論文および報告

軟鋼のろう付強度におよぼす表面状態の影響 (第7報)*

—表面粗さと振り強さの関係について—

末 沢 芳 文**

Effects of Surface Preparations of Base Metal on the Butt Joint Strength of Mild Steel Brazed with BAg. 8 (Report 7)*

—Effects of Roughness on Torsional Strength of Brazed Joint—

by Yoshifumi Suezawa**

Abstract

The study of relation between the base metal roughness and its torsional strength of mild steel brazed joint has been investigated in this experiment. To obtain some experimental data, some specimens ($16\phi \times 105\text{mm}$) of mild steel rods (SS 41) and BAg-8 filler metal were prepared.

The surface of each specimen was identically polished by various emery papers (No 60, 240 and 600 csh), and other specimens were machined by milling cutter or ground by WA 60, WA 80 grinding wheels. These specimens were brazed with BAg-8 filler metal ($\text{wt}=0.1\text{g}$) using the 35KW resistance furnace operated in hydrogen atmosphere, and machined according to the scheme of Fig 1. The torsional strength test of these specimens was carried out by a 50Kg-m torsional strength testing machine shown in Photo. 1. The torsional test of these specimens gave the results as follows:

- 1) The torsional strength of specimen polished by No. 600 mesh emery paper ($R_{\text{max}}=0.6$ micron) was very high, its value being 34.1 kg/mm^2 at the joint clearance 0.12 mm , but that of the specimen polished by No. 60 mesh emery paper ($R_{\text{max}}=15$ micron) was lower, its value being 30.9 kg/mm^2 at the joint clearance 0.15mm .
- 2) The torsional strength of specimen ground by WA80 grinding wheel ($R_{\text{max}}=0.8\text{micron}$) was excellent, its value being 35.5 Kg/mm^2 at the joint clearance 0.18mm , but that of the specimen ground by WA60 grinding wheel ($R_{\text{max}}=1.6$ micron) was poor, its value being 32.2 Kg/mm^2 at the joint clearance 0.11mm .
- 3) In general, the torsional strength of brazed joint with a smooth surface was greater than that of one with a coarse brazing surface due to the effect of residual stress of filler metal at the brazed joint.
- 4) As regards the relation between torsional strength and joint clearance, the torsional strength of specimen with $0.12\sim 0.3\text{mm}$ joint clearance was very high among the specimens polished by emery papers and those of specimens with other joint clearance were lower, and also, that of a specimen with $0.15\sim 0.25\text{mm}$ joint clearance was high among the specimens machined or ground.

1. 緒 言

近年新しいろう材の開発およびろう付技術の進歩とともにろう付部の強さならびに精度が向上しそのため一般電子部品のみならず各種精密機械部品などにも広く活用される情勢になり従来のごとく静荷重ばかりでなく自動車部品、タービン部品などのごとく振動、疲労、衝撃および振りなどの変動荷重、あるいはそれらの複合荷重を

うける場合も多くなって来た。本報ではこれまでの研究と同じ試料および条件によってろう付した場合の母材ろう付面の粗さと振り強さの関係について研究を行なったので報告する。

振り応力をうけるろう接部品としては自動車、タービン、鉄道車輛などの部品をはじめオートバイ、自転車の車体およびドリル、カッターなどの切削工具類があげられる。これらのろう接物のごとく絶えず動的な荷重をうけている所では何等かの振りモーメントをも受けていることが多く、ろう付に際して振りに対して効果的な方法を講ずる必要があると思われる。ボイド、ろう切れ、フ

* 原稿受付 昭和47年5月18日 (47年春季全国大会に発表)

** 正 員 日本大学理工学部 Member, Nihon University Faculty Engineering

ラックスの巻き込みなどの欠陥、特に振りに対しては疲れの場合と同様に応力の影響が最も良く利く表面のきずに対しては十分な配慮が必要と考えられ、振り応力にいろいろ接条件の確立が望まれるわけである。しかしながらこれまでの内外の資料を調べてもろう接物の振り強さを測定した報告は見当たらない。筆者はこれまでに引張り衝撃、疲れなどの荷重に対して強くなるためには母材ろう付面の粗さはいかにあるべきかそれぞれの負荷に対する適正条件を求めて来た。今回は前述のごとく振りに対するろう付条件、特に母材ろう付面の粗さとの関係、およびろう付間隙との関係を明らかにしようとしたものである。

2. 実験

振り試験に使用したろう付試料の作製はこれまでの引張り、疲労の各試験の場合とほぼ同じ要領で行なった。

2.1 試料

使用した試料は次のごとくで前報¹⁾²⁾までに使用したものと同一成分、組織をもつものである。

(a) 母材 SS41 寸法 $16\phi \times 105$ mm

成分 C 0.15%, Si 0.02%,
Mn 0.48%, Cu 0.04%

(b) ろう材 BAg-8 重量 約 1 g

成分 Ag 72%, Cu 28% 共晶
合金

2.2 母材に設定した表面粗さ

母材ろう付面に設定した粗さもこれまでの実験と同じもので大別して Emery paper 加工したものおよび機械加工したものの2通りである。Emery paper の場合は No. 60, No. 240, No. 600 mesh の3種類の研磨紙で一方に研磨したもの、また機械加工の場合はフライス加工, WA 60 砥石研削および WA 80 砥石研削の3種類合計6種類の加工方法で粗さを設定した。これらの方法で設定した表面粗さの大きさは Table 1 のごとくである。またこれらの粗さ曲線は第1報¹⁾および第2報²⁾に示したものと同一である。

2.3 母材の表面処理

母材ろう付面をそれぞれの加工法で加工した後、トリクレナーアセトンで脱脂洗滌し、ろう付面の清浄化を期しかつ異物の混入を防止した。

2.4 ろう付方法

ろう付方法はこれまでの実験と同じ要領で $16\phi \times 105$ mm の母材を棒型のろう付治具の中で突合せ状態に且つ粗さの加工方向が両面とも上下方向に一致するようにセットし、ろう材をろう付部上に置き、置きろう式で 35 KW の水素雰囲気抵抗炉の中でろう付を行なった。ろう付温度は 840°C で昇温後 10 分間保持した後炉中で冷却した。なお水素の流量は 5 l/min で露点は -42.5°C で行なった。

2.5 振り試験

ろう接された試料はいずれも Fig. 1 のごとき寸法に機械仕上した後、間隙量を顕微鏡で測定し、各あらし別

Fig. 1 Schema of torsional specimen

Photo 1. 50Kg-m torsional strength testing machine

に Photo 1 のごとき槓桿型 50 kg-m の振り試験機によって振りモーメントを測定し、次式によってそれぞれ振り強さを算出した。

$$\tau = \frac{M}{Zp} \dots\dots\dots(7.1)$$

τ : 振り強さ

M : 振りモーメント

Zp : 振り断面係数 $\left(\frac{\pi}{16} D^3, D: \text{直径} \right)$

Table 1. Various roughness of base metal prepared by emery paper polishing and machining

Process	No. 60	No. 240	No. 600		WA 60	WA 80
Roughness	Emery Paper	Emery Paper	Emery Paper	Milling	Grinding	Grinning
$R_{\max} (\mu)$	15	5	0.6	14	1.6	0.8
J I S	18-S	6-S	0.8-S	18-S	3-S	0.8-S

Fig. 2 Torsional strength plotted as a function of joint clearance (Emery paper polishing)

Fig. 3 Torsional strength plotted as a function of joint clearance (Machining)

2.6 試験結果

各試料の振り試験結果は Emery paper 仕上と機械仕上にしたがって各あらさ別に整理し、それぞれ母材ろう接面あらさと振り強さの関係およびろう接間隙と振り強さとの関係を求めた。

(1) Emery paper 仕上の場合

Fig. 2 は Emery paper 仕上の場合の振り強さの状態を示したものである。この図からわかるごとく Emery paper 仕上の場合には全体にバラツキが多く、特に 60

mesh の場合はその傾向が顕著であった。

ろう接面あらさと振り強さとの関係については、これまでの引張り強さおよび衝撃強さの場合とはやや異なる傾向を示した。すなわち母材ろう接面あらさの最も細かい 600 mesh の Emery paper で仕上げた場合が3通りの Emery paper 仕上のなかでは最も高い値を示し、間隙が 0.12 mm の場合には 34.1 kg/mm² の最高の値を示した。そして Emery paper の粒度が大きくなるにしたがって、すなわちろう接面あらさが荒くなるにし

Fig. 4 Relation between torsional strength and base metal roughness (Emery paper polishing)

Fig. 5 Relation between torsional strength and base metal roughness (Machining)

Photo 2. View of typical failure of the torsional specimens brazed with BAg-8

- (a) Polished by No 60 mesh emery paper
Joint clearance: 0.15 mm
torsional strength: 30.9 Kg/mm²
- (b) polished by No 240 mesh emery paper
joint clearance: 0.25 mm
torsional strength: 32.5 Kg/mm²
- (c) polished by No 600 mesh emery paper
joint clearance: 0.6 mm
torsional strength: 32.1 Kg/mm²

たがって振り強さは低下した。特に 60 mesh の場合には前述のごとくバラツキも多く、引張強さの場合と同様に試験結果に安定性が見られず全体として振り強さが低下した。

次にろう接間隙と振り強さとの関係については各あらさともに間隙が 0.12~0.3 mm の場合が最も高く、間隙が 0.1 mm 以下、あるいは 0.3 mm 以上になると振り強さはいずれも低下した。

Photo 3. (a) Ground by WA 80 grinding wheel
joint clearance: 0.4 mm
torsional strength: 31.5 Kg/mm²
(b) Ground by WA 60 grinding wheel
joint clearance: 0.12 mm
torsional strength: 33.4 Kg/mm²
(c) Machined by milling cutter
joint clearance: 0.4 mm
torsional strength: 34.2 Kg/mm²

(2) 機械仕上の場合

機械仕上の場合の結果は Fig. 3 のごとくで、この場合は Emery paper 仕上の場合ほどバラツキはなかった。ろう接面あらさと振り強さの関係については各あらさ間に明らかな差は認められないが粗さのこまかい WA 80 砥石研削の場合が最も強く、間隙 0.18 mm の場合は 35.5 kg/mm² の最高の値を示した。WA 60 砥石研削の場合が3種類の粗さの中では最も低く、フライス加工の場合が中間であった。また間隙と振り強さの関係については間隙が 0.15 mm~0.25 mm の場合で各粗さともっとも高い振り強さを示した。しかし間隙が 0.1 mm 以

Photo 4. Torsional strength of base metal and filler metal

- (a) Filler metal BAG-8 as cast
torsional strength: 33.7 Kg/mm²
- (b) Base metal SS41
torsional strength: 44.0 Kg/mm²

下になると急激に強度が低下する傾向を示し、また間隙が約 0.3 mm 以上に広がった場合にも再び振り強さはゆるく低下した。この傾向は Emery paper 研礎の場合とはほぼ同じであった。Fig. 4 は Emery paper 仕上の場合の結果を整理して母材ろう接面のあらさと振り強さとの関係を各間隙別に示したものであらさとしては $R_{\max} = 0.2\mu \sim 0.6\mu$ の場合が振りに対して最も強いことを示している。同様に Fig. 5 は機械仕上の場合の結果について母材ろう接面の粗さと振り強さとの関係を各間隙ごとに示したものでこの図からも $R_{\max} = 1\mu$ 附近の粗さが比較的振りに強ことを示している。

(3) 破断面について

破断面は Emery paper 研磨の場合も機械加工の場合も各試料ともろう材部より破断しており、母材とのろう接界面から破断したものは見当らなかった。また各破断面ともボイド、ろう抜け、および異物の混入などは見られず良好な破面を示していた。Photo 2 は Emery paper 研磨の場合であり、Photo 3 は機械加工の場合の破面を示したもので、間隙が狭く母材ろう接面の粗さが荒い場合は比較的単純な平面的な破れ方を示しており、逆に間隙の広い場合の破面形状はろう材が延び、激しい凹凸状を呈している。なお Photo 4 は母材 (SS41) およびろう材 (BAG-8) を casting 13φ に機械加工した状態で振り破断面の状態を示したもので、間隙が広い場合の

Photo 5. Scanning electron microfractographs of brazed joint surface fractured by torsional strength test

- (a) polished by No 600 mesh emery paper
joint clearance: 0.1 mm
torsional strength: 30.1 Kg/mm²
- (b) polished by No 60 mesh emery paper
joint clearance: 0.4 mm
torsional strength: 30.2 Kg/mm²

破面はこのろう材自身の破面によく似ていることがわかる。なお上記母材の振り強さは 44.1 kg/mm² であり、ろう材は 33.7 kg/mm² であった。

3. 考 察

3.1 粗さと振り強さについて

以上のごとく振り試験の結果はこれまでの引張り、衝撃、疲れの各試験とはその様相を異にしていることがわかった。この主なる原因として考えられるものはろう接部に振り荷重をかけることによって剪断応力が働きこれによってろ材部が剪断破壊を起す点にあると思われる。

Photo 6. Scanning electron microfractographs of brazed joint surface fractured by torsional strength test

- (a) Ground by WA 80 grinding wheel
joint clearance: 0.15 mm
torsional strength: 33.5 Kg/mm²
- (b) Machined by milling cutter
joint clearance: 0.43 mm
torsional strength: 29.0 Kg/mm²

Photo 5 および 6 は破断部を走査型電子顕微鏡で観察したもので、いずれもろう材部が明らかに剪断力によって破断していることがわかる。Photo 5 は Emery paper 研磨の場合で (a) は No. 600 mesh 研磨の間隙が 0.1 mm の試料、(b) は No. 60 mesh 研磨の間隙が 0.4 mm の試料破面を示したものである。Photo 6 は機械加工の場合で (a) は WA 80 砥石研削の間隙が 0.15 mm の試料、また (b) はフライス切削の間隙が 0.43 mm の試料破面を示したものである。Photo 7 は間隙が 0.5 mm で No. 240 mesh の Emery paper で研磨した場合の破面を示したもので、ろう材部がよく伸びていることが認められ、これは間隙が大きいほど塑性変形が大き

Photo 7. Scanning electron microfractograph of brazed joint surface fractured by torsional strength test

polished by No 240 mesh emery paper
joint clearance: 0.5 mm
torsional strength: 39.5 Kg/mm²

いことを示している。振り強さの傾向は Emery paper 研磨の場合および機械加工の場合いずれの場合もバラツキが多く明りようには決められない部分もあるが、大きな傾向として両方とも粗さのこまかい方が強く、粗さが荒くなるにしたがって強度は低下するといえることができる。この現象は前述のごとく前報³⁾までに報告した引張り、および衝撃の場合とは逆な傾向で、この破断原因については種々考察を行なったが決定的な要因を見出すことはできなかった。

しかしながら実際の使用状態、すなわち弾性限内においてはろう材中に生成する残留応力の効果によって次のごとく説明することができる。ろう材中に生成する残留応力については、これまでに述べたごとく、主としてろう材と母材の膨張係数の差に起因するものであり、多くの場合は引張残留応力である。この残留応力のうち突合せ接合部の長手軸方向の応力は前報³⁾でのべたごとく、円周方向および半径方向の応力にくらべると著しく小さい。またこれらの残留応力の大きさはおおむね母材ろう接面あらさに比例し、あらさが粗い方が大きく、あらさが細くなるにしたがって小さくなっている。このような引張残留応力が存するろう接部に振り荷重が働いた場合、この残留応力が弾性限内でいかなる作用をするか、すなわちこの残留応力が振り強さを強くするか、弱くするかについてはろう接部に存在するこれら各応力の粗合せ状態から次のごとく Mohr の応力円⁴⁾を描くことによって解明することができる。

いま Fig. 6 (a) に示したごとくろう接部の微小断面

Fig. 6 Schematic configuration of brazed joint
(a) Unit area of filler metal at the brazed joint
(b) Principle relation of residual stress and shear stress

Fig. 7 Mohr's stress circle of brazed joint.

を考えそれに円周方向に σ_θ , 半径方向に σ_r なるともに引張残留応力が存在するとし, この場合, 内部では σ_θ と σ_r はほぼ等しく, かつろう接部に一様に分布しているものとする. このような応力状態のろう接部に振り荷重が作用し, (b) のごとく τ なる剪断応力が作用した場合のろう接部の応力の組合せ状態を Mohr の応力円で示すと Fig. 7 のごとくなる. ここで σ_θ は円周方向の引張残留応力, τ_s はろう接部の剪断降伏応力, τ はろう接部に作用する剪断応力とし, 最大剪断応力説に基き弾性破損するものとするれば, 降伏条件から次のごとくなる.

$$\tau_s = \sqrt{\left(\frac{\sigma_\theta}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad \dots\dots\dots(7.2)$$

$$\tau^2 = \tau_s^2 - \left(\frac{\sigma_\theta}{2}\right)^2$$

$$\tau = \sqrt{\tau_s^2 - \left(\frac{\sigma_\theta}{2}\right)^2} \quad \dots\dots\dots(7.3)$$

これからわかるごとく弾性限内においては円周方向の残留応力 σ_θ が大きいほど剪断応力は小さくなる. すなわち, 小さな剪断荷重で弾性破損を起こすことになり, 振り荷重に対して弱くなることがわかる. したがって実際の使用状態においては母材ろう接面あらしの粗い場合は細かい場合より残留応力が大きくなるため, 小さい振り荷重にしか耐えられないことが理解される.

これまでも述べたごとく, 母材ろう接面のあらしが粗い場合にはろう接部の実表面積が大きく, 振り荷重に対しても接合強度は強く, 本来ならば振り強さが向上しているはずであるにもかかわらず実験結果のごとく, わずかではあるが, 振り強さが低下しているのは上記 (7.3) 式に示した σ_θ なる残留応力の存在が破断結果までに何らかの形で影響を与えていることも考えられる.

3.2 ろう接間隙と振り強さについて.

間隙と振り強さとの関係については上述のごとく間隙が 0.1 mm 以下の場合と 0.3 mm 以上の場合において振り強さが低下し, 中間部に最大値が存在している. この現象についてはろう接界面におけるろう材と母材の接合力と上記各応力が影響して起こるものと考えられるが確証を得るに至らなかった.

4. 結 論

以上のごとく本報では SS41 の丸棒を BAg. 8 で突合せ状態にろう接を行ないその振り強さを試験し母材ろう接面のあらしと振り強さとの関係およびろう接間隙と振り強さとの関係を中心に研究したもので次のごとき結論を得ることができた.

(1) 振り強さとろう接面あらしとの関係は引張強さ, および衝撃強さの場合とは逆の結果になり, ろう接面あらしの細かい方が粗い方より強く, Emery paper 仕上の場合には 600 mesh の場合が最も強く 34.1 kg/mm² の値を示した. また機械仕上の場合には WA. 80. V 砥石研削の場合が最も強く最高 35.5 kg/mm² の値を示した.

(2) ろう接間隙と振り強さとの関係については Emery paper 仕上の場合には間隙が 0.2~0.3 mm, また機械仕上の場合には 0.15~0.25 mm の附近に振り強さの最大値が存在し, それ以外の間隙ではいずれも振り強さは低下した.

(3) 弾性限内における振り強さ, すなわち, 実際の使用状態における振り強さに対しては, ろう接部に存在する残留応力の少ない, すなわち表面あらさの細かい場合があらさの粗い, すなわち残留応力の大きい場合より振り強さが大であることを明らかにした。

(4) 破断は各試料ともろう接部より起っており, 破断面の走査型電子顕微鏡写真から振り荷重による破断はすべて剪断破断であることが確認された。

本研究の走査型電子顕微鏡写真撮影に対し多大の御協力を賜った日本電子株式に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 川勝, 末沢: 軟鋼のろう付強度におよぼす表面状態の影響 (第1報) 本誌, Vol. 40, No. 1, 54~64
- 2) 川勝, 末沢: 軟鋼のろう付強度におよぼす表面状態の影響 (第2報), 本誌, Vol. 40, No. 9, 65~73
- 3) 末沢: 軟鋼のろう付強度におよぼす表面状態の影響 (第6報), 昭和46年本会秋季全国大会講演概要, 第9集, 167~168
- 4) 新沢: 材料力学, 79~83

次 号 予 告

論文

爆発圧接金属のマイクロ組織の透過電子顕微鏡による観察 (第1報)	{ 山 下 忠 美
恩 沢 忠 男
石 井 勇 五郎
軟ろう付用フラックスの作用機構に関する研究 (第2報)	{ 木 原 博
岡 森 郁 男
大 森 明
アーク溶接過程における水素の挙動 (第4報)	{ 坪 井 潤一郎
寺 嶋 久 栄
厚板のプラズマアーク溶接に関する研究 (第1報)	{ 土 屋 九 一
岸 本 宏
松 永 恒
中 野 栄 文
有限要素法による熱弾塑性挙動の解析	{ 上 田 忠 雄
山 川 武 人
継手強度の見地からみた溶接金属の母材の適合性に関する一考察	{ 佐 藤 邦 彦
豊 田 政 男
木 原 博
軟鋼のろう付強度におよぼす表面状態の影響 (第8報)	末 沢 芳 文

資料

複合材料の特性とその溶接性	新 成 夫