5083 合金板突合わせ溶接継手の局部加熱 による残留応力の除去*

—アルミニウム合金溶接継手の残留応力の研究 (第2報)—

田中 英司**・平田 勝彦**・竹内 勝治**

Residual stress relief in butt-welded 5083 aluminum alloy by local heating*

—Studies on residual stress in welded joints of aluminum alloys

(2nd report)—

UDC 669.715'721-12:621.791.011

TANAKA Eiji**, HIRATA Katsuhiko** and TAKEUCHI Katsuzi**

This paper describes local stress relief heat treatment for butt-joints of a 5083-O plate. The following results were obtained by experiments.

(1) In order to relieve the residual stress at a butt-joint, the region of the maximum stress had to be heated at least above 150°C. For relaxing it to about half a degree of as -welded state, the heating had to be above 250°C and for virtually relieving it, the heating above 350°C was needed.

(2) Among three heating methods in these experiment, the best results were obtained by the heating method of reciprocation. The results of one or two-point heating method were inferior to those of the above method.

(3) The degree of stress relief annealing tended to be similar to the reduction in high temperature tensile strength of the base metal rather than its yield strength.

(Received Nov. 26, 1970)

1. はじめに

前報¹⁾では、アルミニウム合金 5083-O 材、板厚 8 ~ 10 mm 板突合せ溶接継手について、溶接残留応力におよぼす溶接継手の寸法効果、溶接熱入力の影響および継手を切断もしくは分割してゆく場合における残留応力の解放過程などについて検討し、溶接線方向の残留応力の最大値は継手の長さに関係し、しかも耐力に近い値をもつこと、ならびに熱入力の影響をあまり受けないことなどを述べた。

これらの残留応力を除去する一手段としては、熱的作用を利用する方法があり、応力除去焼なましと局部加熱などが用いられている。現場における作業上の見地から見ると、局部加熱のほうが有利なものと考えられるの

で、本報では前報と同じ 5083-O 板突合せ溶接継手について、局部加熱の方法や時間が残留応力の除去におよぼす影響を検討した。さらに比較のため、もつとも理想的な方法と考えられる焼なましの場合についても検討した。

2. 供試材

供試材は 10 mm 厚さの 5083-O 板であり、これを 150

Table 1 Tensile properties

Material	Yield strength 0.2% offset (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)
5083-O plate	17.4	31.7	22

Table 2 MIG welding conditions

Material	Edge preparation	Pass No.	Filler alloy	Dia. of filler (mm)	Voltage (V)	Current (A)	Welding speed (mm/min)
5083-O 10 mm plate	I type	2	5356	2.4	22-25	370~410	600

* 本研究は軽金属学会第38回春期大会にて発表

** 住友軽金属工業株式会社 (名古屋) Sumitomo Light Metal Industries, Ltd. (Nagoya)

×300 mm の板に成形後、突合せ溶接して中央に溶接線をもつ 300×300 mm の試験片を製作した。母材の引張性質を **Table 1** に、ミグ溶接条件を **Table 2** に、それぞれ示す。

3. 実験装置および実験方法

3.1 局部加熱

この実験に採用した局部加熱方法は、1 点加熱、2 点加熱および移動加熱であり、その要領を **Fig. 1** に示す。なお、1 点加熱の位置は引張残留応力が最大の位置であり、2 点加熱のそれは溶接線方向の残留応力が圧縮側で最大となる位置で、これらは前報の結果¹⁾を参考として定めた。燃料は都市ガスを用い、水平におかれた溶接継手の下面からブンゼン・バーナーで行なつた。ガスの流量は、1 点加熱ならびに移動加熱の場合が 6.5 l/min, 2 点加熱のときは 1 点につき 4 l/min とした。移動加熱装置は **Photo. 1** に示す。バーナの移動には、定速で回転

Photo. 1 Apparatus for local heating.

する円板にとりつけたピンと摺動装置上のバーナ取付け台をロッドでつないで、バーナが直線往復運動するようにした。直線運動のストロークは 360 mm, サイクルは 6 c/min, バーナの移動平均速度は 72 mm/sec である。

局部加熱の時間は、それぞれの加熱方式について、1, 2, 5, 10, 20, 40 および 60 min とし、局部加熱終了後はそのまま継手を放冷した。

3.2 溶接継手の温度測定

局部加熱時の溶接継手の温度測定には、**Fig. 2** に示す位置に 2 mmφ の穴を板厚の中心まであけ、その中に線径 0.6 mmφ のアルメル・クロメル熱電対を差込み、空隙にアルミニウムはくを詰込んだ。このとき、穴あけによる残留応力の除去はそれほど問題とされないものと考えられるが、残留応力の測定に用いた継手は、温度測定を継手の中央 1 点のみに限定した。なお、継手の温度上昇

Fig. 2 Location of thermo-couples.

(a) One-point heating

(b) Two-point heating

(c) Reciprocate heating

Fig. 1 Details of local heating methods.

率が最高 0.5°C/s 程度であるので、熱電対の起電力は、熱電対校正用ポテンシオメータで十分正確に測定できた。

3.3 応力除去焼なまし方法

焼なましは空気炉を用いて行ない、溶接継手を 70, 100, 150, 200, 250 および 350°C の各温度でそれぞれ 1hr 保持し、その後炉外で放冷した。

3.4 残留応力の測定

残留応力は、Fig. 3 に示す位置で溶接線方向ならびに溶接線直角方向の応力に分けて測定した。測定方法は、2軸 90° 型のひずみゲージを継手表面に張付け、継手を細かく分割し、応力解放にともなうひずみ量の変化から計算で残留応力を算出した。この方法は、前報¹⁾とまったく同じであり、以下に掲げる残留応力の表示記号も前報と同じである。

4. 実験結果

4.1 局部加熱時の継手温度分布

各局部加熱時の継手温度分布ならびに温度上昇過程を

Fig. 3 Location of wire strain gages.

Fig. 4 Temperature distributions during local heating.

Fig. 4 に示す。

この結果からみると、加熱開始後 5 min ですでに温度分布の形状が決定しており、それ以後は時間とともに温度レベルが上昇している。また、温度こう配は 1 点加熱の場合がもつとも大きく、ついで 2 点加熱である。移動加熱の場合は、移動方向への温度こう配がほとんどないのが特長で、移動直角方向へ多少温度こう配がある。

なお参考のため、応力測定を行なった溶接継手について、局部加熱時の継手中央部の温度と加熱時間の関係を Fig. 5 に示す。これらの加熱条件では、加熱温度に上限が存在していることがわかる。

4.2 局部加熱による残留応力の除去

局部加熱後の溶接線方向残留応力 σ_y ならびに溶接線直角方向残留応力 σ_z を測定した結果を加熱時間 5, 10 および 20 min の場合について Fig. 6 に示す。温度上昇速度のもつとも大きい 2 点加熱の場合に、比較的短時間で残留応力が減少するが、温度上昇速度の小さい移動加熱の場合には、加熱時間の増加に伴う残留応力除去の割合がゆるやかである。また、加熱の進行にともない、 σ_y が引張から圧縮に変わる位置が、移動加熱の場合には溶接線から 25 mm 程度でほとんど変わらないが、1 点ならびに 2 点加熱の場合は、その位置が加熱時間とともに板端の方へ移動する。

なお、1 点加熱の場合は、40分加熱することにより、2 点加熱の20分のときと同じ残留応力の値がえられ、移動加熱の場合は 60 min で前者と類似な結果がえられた。

Fig. 7 は、継手中央における局部加熱終了時の温度 $t_{c, \max}$ と、最大および最小残留応力 $\sigma_{y, \max}$, $\sigma_{y, \min}$ およ

Fig. 5 Relation between $t_{c, \max}$ and heating time.

び $\sigma_{x \max}$ の関係を図示したものである。なお、形状が同一の母材について、同一条件で局部加熱した後の残留応力もあわせて示した。

Fig. 6 Stress reliefs by local heating (5083-O butt-joints)

Fig. 7 Relations between residual stresses and $t_{c \max}$.

溶接継手の局部加熱では、加熱温度の低い範囲で多少残留応力が増加し、さらに温度が高くなるとそれにつれて逆に急激に減少し、残留応力の大きさが $1 \sim 2 \text{ kg/mm}^2$ となるとそれ以上減少しなくなる。

この傾向は各加熱条件で共通である。つぎに 各加熱条件を比較すると、移動加熱の場合がもつとも低い温度で応力が除去され、2点加熱の場合がそれに続いている。なお、母材の場合は、局部加熱することによって $1 \sim 2 \text{ kg/mm}^2$ の残留応力が発生しており、この傾向は、高温域で溶接継手の残留応力が $1 \sim 2 \text{ kg/mm}^2$ 以下にならないことと一致している。

なお、Fig. 8 は、継手を焼なましときの残留応力を温度 t_a との関係において示す。焼なましの場合は、温度分布が不均一となる局部加熱のときと異なり、 100°C まで残留応力が変化せず、 100°C をこえると急激に減少しはじめる。

5. 考 察

Fig. 9 は局部加熱と焼なましの場合の残留応力除去過程を比較したものである。残留応力の除去される割合をみると、焼なましの場合は局部加熱よりもおよそ $50 \sim 100^\circ\text{C}$ 程度低い温度で除去されている。継手の温度こう配がもつとも小さい移動加熱が、焼なましの結果に近い値を示し、温度こう配の大きい1点加熱の場合がもつとも高温側にずれている。また、局部加熱の際には、低温側、とくに 150°C 以下の温度で、残留応力が溶接のままのときより多少大きくなっているが、この現象は、4.2節で述べた母材を局部加熱したときの残留応力の発生から理解できよう。焼なましの場合、この温度範囲では残留応

力の変化がない。いずれにしても局部加熱によつて発生する残留応力の大きさは小さいので、あまり問題としなくてもよいのではなからうか。

なお、残留応力の除去される割合と高温短時間引張り試験における材料の強度低下との比較を試みた。すなわち、残留応力の除去の考え方は、材料の高温強度の低下と同じなのかも知れない。**Fig. 10** は、母材の高温引張性質と常温のそれとの比を、試験温度との関係において

Fig. 8 Relation between residual stresses and annealing temperature.

Fig. 9 Comparison between annealing and local stress relief heat treatment.

Fig. 10 Reduction of residual stress and tensile strength at elevated temperature.

示し、あわせて溶接継手を焼なました場合の残留応力の低下の割合も掲げた。なお、高温引張試験の条件を示すと、試験片は母材を平行部 12 mm の板状に成形し、これを所定の各温度で 1 hr 保持後、そのまま引張速度 20 mm/min で引張試験したものである。

これによると、残留応力の減少割合は、耐力よりもむしろ引張強さの低下の傾向に似ている。なお、残留応力のもつとも高い領域が継手の熱影響部にあり、そこでは材料が铸件組織あるいはそれに近くなっているため、この部分の強度は展伸材のそれとは異なることも考えておく必要があろう。

6. ま と め

5083-O 板突合せ溶接継手について、局部加熱ならびに焼なましによる残留応力除去を実験的に検討した結果、つぎのことが明らかになった。

1) 局部加熱によつて溶接残留応力を除去するには、残留応力を除去したい個所を、少なくとも 150°C 以上に加熱しなければならない。また、作業として残留応力を溶接のままの $\frac{1}{2}$ に減じるには 250°C 以上、ほぼ完全に除去するには 350°C 以上にする必要がある。

2) 静止したバーナによる 1 点のみの加熱は、加熱部近傍で大きな温度こう配ができる。溶接線をはさんで 2 点加熱する方法は、1 点加熱よりも改善されるが、余盛に沿つてバーナを移動させ、余盛近傍を均一温度に加熱する方法が最良である。この場合、熱的作用による残留応力除去方法でもつとも理想的な焼なましの結果にほぼ一致する。

3) 焼なましによる残留応力除去の程度は、母材の高温引張性質のうちで、耐力よりもむしろ引張強さの低下の傾向に似ている。

参 考 文 献

- 1) 田中, 平田, 竹内: 軽金属, **20** (1970), 7.