

軟材料用ショット材の開発と疲労強度の評価

長谷川 正義

小林 佑次, 辻 俊哉 (新東工業株式会社)

ショットピーニング法は装置および処理技術が比較的簡単で、誰が処理しても確実に疲労強度が改善される特徴を持っている。ばねおよび歯車のような焼入れ鋼や材料表面を窒化あるいは浸炭して硬化した材料にショットピーニング処理した場合には疲労強度が著しく改善されるが、アルミニウム合金および極軟鋼のように極端に軟らかい材料をピーニング処理した場合には、ピーニング投射圧力を高くしても硬さの上昇、付与される圧縮残留応力の最大値に限界があり、大きな疲労強度の改善は期待できない。そこで、種々の材料を用い、平均粒径が異なるショット材を試作して、板厚が 3, 5 および 8mm と異なる 3 種類のアルミニウム合金 A5083P-O 材にピーニング処理を行った後、平面曲げ試験を行い疲労強度の改善効果が小さい主因はピーニング処理による表面粗さであることが明らかとなった。

1. はじめに

近年、地球温暖化および化石燃料の枯渇化の問題から航空機、新幹線および自動車等の輸送機器のあらゆる産業で軽量化並びにエネルギーの節約が求められている。それに応える方法として軽量であるアルミニウム合金が積極的に用いられている。著者らの研究室では長年に渡って溶接継手の疲労強度の改善に関する研究を継続的に行ってきた。特に最近ではショットピーニング法に注目し、余盛付溶接構造用圧延鋼板(SM490A)溶接継手に大粒径のショット材を用い、高投射圧力で強ピーニング処理を行えば、応力集中箇所である余盛止端部の鋭い切欠きが拡大し、応力集中が著しく緩和され、それに硬さの上昇および圧縮残留応力が付与され、余盛付であっても平滑母材の疲労強度を上まわる画期的な結果が実現された¹⁾。しかし、アルミニウム合金のような極軟材料の余盛付溶接継手ではショットピーニングの効果は投射圧力を変化させても硬さの上昇および付与される圧縮残留応力に一定の限界値があり、大きな改善効果が得られなかった²⁾。また、大粒径のショット材を用いて強ピーニング処理を行えば、SM490A の場合と異なり、かえって疲労強度は低下する結果が得られた³⁾。

そこで本研究では、この違いを明らかにし、アルミニウム合金余盛付溶接継手の疲労強度の改善機構を明らかにするため種々の研究を行った。なお、本研究では平板を用いたが、これは溶接継手を使用すると現象が複雑になり、種々の因子の影響が検討し難くなるからである。

2. 実験方法

本実験で用いた母材は、市販の板厚 3, 5 および 8mm のアルミニウム合金 A5083P-O 材の 3 種類である。疲労試験片は Fig.1 に示すような平滑母材でその形状および寸法に機械加工で作製した後、Table 1 に示すように平均粒径 0.3 および 1.2mm の鋳鋼および 1.2mm の亜鉛系(以下これらを SB-3, SB-12 並びに AD-12 という)のショット材を用いてピーニング処理を行った。このような処理を行った種々の試験片について疲労試験、ビッカース硬さ試験(測定荷重 0.098N, 荷重 10g, 保持時

間 20 秒), X線残留応力測定装置 (半幅 midpoint 法) による疲労試験片板厚方向の残留応力分布の測定および触針式表面形状測定器による表面粗さ測定を行った. 疲労試験にはシェンク型繰返し曲げ

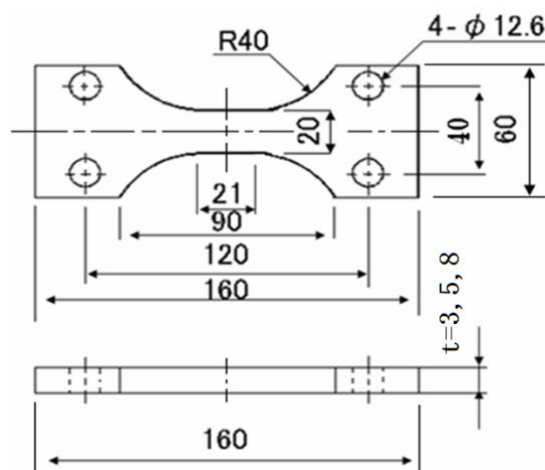


Fig.1 Fatigue test specimen.

試験機(容量 20N·m)を用い, 負荷方法は完全両振り, 繰返し速度は 1800cycles/min とし, 室温で行なった. なお, 疲労限度は 10^7 とした.

Table 1 Shot materials and peening conditions.

Marks	Shot materials						
	Arc height (mmA)	Materials	Diameter (mm)	Hardness (HV)	Projection speed (m/s)	Coverage (%)	Projection a method
SB-3	0.131	Cast steel	0.3	400-500	40	250	Impeller
SB-12	0.362	Cast steel	1.2	400-500	40	250	Impeller
AD-12	0.028	Zinc	1.2	80	40	250	Impeller

3. 実験結果および考察

Fig.2 は 3mm の薄板にピーニング処理した場合の疲労試験結果を示す. 粒径が小さい SB-3 でピーニング処理した場合の疲労限度は約 140MPa で, 母材のそれ (約 100MPa) に比べ, 約 40MPa の上昇が認められた. それに比べ, 粒径が大きい SB-12 および AD-12 の場合にはいずれも疲労限度は約 60~70MPa で母材に比べて著しく減少することが認められた.

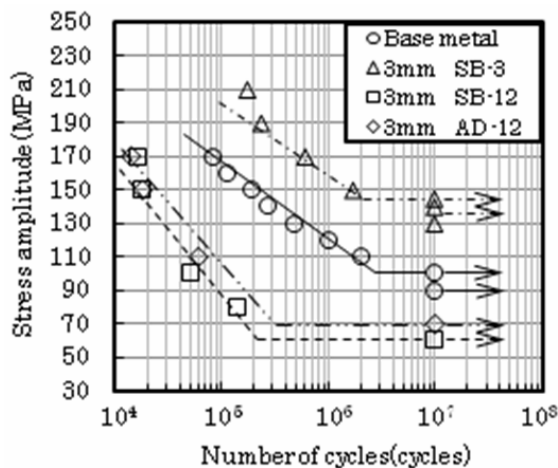


Fig.2 Effect of shot peening on fatigue strength.

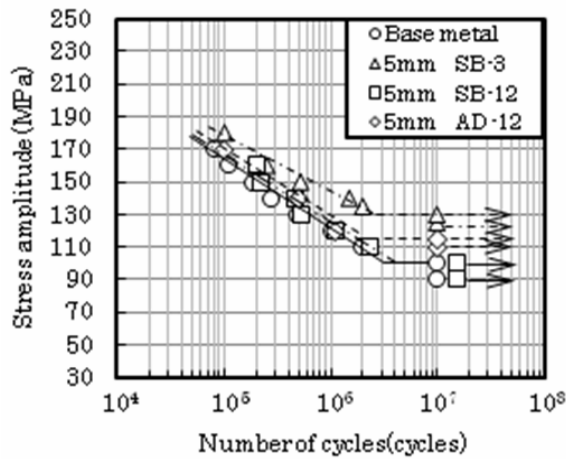


Fig.3 Effect of shot peening on fatigue strength.

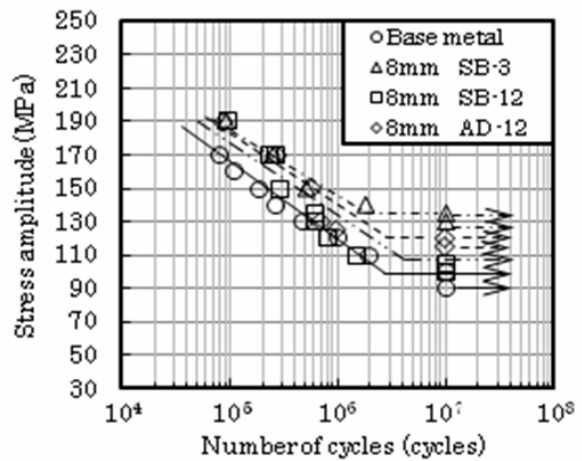


Fig.4 Effect of shot peening on fatigue strength.

Fig.3 および 4 に板厚 5 並びに 8mm の試験片にピーニング処理した場合の疲労試験結果を示す。両図から明らかなように、いずれの板厚の場合も粒径が小さい SB-3 でピーニング処理した場合の疲労限度は約 130MPa で母材に比べ約 30MPa 程度の改善が認められた。また粒径が大きな SB-12 および AD-12 でピーニング処理した場合の疲労限度は母材と同程度か約 10~20MPa 上昇することが認められた。これは板厚が 3mm の場合に粒径が大きいショット材を用いると疲労限度が著しく減少する傾向と著しく異なっている。

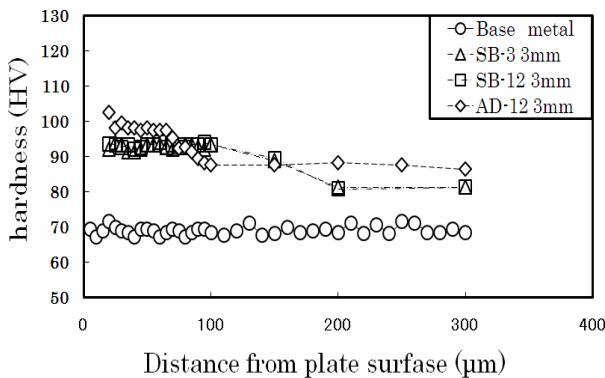


Fig.5 Effect of shot peening on hardness distribution.

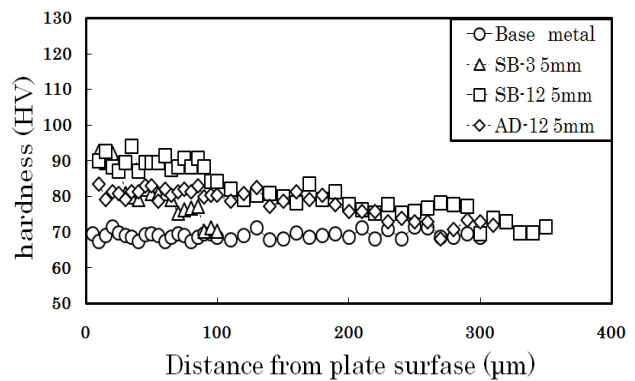


Fig.6 Effect of shot peening on hardness distribution.

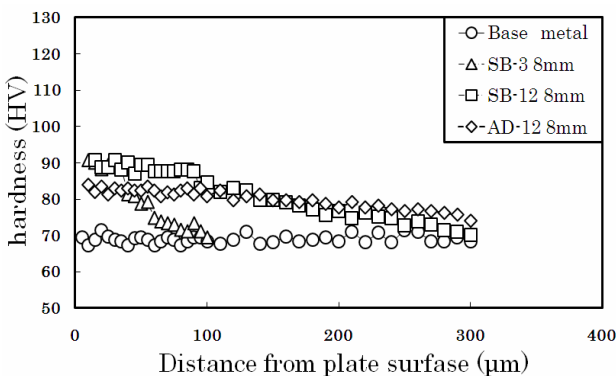


Fig.7 Effect of shot peening on hardness distribution.

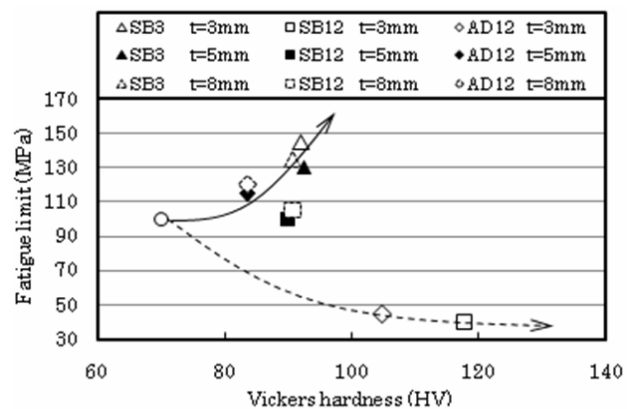


Fig.8 Relation of hardness and fatigue limit.

Fig.5~7 は板厚 3, 5 および 8mm に種々のピーニング条件で処理した場合のビッカース硬さ試験結果を示したものである。測定箇所は表面から 5μm の点を始点とし、5μm 間隔で表面から板厚方

向に測定した。ショット材および板厚の相違による表面近傍の硬さの上昇の差はわずかであり、板厚 3mm の場合には粒径の大きな亜鉛系の AD-12 の場合が最も高く、母材（約 HV70）に比べ約 HV30~35 程度高い値を示している。また、粒径の小さい SB-3 および粒径の大きい SB-12 はほぼ同程度の値であり、母材より約 HV20~25 程度の上昇に過ぎなかった。また、板厚 5 および 8mm の場合は、いずれも同様な傾向が見られ鋳物系の SB-3 および SB-12 で処理した場合が最も高く、母材に比べ約 HV20 高い値を示している。また、粒径の大きい亜鉛系の AD-12 はわずかな上昇しか認められなかった。板厚方向の硬さ分布は板厚 5 および 8mm の場合はほぼ同様な傾向で SB-3 の場合は約 100 μm でほぼ母材と同程度の硬さとなるが SB-12 および AD-12 の場合の硬化層の深さは約 300 μm にも達している。これに比べ板厚 3mm の場合にはピーニング処理により著しい反りを生じ、SB-3 でも硬化層の深さは 300 μm 程度の値となっている。これは試験片の板厚が 3mm と薄いためピーニング処理による塑性変形が試験片全体に及ぼしたため試験片全体が硬くなったと考えられる。

Fig.8 は硬さの上昇と疲労限度の関係を示す。同図から硬さの上昇と共に疲労強度が増加していることが認められた。しかし、板厚 3 および 5mm に SB-12 並びに AD-12 でピーニング処理した場合には、硬さの上昇は著しいにもかかわらず疲労限度は同程度あるいは著しく減少していることが認められた。これは Fig.10 に示す表面粗さによる影響であると推察される。

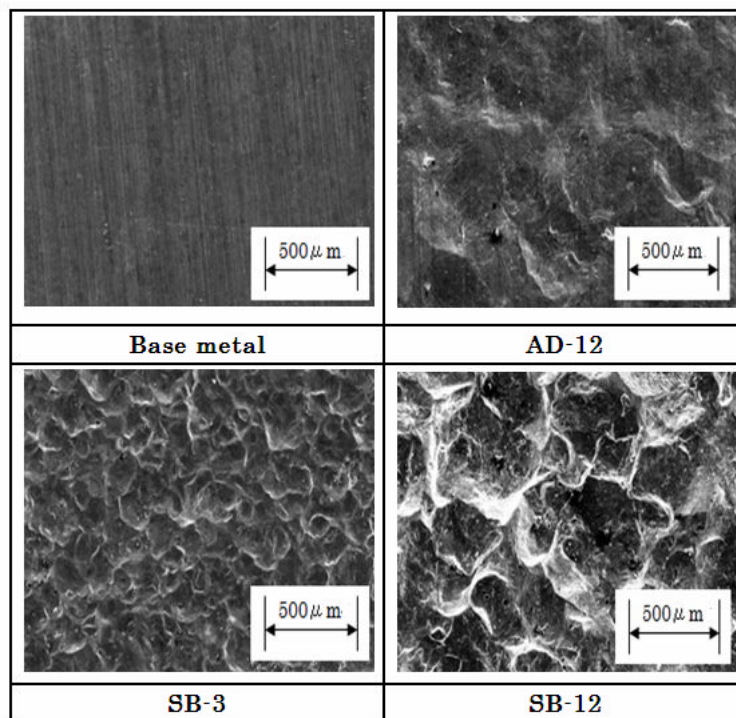


Fig.9 Microphotography of shot peened surface.

Fig.9 は試験片の表面を電子顕微鏡(60倍)で撮影したものである。ピーニング処理していない母材表面は表面粗さが小さい状態である。それに比べて SB-3 でピーニング処理した表面は、粒径が小さいため細かな痕が無数に観察される。また、AD-12 の場合はショット材が亜鉛系で鋳鋼と比べて著しく柔らかいため表面が押しつぶされたような痕跡が見られる。それに比べて粒径が大きく母材に比べ著しく硬い SB-12 でピーニング処理した場合には軟材料の引張試験を行った場合に見られる軟材料特有なディンプルのような表面になっており、深く大きな痕が観察された。

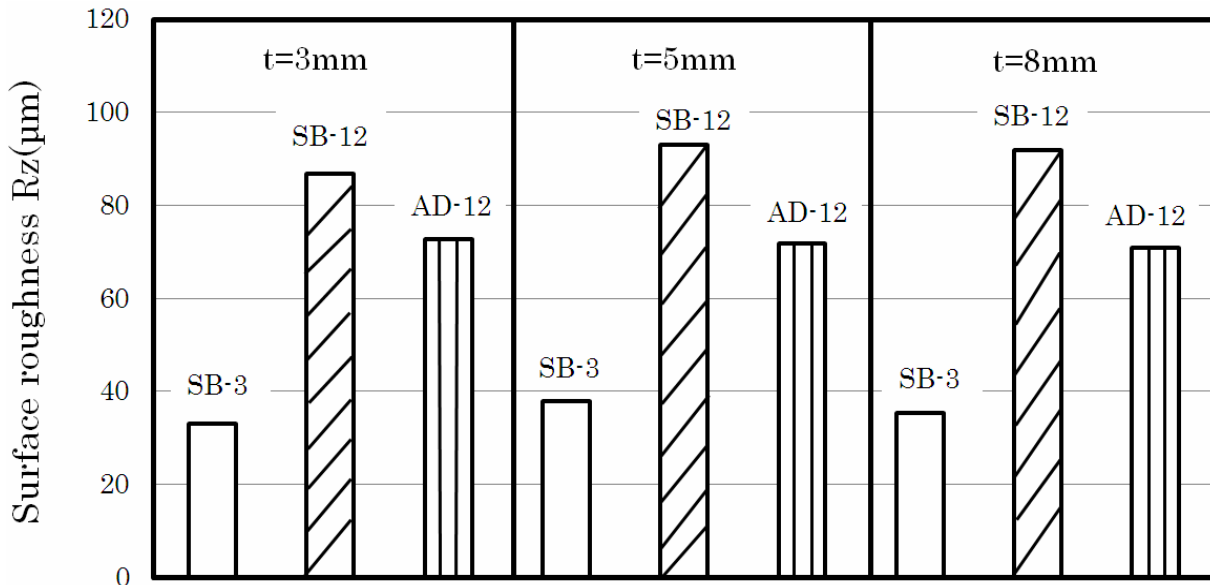


Fig.10 Effect of shot peening on surface roughness.

Fig.10 はピーニング処理による最大高さ粗さ Rz の測定結果を示す。Rz はいずれの板厚も粒径が小さい SB-3 が約 $30\mu\text{m}$ と最も小さくなり、粒径が大きくショット材が硬い SB-12 が約 $90\mu\text{m}$ と最も大きくなることが認められた。また、板厚による表面粗さの違いが認められなかったことから、前述に示した疲労試験結果で板厚 3mm に SB-12 および AD-12 でピーニング処理した場合には疲労強度が、板厚 5 および 8mm の場合に比べ著しく減少しているため薄板の場合には、表面粗さの影響が顕著であることが推察される。

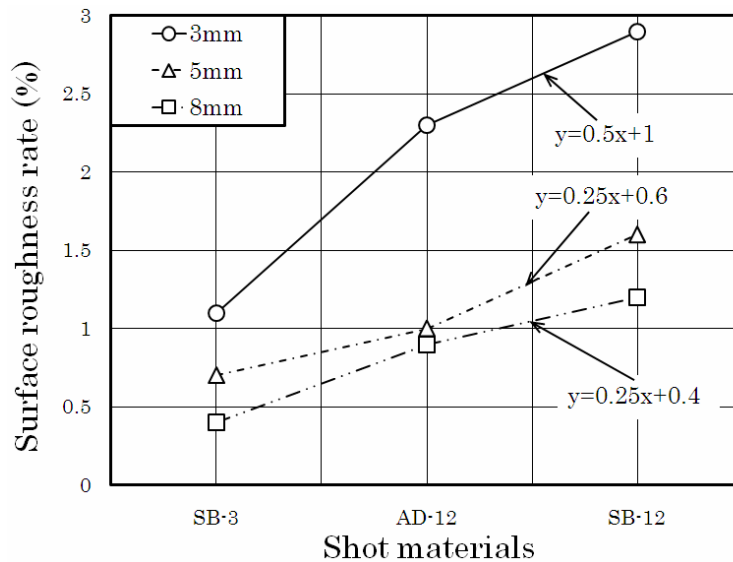


Fig.11 Effect of surface roughness by board thickness.

Fig.11 は板厚に及ぼす表面粗さの影響である。板厚に及ぼす表面粗さの割合は $(Rz/t) \times 100\%$ を用い求めた。板厚 5 および 8mm に比べて特に板厚が薄い 3mm は、粒径が大きい SB-12 並びに AD-12 でピーニング処理した場合、板厚に及ぼす表面粗さの割合が板厚 5 および 8mm に比べ著しく大きくなることが認められた。したがって、Fig.10 および 11 からアルミニウム合金の場合には表面粗さが疲労強度改善に著しく影響を及ぼすことが推察されるため、ピーニング処理には十分な注意が必要である。

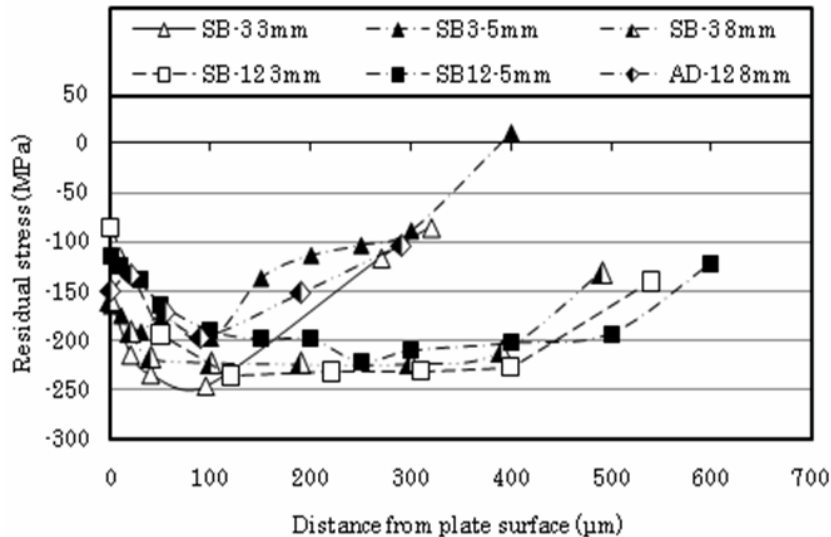


Fig.12 Effect of shot peening on residual stress.

Fig.12 は残留応力分布の測定結果を示したものである。同図から表面近傍の圧縮残留応力はいずれの板厚も粒径が小さい SB-3 が最も大きく約 -150MPa であった。また圧縮残留応力域では粒径の小さい SB-3 の場合は約 300~400 μm であったが、粒径の大きい SB-12 の場合は約 600 μm と深い箇所にも存在していることが認められた。

4. おわりに

アルミニウム合金 A5083P-O の板厚 3 種類 ($t=3, 5, 8\text{mm}$) に種々のショット材でピーニング処理を行った場合の疲労強度改善の検討を行った。得られた結果は次のとおりである。

- 1) いずれの板厚の場合も粒径が小さい SB-3 でピーニング処理した場合に最も疲労限度が改善され母材のそれ (約 100MPa) に比べ、約 30~40MPa の上昇が認められた。
- 2) また、粒径が大きい SB-12 および AD-12 で処理した場合、板厚 5 および 8mm の場合は母材と同程度かわずかに改善される傾向が認められた。しかし、板厚 3mm の場合には著しく低下することが認められた。
- 3) 板厚 3mm に粒径の大きい SB-12 および AD-12 でピーニング処理した場合には、板厚に及ぼす表面粗さの割合が板厚 5 および 8mm に比べ著しく大きいため、疲労強度が著しく減少したと推察される。
- 4) 従って、アルミニウム合金の場合には表面粗さの影響が疲労強度改善に著しく影響を及ぼすため、ピーニング処理には十分な注意が必要である。

参考文献

- 1) 長谷川正義, 鈴木浩昭, 三浦健: 鋼材溶接継手の疲労強度に及ぼす強ショットピーニング清掃および溶融亜鉛めっきの影響, 溶接学会論文集, 第 25 巻, 第 4 号, 2007 年, p. 486-493
- 2) 長谷川正義, (故) 大田訓郎, 鈴木浩昭: 高硬度・大比重ショットピーニングによる SM490A 溶接継手の疲れ強さ改善, 溶接学会論文集, 第 21 巻, 第 1 号, 2003 年, p. 73-80
- 3) 長谷川正義, 鈴木浩昭: 高硬度大比重ショットピーニングによるアルミニウム合金溶接継手の疲れ強さ改善, 溶接学会論文集, 第 22 巻, 第 4 号, 2004 年, p. 524-530