

2-3 実験条件

溶接試験片（母材）は、3.2[mm]の一般構造用圧延鋼材（SS400）を使用し、添加ワイヤには直径1.2[mm]のJISYGW12を用いた。

その他詳細な実験条件を表1に示す。溶接電流ならびに溶接速度は固定とし、漏れ磁束の影響を調べるため、ビードオンプレート（ルート間隔0[mm]）による溶接実験のほか、開先試験片を用いた実験を行いルート間隔の違いが溶接品質に及ぼす影響について調べた。

なお、実験に際してはアークの挙動を観察しやすいよう磁化コイルを電極と反対側（試験片裏側）に配置した。

図3には、側面から見た電極と磁化コイルの配置図を示す。

表1 溶接条件

| 溶接姿勢 | 下向き |
|-----------------|--|
| ルート間隔 | 0[mm]（ビードオン） 0.5[mm]，1.0[mm] 1.5[mm]，2.0[mm] |
| 溶接電流(Iw) | 140[A] |
| 溶接速度 | 2[mm/sec] |
| シールドガス | Ar:30[l/min] |
| バックシールドガス | Ar:40[l/min] |
| アーク長(Da) | 2[mm] |
| 磁化電流(Ic) | 0.5,10[A] |
| 試験片と磁化コイルの間(Dm) | 0.5[mm] |
| 添加ワイヤの挿入角度 | 35[deg] |
| 添加ワイヤの挿入速度 | 10[mm/sec] |
| 溶接材料 | SS400 |
| 試験片寸法 | 70×300×3.2[mm] |
| 添加ワイヤ材料および直径 | YGW12 φ1.2[mm] |

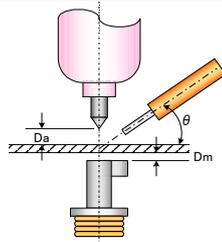


図3 電極（溶接トーチ）と磁化コイルの配置図

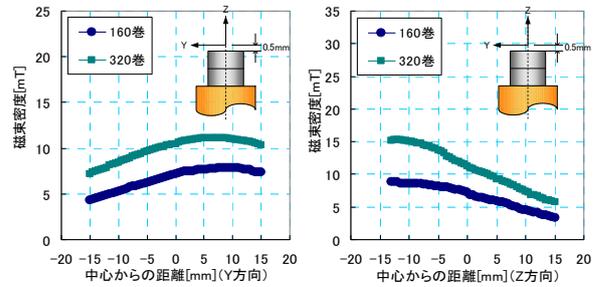
3 実験結果および考察

3-1 新規磁化コイルの磁束密度分布測定

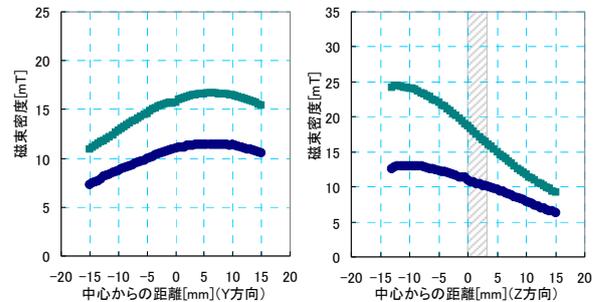
図4に新たに製作した320回巻磁化コイルの磁束密度分布を測定した結果を示す。なお、Z方向のグラフに記している斜線部分は試験片の位置を示している。

いずれの磁化電流値においても、160回巻と比較として、5[mT]程度磁束密度が増加している。方向別で比較すると、溶接線方向（Y方向）では、磁化コイル中心からどの位置においても、銅線の巻数による磁束密度の差はあまり変化していないが、溶接線に対して垂直方向（Z方向）では、磁極先端から離れるに従い、磁束密度の差が小さくなっていることがわかる。このことから、磁極先端近傍では、銅線の巻数に応じた磁束密度が得ら

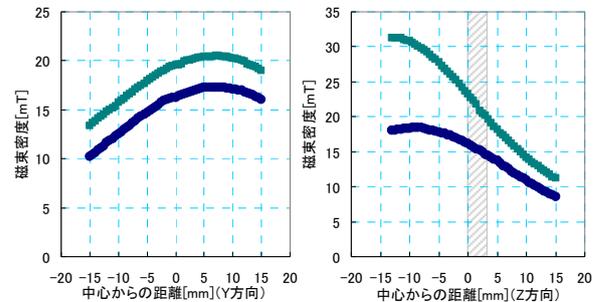
れるが、遠ざかるに従い巻数による磁束密度の差は小さくなり、30[mm]離れた場所では、磁束密度の差は2～3[mT]程度まで縮小している。このことから、磁極先端から、離れすぎると磁化コイルの巻き数増加による効果が小さくなり、電磁力による効果が発揮できないことが示唆され、試験片と磁化コイルとの距離には、限界があるものと思われる。



a) 磁化電流I=3.0[A]



b) 磁化電流I=5.0[A]



c) 磁化電流I=7.0[A]

図4 新規磁化コイルの地場分布

3-2 ビードオンプレート（ルート間隔0[mm]）による溶接実験

3-2-1 アークの挙動

図5に320回巻の磁化コイルを用いて、磁化電流を変化させて溶接実験を行った時のアークの挙動を観察した結果を示す。なお、付記した磁束密度Bの値は、空気中にて測定した値である。

結果より、磁化電流の増加に伴うアークの偏向にはほとんど変化がなく、磁化電流Ic=3.0[A]とIc=7.0[A]では、若干差があるものの、アーク後端の差を比較しても0.5[mm]程度であった。

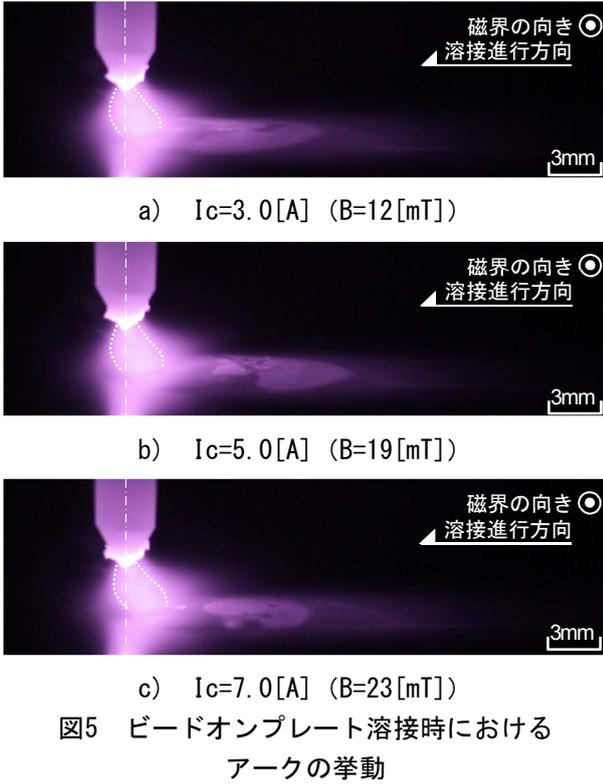


図5 ビードオンプレート溶接時におけるアークの挙動

3-2-2 試験片表面近傍の磁束密度分布

ビードオンプレート溶接では、強磁性体であるSS400への漏れ磁束が想像以上に大きいことが示唆されたことから、試験片を取り付けた状態で、磁化電流 $I_c=3.0[A]$ 印加時における試験片近傍の磁束密度を測定した。その結果を図6に示す。

図に示すように空気中の磁束密度と比較して試験片近傍の磁束密度は1/10程度となっており、著しい低下がみられる。また、磁束密度の分布も中心からの距離対して変化がほとんどなく、ほぼ様な分布となっている。磁束密度の分布からも、強磁性体であるSS400への漏れ磁束の影響が顕著であることがわかる。

ビードオンプレート溶接実験は、漏れ磁束の影響だけでなく、開先加工や添加ワイヤを必要としない溶接方法の可能性についても検討を行ったものであるが、アークの挙動から判断すると、巻数を増やすなどして磁化コイルの強化を図っても、強磁性体に対しては、漏れ磁束の影響からあまり効果が得られないものと思われる。

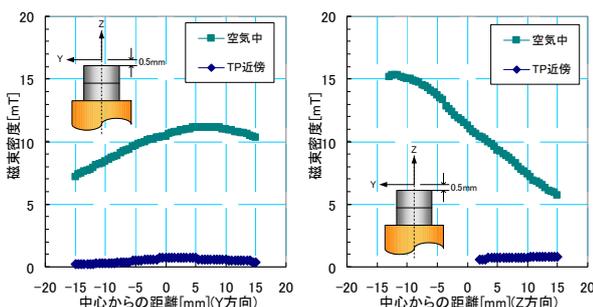


図6 試験片表面近傍の磁場分布

3-3 開先試験片による溶接実験

3-3-1 アークの挙動

3-2の結果より、漏れ磁束の影響からビードオンプレートによる溶接は困難であることが示唆されたことから、ルート間隔を設けた開先試験片による溶接実験を行った。

図7に、磁化電流 $3.0[A]$ （磁束密度 $12[mT]$ ）磁束密度ビードオンプレートとルート間隔 $1[mm]$ 溶接時のアークの挙動を示す。ビードオンプレート溶接時には、磁場を与えているにもかかわらずアークの偏向はほとんど見られないが、ルート間隔 $1[mm]$ の場合においては、ワイヤ挿入による影響もあるものの、ビードオンプレートと比較してアークが大きく後方に偏向していることから、開先により漏れ磁束の影響を回避することが可能であることが示唆される。



図7 ルート間隔の有無によるアークの挙動

3-3-2 裏波ビード外観およびマクロ観察

3-3-1の結果より、開先を設けることで溶接部に磁場を付与させることが示唆されたことから、ルート間隔の違いによる影響と施工限界を調べるため開先試験片に対して溶接実験を行った。図8にビード外観写真、図9には断面マクロ写真を示す。

ルート間隔 $0.5[mm]$ においては、マクロ写真からは裏波が平坦となっている良好な箇所もあるもののビード全体としては、安定せずルートエッジが残っている箇所も見受けられる。不安定な原因としては、ルート間隔が狭くアークによる熱源が試験片裏側まで届きにくいことに加え、電磁力による熔融金属の持ち上げ効果も影響しているものと考えられる。これに対しルート間隔 $1.0[mm]$ では、ビード外観、断面マクロともに良好な結果が得られたことから、熱源と持ち上げ効果が最も良いバランスを保っていたものと思われる。ルート間隔 $1.5[mm]$ においては、裏並ビードの外観は良好であるが、断面マクロからは熔融金属が大きく垂れ下がっているのがわかる。ルート間隔 $2.0[mm]$ においては、溶接電流 $140[A]$ では溶落

ちが発生したことから、溶接電流を120[A]に下げた実験を継続したが、溶落ちは解消したものの不安定なビード形成となった。これらの原因については、溶接電流140[A]に対しては、ルート間隔が広すぎることに加え、溶接速度やワイヤ供給速度も適正ではなかったことが考えられる。

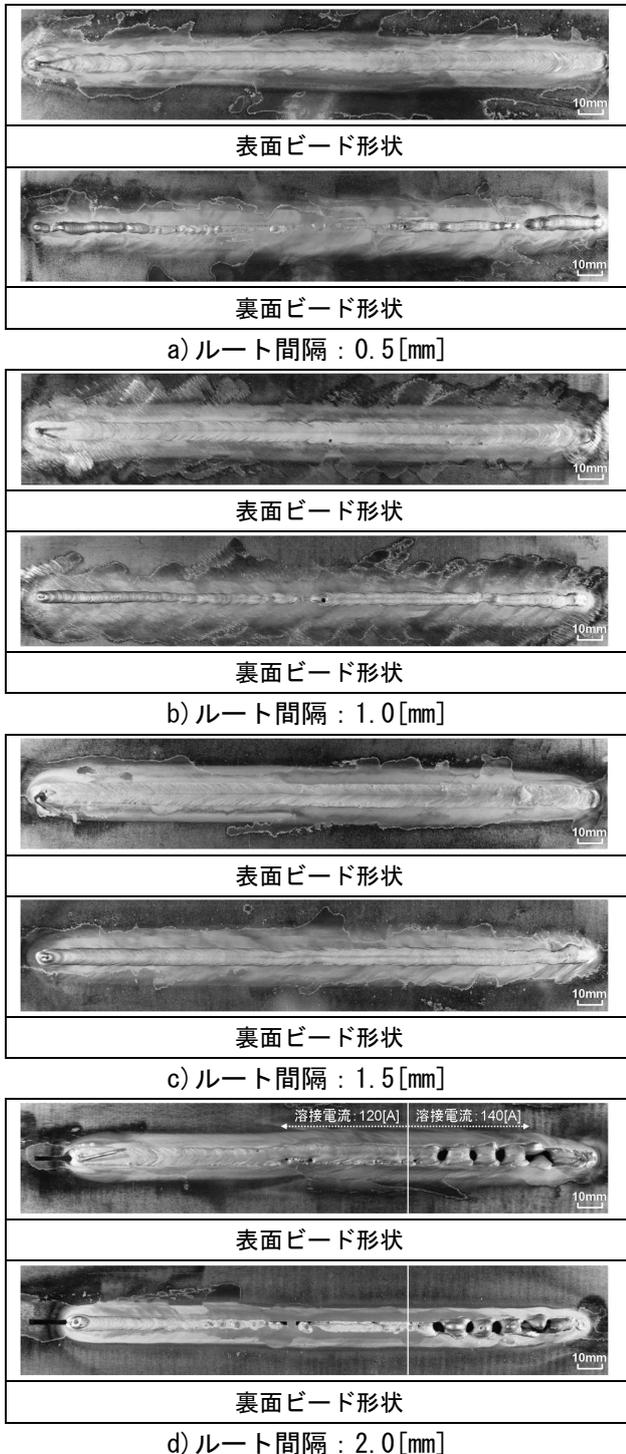


図8 ルート間隔の違いによるビード外観

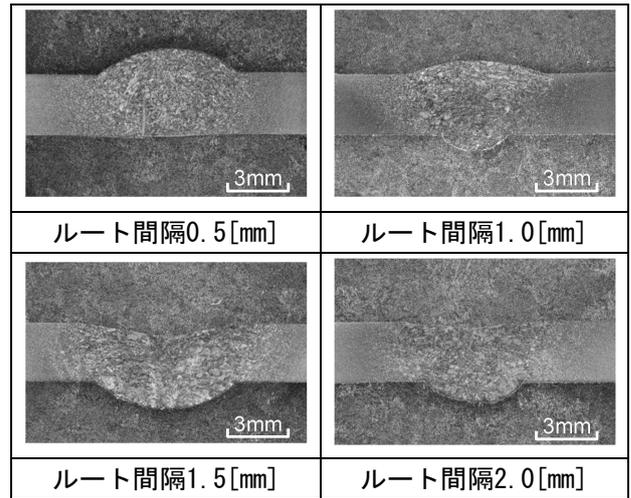


図9 ルート間隔の違いによる断面マクロ写真

4 まとめ

本研究では、強磁性体である炭素鋼溶接に対してECMP法を適用して、熔融金属の垂れ下がり抑制しつつ良好な裏波ビードを形成する最適溶接条件について検討を行った結果、以下の結論を得た。

- 1) 新規に320回巻の磁化コイルを製作し、SS400に対してビードオンプレート溶接を行ったが、漏れ磁束の影響から、熔融金属の垂れ下がり防止効果は少なく、実際の施工にも適用困難であった。
- 2) 開先試験片に対しては、アークの挙動から判断すると漏れ磁束の影響も少なく、電磁力による効果が得られることがわかった。
- 3) ルート間隔の違いで比較すると、ルート間隔0.5[mm]において裏波ビードが平滑となる箇所が見られたが、ビード全体では不安定な状況であった。
- 4) ルート間隔1[mm]では、ビード全体の外観、断面マクロともに良好なビードを形成した。
- 5) ルート間隔1.5[mm]ならびに2.0[mm]においては、いずれも不安定なビード形成となった。

但し、今回の実験では、溶接電流、溶接速度、ワイヤ供給速度ともに一定としたことから、ほかのルート間隔においても改善の余地は残っているものと考えられる。

本研究は、「局部磁場による裏波ビード形状の改善効果」(2012技008)で行ったものである。

参考文献

- 1) 松田昇一, 真鍋幸男, 玉城光輝, 棚原靖, 松本幸礼, 又吉勇介, 熔融池磁気制御溶接法の適用拡大に関する研究, 溶接学会論文集, Vol.30(2012), No.2, 116-124
- 2) 棚原靖, 羽地龍志, 松本幸礼, 沖縄県工業技術センター研究報告, 第16号(2013), 11-16

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターにご連絡ください。