

プラズマシールド電縫溶接技術の開発

Development of Plasma Shielded ERW Process

浜谷 秀樹*
Hideki HAMATANI

長谷川 昇
Noboru HASEGAWA

渡辺 史徳
Fuminori WATANABE

水橋 伸雄
Nobuo MIZUHASHI

竹内 順
Sunao TAKEUCHI

野瀬 哲郎
Tetsuro NOSE

浅野 拓也
Takuya ASANO

三浦 孝雄
Takao MIURA

抄 録

酸化物欠陥が少ない優れた電縫溶接部を形成するためには、溶接部のシールド技術が重要と考えられる。室温のシールドガスと比べて、動粘性が高い高温ガスのほうが、層流化しやすい。例えば、5000Kを超えるプラズマジェットは層流場を作り易いと考えられ、大気を巻き込む乱流ガスよりも、シールド源として適切である。また、特に高温ガスが多原子分子からなるプラズマの場合、乖離あるいは電離した原子が酸素と結合し、高いシールド効果を期待できる。そこで、広径で長い不活性な層流プラズマジェットを発生可能なトーチを開発し、そのシールド効果を、炭素鋼および易酸化元素を含む高Cr鋼で検証した。初期段階ではあるが、この新規なシールド技術によって、溶接欠陥が低い、低温靱性の優れた溶接部を有するERW鋼管製造の可能性を得た。

Abstract

Shielding technique for the High frequency-electric resistance welding is considered as a key factor in the formation of a sound weld. Compared to the cold gas shielding technique, high temperature gas shielding, due to its higher kinetic viscosity coefficient, should make it easier to sustain a higher laminar flow, thus leading to a rather low air entrainment in the shielding gas. In addition, plasma is a much higher temperature state (~6000 K), and the dissociated gases can react with the entrained oxygen; plasma jets should, therefore, enhance the overall shielding effects. We have developed a plasma torch that can generate a long and wide laminar argon-nitrogen-(hydrogen) jet, and then, investigated the effects of this shield method on the weld area of high strength line pipe with a yield strength grade of X65 and a relatively higher containing Chromium steel which easily forms oxide defect in the weld. Preliminary attempts in applying this novel shielding technique has been found, as expected, to demonstrate extremely low numbers of weld defects and a good low temperature toughness of the HF-ERW seam.

1. 緒 言

エネルギーや自動車など幅広い分野に適用されている電縫溶接 (ERW : Electric Resistance Welding) 鋼管は、経済性のみならず、高い真円度や低い偏肉度など形状に起因した高い圧潰強度、拡管性、ガス溶接性などにも優位性がある。しかしながら、ERWの課題に、素材表面の酸化物や溶接時に生成される酸化物などが溶接部に欠陥として形成されやすいことがあげられる。この課題について、我々は溶接現象に基づいた溶接入熱制御と管理モニター技術¹⁾⁵⁾を開発し、既に優れた溶接部を有する鋼管を製造できるよ

うになった。但し、ステンレス鋼のように酸化物を形成し易いCrやSiを多く含有する鋼管では、溶接時のガスシールド技術が重要であることも知られている。

ERW部の酸化を抑制するためのシールドとして、しばしばBOX型のシールドが用いられることがある。しかしこの手法には、鋼管外径毎にBOXサイズを変える必要があることや、BOX内に溜まったスケールが飛び込み欠陥になるなどの課題がある。他方、BOXレスのシールドとしては室温の不活性ガスをブローする方法が報告されている⁶⁾⁷⁾が、この場合、ブローは乱流となり大気を巻き込み、シールドガス流内の酸素ポテンシャルは必ずしも低くならない。

* 名古屋技術研究部長 博士(工学) 愛知県東海市東海町 5-3 〒476-8686

そこで我々は、高温ガスのもつ“高い粘性”に着目し、大気巻き込みの少ない層流で不活性な高温ガスを利用する新規シールド手法を開発した⁸⁻¹⁰⁾。

2. シールド源としてのプラズマの意義

シールド源としてのプラズマの利点には、①大気の巻き込みが少ない層流場を形成し易い、②例え、大気を巻き込んでも、酸素とプラズマ中の原子とが反応し、酸素濃度を抑えられる、③高温であるために、酸化物の溶融や、酸化源の水を除去できることなどが考えられる。この詳細を以下に述べる。

気体分子の運動論から、動粘性係数 μ は、

$$\mu = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{T_0 + S}{T + S} \mu_0 \quad (1)$$

と表記でき表1¹¹⁾に示すAr, N₂, H₂それぞれの値を用いて、各温度での動粘性係数を算出すると図1となり、温度とともに上昇することが判る。

流れ場の乱流度を示すレイノルズ数Reは、

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2)$$

である。 ρ はガスの密度、 V は流れの速度、 D は代表長さであり、粘性が高い高温ガスほど、レイノルズ数は小さくなる。即ち、室温のガスと比べて、動粘性が高い高温ガスのほうが、層流化しやすい。5000Kを超えるプラズマジェットは層流場を作り易いと考えられ¹²⁾、シールド源としては、大気を巻き込む乱流ガスよりも、高い層流ガスのシールドのほうが適切である。

また、プラズマ作動ガスに多原子分子を用いると、乖離もしくは電離した原子(X)や正イオン(式(3))が、巻き込

表1 ガス粘性の乗数¹¹⁾
Power low viscosity parameter for gases

| | T_0 (K) | μ_0 (Ns/m ²) | n | S |
|----------------|-----------|------------------------------|------|-----|
| Ar | 273 | 2.13E-05 | 0.72 | 144 |
| N ₂ | 273 | 1.66E-05 | 0.67 | 107 |
| H ₂ | 273 | 8.41E-05 | 0.68 | 97 |

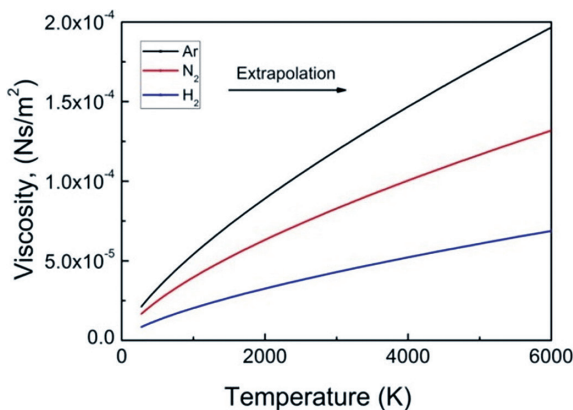


図1 ガスの動粘性係数の概算結果
Estimated gaseous viscosity

んだ酸素と反応するので(式(4))、この場合にはシールド場中の酸素濃度を抑えられることが期待できる。



熱プラズマのような高温ガスの更なる利点は、溶接表面の高融点酸化物や酸化源となる水蒸気を、溶融・蒸発することも可能と考えられる。溶接部表面の酸化物や溶接部に飛び込んでくるスケールやスパッタなどは、シールドでは排除できないため、これらを溶融させ、ERW アプセット時に溶鋼とともに溶接部から排出して無害化する必要がある。この酸化物を球形と仮定した時、その粒子が完全溶融するまでに要する時間 t_s は

$$t_s = \frac{\rho_s r C}{M \alpha} \log \frac{T - T_{in}}{T - T_{mp}} + \frac{\rho_s r q}{M \alpha (T - T_{mp})} \quad (5)$$

と表記できる。ここで粒子の密度を ρ_s 、直径を r 、熱容量を C 、分子量を M 、溶融潜熱を q 、初期温度を T_{in} 、融点を T_{mp} 、また、ガスの温度を T 、熱伝導度を α としている。右辺の第二項は、第一項よりも小さい。

例えば、直径50 μ mのAl₂O₃粒子は、4000KのArプラズマで6ms加熱されると、完全に溶融する。Arよりも熱伝導度が高いAr-N₂-(H₂)プラズマであれば、更に大きな粒子の溶融が可能となる。

以上の背景から、我々は、不活性な高温プラズマジェット(Ar-N₂-(H₂))でシールドしながらERWを行う新規シールド手法の開発に着手した。

3. 従来プラズマトーチの課題

ここで用いるプラズマがTIG (Tungsten Inert Gas) のような移行型では、電極に相当する鋼管が数十m/minで移動するために、プラズマが不安定になる懸念がある。一方、非移行型のトーチとして、溶射などに用いられる直流トーチが市販されており、陰極と陽極との間に電圧を印加してプラズマを発生させるので、鋼管が高速で移動してもプラズマの安定性には影響がない。但し、このトーチから発生するプラズマは乱流であり、高温領域の長さがプラズマ噴射口径の5~7倍程度を超えることは難しく¹³⁾、トーチの口径(通常5mm以下)が小さいため、プラズマ長さは高々100mm程度しか確保できない。プラズマ長さが短いと、トーチとERW溶接部の周辺機器が干渉してしまう。

口径を拡大する際に課題となるプラズマの安定化には、陽極表面上の陽極点を回転移動させるためのプラズマ軸に回転方向の速度成分をもつ作動ガスが有効である。しかしながら、この方向のガス量を増やすことは乱流度を増すことになり、プラズマを層流化させることと相反するため、この作動ガスを利用できない。また、陽極の外周にソレノイドコイルを配置して、電磁力によって陽極点の回転移動を制御する手法が開発されている。但し、トーチ構造が複雑かつ大型化するので、ERW溶接部近傍に装着できず、

我々の目的とするシールド源には適用できなかった。

加えて、市販の乱流なプラズマジェットは、長さが短い上に騒音が大きく、 H_2 を作動ガスに用いる場合には 120dB を超えることもあったことから、製造現場への適用には大きな課題であった。

以上のように、大気巻き込みが少なく、比較的広径で、低騒音なプラズマジェットを発生可能なトーチの開発は、シールド効果を発現し、かつ、本プロセスの実用化において極めて重要な開発要素であった。

4. 層流プラズマ装置の開発とその特徴

図2に開発した層流プラズマトーチ構造の概念図を示す。このトーチの特徴は、図中に示す複数のそれぞれが絶縁された Inter Electrode Insert (IEI) で構成されるカスケードで、陰極と陽極との間を電氣的に絶縁し、両極間を 100 mm 程度に長くすることにある¹⁴⁾¹⁶⁾。市販トーチには、このカスケード部位が存在せず、陰極と陽極との距離は数 mm である。

このトーチでは、層流プラズマジェットを形成するために、電極間内の下流（陽極側）に向かう流れとともに、渦エネルギーを減衰（kolmogorov 則）させることで、ノズル出口でのプラズマ渦が減衰するので、乱流度が低下すると言われている。実際に電極間距離が長いほど、発光に伴うプラズマが長くなる結果は（図3）、先の原理の傍証の一つといえる。

また加えて、層流化にはトーチ構造、例えば、陰極から

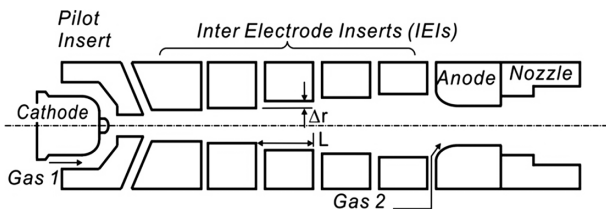


図2 カスケード型プラズマトーチの概念断面図
Cutaway views of cascade torch

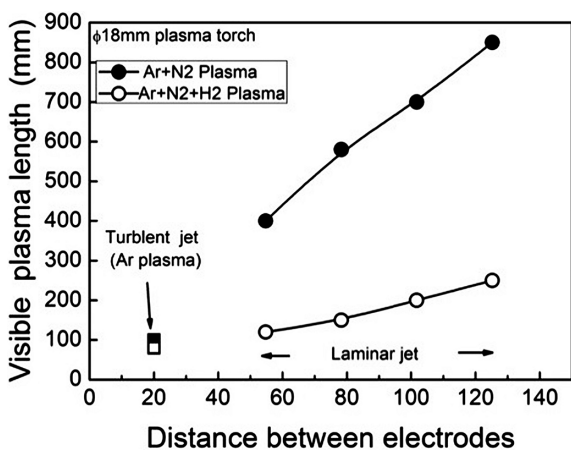


図3 電極間距離の可視なプラズマ長さへの影響
Effect of electrodes distance on the visible plasma length

陽極までの拡径プロフィールやアノードの発散角も大きな影響を与えていた。プラズマ安定化マップの一例を図4に示す。カスケードでは長さが一定(L)で内径が異なる複数のIEIを用いており(図2)、同じサイズのIEIが多いほど、内径が同一な領域が長くなる。ここでは、この長さを uniform length と、また、拡径時の隣り合うIEI間の内径増加量(Δr)とLとの関係、即ち、拡径部のステップ増加率を Δr/L と定義し、これらで、得られるプラズマ長さを整理した。この図から例えば、500mm以上のプラズマ長さを得るには、ステップ増加率 Δr/L を約 1/5 以下にする必要があることが判った。これはプラズマ流の re-touch を各拡管ステップ内に留めることが重要であることを示唆している。

更に、作動ガス種の混合比率も大きく影響した。式(2)に記載したように Ar より低密度な N_2 を主ガスとしたほうが層流を得やすかった。

これらの過程を経て開発したプラズマジェットと、市販のトーチ(ここでは Praxair 社製 2086A を使用)との比較写真を図5に示す。市販トーチが発生するプラズマは乱流なため、大気巻き込みによりプラズマが冷却されるので、発光している高温部の長さは高々 100mm である。一方、開発したトーチでは、発光部の径が約 20mm、長さが 500mm を超えるプラズマジェットを発生させることが可能となった。なお、後述するシールドには、プラズマ尾炎部分(ノズル出口から 500mm 超の領域)の乱流渦部ではなく、100~300mm のプラズマコア部分を用いている。

また、このプラズマに 10% の H_2 を添加した乱流および

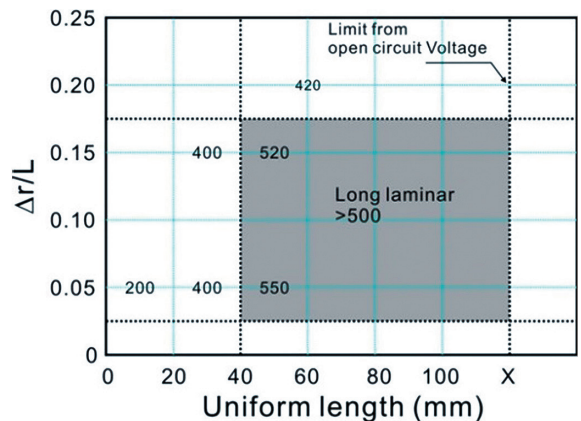


図4 プラズマ安定条件マップ
Effect of IEI profile on the plasma length (Ar- N_2)

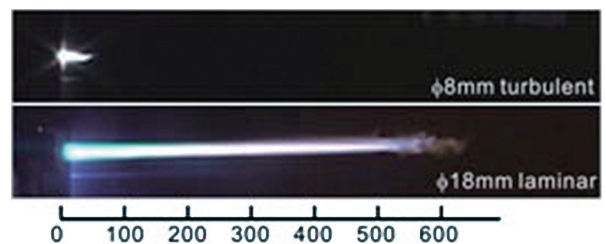


図5 プラズマジェットの比較写真
Comparison of plasma jet photos

層流プラズマ中の酸素濃度を Fluent の標準 $k-\epsilon$ モデルに燃焼理論を合わせて算出し (反応には分子の解離と酸化のみを考慮)、比較した結果を図 6 に示す。トーチ出口から 150

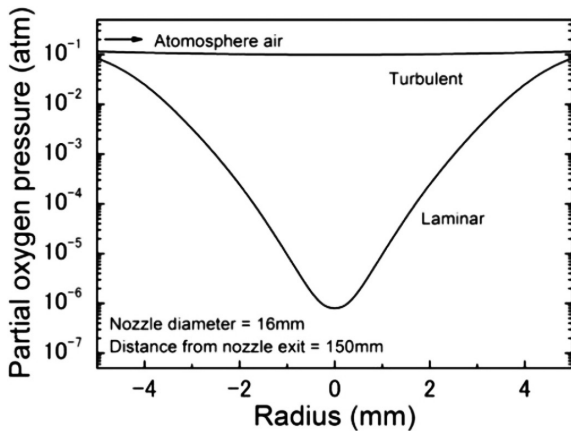


図 6 半径方向の酸素分圧分布の計算結果

Comparison of the estimated radial partial oxygen pressure profiles for the turbulent and laminar plasmas, hydrogen content: 10%, inner diameter: 16mm, axial position: 150 mm

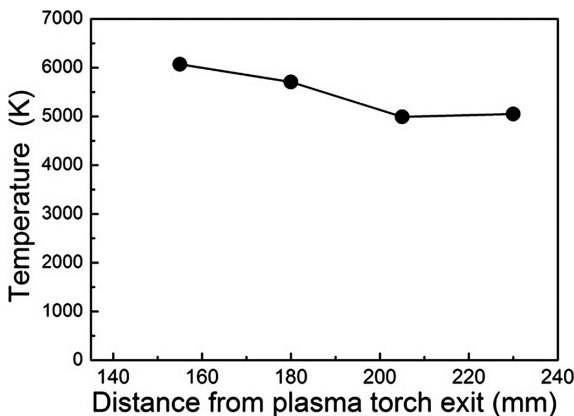


図 7 プラズマ軸上の温度分布測定結果

Axial temperature profile of cascade plasma jet Cascade plasma torch inner diameter: 18mm. Ar-N₂-H₂ plasma

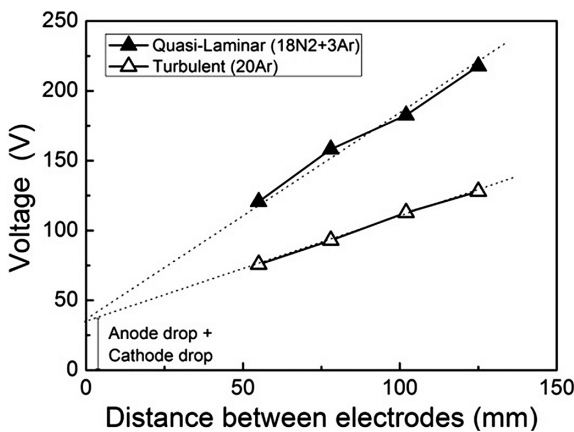


図 8 電極間距離の電極間電圧への影響

Effect of electrodes distance on the voltage between electrodes

mm 位置でのプラズマ中心部の酸素分圧は、乱流時には大気の半分程度であるが、層流時には大気よりも数桁下がる可能性が得られた。

このように、電極間距離、プラズマ作動ガス種、カスケードの拡径プロフィールなどを最適化して得られた層流度プラズマの温度分布を、H α と H β の発光強度比を利用した線対法にて測定した例を図 7 に示す。プラズマトーチ出口から 200mm 付近では、温度 5000K 程度、温度勾配 20K/mm 程度と、非常に低い温度勾配で長い高温域となっている。

他のプラズマ特性として、電極間距離の電圧への影響は図 8 のようにほぼ比例関係にあり、それぞれのプラズマ抵抗は純 Ar で約 0.8V/mm, 18N₂+3Ar で約 1.4V/mm であった。純 Ar での抵抗は一般の TIG よりも若干低い、これはガス密度が低いことに起因すると考えられる。なお、いずれの場合も両極の電圧降下合計は約 40V 一定であった。

なお、図 3 から、プラズマ作動ガスに Ar-N₂-H₂ を用いると、H₂ のプラズマ化に要するエネルギーが高いことに起因するプラズマピンチ力によるプラズマ長さの縮退が、また、図 3, 8 によると、500mm 程度の Ar-N₂ プラズマを得るには 200V 弱の電圧が必要になり、更にこれを安定させるには無負荷抵抗の高い電源が必要になることも付記する。

5. プラズマシールド効果

5.1 実験方法

シールド源には市販プラズマ (Praxair 社製 2086A) と自製したプラズマを用い、ERW 溶接欠陥低減効果を実験室で評価した。図 9 に実験装置の概要を示す。ERW 造管時のストリップエッジを模擬した溶接対象材である 2 枚の帯鋼 (板厚 6mm の SUS304 鋼) に給電子を押し付けながら一定速度で移動させて高周波加熱し、溶融領域をプラズマシールドしながらアプセットを付与して ERW を行った。図に示す配置で、給電子の間に設置したトーチから溶接衝

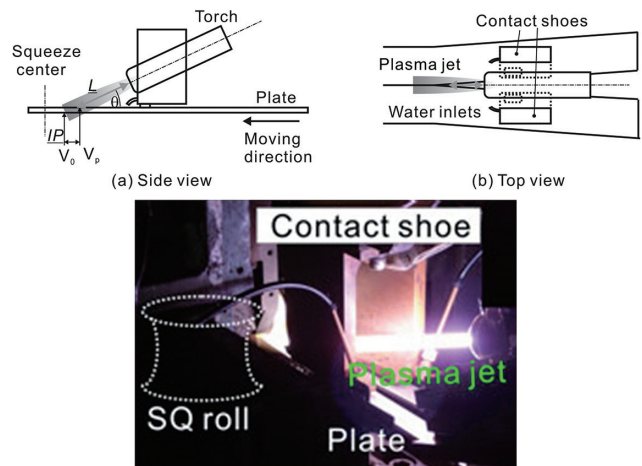


図 9 プラズマシールド ERW 実験概念図

Experimental setup highlighting the plasma shielding HF-ERW process

合面付近にプラズマを噴射した。ここで溶接点を V_0 点、照射狙い位置を V_p と定義した。

シールドされている領域の ERW 溶接線に対する幅 (A_w) と長さ (A_l) は、シールドガスの直径 (D_p) で、おおよそ、

$$A_w \geq D_p \quad (6)$$

$$A_l \geq D_p / \sin \theta \quad \theta \approx 10 - 30, \quad (7)$$

と表記できる。ここで θ はプラズマ照射角度である。溶接速度を 30m/min 一定とし、溶融部の酸化源を大気および内径 4mm のチューブから供給した 0.8l/min の水とした。実験パラメーターは、ERW の溶接入力、シールド有無、シールド照射位置 (V_0 と V_p との距離)、プラズマの層流度 (作動ガス種および流量で制御) などである。得られた溶接部を、160℃でのシャルピー試験片後の破面観察による欠陥面積率 (ペネトレーターと冷接の面積/溶接全面積) で評価した。ここで 160℃を試験温度とした理由は、酸化物欠陥部分以外を延性破面とし、欠陥部面積を容易に測定するためである。

5.2 実験結果および考察

まず、市販トーチ (アノード内径 8mm) で、シールドした時の ERW 入力と欠陥面積率との関係を図 10 に示す。通常の ERW (プラズマ無) では、最適な ERW 入力でも、欠陥面積率は 0.3% 程度であった。この入力よりも低い時は加熱不足による冷接、高い時はペネトレーターが発生した。他方、最適な照射狙い位置でシールドした時の適切な ERW 入力条件下では、欠陥率が 0.01% 以下になることが判った。しかし、この狙い位置が 10mm ずれると (best-10)、プラズマによる欠陥低減効果は得られなかった。これはプラズマ径が約 8mm と小さいため、溶融部がシールド範囲外になったためと考えている。そこで、シールド範囲を拡大できる可能性がある広径なプラズマトーチで、この低いロバスト性の改善効果を評価した。

開発したプラズマ径 18mm の層流プラズマによるシールド

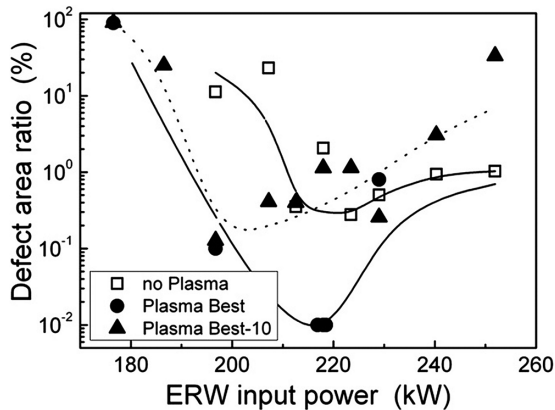


図 10 Ar-H₂ プラズマ (市販) のシールド効果
Effect of an argon-hydrogen plasma shield on defect ratio using commercial turbulent plasma
Inner nozzle diameter of 8mm, material: SS304

ド効果を図 11 に示す。先と同様に、本プラズマでも同様に欠陥を低減できること、特に、狙い位置が 10mm 以上変化しても、欠陥低減効果が得られることが判った。

酸素濃度を下げるためのプラズマ作動ガスへの水素添加有無の比較として、ERW 入力と欠陥面積率との関係を図 12 に示す。ERW 入力が最適時での欠陥面積率は、Ar-N₂ プラズマ、Ar-N₂-H₂ プラズマ両シールド時とも欠陥面積率は低減すること、低減効果は水素を添加したほうが大きいことが判る。

なお、いずれのプラズマシールド下でも、ERW 入力の増加とともに欠陥面積率が増加していた。これは ERW 入力とともに、溶接点 (V_0) が移動するので、シールド範囲が溶融部から外れるためであり、更なるロバスト性改善には照射狙い位置 V_p を做う必要があると考える。

5.3 実ラインでの検証

X65 級の実機造管時における層流 Ar-N₂ プラズマシールド効果を、上述した欠陥面積率と vTrs にて評価した結果を図 13(a), (b) に示す。

通常の ERW 条件では欠陥面積率 (酸化物率) が 0.05%

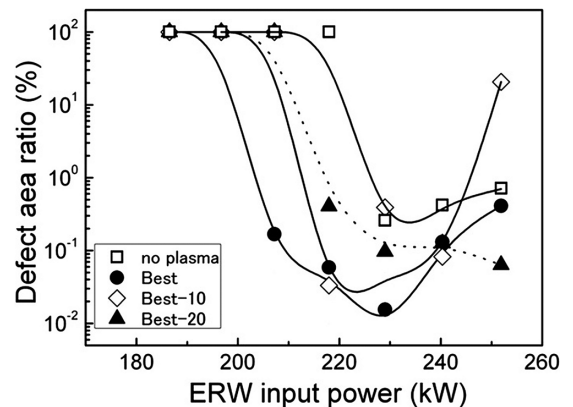


図 11 広径層流プラズマシールドによる欠陥低減効果
Enhancement of laminar Ar-N₂-H₂ plasma shielding with a plasma diameter of 18mm on the weld defect area ratio for the HF-ERW of SS304

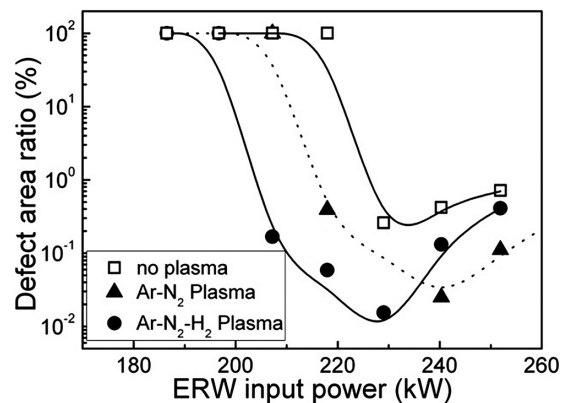


図 12 プラズマ作動ガスへの水素添加の欠陥低減効果
Shielding effect of H₂ gaseous on the weld defect area ratio for the HF-ERW of SS304

未満（母材と同等）となる良好な溶接条件はあるが、その ERW 入力範囲は 10% 以下である一方、プラズマシールドによって適正範囲が倍以上に拡大することが判った。また、最適入力条件下で欠陥が低減していることにより、vTrs が 20℃ 以上改善できる可能性も得られた。

また、易酸化元素である Cr を 13% 含む鋼にも本プロセスを適用したところ（図 14）、H₂ を添加したシールドを採用することにより、欠陥を一桁以上低減できることが判った。先述した 304 や 13Cr¹⁷⁾ の実験室での試験では、Ar-N₂ シールド効果が本結果よりも高くなっており、プラズマ照

射条件の最適化により、更に欠陥を低減できることが期待できる。

5.4 プラズマ倣い技術の開発

このようにプラズマジェットを適切な位置に照射すればプラズマシールドにより、ベネトレーター欠陥は大幅に改善でき、シャルピー特性が向上する。但し、この効果を最大限に得るためには、プラズマの軸と ERW 溶接線とを合致させる必要があった。そこで、既に開発した ERW 溶接入熱制御と管理モニター技術を活用することに着眼した⁹⁾。しかし、カラー CCD カメラで撮影する本モニターでは、加熱された鋼材からのプランク輻射とプラズマ発光との光量が同レベルであったため、互いに干渉して画像処理による相対位置測定ができなかった。

そこで、図 15 に示すいくつかの温度でのプランク輻射および、プラズマの作動ガスである Ar, N₂, H₂ の輝線スペクトル（NIST データベースより）に基づき、波長 1μm を境界として波長分離することを提案し、高感度な CMOS カメラ 2 台と特殊光学フィルターを用いて近赤外域と特定の青色域に分離して撮影する撮影系を開発した。この結果、鋼材からのプランク輻射とプラズマ発光の独立した画像が得られ、それぞれの画像処理アルゴリズムを構築することで照射軸と溶接軸を独立に検出できた（図 16）。更に画像処理結果に基づいて両軸が一致するようにプラズマトーチ搭載のロボットアームが自動倣い制御する機能を実現した。

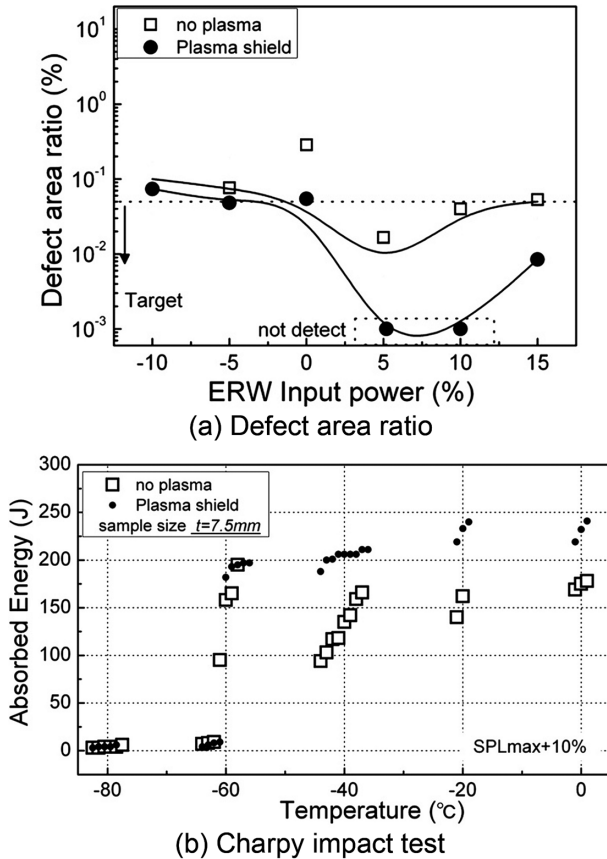


図 13 実機でのプラズマシールド効果 (X65)
Enhancement of the laminar plasma shield for X65 at Nagoya mill

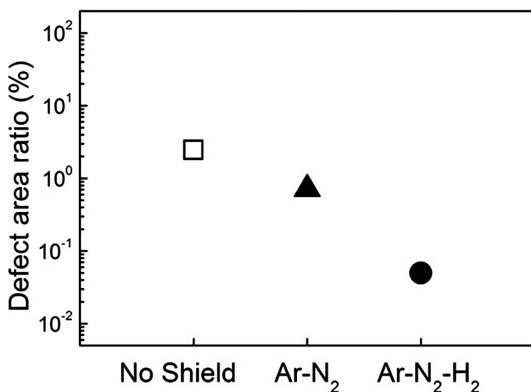


図 14 実機でのプラズマシールド効果 (13Cr)
Enhancement of the laminar plasma shield for 13Cr at Nagoya mill

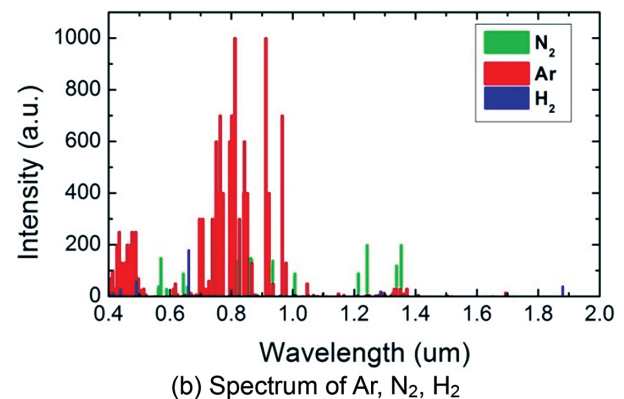
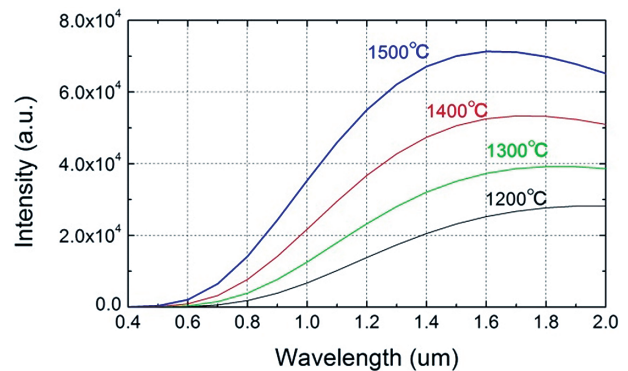


図 15 波長毎の発光強度分布
Planck radiation spectrum and spectrum of Ar, N₂, H₂

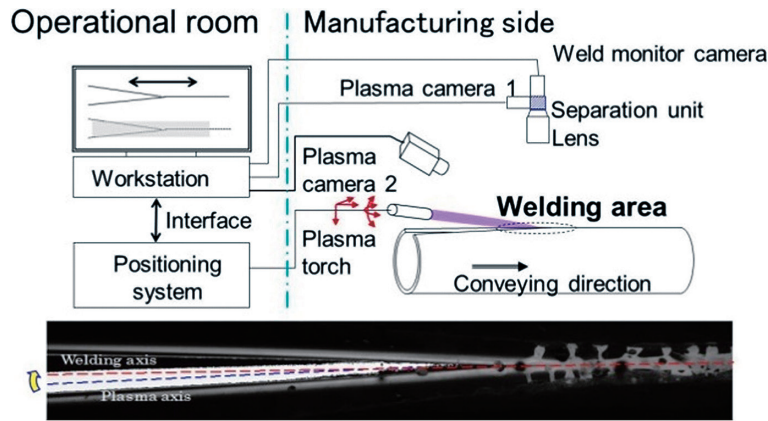


図 16 プラズマ軸と溶接線のずれ計測写真
Detected the offset of the plasma centerline to the welding line

6. 結 言

可視プラズマの径が約 20mm、長さが 500mm 超の Ar-N₂ プラズマを発生可能なカスケード型のプラズマトーチを開発し、このトーチから発生される層流プラズマを SUS304 の ERW のシールドに用いると、欠陥面積率が一桁以上向上した。また、本技術を実ラインでの X65 クラスの ERW に用いると、欠陥面積率と vTrs の改善効果が確認できた。これらの結果は、従来よりも高い信頼性を有する ERW 管を製造できる可能性を示唆している。

謝 辞

本研究における層流プラズマトーチの開発において、ロシア科学アカデミー ITAM 研究所の Prof. Oleg P. Solonenko, Dr. Andrey V. Smirnov らに支援をいただいたことに感謝します。

参考文献

- 1) Haga, T. et al.: The Welding Journal, Research Supplement. July, 208 (1980)
- 2) Haga, T. et al.: The Welding Journal, Research Supplement. July, 104 (1981)
- 3) Fukami, T. et al.: Proc. Int. Pipeline Conf. 2012. Vancouver, 2012, p.

229

- 4) Hasegawa, N. et al.: Proc. Int. Pipeline Conf. 2012. Vancouver, 2012, p. 237
- 5) Hasegawa, N. et al.: Proc. International Ocean and Polar Engineering Conf. 2017. San Francisco, 2017, p. 107
- 6) Nichols, R.K. et al.: Practical Welding Today, March/April, 29 (1988)
- 7) Fukuda, Y. et al.: Sumitomo Metal Industries Ltd. September, (1992)
- 8) 浜谷秀樹 ほか：溶接学会秋季全国大会講演概要. 376 (2011)
- 9) 浜谷秀樹 ほか：材料とプロセス. 715 (2012)
- 10) Hamatani, H. et al.: Proc. International Ocean and Polar Engineering Conf. 2012. Vancouver, 2012, p. 246
- 11) Hilsentraph: Table of Thermodynamic and Transfer Properties, Nat. Bur. Std. Circular. Pergamon, 1960, 564p
- 12) Boulos, M. I. et al.: Thermal Plasma. Plenum Press, 1994, 269p
- 13) Chen, X.: Pure Appl. Chem. 78 (6), 1253 (2006)
- 14) Kuz'min, V.I. et al.: Proc. of the 8th National Thermal Spray Conference. Houston, 1995, p. 83
- 15) Solonenko, O. P. et al.: HTPP9. Abst. Petersburg, 10 (2006)
- 16) Osaki, K. et al.: Vacuum. 59, 47 (2000)
- 17) Watanabe, F. et al.: Proc. International Ocean and Polar Engineering Conf. 2017. San Francisco, 2017, p. 447



浜谷秀樹 Hideki HAMATANI
名古屋技術研究部長
博士(工学)
愛知県東海市東海町5-3 〒476-8686



竹内 順 Sunao TAKEUCHI
前 日鉄住金総研(株)
知的財産調査部 知財支援室
研究主幹



長谷川昇 Noboru HASEGAWA
名古屋技術研究部
上席主幹研究員 博士(工学)



野瀬哲郎 Tetsuro NOSE
日鐵住金溶接工業(株)
取締役 光工場長 博士(工学)



渡辺史徳 Funinori WATANABE
名古屋技術研究部
主任研究員



浅野拓也 Takuya ASANO
名古屋製鉄所 鋼管部
鋼管課長



水橋伸雄 Nobuo MIZUHASHI
鉄鋼研究所 鋼管研究部



三浦孝雄 Takao MIURA
無錫日鉄住金鋼管有限公司
董事 総経理