of carbon dioxide

Remarks: — × The cylinder was partly warmed with water at 30°C. room temperature=12.5°C, relative humidity of atmosphere=67%

● The cylinder was partly warmed with water at 15°C. room temperature=12°C, relative humidity of atmosphere=71%

○ The cylinder was partly cooled with ice. room temperature=15°C, relative humidity of atmosphere=69%

flow rate=28.5cfh

Fig. 8 Hydrogen contents of welds deposited by CO₂-O₂ arc welding process at various pressures of residual gas of carbon dioxide in cylinder

Remarks: — Gaseous carbon dioxide of 2nd grade charged into the cylinder containing 1 l of water was supplied with a super dried oxygen.

flow rate=CO₂, 29 cfh+O₂, 11 cfh

● The cylinder of carbon dioxide was partly warmed with water at 15°C. room temperature=9.4~9.6°C relative humidity of atmosphere=63%

○ The cylinder of carbon dioxide was partly cooled with ice. room temperature=10.4~10.8°C, relative humidity of atmosphere=64%

Fig. 6 Effect of temperature of cylinder on the relation between dew point of flowing gas and pressure of residual gas in the carbon dioxide cylinder containing 1 l of water

Remarks: — × The cylinder was partly warmed with water at 30°C.

room temperature=13.6~15.2°C, relative humidity of atmosphere=68~72%

● The cylinder was partly warmed with water at 15°C. room temperature=12.5~14.8°C, relative humidity=58~64%

○ The cylinder was partly cooled with ice. room temperature=7.6~11.7°C, relative humidity=64~71%, flow rate=28.5 cfh

solid lines = calculated with the assumptions that room temperatures are 10, 15 and 20°C, temperature of flowing gas is equal to room temperature and pressure of flowing gas is 1.25 atm.

Fig. 9 Hydrogen contents of welds deposited by CO₂-O₂ arc welding process at various pressures of residual gas of carbon dioxide in cylinder

Remarks: — Gaseous carbon dioxide of 2nd grade charged into the dried cylinder was supplied with a super-dried oxygen.

flow rate=CO₂, 29 cfh+O₂, 11 cfh

× The cylinder of carbon dioxide was partly warmed with water at 15°C. room temperature=14.8~15.3°C, relative humidity of atmosphere=62%, DCSP

● The cylinder of carbon dioxide was partly warmed with water at 15°C. room temperature=13.5~14.2°C, relative humidity of atmosphere=59%, DCRP

○ The cylinder was partly cooled with ice. room temperature=9.5°C, relative humidity of atmosphere=69%, DCRP

わちポンベの温度 10°C, 15°C および 20°C における後述の計算結果によるものである。ほとん室温に等しい 15°C に加温した場合の測定値は、計算値と大略一致している。30°C に加温および 0°C に冷却した場合は、恒温槽の深さがポンベの高さの約 1/4 であるため、充分な加温および冷却効果が得られなかった。このため、30°C に加温の場合はおおむね 20°C の計算結果と一致した値を示している。また 0°C に冷却の場合は、10°C の計算結果と一致している。これらの測定結果によれば、明らかにポンベの温度が流出ガスの露点に影響することが認められる。

Fig. 7 は第 2 種無水炭酸の空ポンベに別の第 2 種無水炭酸ポンベから、前述と同様に炭酸ガスのみを充填し、恒温槽で加温または冷却して流出ガスの露点を連続的に測定した結果である。この場合もポンベの残留ガス圧の減少につれ、露点がかすかに上昇している。氷でポンベの一部を冷却した場合は室温が 15°C であったが殆んど冷却効果が効かず、15°C の場合の測定値と一致している。30°C の温湯でポンベの一部を加温した場合は明らかに 15°C の場合より露点は高く、この場合も温度の影響が認められる。しかし、圧力の減少に伴う露点の上昇傾向は Fig. 6 の場合と全く異なり、はるかにゆるやかである。そして Fig. 6 では、ポンベが空に近づくとき、何れの場合も露点が 0°C に達しているのに対し、Fig. 7 では -20°C 前後で止まっている。また初期の露点も Fig. 6 に比べ、Fig. 7 の方が低い。例えば、400psi で 15°C の場合、遊離水を含むポンベ (Fig. 6) では、-26°C に対し、第 2 種無水炭酸のポンベ (Fig. 7) では -34°C である。

(iii) ポンベの残留ガス圧と熔接部の水素含量との関係

Fig. 6 および 7 に図示した露点の連続測定の各圧の段階で熔接を行い、炭酸ガスポンベの残留ガス圧と得られた熔接部の水素含量との関係を Fig. 8 および 9 に示した。送給ガスの実流量は炭酸ガス 29cfh と酸素 11cfh とであった。混合した酸素は Fig. 10 に示す如くおおよそ -65°C の露点を有する超乾燥酸素である。

Fig. 8 および 9 何れの場合も、炭酸ガスの残留ガス圧が減少するにつれ、熔接部の水素含量は増加し、前述の露点

の上昇と明らかに対応している。また送給炭酸ガスの温度が高い程、得られる熔接部の水素含量は一般に高い傾向を示している。Fig. 8 および Fig. 9 を同一温度について比較すれば、遊離水を含む無水炭酸ポンベから送給されたガスによりガス被包アーク熔接した場合 (Fig. 8) が第 2 種規格無水炭酸による場合 (Fig. 9) に比べ、得られる熔接部の水素含量は高い。CO₂-O₂ アーク熔接は一般に直流逆極性で行われるが、熔接部の水素含量におよぼす極性の影響を見るために正極性で熔接を行った場合の結果も Fig. 9 に併記してある。同図から明らかな如く、逆極性に比べ正極性の場合は熔接部の水素含量が多いようである。

Fig. 11 は、JIS 規格第 2 種無水炭酸 (最初の露点 -33°C) に Fig. 3 および 5 に示した遊離水を含むポンベから送給される酸素を混合した場合と Fig. 10 に示した超乾燥酸素を混合した場合とについて、酸素ポンベの各残留ガス圧の段階で CO₂-O₂ アーク熔接を行い、得られた熔接部の水素含量と残留ガス圧との関係を示したものである。この場合も酸素の残留ポンベ圧が減少するにつれ、水素含量は

Fig. 11 Hydrogen contents of welds deposited by CO₂-O₂ arc welding process at various pressures of residual gases of oxygen in cylinders

Remarks : —

● In flowing gas from the cylinder (Fig. 5) into which 4000 l of oxygen gas was compressed and charged after pouring 1 l of water

○ In flowing gas from the cylinder (Fig. 10) of super-dried oxygen

the dew point of flowing gas of carbon dioxide = -33°C, flow rate = CO₂, 29 cfh + O₂, 11 cfh

増大している。そして特に遊離水を含むポンベの場合に、その傾向は顕著である。

4 考 察

市販の規格外無水炭酸および普通酸素を用いる場合、ポンベの残留ガス圧が減少したとき、露点が異常上昇するのは、ポンベ内に存在する遊離水に基くものであることは、以上の実験結果から明らかである。そこでポンベ内に遊離

Fig. 10 Relation between dew point of supplied gas used for CO₂-O₂ arc welding and pressure of residual gas in cylinder of super-dried oxygen
Remarks : —room temperature = 22.5°C
relative humidity of atmosphere = 48%

水が存在した場合、何故このような露点の変化が起るのかについて考察してみよう。

水または氷の蒸気圧は温度のみの函数で、気相の全圧力には無関係なものと仮定すると、ポンペの中に遊離水が存在すれば、その蒸気圧は室温すなわちポンペの温度のみによって決り、ポンペ内の圧には無関係である。

すなわち $Q_{H_2O} = P_{H_2O}$ (1)

ここで Q_{H_2O} : ポンペの温度における水の蒸気圧, atm.

P_{H_2O} : ポンペ内の水蒸気分圧, atm.

いま、ポンペの内容積を V liter とし、ポンペ内に存在する水蒸気の重量を W_g , ポンペ内の温度を $T^\circ\text{C}$ とすると次式が成立つ。

$$W = \frac{18}{22.4} \cdot V \cdot P_{H_2O} \cdot \frac{273}{237 + T} \text{ (2)}$$

ポンペに充填されたガスの分圧を P_g atm. とすれば、ポンペ内の全圧 P atm. は次式で表わされる。

$$P = P_g + P_{H_2O} \text{ (3)}$$

ここでこの全圧はゲージの読みより 1 atm. だけ大きい値である。 P_g は P_{H_2O} に較べ、遙に大きいから $P \approx P_g$ と仮定する。ポンペから流出するガスの温度を t_f , その圧力を P_f とするれば、ポンペ内の圧力 P の下にあるガスが流出状態すなわち P_f の下で占める体積 V_f liter は次式で示される。

$$V_f = V \cdot \frac{P}{P_f} \cdot \frac{273 + t_f}{273 + T} \text{ (4)}$$

ガスの流出過程中ポンペの温度が変化せず、且つポンペが空になるまで充分の遊離水があると仮定すれば、ポンペ内の水蒸気分圧は依然として水の蒸気圧に等しいからポンペ内の水蒸気の重量 W は流出過程中ポンペ内では常に一定である。従って(2)と(4)式から、次式によりポンペの残留ガス圧に対して流出ガスの絶対湿度 Dg/m^3 を求めることができる。

$$D = \frac{W}{V_f} \cdot 10^3 = \frac{18}{22.4} \cdot \frac{P_f \cdot P_{H_2O}}{P} \cdot \frac{273}{273 + t_f} \cdot 10^3 (g/m^3) \text{ (5)}$$

P_{H_2O} は水の蒸気圧に等しい。従って各温度におけるこの値は表³⁾あるいは既報第10報 Fig. 1⁽²⁾ から求められる。流出ガスの圧力 P_f および温度 t_f は流出条件によって決る値である。一般に P_f は 1 atm. より大であるが、送給されて溶接トーチあるいは露点測定室(第10報. Photo 2, M)⁽²⁾ ではかなり圧力の低下があるものと想像される。またポンペから流出するガスの温度は第10報で既述の如く²⁾ Joule-Thomson 効果により低下する。しかし送給中導管内で室温の影響を受けて、ガスの温度はある程度上昇するであろう。調整器に加温装置をつければ、流出ガスの温度の降下を防ぎ一定に保つことができる。いま流出ガスの圧力 $P_f = 1 \text{ atm.}$ および流出ガスの温度 t_f は室温 T と同じ

Fig. 12 Calculated relation between dew point of flowing gas and pressure of residual gas in cylinder
Assumption ; —temperature of flowing gas=room temperature 0,5,10,15,20,25 and 30°C
= constant
pressure of flowing gas=1 atm.

で一定と仮定すれば、室温 T における流出ガスの絶対湿度とポンペの残留ガス圧との関係を(5)式から求めることができる。絶対湿度 D を第10報 Fig. 3⁽²⁾ に図示した曲線から露点として求め、この関係を図示したのが Fig. 12 である。

同図は室温すなわちポンペの温度を $0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ および 30°C とした時の計算結果である。点線 ab と実線との交点はポンペ内の温度がその実線に相当する温度にある場合の無水炭酸の蒸気圧を示す。また点線 cd と実線との交点は、 35°C で 150 atm. に充填した酸素がその実線に相当する温度において現わす圧力を示す。

同図が明らかな如く、ポンペ内に遊離水が存在する場合、充填時に較べて、使用中酸素の場合 50°C 、炭酸ガスの場合 40°C 近くの露点上昇が起ることが解る。また流出ガスの露点の変化におよぼす室温の影響は大きく、1000 psi で室温 5°C の変化は露点を 6°C だけ変化させている。従って冬季(0°C)と夏季(30°C)とでは、 18°C の露点上昇が推定される。また 0°C ではゲージ圧が 0 になった時、すなわち残留ガス圧 1 atm. で流出ガスの露点は 0°C に達しているが、室温 30°C の場合 200 psi (13.6 atm.) 以下では、露点 -10°C 以上のガスが送給されることになり、80 psi (5.4 atm.) 以下では送給ガスの露点は 0°C 以上になる。これによって既報¹⁾の夏季梅雨時に行った炭アーク溶接法による溶接部に稀に銀点を発生した原因が理解できる。

Fig. 12 に炭酸ガスの場合、JIS に規定された第2種および第3種の許容水分量に相当する露点を鎖線で示した。第2種無水炭酸すなわち許容水分量 0.05 重量% (絶対湿度 $0.98g/m^3$, 露点 -19°C) の鎖線と比較してみれば、明らかな如く、遊離水を含むポンペから流出する炭酸ガスも、ポンペ内に液相と気相が共存する状態(同図内の点線 ab

と実線との交点)では、この許容水分量より遙に低く第2種規格品として合格しうるのである。しかもこれらのポンベの無水炭酸は、室温 30°C の場合は 430psi 以下で露点 -19°C 以上のガスとなり、第2種規格品としては不合格である。また室温 0°C の場合には 60 psi 以下で露点 -19°C を越え、上記規格に不合格となる。

低圧側におけるかゝる露点の異常上昇がない炭酸ガスを使用するためには、遊離水を含まないポンベから送給しなければならない。液相と気相とが共存するポンベから送給される炭酸ガスの露点が、Fig. 12 の点線 *ab* 上にある場合には遊離水の存在が問題になる。従って遊離水を含まないポンベから送給される炭酸ガスの露点はこの点線 *ab* 以下あるいは各圧力で、夫々の温度での曲線が示す値以下でなければならない。Fig. 7 はその一例であ。また Fig. 12 から明らかな如く第3種規格の無水炭酸ならば、この条件を充すことになる。

同様に酸素の場合は、遊離水を含まないポンベから送給されるガスの露点は Fig. 12 の点線 *cd* 以下あるいは各圧力で夫々の温度の曲線が示す値以下でなければならない。Fig. 10 はこの条件を充すものの一例である。

Fig. 13 Effect of pressure of flowing gas on the relation between dew point of flowing gas and pressure of residual gas in cylinder
Assumption ; — room temperature=20°C
temperature of flowing gas=room temperature, 20°C

Fig. 14 Effect of temperature of flowing gas on the relation between dew point of flowing gas and pressure of residual gas in cylinder
Assumption ; — room temperature=20°C
pressure of flowing gas=1 atm.

Fig. 13 は5式における P_f すなわち流出ガスの圧力が露点におよぼす影響を計算図示したものである。この場合室温は 20°C で一定、流出ガスの温度も室温と同一で変化しないと仮定した。

Fig. 14 は室温 20°C、流出ガスの圧力 1 atm. と仮定した場合の5式における t_f すなわち流出ガスの温度の影響を計算図示したものである。

Fig. 13 と Fig. 14 とを比較すれば、流出ガスの温度の変化に較べ、圧力の変化の影響が大きいたことが解る。すなわち 0.5 atm. の圧力上昇は露点を最大約 4.5°C 高めているが、流出ガスの 40°C の温度降下は露点を僅か 1.5°C 高めているに過ぎない。従って第10報で述べた露点測定における流量の増加の影響²⁾は、露点測定室における流出圧力の増大によるものとも考えられる。

Fig. 12~14 に図示した曲線により理解できる如く、露点の上昇すなわち曲線の上方への移動は、送給ガスの露点がある値以上になるポンベの残留ガス圧を高めることになる。例えば 1 atm. で送給されるガスは 100 psi 以下で -10°C 以上の露点になるが、3atm. で送給されれば、340 psi 以下で既に -10°C 以上の露点を有するガスが送給されることになる。

Fig. 4 および Fig. 5 においては、それぞれの測定条件における室温について5式による計算から得られた曲線と測定値とを比較して示した。前述の如く、流出ガスの温度変化が露点におよぼす影響は小さいので、流出ガスの温度は室温と同一で一定と仮定し、露点測定室における流出ガスの圧力 P_f を調整器の減圧力 1.5 atm. に等しいと仮定した場合と、それが露点測定室では低下して 1 atm. に等しいと仮定した場合とについての計算値を示した。測定値は何れの場合も、上述の仮定の下に計算した2曲線の間であり、露点測定室の圧力をこの場合約 1.25 atm. と考えれば、測定値と計算結果はよく一致している。

なお詳細に検討すれば、測定値は高圧側で計算値よりやや高く、低圧側で低目にあるように思われる。高圧側で高い原因は次のように考えられる。ポンベ内でガスと混合されている水蒸気の分圧すなわち水または氷の蒸気圧は圧力に無関係で温度のみによって決ると仮定して(5式を立てたのであるが、実際には水の蒸気圧は温度のみで決るのではなく、圧力が増すと幾分大きくなるためであろう⁵⁾。低圧側での測定値が計算値より低い傾向は、第10報で述べた如く流出過程におけるポンベ自身の温度降下が原因すると思われるが、明らかでない。

Fig. 6 には、流出ガスの圧力を 1.25atm. と仮定し、流出ガスの温度は室温と同一で一定と仮定した場合の 10°C、15°C および 20°C の露点変化の計算結果と測定値との比較を示した。同図においても計算結果は、ポンベが実際に

保持された温度をこれらの温度と一致するものと考え、その測定値とよく一致した傾向にある。

ボンベ内を点検して遊離水がないと思われるボンベに充填した第2種無水炭酸 (Fig.7) および超乾燥酸素 (Fig.10) でも、低圧側ではわずかに露点の上昇が見られる。しかしこの場合の変化は Fig.12 の計算値とは全く偏倚している。従って遊離水を含む場合と全く別に考えなければならぬ。熔接に使用するには實際上、この程度の露点の上昇は有害ではない¹⁾。

これまでの実験並びに計算はボンベ内に遊離水が充分存在する状態で行われたものであるが、低圧側で異常露点上昇を起すに必要なボンベ内の最初の水分量は、(5)式をボンベから流出する全ガス量について積分することにより求められる。

すなわち、いま一定温度 $T^{\circ}\text{C}$ のボンベからガスが $t_f^{\circ}\text{C}$ 、圧力 P_f atm. で流出され、ボンベ内の残留ガス圧が低下するにつれ、遊離水が減少し、内圧が P_f になった時に丁度遊離水が無くなり、ボンベ内のガスが水蒸気で飽和している場合を考える。その場合ボンベ内に存在した最初の全水分量 H_g は次式で表わされる。

$$H_g = 10^{-3} \int_V^{V_f} D dV_f + W \dots\dots\dots (6)$$

ここで D は流出ガスの絶対湿度 g/m^3 、 dV_f はボンベの各圧における流出ガスの体積 liter、 V_f は流出ガスの圧力および温度、すなわち P_f atm. および $t_f^{\circ}\text{C}$ における体積に換算した最初のボンベ内ガスの全体積 liter、 V はボンベの内容積 liter であり、 W はボンベ内にある水蒸気の重量 g である。(6)式の H_g をボンベに気相のみ充填されている場合の限界水分量と呼ぶことにする。

さらに $T^{\circ}\text{C}$ にあるボンベ内に P_{atm} で充填されているガスの流出状態 P_f atm. および $t_f^{\circ}\text{C}$ における体積 V_f は(4)式により与えられる。同式より

$$dV_f = \frac{273+t_f}{273+T} \cdot \frac{V}{P_f} dP \dots\dots\dots (7)$$

Table 1 Critical Water Contents of Cylinders, Causing Steep Elevation of Dew Point at Lower Pressure of Residual Gas

$$H_g = P_{H_2O} \times 0.80357 \times \frac{273V}{273+T} \left[1 + \frac{1}{\log e} (\log P_i - \log P_f) \right]$$

$$H_{gl} = D_{gl} \times V_{fgl} \times 10^{-3}$$

Assumption: $V=40\text{l}$, $P_f=1.5\text{atm}$, weight of charged $\text{CO}_2=30\text{kg}$
pressure of charged O_2 at $35^{\circ}\text{C}=150\text{atm}$.

Temperature, $^{\circ}\text{C}$	0	10	20	30	35
Carbon dioxide ... H_g	0.80	1.65	3.20	5.88	—
H_{gl}	1.31	2.06	3.09	4.45	—
$H_g + H_{gl}$	2.11	3.71	6.29	10.33	—
Oxygen H_g	1.06	2.08	3.84	6.77	8.87

(6)と(7)式から

$$H_g = \frac{273+t_f}{273+T} \cdot \frac{V}{P_f} \cdot 10^{-3} \left\{ \int_{P_f}^{P_i} D dP + W \dots\dots\dots (8) \right.$$

ここで P_i はボンベの最初の充填圧 atm. である。

(5)と(8)式から

$$H_g = \frac{18}{22.4} \cdot V \cdot P_{H_2O} \cdot \frac{273}{273+T} \int_{P_f}^{P_i} \frac{dP}{P} + W \dots\dots\dots (9)$$

(2)と(9)式から

$$H_g = W(1 + \ln \frac{P_i}{P_f}) = W(1 + \frac{1}{\log e} \log_{10} \frac{P_i}{P_f}) \dots\dots\dots (10)$$

ボンベ内がガスのみの場合には、最初の充填時に存在する水分量が H_g に等しいか、これより大きければ、露点の異常上昇が Fig.12 の曲線の如く現われることになる。無水炭酸の場合は液相と気相とがボンベ内に共存する状態すなわち温度が一定ならばボンベの残留ガス圧に変化なく一定の状態で流出する時のガスの中の水分量と、液体無水炭酸が蒸発し尽し、ボンベ内が気相のみとなって後の(10)式によって求められる水分量 H_g との和が限界水分量である。液相と気相とがボンベ内に共存する状態で流出する炭酸ガスの総体積を V_{fgl} liter、この場合の流出ガスの絶対湿度を D_{gl} g/m^3 とすれば、その中に含まれる水分量の総量 H_{gl} は次式で求められる。

$$H_{gl} = D_{gl} \cdot V_{fgl} \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots (10)$$

液態で充填されたガスボンベ例えば無水炭酸の場合の限界水分量は $H_g + H_{gl}$ である。

いまボンベの容積 $V=40\text{liter}$ 、無水炭酸の充填量を 30kg 、 35°C における酸素の充填圧を 150atm 、流出ガス圧 $P_f=1.5\text{atm}$ 。として、無水炭酸および酸素についてそれぞれ限界水分量を求めれば Table 1 の如くなる。無水炭酸については H_g 、 H_{gl} および $H_g + H_{gl}$ の値を示した。同表から明らかな如く、ボンベから流出するガスの露点上昇はきわめて僅かの水分の存在によって起ることが理解できる。

5 結 言

本報の実験並びに考察により、市販の無水炭酸および酸素ボンベについての流出末期における露点異常上昇がボンベ内に存在する遊離水に基くものであることを明らかにした。そしてボンベ内に遊離水が存在する場合の流出ガスの露点とボンベの残留ガス圧との関係を理論的に求め、この関係にボンベの温度、流出ガスの温度、流出ガスの圧力が影響することを示した。また計算により、露点の異常上昇を起すに必要な無水炭酸および酸素ボンベの限界水分量を各温度について求め、その量がきわめて微量であることを示した。要約すれば次の如くである。

1. ボンベ内に遊離水が存在すれば、流出ガスの露点はボンベの残留ガス圧が 0 に近づくにつれ、急激に上昇し、充填時の最初のそれに比べ、炭酸ガスについては約 40°C、酸素については約 50°C 上昇する。

2. ボンベの温度上昇、流出ガスの温度降下および流出ガスの圧力上昇は何れも流出ガスの露点を上昇させる。ボンベの温度および流出ガスの圧力の影響に比べ、流出ガスの温度のそれは小さい。

3. 露点の異常上昇を起す限界水分量は温度により異なるが、容量 40 l のボンベに充填した 30 kg の無水炭酸の場合 2.1~10.3g (ボンベの温度 0°~30°C)、6000l の酸素ボンベの場合 1.1~8.9g (ボンベの温度、0°~35°C) である。

4. また遊離水を含む送給ガスボンベ内圧力の減少および温度の上昇と共に、CO₂-O₂ アーク熔接により得られる熔接部の水素含量は増加する事を確かめた。

5. 正極性による CO₂-O₂ アーク熔接部の水素含量は逆極性による場合よりも多い傾向にある。

6. 本報の理論的計算結果によれば、市販無水炭酸の JIS 規格第 2 種の許容水分量の規定は、低圧時の露点異常上昇がないことを保証せず、CO₂-O₂ アーク熔接用送給ガスとしては注意を要する。また規格の許容水分限界も温度および圧力についての規定がなくあいまいである。

本研究の遂行に当っては、日東炭酸株式会社、昭和炭酸株式会社および日本酸素株式会社から多大の御支援を蒙った。ここに謹んで感謝の意を表する。

また実験結果の一部は長谷川英一君の卒業研究によるものである。同君の御努力に感謝する次第である。

文 献

- 1) 関口、益本：炭酸ガス関口線材アーク熔接法について（第 7 報）—熔着金属の低水素含量と銀点の発生頻度，熔接学会誌，27（1958）No.6, p. 331~339.
- 2) 関口、益本：同上（第 10 報）—送給ガスの湿度測定法，熔接学会誌，28（1959）No. 1, p. 45~50.
- 3) 例えば C. D. Hodgman: Handbook of Chemistry and Physics, 23rd Ed. p. 142.
- 4) 関口、益本：炭酸ガス関口線材アーク熔接法について（第 4 報）—リムド鋼の熔接ならびに熔着金属の遷移温度，熔接学会誌，26（1957）No.9, p. 577.
- 5) E.M. Landsbaum, W. S. Dodds and L. F. Stutzman: Humidity of Compressed Air, Industrial and Engineering Chemistry, 47（1955）No. 1, p. 101~103.

1957年熔接文献リストの頒布について

前年度同様に会員の皆様に御便利と思いまして 1957 年熔接文献リスト（27 巻 10 号掲載）の別冊を作製し、実費で頒布することにいたしました。御希望の方は実費 1 部 50 円（送料共）を添えて下記に御申込下さい

記

申込先 大阪市都島区東野田町 9 丁目大阪大学工学部内
熔接学会編集幹事会宛