

振動を利用した残留応力低減法の 金型補修への適用に関する研究

東京都立工業高等専門学校
生産システム工学科 教授 西村惟之
機械工学科 助教授 青木 繁、教授 廣井徹磨
(平成7年度研究開発助成 AF-95026)

キーワード：溶接、残留応力、超音波、金型、X線応力測定 振動付加の影響を調べた。

1. 緒言

塑性加工用の金型は、加工速度の高速化や被加工材の高強度化に伴って型かじりや型表面のはくり・割れ等の問題が生じている。金型の補修は、溶接や溶射によって行われているが、溶接残留応力のため、はくりや割れが生じやすい。この対策としては、主に熱処理による応力除去が行われているが、2段階作業のためコスト高になっている。振動を加えながら溶接することによって、肉盛りと同時に応力除去を行う本研究の方法を用いれば、大幅なコスト削減ができる。また、エネルギー消費量の低減もできる。

Gnirss¹⁾は振動荷重の残留応力低減効果について展望している。また、青木、西村ら²⁾は低周波数の振動付加が残留応力低減に効果があることを報告している。しかし、金型のような剛性の大きな製品へのこの方法の適用は困難であった。一方、BlahaとLangennecker³⁾は引張試験中に超音波を付加すると著しく変形荷重が減少することを報告している。遠藤と鈴木ら⁴⁾も超音波付加が塑性流動応力を減少させ、転位を活性化することを報告している。HanssonとTholen⁵⁾は市販のアルミニウムの微視的構造変化に対する静的ひずみと超音波の付加の影響について論じている。また、強力超音波付加によって試験片の結晶粒界、点欠陥及び疲労亀裂の周辺で温度が上昇することが多くの研究者によって報告されている⁶⁾。材料に与えるこれらの超音波の効果を考慮すると、超音波振動付加は、溶接残留応力の低減に利用できるように思われる。

本研究では、金型の補修溶接残留応力の新しい低減法を提案している。新しい残留応力低減の方法は、超音波振動を加えながら溶接する方法であり、溶接工程とほぼ同時に残留応力の低減工程を終了できるため、大幅なコストとエネルギー消費量の低減が期待できる。また、溶接後に焼鈍が困難な部品の製造に最適な方法である。

実験では、機械加工により溝を付けた厚い鋼板に補修溶接を行って、超音波付加の影響を調べ、その効果を確認した。また、溶接時の急激な加熱、冷却状態の模擬実験として、高周波加熱装置を用いて実験を行い、超音波

2. 実験方法

供試材には、市販の幅100mm及び厚さ30mmの一般構造用鋼帯SS400を用いた。これを長さ300mmに切断したものの中心線に沿って長手方向に深さ2mm、幅5mm、長さ150mmの溝をエンドミルで加工し、試験片とした(図1)。

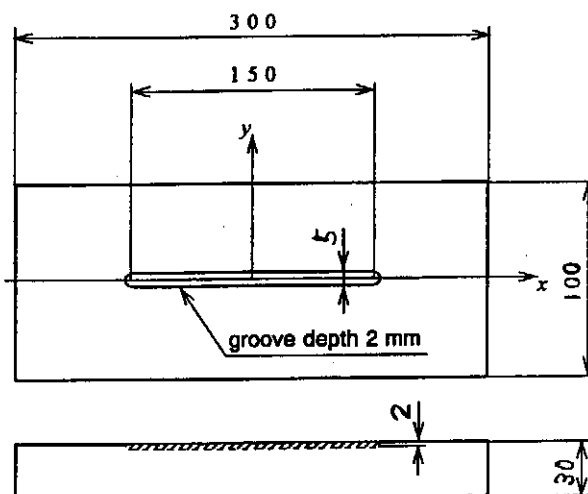


図1 試験片形状

この試験片を1073Kで1時間真空焼鈍し、加工時の残留応力除去処理を行った。この試験片の溝を炭酸ガスアーク自動溶接によって補修することによって、金型の補修溶接を模した。

表1 溶接条件

Welding voltage	25V
Welding current	200A
Diameter of welding wire	1.2mm
Welding speed	300mm/min
Shield gas	CO ₂
Number of pass	1

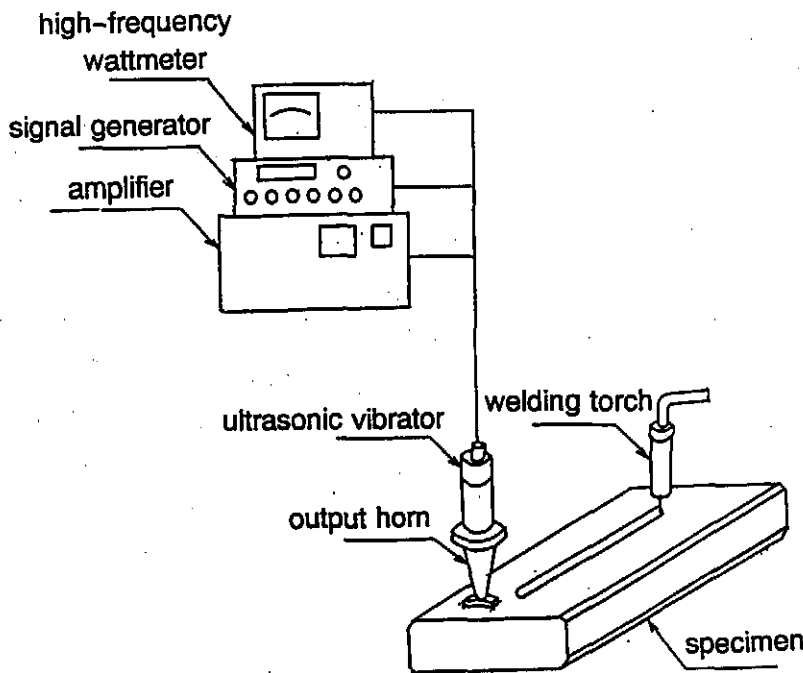


図2 実験装置の概要

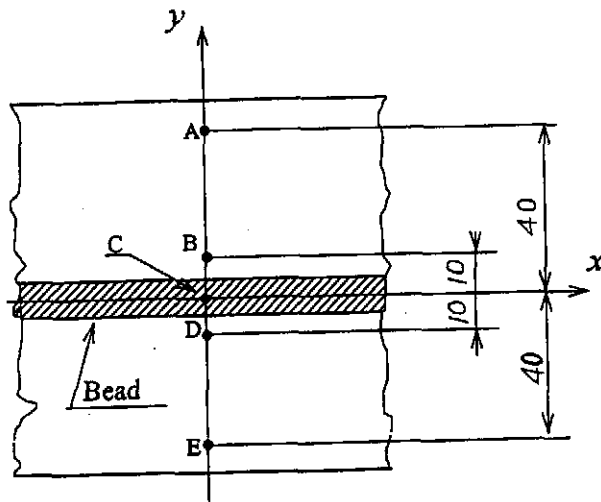


図3 X線応力測定位置

6モルの塩酸で除去後、市販の化学研磨液で表面を滑らかにしてからX線応力測定した。残留応力はビード方向の応力 σ_x を5点で測定した。測定位置を図3に示す。また、X線応力測定条件は、表2に示す。

3. 実験結果

図4は、超音波を付加した場合と、付加しない場合の残留応力分布を示す。

図中の黒丸●は、超音波を付加しなかった場合の残留

溶接は1層盛りとし、ビード長さは約160mmである。溶接条件は表1の通りである。ビード近傍に生ずる残留応力を測定し、超音波振動付加の影響を調べた。溶接ビード上、熱影響部及びその周辺の残留応力測定は、X線応力測定法を用い $\sin^2\theta$ により、並傾法で行った。

超音波付加溶接実験装置は、信号発生器、超音波振動子及び溶接機から構成されている。実験装置の概要を図2に示す。超音波振動子は4枚のPZT板により構成されたランジバン型で、周波数は約17.8kHzである。出力ホーンは、自重により試験片と接する方法を採った。これをビードの終端付近に設置し、その位置は試験片の中心線上で、試験片の端から30mmとした。溶接時のスケールを1リットル当たり

応力の値を表しており、各点は3回の測定の平均値を表している。この場合を標準として、超音波振動付加の影響を調べた。また、横棒は68.3%信頼限界を表しており、信頼限界の幅は、 $\pm 20\text{MPa}$ 以下である。図中の白丸○は、超音波を付加した場合の残留応力の値を表しており、各点は3回の測定の平均値を表している。

表2 X線応力測定条件

Characteristic X-rays	Cr-K α
Diffraction plane	α -Fe(211)
Filter	Vanadium foil
Stress determination	$\sin^2\theta$ method
Irradiated area	2x4mm ²
Tube voltage & current	30kV and 8mA
Scan condition of 2 θ	Step scanning
Angle of θ	0° 15° 30° 45°
Divergence angle shift	1.0°
Peak determination	Half value width method

この場合も、横棒は各点は3回の測定の平均値を表している。残留応力は、ビード部分で最大35%減少している。

溶接継ぎ手には、スラグの噛み込みやブローホールなどによって溶接欠陥が発生する場合があります。適切な溶接条件及び溶接工程を選択する必要があります。溶接欠陥が残

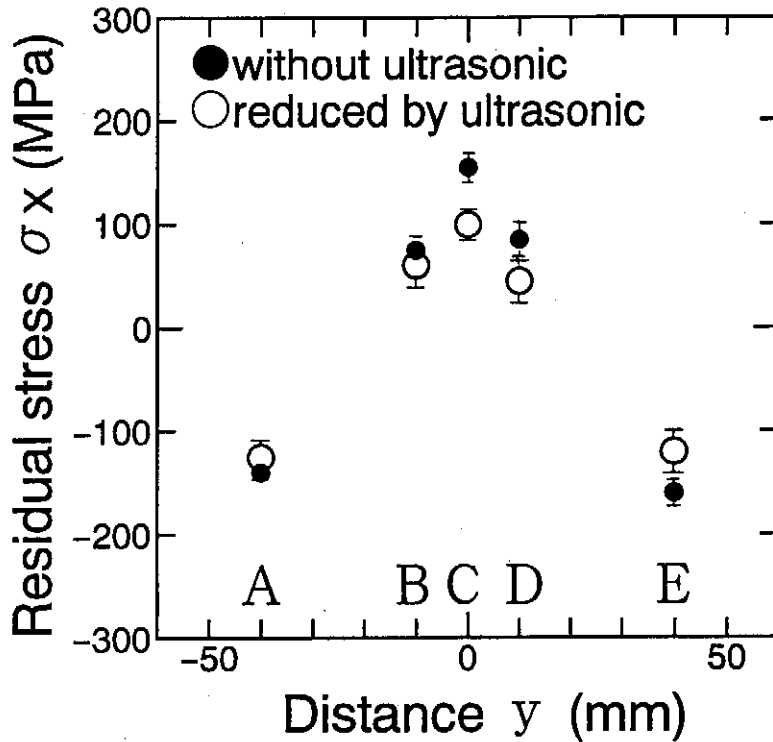


図4 溶接残留応力の分布

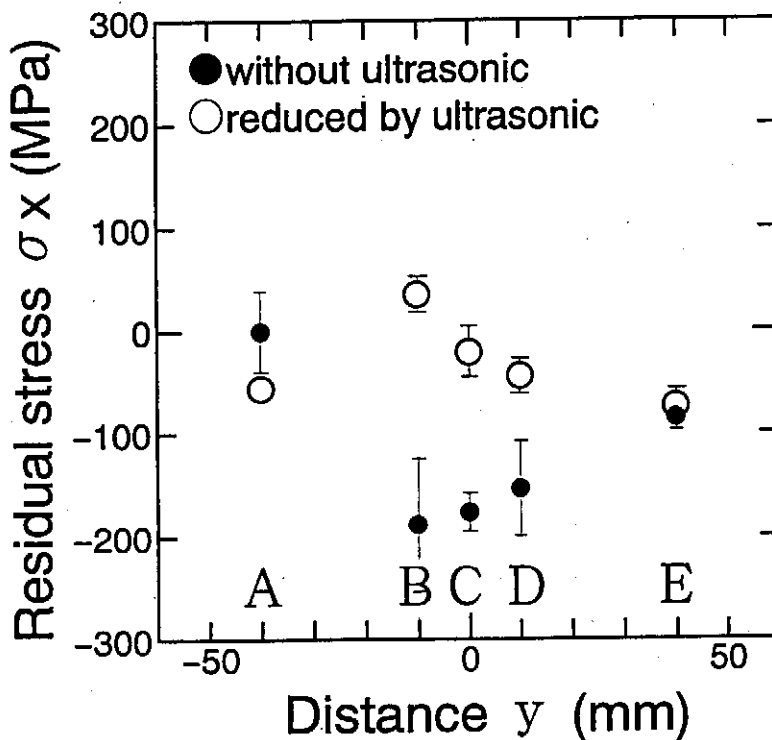


図5 高周波加熱残留応力の分布

留応力に与える影響は不明であるが、図4に示した実験結果を溶接以外の方法で検証するため、高周波加熱装置による模擬実験を行った。試験片形状は、図1と同様であるが、溝加工はおこなっていない。使用した超音波の周波数は約17.8 kHzである。出力ホーンは、自重により試験片と接する方法を採った。これを加熱部の終端付近に設置し、その位置は試験片の中心線上で、試験片の端から30 mmとした。

高周波加熱装置の最大出力は20 kWである。加熱コイルの直径は、約10 mmである。加熱コイル直下の試験片表面は、約8秒で1173 Kに加熱される。試験片を150 mm毎分で移動させることによって、加熱点を移動させた。これは、溶接速度の半分の移動速度であるが、残留応力分布に及ぼす超音波付加の影響を調べることは可能と考えられる。

実験結果を図5に示す。図中の黒丸●は、超音波を付加しなかった場合の残留応力の値を表している。この場合を標準として、超音波振動付加の影響を調べた。図中の横棒は68.3%信頼限界を表しており、信頼限界の幅は、±50 MPa程度と大きな値を示した。また、図中の白丸○は、超音波を付加した場合の残留応力の値を表している。残留応力の分布形状は、溶接によって生じた残留応力分布の形状とは異なっているが、超音波付加によって残留応力は減少している。残留応力は、熱影響部の境界付近で最大30%減少している。

図4及び5が示すように、残留応力の発生原因が溶接による場合或いは高周波加熱による場合、いずれの場合も超音波付加によって、残留応力の減少がみられる。従って、実際の金型に利用した場合にも効果が期待できる。

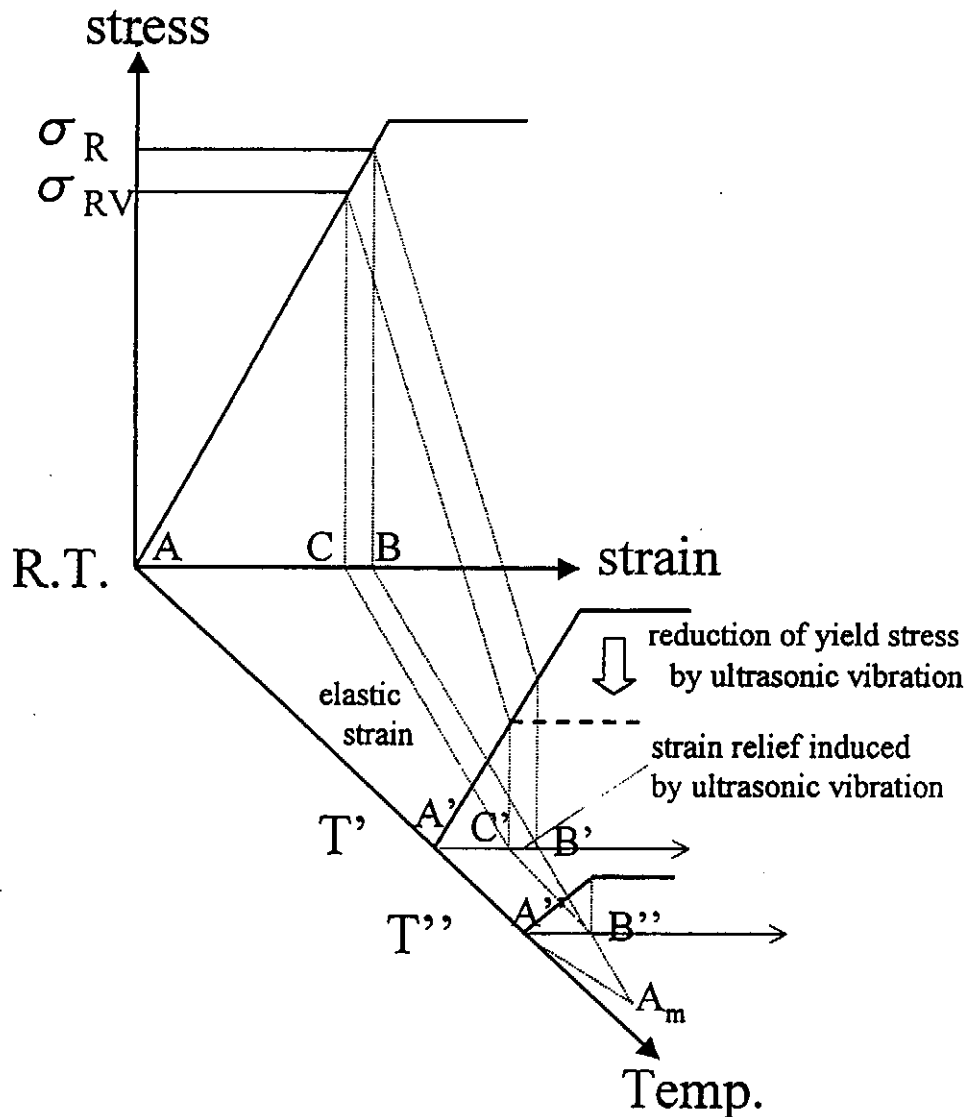


図6 残留応力低減の概念図

4. 考 察

残留応力の低減法には各種あるが、熱処理によるものが一般的である。一方、振動エネルギーの付加による溶接残留応力の低減法も半世紀前から提案されていた。振動を用いる低減法は、一般に振動発生機を部品に取り付け、共振周波数を用いて振動させる方法がとられている。この方法は、複雑な形状の部品に適用することが困難であり、その効果は疑問視されていた。このような装置が、効果を発揮するためには振動によって発生する応力が塑性変形を開始する応力以上でなければならないと述べている⁷⁾。しかし、Wohlfahrt⁸⁾は、降伏点以下の振動応力によっても残留応力が低減することを報告している。

本研究における残留応力低減は図6の概念図のように

なると考えられる。この図は試験片の応力-ひずみ線図である。室温での試験片の残留応力が σ_R であるとする。残留応力は弾性応力である。試験片に高温で超音波付加すると降伏応力が減少し、ひずみがB'からC'に減少する。そのために、残留応力が σ_{RV} に低減される。

5. 結 言

塑性加工用の金型の補修には溶接が使われているが、溶接残留応力のためにはくりや割れが生じやすい。この対策として、熱処理が使われているが、コスト高になる。低周波数の振動付加により溶接を行い、残留応力を減少させる方法も提案されているが、金型のような剛性の大きい製品への適用は困難であった。

本研究では、金型の補修溶接残留応力の新しい低減法として、超音波振動を加えながら溶接する方法を提案し

た。溝を付けた厚板に補修溶接を行い、超音波振動を付加した場合に、ピード部で最大35%残留応力が減少した。また、模擬実験として高周波加熱装置を用いた実験を行い熱影響部の境界部付近で最大30%残留応力が減少した。

これらの結果から、本研究で得られた成果は実際の金型に利用した場合にも効果が期待できる。

終わりに、この研究は天田金属加工機械技術振興財団の平成7年度研究助成をうけて行われたことを記し、御礼申し上げます。また、本研究は、国際会議 (Nishimura, T. & Aoki, S., Book of Abstract McNU'97, (1997), 371・Aoki, S., Nishimura, T., et. al., Proc. of Inter. Conf. on Design and Production of Dies and Molds, (1997), 847・Aoki, S. & Nishimura, T., ASME PVP-Vol. 370(1998), 27・Aoki, S. & Nishimura, T., Proc. of ATEM, Vol. 1, (1999), 344・Nishimura, T., Aoki, S., Hiroi, T., et. al., Trans. of SMiRT, Vol. X, (1999), 255) および国内の学会 (青木、西村、機講論, 987-1, (1998), 125・青木、西村、山梨講演会, (1998), 143・青木、西村、機講論, 99-8, (1999), 101・青木、西村、機講論, 99-5, (1999), 33

3・青木、西村、廣井他、音響学会春期研究発表会, II, (2000), 63・青木、西村、廣井他、機講論, 00-6, (2000), 55) で発表した。

文献

- 1) Gnirss, G., Welding in the World, Vol. 26, 11/12(1988), 4.
- 2) 青木、西村他、機論 61-592(1995), 226.
- 3) Blaha, F & Langennecker, B., Naturwiss., Vol. 42, (1955), 556.
- 4) 遠藤、鈴木、日本金属学会誌、42-416(1978)95.
- 5) Hansson, I & Tholen, A., Ultrasonics, Vol. 16 (1978), 57.
- 6) Mignogna, R. & Rgeen, R. E., Ultrasonics, Vol. 19-1, (1981), 159.
- 7) Masubuchi, K., Metals Handbook, 9th ed., Vol. 6, ASM, (1983), 892.
- 8) Wohlfahrt, H., Harterei techn. Mitteilungen, Vol. 1. 28, (1973), 288.