真空圧延接合装置の試作とクラッド材の製造*

—真空圧延接合法によるクラッド材の製造とその特性(第1報)—*

迎 静雄**, 西尾一政**, 加藤光昭**, 井上季明***, 畠中 望****

Development of Vacuum Roll Bonding Apparatus and Production of Clad Metals

—Development of Clad Metals by Vacuum Roll Bonding and its Characteristics
(Report 1)—*

by Shizuo Mukae**, Kazumasa Nishio**, Mitsuaki Katoh**, Toshiaki Inoue***
and Nozomi Hatanaka****

A vacuum roll bonding apparatus has been developed to produce clad metals. Clad metals such as Al/SS41, A5083/SS41, Cu/SS41, Ti/SS41, SUS304/SS41, Al/Cu, Al/Ti, Cu/Ni, Cu/Ti and Nb/Ti were produced at temperature in the range 0.7–0.85 of the homologous melting temperature using the vacuum roll bonding. And bond mechanism on this method, bond microstructure and bond strength of the clad metals have been investigated. The results obtained are as follows: (1) Bondings of dissimilar metals such as aluminum clad steel, which is difficult to bond by diffusion bonding, were performed under the low reduction in thickness. (2) Though the bondings were performed at elevated temperature, interdiffusion of the elements at the bond interface which occurred during the bonding and cooling process was so little that it was not detected by EPMA analysis. (3) Bond shear strength of A5083/SS41, SUS304/SS41 and Ti/SS41 was higher than that specified by JIS. As the bond shear strength of other clad metals was very high, shear fracture at the bond interfaces did not develop on the shear test.

Key Words: Roll bonding, Clad metal, Solid state bonding, Diffusion bonding, Bond strength

1. 緒 言

近年、異種金属を接合して両金属の有する特性を複合化することによって、複数の特性を有する材料を開発するための研究が行われている。著者らも球状黒鉛鋳鉄と軟鋼とを積層、圧延することによって十分な強さを有し、しかも溶接が可能で機械構造用材料としても使用可能な制振材料の開発を行っている¹⁾。これらの接合に対しては、真空容器内における拡散接合法が用いられることが多い。また、クラッド鋼に代表される積層材は種々の方法により製造されている。従来の熱間圧延法では接合面が酸化されないようにクラッド化しようとする接合面の外周を予めシール溶接したり、活性な金属を張り合わせる場合には、それらの板材を真空箱の中に入れて排気した後に圧延圧接する必要がある。したがって、この圧延法は接合面を高真空に保持することが困難な場合、或いは、電子材料等に使用が考えられる薄板の積層材の製造には不向きである。この問題は圧延機を真空容器内に取り込んだ装置、すなわち、真空圧延機を用いればほとんど解決されるものと考えられる。真空圧延機の試作は過去に数例の報告があるが²⁾、上堀らの報告³⁾を除けばほとんどの装置が活性金属の圧延加工に使用されている。これらの装置はいずれも高真空が得られるまで

に長時間を要し、しかも加熱方法は電気抵抗加熱であった。

そこで、本研究では高真空が短時間で得られ、しかも急速加熱が可能な真空圧延接合装置の試作を行なうと共に、本装置を用いて製造された異種金属より成る種々のクラッド材の接合部特性について検討した。

2. 真空圧延接合法の開発

2.1 拡散接合法による異種金属接合の問題点

拡散接合法を用いて異種金属を接合する場合に最も困難な接合は、接合界面に脆弱な金属間化合物が形成される場合である。ここでは、その代表例として接合界面に Fe_3Al 、 Fe_2Al_5 等の金属間化合物の形成が予想されるアルミニウムと鉄鋼との接合を取り上げ、その接合性について調査した。

実験に使用した材料は直径が 10 mm、長さが 40 mm の A1050 の工業用純アルミニウム及び軟鋼の SS41 である。これらの材料の端面同士を 5×10^{-2} Pa の真空容器内で突き合わせ、高周波誘導加熱により 550℃で 1.8 ks 間、接合圧力を 1 MPa の条件で接合を行った。そして、接合部の引張試験を行ったところ、その接合部強さは 25 MPa の低い値が得られた。これは川勝らの結果⁴⁾とほぼ同じ値である。次に、接合性を改善する目的で接合温度、接合時間及び接合圧力をそれぞれ 640℃、3.6 ks 及び 4.9 MPa と高くして接合を行った。しかし、その接合部強さは極めて低く、容易に接合部から破断し、引張試験片への機械加工はできなかった。次に、この試料の SS41 側の破面に対して、 $\text{CuK}\alpha$ 線を用いて X 線回折を行なった結果、 FeAl_3 及び Fe_2Al_5 のピークが認められた。このような結果は Iwamoto らによっても認められており、その接合部強さは非常に低いこと

*原稿受付 平成2年4月23日 平成3年度春季全国大会で論文発表講演

**正 員 九州工業大学 Member, Kyushu Institute of Technology

***学 生 員 九州工業大学 Student Member, Kyushu Institute of Technology

**** 富士電波工機(株) Fuji Electronic Industrial Co., LTD.

が報告されている⁵⁾。さらに、接合性を改善するためにインサート金属を用いた接合が考えられる。Iwamotoら⁵⁾及び桃野ら⁶⁾によって種々検討されているが、母材強さに達するような接合部強さは得られていない。

そこで、接合時において通常の拡散接合では実施されないような大きな変形を与えて接合界面の密着性を向上させ、さらに接合界面での構成元素の拡散をできるだけ少なくして接合する方法が考えられる。この条件を満たす方法としては板材のクラッド化に限られるが、圧延機を用いる方法が有効と考えられる。

2.2 真空圧延接合装置の試作

2.2.1 圧延圧接法の問題点

従来の熱間における圧延圧接法では異種金属端面のシール溶接が困難であったり、最終的に密閉容器の除去が必要である等の技術的難題がある。また、冷間圧延圧接法では、被接合材に対して大きな加工度の変形を与えて圧接した後、接合界面での元素の拡散及び接合時に与えられた加工硬化層を軟化させる目的で拡散焼鈍を行う必要がある。

2.2.2 真空圧延接合装置の設計理念とその概要

アルミニウムはもちろんのこと、アルミニウムを数%程度含有するアルミニウム青銅においても、その表面には Al_2O_3 の形成が認められる⁷⁾。そのために何らかの方法でその皮膜を破壊するか、または Al_2O_3 の皮膜が形成されないようにしなければならない。一般に、酸化皮膜は脆性であることから、それを破壊する方法としては金属に塑性変形を与えることが有効である⁸⁾。酸化皮膜が破壊されれば金属の新生面が露出するが、熱間で接合する場合にはその新生面が再び酸化されないようにして直ちに接合しなければならない。そのため接合雰囲気はできるだけ高真空が望ましい。また、新生面同士の接触だけでは金属的接合は不十分であり、母材及び合わせ材の構成元素の相互拡散を金属間化合物が形成されない範囲内で生じさせる必要がある。

これらのことを考慮の上、接合装置には以下の条件が満たされるようにした。①酸化皮膜の破壊に有効な圧延圧接法を採用する。②接合容器内は、新生面を保護するために真空雰囲気とする。③金属の塑性変形が容易に生じ、しかも接合後に接合界面での元素の相互拡散を生じ

Table 1 Specifications of the roll bonding apparatus

Vacuum chamber	
Size	: 0.145 m ³
Rotary vacuum pump	
pumping speed	: 0.025 m ³ /s
Oil diffusion pump	
pumping speed	: 1.95 m ³ /s
Ultimate press.	: 2×10^{-3} Pa
Rolling mill	
Roll size	: $\phi 110 \times 150$ mm
Rolling speed	: 0.17 ~ 16.7 mm/s
Max. load	: 196 kN
Heating apparatus	
High frequency induction heating	
Frequency	: 7 kHz
Power	: 50 kW
Specimen	
Size	: $t20 \times 100 \times 500$ mm

させる目的で、予め加熱を行う。④冷却速度が速く、しかもある程度制御できること。⑤短時間で高真空が得られ、しかも加熱中に接合界面で金属間化合物が形成されないように試料への加熱が急速に行われること。

Fig. 1 に真空圧延接合装置の概略図を示す。試料は装置内を排気した後、送りローラーで移動させながら高周波誘導加熱コイルにより加熱される。加熱された試料の温度は放射温度計により測定される。次いで試料は圧延機により連続的に圧延接合され、圧延機の右側の冷却室で冷却される。

Table 1 に本装置の仕様を示すが、真空容器は上堀らの装置⁹⁾に比較して 0.145 m³ と小さいにもかかわらず、圧延接合可能な試料寸法は $t20 \times 100 \times 500$ mm とかなり大きいのが特徴である。また、出力 50 kW の高周波誘導加熱装置を持っており、急速加熱を行いながら、連続的に圧延接合を行うことができる。ここでは本接合装置を用いた接合法を真空圧延接合法と呼称する。

2.2.3 接合中の真空度の変化

本装置を用いて $t8 \times 80 \times 300$ mm の SS 41 の軟鋼板と $t2 \times 80 \times 300$ mm のタフピッチ銅板を接合した。接合条件は加熱温度を約 900°C とし、圧延速度及び圧下率をそれぞれ 1.8 mm/s 及び 5% とした。Fig. 2 に真空度と真空系の主バルブを開口した後の経過時間との関係を

Fig. 1 Schematic diagram of the vacuum roll bonding apparatus

Fig. 2 Change of vacuum degree during roll bonding

Table 2 Materials used and bonding conditions

Materials	Temp. (°C)	Reduction (%)	Rolling speed(mm/s)
a. Al(t=3.5mm)/SS41(t=8mm)	500	1~8	2~16
b. A5083(t=3.5)/SS41(t=8)	500	5	4
c. Cu(t=2)/SS41(t=8)	900	1~7	2~16
d. Ti(t=6)/SS41(t=8)	880	6	4
e. SUS304(t=2)/SS41(t=8)	1050	10	5
f. Al(t=3.5)/Cu(t=5)	500	2~8	2~10
g. Al(t=3.5)/Ti(t=1.7)	500	4.6	5
h. Cu(t=2)/Ni(t=3)	850	9	10
i. Cu(t=2)/Ti(t=6)	880	5	5
j. Nb(t=0.75)/Ti(t=6)	1050	17	10

示す。真空度はロータリーポンプによる荒引きから 2×10^{-3} Pa の高真空に達するまでに約13分を要する。そして、加熱を開始して約 1 分後に試料の温度は 900℃ になった。そのときの真空度は加熱前よりも若干悪くなるが、ほぼ 5×10^{-3} Pa の一定値に保持され、圧延圧接中もほとんど変化しなかった。

3. 真空圧延接合法による各種クラッド材の製造

3.1 使用材料及び実験方法

ここで使用した材料はいずれも市販の純アルミニウム (99.99 mass% Al), アルミニウム合金 (A 5083), タフピッチ銅 (C 1100 P), 軟鋼 (SS 41), ステンレス鋼 (SUS 304), インバー (Fe-42 mass%Ni), 工業用純ニッケル (VCNiPl), 工業用純チタン (TP 35 H) 及びニオブ板である。

Table 2 に使用材料の板厚と各種クラッド材の接合条件を示す。これらの材料を板厚 80 mm, 長さ 300 mm に切断して実験に供した。軟鋼は研削加工により板厚 8 mm に仕上げた。軟鋼以外の試験材については、接合実験の直前にその接合表面を $\phi 0.2$ mm のステンレス製のワイヤブラシで磨いた。次に、これらの試料をアセトン及びメタノールを用いて超音波洗浄した後、真空度を $2 \sim 5 \times 10^{-3}$ Pa に設定して接合を行なった。接合温度は低融点金属の融点 (K) の 70~85% に設定し、 $\pm 10^\circ\text{C}$ でコントロールした。

接合性の評価は、いずれのクラッド材についてもせん

Fig. 3 Shape and dimensions of a test piece for shear test

断試験を行なって接合部強さを求めた。Fig. 3 にせん断試験片の形状及び寸法を示す。せん断試験片の材料Aには、構成材料のうち柔らかい方の金属が位置するようにした。せん断試験は、試験片の中央部の突起部Aが界面破壊されるように JIS-G-0601 に準拠した治具を用いて行った。

3.2 実験結果及び考察

3.2.1 アルミニウムクラッド鋼及び銅クラッド鋼の製造

拡散接合法によって高い接合強さが得られない組合せ及び良好な接合が可能な組合せとして、それぞれアルミ

(a) Al-clad steel

(b) Cu-clad steel

Fig. 4 Bond microstructures of Al-clad and Cu-clad steel

ニウムと軟鋼及び銅と軟鋼⁹⁾との接合を真空圧延接合装置を用いて行い、それらの接合部の特性を調査した。

(1) 接合部のマイクロ組織

Fig. 4(a) 及び (b) にそれぞれアルミニウムクラッド鋼及び銅クラッド鋼の接合部組織を示す。これらのクラッド材は接合条件を圧下率 5%—圧延速度 2 mm/s とし、接合温度を前者に対しては約 500°C、後者に対しては約 900°C として製造したものである。いずれの接合部境界においても光学顕微鏡的には未接合部は認められず、また、金属間化合物層も観察されない。次に、Fig. 5(a) 及び (b) は接合部を EPMA により線分析した結果である。Al と Fe 及び Cu と Fe の相互拡散はほとんど認められない。すでに述べたように、アルミニウムと軟鋼を拡散接合すると接合界面に金属間化合物層が形成された。しかし、本方法による接合界面には、金属間化合物層は認められなかった。

アルミニウムクラッド鋼の接合境界部における元素の

Fig. 5 Results of EPMA analysis on the bonded zones

拡散状況を分析電子顕微鏡を用いて詳細に調べた。Fig. 6 にその接合部において、4 nm のビーム径を有する分析電子顕微鏡を用いて Al と Fe の分析を行なった結果を示す。アルミニウム側への Fe の拡散はほとんど認められないが、軟鋼側への Al の拡散は約 50 nm の範囲に亘って生じていることがわかる。このように、EPMA 分析によってほとんど認められなかった Al と Fe の拡散も、微小領域においては生じていることがわかった。

(2) セン断試験結果

アルミニウムクラッド鋼及び銅クラッド鋼の接合部のせん断強さに及ぼす圧下率及び圧延速度の影響を Fig. 7 (a) 及び (b) に示す。いずれのクラッド鋼についても圧下率が小さい場合には、接合部のせん断強さは少し小さい。しかしながら、アルミニウムクラッド鋼のせん断強さは、圧下率が 5% 以上になるとほぼ一定の $\tau_B \approx 55$ MPa を示し、銅クラッド鋼の場合には圧下率が 3% 以上になると $\tau_B \approx 170$ MPa であった。これらの接合部のせん断強さは、いずれもせん断試験した際に被着体破壊を生じたため、アルミニウム又は銅のせん断強さと同等以上であると考えられる。そして、このせん断強さは圧延

Fig. 6 Result of EDX analysis on the bonded zone of Al-clad steel

(a) Al-clad steels

(b) Cu-clad steels

Fig. 7 Effects of the reduction and the rolling speed on the bond shear strength of Al-clad and Cu-clad steels

速度にほとんど依存しなかった。

このように真空圧延接合装置を用いて接合すれば、銅と軟鋼との接合はもちろんのこと、拡散接合により高い接合部強さが得られなかったアルミニウムと軟鋼との接合についても数%の低下率の条件でも良好な接合ができることが明らかになった。

(3) 接合機構の検討

冷間圧延法によるクラッド材の製造においては、新生面の露出が重要であることが知られている。本法においても新生面の露出は、接合性を左右する重要な要因と考えられる。そこで、アルミニウム板と軟鋼板を真空圧延接合した際に、アルミニウムがどの程度伸びるかにについて調査するために、接合前にアルミニウムと軟鋼の側面に一定間隔で標点を描き、アルミニウムの板厚が 3.5 mm から 3.0 mm になるように圧延接合した。接合後の標点の変化を Fig. 8 に示す。アルミニウム板がかなり伸ばされていることがわかる。この伸び率と測定位置の関係を Fig. 9 に示す。Fig. 8 の結果は試料番号 No. 805 のものである。伸び率には測定位置によって若干の変動が認められるが、アルミニウム板の方が全体的に15%程度大きいことがわかる。この結果、アルミニウム表面の脆性な酸化皮膜は破壊され、新生面が露出した後に接合が生じたことが推察される。

本方法による接合機構は、次のように考えられる。アルミニウム板及び SS 41 鋼板は圧延接合される直前に、約 500℃ に加熱されるため、活性な金属であるアルミニウム板の表面には真空中でも酸化皮膜が形成されるが²⁷⁾、圧延によってその酸化皮膜は破壊される。露出した新生面は真空中であることと、連続的に圧延が行なわれるために、新たな酸化が生じないうちに直ちに接合される。そして、圧延接合後過程において、EPMA 分析では認められない程度の Al と Fe の相互拡散が生じるものと考えられる。この結果、強固な接合が可能になったと考

Fig. 8 Test piece for measuring deformation at roll bonding

Fig. 9 Relative elongation of aluminum after roll bonded

えられる。

3.2.2 その他のクラッド材の製造

Fig. 10 に圧下率を17%, 圧延速度を 10 mm/s の条件で圧延接合したニオブクラッドチタンの接合部におけるミクロ組織を示す。接合部においては、Ti 側に Nb が拡散したと考えられる層が認められるものの接合は良好である。EPMA による分析結果を Fig. 11 に示すが、Nb と Ti の相互拡散はほとんど認められない。このほかステンレスクラッド鋼及び銅クラッドニッケルの接合部についても未接合部は認められず、いずれも良好な接合ができていた。これらの3種のクラッド材はいずれも主要な構成元素間で金属間化合物を形成しないタイプでもあり、良好な接合が可能であったと思われる。

次に、アルミニウムクラッド鋼と同様に接合部において種々の金属間化合物を形成し、拡散接合が困難と思われるアルミニウム合金 (A 5083) クラッド鋼、アルミニウムクラッド銅、アルミニウムクラッドチタン、銅クラッドチタン及びチタンクラッド鋼の製造を真空圧延接合法により行なった。一例としてアルミニウムクラッド銅の接合部組織を Fig. 12 に示す。接合は圧下率を 8%, 圧延速度を 5 mm/s として行った。アルミニウムクラッド銅の接合部においても未接合部及び金属間化合物の形成は認められず、良好な接合ができていたことがわかる。接合境界部には、約 2 μm の幅で拡散層が認められたので、EPMA により Al と Cu の線分析を行なった。その結果を Fig. 13 に示すが、Al と Cu の相互拡散

Fig. 10 Bond microstructure of Nb-clad Ti

Fig. 11 Result of EPMA analysis on the bonded zone of Nb-clad Ti

Fig. 12 Bond microstructure of Al-clad Cu

Fig. 13 Result of EPMA analysis on the bonded zone of Al-clad Cu

は明瞭に認められない。次に、Fig. 14 にアルミニウムクラッド銅の接合部のせん断強さに及ぼす圧下率と圧延速度の影響を示す。圧下率が低い場合には界面破壊が生じ、そのせん断強さは15 MPa 程度であるが、圧下率の増加にともなってほぼ直線的に上昇している。そして、せん断強さは圧下率が7%及び8%になるとほぼ一定値を示し、これらの試料は被着体破壊した。また、界面破壊が生じる場合のせん断強さは、圧延速度が5 mm/s 及び10 mm/s の場合の方が $v=2$ mm/s の場合よりも少し高い値を示す傾向が認められる。これは圧延速度が大きいほど圧延接合後の接合部の温度が高いために、拡散が進行し高い接合強さが得られたものと考えられる。実際に圧延接合直後の接合部の温度を熱電対を用いて圧延速度が2 mm/s 及び10 mm/s の場合について測定したところ、後者の方が前者よりも約80℃高いことがわかった。この他のクラッド材についてもアルミニウムクラッド銅と同様に、未接合部及び金属間化合物層は認められなかった。

これらのクラッド材に対して接合部におけるせん断試験を行った結果を Fig. 15 に示す。白棒は被着体破壊が生じたことを示し、斜線棒は界面破壊が生じたことを示す。アルミニウムクラッド銅をせん断試験すると、すでに述べたように接合界面でせん断破壊せず、被着体破壊した。同様にアルミニウムクラッドチタン及びアルミニウムクラッド銅についても被着体破壊が生じ、それぞ

Fig. 14 Effects of the reduction and the rolling speed on bond shear strength of Cu-clad Al

Fig. 15 Bond shear strength of various clad metals

れ非常に高いせん断強さを有していることがわかる。銅クラッド銅、銅クラッドチタン及び銅クラッドニッケルの接合部強さも非常に高く、いずれも被着体破壊が生じた。なお、銅クラッド銅のせん断強さはJISに規格値があるが、本実験で得られた値はこれを大きく越えている。次に、アルミニウム合金クラッド銅、ステンレスクラッド銅及びチタンクラッド銅は、せん断試験した際に接合部において破壊した。しかし、それらのせん断強さは非常に高くアルミニウム合金クラッド銅では200 MPa、ステンレスクラッド銅では350 MPa そしてチタンクラッド銅では230 MPa である。図中にはJISの規格値も示しているが、ステンレスクラッド銅及びチタンクラッド銅のせん断強さはこの値を大きく上回っており、この結果は上堀らの結果³⁾とほぼ同じであった。

このように真空圧延接合法によって製造されたクラッド材の接合界面近傍での元素の拡散は、EPMAによってほとんど検出できなかったが、そのせん断強さは非常

に高い値が得られることがわかった。

4. 結 論

真空圧延接合装置の試作を行うとともに本方法による接合機構並びに本方法により製造された Al/SS 41, A 5083/SS 41, Cu/SS 41, Ti/SS 41, SUS 304/SS 41, Al/Cu, Al/Ti, Cu/Ni, Cu/Ti 及び Nb/Ti のクラッド材の接合部組織と接合部強さについて検討した。主な結果は次の通りである。

アルミニウムと軟鋼の接合で代表されるような拡散接合が困難な異種金属のクラッド化が本方法により、低下率の条件でも極めて良好に行うことができた。これは表面の酸化皮膜層が圧延により破壊され、直ちに接合が行われるためである。また、接合が熱間において行われるため接合中及び接合部の冷却過程において、EPMA による分析では明確に把握できないような元素の拡散が生じ、非常に高い接合強さが得られたものと考えられる。クラッド材のせん断強さは、A 5083/SS 41, SUS 304/SS 41 及び Ti/SS 41 クラッド材においては JIS 規格値を十分に満足するものであった。その他のクラッド材についても非常に高い接合部強さを示し、せん断試験した際に界面破壊されず、被着体破壊が生じた。

謝 辞

本装置の開発は昭和62年度福岡県地域システム技術開発事業の受託研究の一環として行った。また、本研究の一部は明専会80奨学金及び三井金型振興財団から研究

補助金を得て行ったものである。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 迎, 西尾, 加藤, 鳥越, 矢野, “固相接合法を利用した制振鋼板の開発—球状黒鉛鋳鉄の固相接合(第5報)—”, 溶接学会論文集, Vol. 8 (1990), No. 1, 14
- 2) たとえば, 本村, 小島, “真空圧延機の試作とその特性”, 鋳研報告, No. 32 (1977), 23
- 3) 上堀, 松本, 菊間, 川並, “真空圧延によるクラッド鋼の接合特性”, 塑性加工春期講演論文集, 1988, 419
- 4) 川勝, 北山, “金属の拡散接合に関する研究”, 日本金属学会誌, Vol. 40 (1976), 96
- 5) N. Iwamoto, M. Yoshida, S. Tabata, T. Takeuchi, M. Makino, “Studies on Practical Diffusion Welding”, Proc. 2nd Sympo. Jap. Weld. Soc., Osaka, 1975, 233
- 6) 桃野, 園城, “アルミニウムと鉄鋼の拡散溶接”, 軽金属, Vol. 35 (1985), 396
- 7) 芹野, 益本, 浅田, 西尾, 迎, “接合性に及ぼす酸素の影響—含Si軸受用アルミニウム青銅とオーステナイト系ステンレス鋼の固相接合(第3報)—”, 溶接学会論文集, Vol. 7 (1989), 181
- 8) N. Bay, “Mechanisms Producing Metallic Bonds in Cold Welding”, Welding J., 1983, 137 S
- 9) 園城, 池内, “異種金属間の拡散接合継手における界面反応とその継手強さに対する影響”, 溶接学会溶接法委資料, SW-1509-84

核融合炉候補材料およびそれらの電子ビーム溶接継手の極低温における衝撃特性*

加賀精一**, 福原 驍***, 藤井克弘**, 小川恒一***, 馬場登志昭****, 山本義秋*****

Impact Property at Cryogenic Temperature of Candidate Materials for Fusion Reactor and Their Electron Beam Welded Joint

by Seiichi Kaga**, Isamu Fukuhara*****, Katsuhiro Fujii***, Kouichi Ogawa*****, Toshiaki Baba**** and Yoshiaki Yamamoto*****

Impact properties at cryogenic temperature of candidate materials for fusion reactor and their electron beam welded joints are investigated by using instrumented Charpy impact testing apparatus. Material used are aluminum alloys (A7N01, A5083, A6061), JFMS (Japanese Ferritic Martensitic Steel) and two kinds of high manganese steels. Although JFMS is a steel for high temperature use, the impact test is

*原稿受付 平成元年12月1日 平成3年度春季全国大会で論文発表講演

**正 員 大阪工業大学 Member, Osaka Institute of Technology

***正 員 大阪府立大学 Member, University of Osaka Prefecture

****学 生 員 大阪工業大学 Student Member, Osaka Institute of Technology

*****正 員 摂南大学 Member, Setsunan University