爆接クラッド鋼の境界部挙動について (第1報)*

村上 善一** 西田 稔**

Behavior of Bonded Interface of Explosive Cladding Steel (Report 1)*

by Zen-ichi Murakami** and Minoru Nishida**

Abstract

The microstructures of the interface of SUS 27, SUS 28 and SUS 29 stainless explosive cladding steel, 5 Cr-0.6 Mo over-layer cladding steel and SUS 27 roll cladding steel which had been subjected to heat treatments at various temperatures were investigated by microscopy and electron probe microanalyzer, and the correlations between width of decarburized band and carburized band, heat treatment temperature and time were examined.

It was found that the width of decarburized and carburized band could be correlatable by means of the parameter equation of Christoffel-Cürran, $P/=-K_1T+\log t$, or the parameter equation of Larson-Miller, $P_2=T(C+\log t)$. For the aluminium explosive cladding steel, exposure to a high temperature for a long time promotes interdiffusion of aluminium and iron. The width of interdiffusion band may be correlatable by Larson-Miller parameter.

1. 緒 言

クラッド鋼は石油化学機器, 原子力発電装置, 耐食性を必要とする压力容器などに広く使用されていることは周知のことであるが, 従来の肉盛溶接や圧延などの方法によって製作されるクラッド鋼に代って爆薬の爆発エネルギーを利用して金属同志を加速衝突させて接合する方法である爆接クラッド鋼が多く使用されるようになった。

しかし, 爆接クラッド鋼は他の方法によるクラッド鋼と異なり接合境界部は衝突のさいに強度の塑性加工を受け, また, 波状的な接合や合金層の発生など特殊な接合様式を示す。

本報は爆接材の高温使用時における接合境界部挙動を明らかにすることを目的としたものである。ここでは, その第1報として, もっとも一般的に使用されているオーステナイトステンレス爆接クラッド鋼について熱処理温度, 熱処理時間と脱炭層幅および滲炭層幅の関係を検討し, 5Cr-0.6Mo 肉盛クラッド鋼およびオーステナイトステンレス圧延クラッド鋼のそれと比較した結果と, X線マイクロアナライザーにより炭素以外の元素(たとえば, Cr, Fe, Ni など)の拡散の有無についても検討して, その結果も示す。併せてアルミニウム爆接クラッド鋼についても二, 三の境界部挙動についてのべる。

2. 供 試 材 料

Table 1 は材料の組合せおよびクラッド製作方法を示したものである。ただし SUS27 圧延クラッド鋼は軟鋼と SSU27 クラッド材の間にニッケル箔(約 40 μ)を挿入した市販のものである。

Table 1 Combination materials and cladding process

Base metal	Clad metal	Cladding process
SS 41	5 Cr-0.6 Mo	weld
	SUS 27	explosion
	SUS 28	
	SUS 29	
	SUS 27	roll
	AlPI-0	explosion

これらのクラッド鋼の母材として SS41 軟鋼(板厚 20 mm)を使用し, 合材として 5Cr-0.6Mo 溶接棒, SUS27, SUS28 および SUS29 オーステナイトステンレス鋼(3 mm)そして AlPI-O アルミニウム(13 mm)を使用した。Table 2 はこれら材料の化学組成を示す。

3. 実 験 方 法

3. 1 熱処理方法

各クラッド鋼試材より 40 mm $\times$ 40 mm $\times$ t mm (t: クラッド鋼の全厚)の熱処理用試験片を切り出し, これらの試験片を 400 $^{\circ}$ C $\sim$ 700 $^{\circ}$ C に 1 $\sim$ 500 時間加熱し, 加熱

* 原稿受付 昭和46年7月23日 (45年度秋季全国大会に発表)

** 正 員 愛媛大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Ehime University

Table 2 Chemical composition of materials (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	The others
SS 41 (I)	0.20	0.23	0.80	0.019	0.015	—	—	—	
SS 41 (II)	0.11	0.24	0.74	0.020	0.020	—	—	—	
5Cr-0.6Mo	0.06	0.47	0.60	—	—	0.07	5.28	0.6	
SUS 27 (III)	0.072	0.75	—	—	—	8.80	18.41	—	
SUS 27 (IV)	0.072	0.63	—	—	—	9.17	18.27	—	
SUS 28	0.023	0.76	—	—	—	10.46	18.48	—	
SUS 29	0.060	0.90	—	—	—	9.31	17.46	—	0.43Ti
AIPI-0	—	0.02	0.001	—	—	0.002	—	—	<99.63 Al, 0.33 Fe

(I) Base metal of SUS 27, 28, 29, and Aluminium-carbon steel explosive clad and 5Cr-0.6Mo steel-carbon steel over lay clad

(II) Base metal of SUS27-carbon steel roll clad

(III) Clad metal of SUS27-carbon steel explosive clad

(IV) Clad metal of SUS27-carbon steel roll clad

後の冷却は空冷とした。なお、本実験に使用した熱処理炉は環状電気炉で温度精度は $\pm 3^{\circ}\text{C}$ であった。

3. 2 脱炭層と滲炭層の幅測定および硬さ測定

熱処理を行なった各試験片の中央部より $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times t\text{ mm}$ (t : クラッド鋼の全厚) の試料を切り出し、爆接クラッド鋼では爆接方向、圧延クラッド鋼では圧延方向と平行な断面を研磨し、エッチング後、脱炭層および滲炭層の幅を顕微鏡を用いて計測した。計測は5カ所行ない平均値をもって脱炭層および滲炭層の幅とした。なお、爆接クラッド鋼については Photo. 2 で示すごく接合面が波状であるため計測は母材軟鋼の波の山の部分より測定した。

硬さ測定は接合境界面を中心にクラッド材側および母材軟鋼側へ間隔 $0.1\text{ mm} \sim 0.3\text{ mm}$ でビッカース微小硬さ計にて計測した。

3. 3 濃度分布測定

SUS27 爆接クラッド鋼とアルミニウム爆接クラッド鋼については、爆接のままおよび熱処理後の試料をX線マイクロアナライザーにより爆接接合面近傍の Fe, C, Ni, Cr そして Al 濃度分布の測定を行なった。なお、ビーム径は 0.8μ であった。

4. 実験結果ならびに考察

4. 1 顕微鏡組織と X 線微小分析

Photo. 1~Photo. 8 は代表的な顕微鏡写真と反射電子線像および特性 X 線 ($K\alpha$) 像を示す。

Photo. 1 は 5Cr-0.6Mo 肉盛クラッド鋼の溶接のままと、 550°C で 100 時間そして 700°C で 50 時間熱処理を施した後の接合境界部の顕微鏡組織である。

炭素は 550°C で 100 時間の熱処理により接合境界面をとおして軟鋼母材から 5Cr-0.6Mo クラッド溶接金属側へ移動し、軟鋼側には脱炭層、5Cr-0.6Mo 側には滲炭層が認められる。さらに熱処理温度が高くなると脱炭層の幅が広くなり、脱炭層内のフェライトの粗大化が認

Photo. 1 Microstructure of over Lay weld interface. (5Cr-0.6Mo steel to carbon steel)

められる。このフェライトの成長方向には一定の指向性があり、時間および温度の増加とともに板厚方向へ細長く伸びている。また、滲炭層も熱処理温度、時間の増加にともなって成長している。

Photo. 2 は SUS27 爆接クラッド鋼についての顕微鏡写真である。 550°C で 50 時間の熱処理により軟鋼側には脱炭層、SUS27 側には滲炭層、そして脱炭層には一部粗大化したフェライトも認められる。熱処理温度が

Photo. 2 Microstructure of explosive clad interface. (SUS 27 to carbon steel)

700°C になると脱炭層の幅も広くなり、フェライトもより成長する。しかし、SUS27 爆接クラッド鋼の場合、5Cr-0.6Mo 肉盛クラッド鋼のように境界面からフェライトの成長が始まるのではなく、3～4個の微小なフェライトが境界部に存在したのち成長している。このような傾向は SUS28, SUS29 爆接クラッド鋼についても認められた。

Photo. 3, Photo. 4 は爆接のままと 700°C で 500 時間熱処理を施した後の接合境界部の反射電子線像および Fe-K α 線像, Ni-K α 線像, Cr-K α 線像, C-K α 線像で

Photo. 3 X-ray scanning image of explosive clad interface. (SUS 27 to carbon steel, as explosive clad condition, reduced 70% on reproduction)

Photo. 4 X-ray scanning image of explosive clad interface. (SUS 27 to carbon steel, exposed 500 hr at 700°C, reduced 70% on reproduction)

ある。

Fig. 1, Fig. 2 は Photo. 3, Photo. 4 の矢印の位置

Fig. 1 Concentration profiles across explosive clad interface. (SUS 27 to carbon steel, as explosive clad condition)

Fig. 2 Concentration profiles across explosive clad interface. (SUS 27 to carbon steel, exposed 500 hr at 700°C)

を線分析したものである。

爆接のままの線分析は巻込み部を通過しているため、SUS27 ステンレス鋼側にステンレス鋼とは異った組成のピークが生じた。しかし、この幅が非常に狭いため組成を明らかにすることはできなかった。また、爆接のままの状態では微量であるが、Cr は 12μ 、Ni は 3μ 軟鋼へ拡散し、Fe は 3μ SUS27 ステンレス鋼へ拡散していることがわかった。熱処理後では、Fe, Ni, Cr の濃度とも軟鋼からステンレス鋼へ緩かな遷移を示し、Fe, Ni, Cr の拡散の幅は $30\mu\sim40\mu$ にもおよんでいた。この拡散の幅は顕微鏡写真で黒くエッチされる幅 ($10\mu\sim20\mu$) より広くなっており、かなり深くまで Fe, Ni, Cr が拡散することが明らかとなった。SUS27 ステンレス鋼中での Cr, Ni の偏析が著しく、これはクロム炭化物の凝集および他相の析出によるものと思われるがさらに検討を必要とする。

Photo. 5 は SUS27 圧延クラッド鋼の受け入れのままと、 600°C で500時間および 700°C で500時間熱処理を施したのちの顕微鏡組織である。顕微鏡的には、 600°C で500時間の熱処理後の組織は受け入れのままとの組織と顕著な差異が認められなかった。脱炭層および滲炭層がみられないのはニッケル箔が軟鋼と SUS27 の中間に挿入しているため炭素の移動が抑制されたものと思われる。

Photo. 5 Microstructure of roll clad interface. (SUS to 27 carbon steel)

しかし、熱処理温度が 700°C になるとニッケル箔をとおして軟鋼から SUS27 へ炭素が移動し、軟鋼側には脱炭層、SUS27 側には滲炭層が生じた。なお、炭素の移動は写真からも明らかなごとく結晶粒内に比べて粒界の方が著しい。

Photo. 6 はアルミニウム爆接クラッド鋼の爆接のままと、 500°C で5時間および500時間熱処理を施した後

Photo. 6 Microstructure of explosive clad interface. (aluminium to carbon steel)

の接合境界部の顕微鏡組織である。爆接のままの接合境界部近傍の軟鋼は爆接時における塑性変形により結晶粒が塑性流動した組織をていしている。顕微鏡的には、 500°C で5時間の熱処理後の軟鋼組織は爆接のまま組織と顕著な変化は見られないようであるが、接合境界面にそってビッカース硬さで $600\sim900$ と著しく高い層が析出しているのが認められた。(エッチされない白い層) さらに熱処理時間が長くなるにしたがってこの高硬度層は成長する。また、 500°C においても熱処理時間が長くなると接合境界部の軟鋼側にも変化が見られ、パーライトが分解し、再結晶し微細な結晶粒となる。

Photo. 7, Photo. 8 は爆接のままと 600°C で100時間熱処理を施した後の接合境界部の反射電子線像および Fe-K α 線像, Al-K α 線像である。Fig. 3, Fig. 4 は Photo. 7, Photo. 8 の矢印の位置を線分析したものであ

Photo. 7 X-ray scanning image of explosive clad interface. (aluminium to carbon steel, as explosive clad condition, reduced 70% on reproduction)

Photo. 8 X-ray scanning image of explosive clad interface. (aluminium to carbon steel, exposed 100 hr at 600°C, reduced 70% on reproduction)

Fig. 3 Concentration profiles across explosive clad interface. (aluminium to carbon steel, as explosive clad condition)

Fig. 4 Concentration profiles across explosive clad interface. (aluminium to carbon steel, exposed 100 hr at 600°C)

る。

爆接のままでは Fe, Al の濃度とも接合境界面において 3~4 μ の幅で急激に遷移している。したがってビーム径とビーム移動速度を考慮すると、爆接のままの接合境界面では 1 μ 以下であるが Fe と Al が相互に拡散しているものと思われる。

それに対して、熱処理後では軟鋼とアルミニウムの間に Fe と Al が相互に拡散し生成した均一な層が認められる。この層の特性 X 線強度と母材の特性 X 線強度の比は Fe で 35%, Al で 45% となり、この比は熱処理温度、時間によってほとんど変らなかった。また、この層の幅とナイタールでエッチされなかった層の幅は比較的良好一致を示した。拡散層内の C の濃度は軟鋼およびアルミニウム中の濃度より低い傾向がみられた。

4. 2 脱炭層の幅

Photo. 1~Photo. 5 に示したごとく炭素は母材軟鋼から高クロムを含有するクラッド材へ移動し、母材軟鋼側には脱炭層が生じる。

Fig. 5, Fig. 6 は 5Cr-0.6Mo 肉盛クラッド鋼と SUS 27 爆接クラッド鋼の母材軟鋼に生じた脱炭層の幅と熱処理時間を両対数目盛でプロットしたものである。これらの図から明らかなように各熱処理温度について脱炭層の幅は熱処理時間に対して両対数で直線で表わされ、脱炭層の幅は熱処理時間に対して指数関数的に増加することがわかる。このような傾向は SUS28 爆接クラッド鋼や SUS29 爆接クラッド鋼についてもみられた。

Christoffel と Curran²⁾ は低合金鋼と高合金鋼の異材継手における炭素移動に関して熱処理温度と時間を別々のパラメーターとせず熱処理温度と時間を含む次の

Fig. 5 Effect of temperature on growth of decarburized band. 5 Cr-0.6 Mo steel to carbon steel. (over-lay clad)

Fig. 6 Effect of temperature on growth of decarburized band. SUS 27 to carbon steel. (explosive clad)

パラメーター P_1 を低合金鋼側の炭素濃度分布より求めている。

$$P_1 = -K/T + \log t \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 K : 材料の組合せにより決まる定数、 T : 絶対温度 ($^{\circ}\text{R}$)、 t : 時間 (hr) である。

Fig. 7, Fig. 8 は脱炭層の幅とパラメーター P_1 の関係を図示したものである。定数 K の値は 5Cr-0.6Mo 肉盛クラッド鋼については Christoffel と Curran が求めた値であり、SUS27, SUS28 そして SUS29 爆接クラ

Fig. 7 Width of decarburized band, versus parameter P_1 . 5Cr-0.6Mo steel to carbon steel. (over-layer clad)

Fig. 8 Width of decarburized band versus parameter P_1 . SUS 27, SUS 28 and SUS 29 to carbon steel. (explosive clad)

ッド鋼については著者の実験結果より求めた値である。

5Cr-0.6Mo 肉盛クラッド鋼のような一般的な溶接法の場合と同様に、特殊な接合法であるオーステナイトステンレス爆接クラッド鋼の場合も、測定点はほぼ一本の直線にのる。また、SUS27, SUS28 そして SUS29 爆接クラッド鋼とも同一直線にのることから、18Cr-8Ni 系オーステナイトステンレス鋼では Table 1 に示したような組成のちがいは、脱炭層の成長速度にほとんど影響を及ぼさないと考えられる。

つぎにクリープ現象における負荷応力と試験温度および破断時間の関係や、焼もどしにおける硬さと焼もどし温度および時間の関係などに用いられている次式の Larson-Milllr のパラメーター³⁾で脱炭層の幅と熱処理温度および時間の関係を整理する。

$$P_2 = T(C + \log t) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 T : 絶対温度 ($^{\circ}\text{R}$)、 t : 時間 (hr)、 C : 定数である。定数 C の値は次のようにして決定した。

(2) 式を変形すると

$$P_2/T = C + \log t$$

となる。いま一定の脱炭層の幅を考えると、熱処理温度 (絶対温度) の逆数 $1/T$ と熱処理時間の対数値は直線関係となり、したがって定数 C の値は $1/T=0$ のときの $-\log t$ の値となる。

Fig. 9 は SUS27 爆接クラッド鋼について、一定の脱炭層の幅における $1/T$ と $\log t$ の関係を図示したものである。一定の脱炭層の幅であれば $1/T$ と $\log t$ の関係は直線となり、その直線は $1/T=0$ で -10 に収束

Fig. 9 Log (heating time) versus reciprocal absolute temperature. SUS 27 to carbon steel. (explosive clad)

している。すなわち $C \approx 10$ となる。Fig. 9 は 1 例を示したもので著者の実験結果および他の研究者ら⁴⁾⁵⁾の炭素移動に関する実験結果を再整理すると、取り扱ったデータの範囲内では定数 C の値は材料の組合せにあまり関係なく 10 前後の値をとることが認められた。

Fig. 10 は 5Cr-0.6Mo 肉盛クラッド鋼と SUS27 爆接クラッド鋼に生じた脱炭層の幅と (2) 式のパラメーター P_2 の間係を図示したものである。

測定点は Christoffel-Curran のパラメーター P_1 で整理した場合と同様に一本の直線にのりようである。ま

Fig. 10 Width of decarburized band versus parameter P_2 .

た、5Cr-0.6Mo 肉盛クラッド鋼と SUS27 ステンレス爆接クラッド鋼が同一直線にのり、Christoffel-Curran の実験結果 (低合金鋼側が軟鋼であれば高合金鋼側のクロム量を 5 % 以上にしても脱炭層の幅はほとんど増加しない。) と一致した。

4. 3 滲炭層の幅

Fig. 11, Fig. 12 は 5Cr-0.6Mo 肉盛クラッド鋼と SUS27 ステンレス爆接クラッド材側に生じた滲炭層に

Fig. 11 Width of carburized band versus parameter P_1 . 5Cr-0.6Mo steel to carbon steel. (over-lay clad)

Fig. 12 Width of carburized band versus parameter P_1 . SUS 27 to carbon steel. (explosive clad)

について, その幅と Christoffel-Curran のパラメーター P_1 の関係を図示したものである。定数 K の値を 18,500 と 13,600 とれば測定点はほぼ一本の曲線になるようであるが, SUS27 ステンレス爆接クラッド鋼の場合, パラッキが大きく, また, 定数 K の値は Christoffel と Curran が求めた値 18,500 に比べてかなり小さな値となった。

脱炭現象は拡散現象であったが, 滲炭現象は拡散と折出現象の組合された現象である。しかし, 脱炭層の項で求めた Larson-Miller のパラメーターにおける定数 C の値は滲炭層についても10前後の値をとることが認められた。

Fig. 13 は 5Cr-0.6 肉盛クラッド鋼と SUS27 ステンレス爆接クラッド鋼の滲炭層の幅とパラメーター P_2

Fig. 13 Width of carburized band versus parameter P_2 .

Fig. 14 Hardness distribution of over-layer steel. 5Cr-0.6 Mo steel to carbon steel.

の関係を図示したものである。測定点はおのおのほぼ一本の曲線にのる。脱炭層の幅は 5Cr-0.6Mo 肉盛クラッド鋼と SUS27 ステンレス爆接クラッド鋼では, 同じパラメーターの値に対してほぼ同じ値をとったが, 滲炭層の幅については SUS27 ステンレス爆接クラッド鋼が 5Cr-0.6 Mo 肉盛クラッド鋼に比べて狭い, これはクロム量増加にともなう炭化物の析出密度の増加と, オーステナイト中の炭素移動速度がフェライト中でのそれ比べて著しく小さい (約1/10) が起因していると思われる。

4. 4 硬さ変化

Fig. 14, Fig. 15 は 5Cr-0.6Mo 肉盛クラッド鋼と SUS27 ステンレス爆接クラッド鋼について熱処理時間を50時間とし熱処理温度を変化させたときの接合境界面上下の板厚方向の硬さ分布を示したものである。図中の母材軟鋼側の脱炭層の硬さを熱処理時間に対して示したのが Fig. 16, Fig. 17 である。

炭素の移動によって生じた母材軟鋼側の脱炭層の硬さはパーライト組織より低下しており, 熱処理温度が高くなるほど低下する傾向がある。また, 硬さの低下している幅と脱炭層の幅とはほぼ一致しているようである。それに対してクラッド材側の境界部における硬さの上昇は熱処理をしていないものを除き炭素移動によって生じた炭化物の析出によるものと思われる。

Fig. 14, Fig. 16 から, 5Cr-0.6Mo 肉盛クラッド鋼においては熱処理時間が一定の場合, 脱炭層の硬さは熱処理温度が高くなるほど低下し, 熱処理温度が一定の場合, 硬さは熱処理時間の増大とともに低下するが, 50時間から 100 時間の増加に対する硬さの低下の割合は減少する。

SUS27 ステンレス爆接クラッド鋼では熱処理時間を一定とした場合の熱処理温度と脱炭層の硬さの傾向は

Fig. 15 Hardness distribution of explosive clad steel. SUS 27 to carbon steel.

Fig. 16 Effect of time on minimum hardness of decarburized band. 5 Cr-0.6 Mo steel to carbon steel (over-layer clad)

Fig. 17 Effect of time on minimum hardness of decarburized band. SUS 27 to carbon steel. (explosive clad)

5Cr-0.6Mo 肉盛クラッド鋼と同様である。しかし、熱処理温度を一定とした場合、硬さは 500°C では 10 時間、550°C~700°C では 100 時間まで著しい低下がみられ、それ以上熱処理時間が增大しても、硬さの低下はほとんどみられないか、低下してもわずかである。

上記のごとく、脱炭層の硬さが熱処理温度や熱処理時間によって影響される理由として脱炭層のフェライトに固溶している炭素濃度の相異や、フェライトの粗大化などが考えられるがさらに検討する必要がある。

4. 5 アルミニウム爆接クラッド鋼

Photo. 6~Photo. 8, Fig. 3, Fig. 4 に示したごとくアルミニウムと軟鋼の接合材を高温に保持すると接合境界面にビッカース硬さで 600~900 と著しく高いアルミニウムと鉄の相互拡散層が生じる。Fig. 18 はこの拡散層の幅と熱処理時間を両対教目盛でプロットしたものである。拡散層の幅も脱炭層や滲炭層の幅と同様に、各熱処理温度について熱処理時間とほぼ直線関係となる。

Fig. 18 Effect of time on growth of brittle band. Aluminium to carbon steel (explosive clad)

Fig. 19 はアルミニウムと鉄の相互拡散層の幅についても (2) 式の Larson-Miller のパラメーター P_2 で整理したものである。定数 C の値は脱炭層の項で述べた方法により求めた。この図より明らかなごとく測定点はほぼ 1 本の曲線にのり、拡散層の幅と熱処理時間および熱処理温度の関係にも Larson-Miller のパラメーター法が適用できるものと考えられる。

Fig. 19 Width of brittle band versus parameter P_2 . Aluminium to carbon steel. (explosive clad)

5. 結 言

以上の実験結果を要約すると次のとおりである。

(1) 炭素は熱処理により母材軟鋼側から高クロム含

有のクラッド材へ移動し、軟鋼側には脱炭層、クラッド材側には滲炭層を生じる。

(2) 炭素の拡散に比較すれば微小であるが、熱処理により鉄は軟鋼からオーステナイトステンレス鋼へ、クロム、ニッケルはオーステナイトステンレス鋼から軟鋼へ拡散することがX線マイクロアナライザーにより確認できた。

(3) 高温、長時間の熱処理により母材軟鋼の脱炭層内のフェライトは 5Cr-0.6Mo 肉盛クラッド鋼では接合境界面より、オーステナイトステンレス爆接クラッド鋼では3~4個隔てたフェライトから成長する。

(4) SUS27 ステンレス圧延クラッド鋼におけるニッケル障壁は軟鋼から SUS27 ステンレス鋼への炭素移動を減少させる。

(5) オーステナイトステンレス爆接クラッド鋼に生じる脱炭層および滲炭層の幅は Christoffel-Curran のパラメーター P_1 と Larson-Miller のパラメーター P_2 で整理することができる。

(6) アルミニウム爆接クラッド鋼を高温に保持すると、接合境界面にアルミニウムと鉄の相互拡散層が生じ、その幅については Larson-Miller のパラメーターが適用できるようである。

本研究を遂行にあたり、協力していただいた旭化成工業株式会社ならびに新日本製鉄株式会社、堺製鉄所の各位に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) T.J. Enright, W.F. Sharp and O.R. Bergman, "Explosive Bonding Dissimilar Metals.", METAL PROGRESS Vol. 97, No. 1, 107-114
- 2) R.J. Christoffel and R.M. Curran, "Carbon Migration in Welded Joints of Elevated Temperature.", W.J. Vol. 35 (1956) No. 9, 457-s-468-s
- 3) F.R. Larson and J. Miller, "A Time-Temperature Relationship for Rupture and Creep Stresses.", Trans. ASME Vol. 74 (1952) No. 7, 765-775
- 4) J.F. Eckel, "Diffusion Across Dissimilar Metal Joints.", W.J. Vol. 43 (1964) No. 4, 170-s-178-s
- 5) 根本, 佐々木, 榎谷, "異種金属溶接部の炭素の移動", 溶接学会誌, Vol. 32 (1962) No. 3, 205-212

《本の紹介》

“溶接術語データシート (Welding Technology Data Sheets)”

第1集—設計要素 (Series 1-Design Factors)

J.E.M. Jubb 著

本書は英国の雑誌 “Welding and Metal Fabrication” に掲載されたものをルーズリーフ形式に作り直したもので、溶接工学の重要事項を術語を中心に、図とそれに簡単な説明を加えながら解説している。第1集の「設計要素」の内容としては、すみ肉と突合せ溶接、熱サイクルの影響、ストレスレイザー、残留応力の影響、抵抗溶接、溶接施工における破壊の形式、設計環境、疲れ破壊、低応力破壊、破壊靱性試験法、が含まれており、さらに多くのデータシートが今後も引続いて刊行される筈。第1集は合計36シート。その1部を下記に示す。販価1ポンド

Welding & Metal Fabrication, 33-40 Bowling Green Lane London EC1R ONE.

発行所 IPC Industrial Press Ltd.

(田村博 記)

CRACK OPENING DISPLACEMENT (Notched bend test)

Test detail : fatigue precrack at base of notch.

Assessment : crack opening displacement over range of temperatures.

Application : in general yielding fracture mechanics.