1-28

AZ91D マグネシウム合金ダイカスト摩擦攪拌接合継手の組織と機械的性質

日大生産工(院)　○吉原　晃二
日大生産工　仲間　大
日大生産工　加藤　数良

１．緒　言

マグネシウム合金ダイカストは軽量であり自動車部品をはじめとして様々な分野で使用されているが,現在構造材料として用いられている鉄や鋼などに比べ伸びや強度が低いため,非構造材料としての用途が大部分を占めているのが現状である[1].また,ダイカストなどによる鋳造材は，鋳造時に生じるポロシティや不均一な鋳造組織により,一般には溶接には不向きである.

一方,組織制御法の一つである摩擦攪拌プロセス(Friction Stir Processing:FSP)をマグネシウム合金ダイカスト材であるAZ91D 合金に適用した結果,組織は等軸で微細となり,鋳造時に内在するポロシティが分散微細化され高強度化が可能であった[2].

本研究では,マグネシウム合金ダイカスト AZ91D に摩擦攪拌接合(Friction Stir Welding:FSW)を行い,接合条件が得られた継手の組織と機械的性質に及ぼす影響について検討した.

２．供試材および実験方法

供試材には，AZ91D マグネシウム合金ダイカスト板(150mm^{L}×70mm^{W}×3mm^{t})を用いた.化学組成を Table 1 に機械的性質を Table 2 に示す.

FSW には日東制機製 FN－Ⅱ型摩擦攪拌接合機を使用し,FSP[2]と同条件である Table 3 に示す条件を組合せて実験を行った.回転工具は合金工具鋼(SKD61)製とし,ショルダ径 20mm,ショルダ角 4°，プローブは M6,長さ 2.6mm に機械加工したものを用い,前進角を 3° とした.

得られた継手の外観観察,巨視的および微視的組織観察,硬さ試験,接合方向と垂直に JIS14B 号試験片(平行部幅 5mm,板厚 2.5mm)を採取した引張試験および三点曲げ試験,温度測定を室温で行った.

３．実験結果および考察

Fig.1 に継手接合部中央部の外観を示す.FSW 後の表面には,他のマグネシウム合金摩擦攪拌接合継手に類似したショルダ径とほぼ同一幅の円弧状の模様が接合開始点から終端点まで観察され[3],全条件で接合速度の増加に伴いばりは AS 側,RS 側(工具回転方向と接合方向が同一となる側を AS

Table 1 Chemical compositions of base metal.(mass%)

Al	Zn	Mn	Si	Cu	Be	Ni	Fe	Mg
8.96	0.613	0.278	0.021	0.002	0.001	0.0005	0.0005	Bal.

Table 2 Mechanical properties of base metal.

Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HV0.3)
201	2.81	67.2

Table 3 Friction stir welding conditions.

Rotational speed	N	(rpm)	800 , 1200 , 1600
Traverse speed	V	(mm/s)	0.5 , 1.0
Preheating time	t	(s)	15

Structure and Mechanical Properties of Friction Stir Welded Joint of AZ91D Magnesium Alloy Die Cast

Koji YOSHIHARA , Dai NAKAMA and Kazuyoshi KATOH

側,逆となる側を RS 側と称す)両側に発生した.また,工具回転数の増加に伴い接合部表面が粗くなる傾向を示した. 図は示さないが,裏面には全条件で変形や接合境界は認められず健全な継手が得られた.

Fig.2 に継手横断面巨視的組織を示す.全条件で撹拌部が明瞭に観察されたが,オニオンリングのような同心楕円状の層状組織は観察されなかった.この撹拌部は AS 側に偏る傾向を示し,工具回転数の増加,接合速度の減少に伴い不明瞭となった.また,接合速度の減少に伴いショルダによる熱影響部が明瞭に確認され,撹拌部は若干拡大した.工具回転数の増加により板厚は若干減少したが,本実験の範囲内では組織への影響は認められなかった.

Fig.3 に継手横断面微視的組織を示す.全条件で類似の傾向を示したので,工具回転数 800rpm,接合速度 0.5mm/s を示す.撹拌部に隣接した Fig.3(A)および Fig.3(C)では,組織の流動が明瞭に観察され,基材中に存在したポロシティは変形され,特に AS 側に多く認められた.この変形したポロシティは工具回転数の増加に伴い減少する傾向を示した.撹拌部の組織 Fig.3(B)は母材部 Fig.3(D)と比較して等軸で微細となった.また, ADC12 アルミニウム合金ダイカスト材の場合,撹拌部ではポロシティは完全に消滅したが [4],AZ91D 合金の場合には, 基材と比較して著しく減少したが完全には消滅しなかった.このことは,アルミニウム合金に比較してマグネシウム合金が変形しにくいことによるためと考える.

Fig.4 に継手横断面撹拌部中央の微視的組織を示す.撹拌部中央の組織は工具回転数 800rpm,接合速度 0.5mm/s の条件では等軸で著しく微細となる傾向を示し,AZ61 マグネシウム合金摩擦攪拌接合継手の組織と類似の様相を呈した [5].接合速度の変化による影響は工具回転数 1200rpm の条件で,組織が粗大

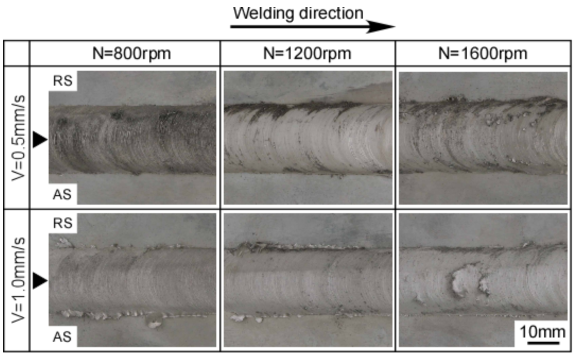

Fig.1 Appearances of FSW joint.

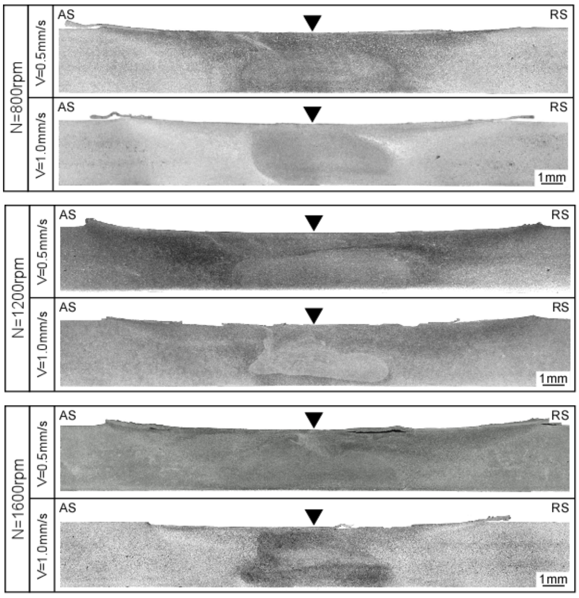

Fig.2 Macrostructures of FSW joint.

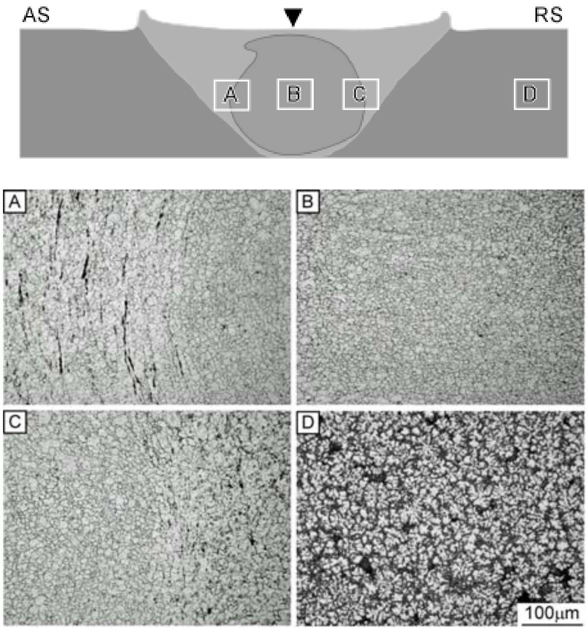

Fig.3 Microstructures of FSW joint.
(N=800rpm,V=0.5mm/s)

となる傾向を示したが,工具回転数 1600rpm,接合速度 1.0mm/s の条件では粗大な組織と非常に微細な組織が混合して認められた.

Fig.5 に Fig.4 に示した撹拌部中央の微視的組織よりチンマー法によって平均結晶粒径を求めた結果を示す.母材のデントライトアームスペーシングは 17.3μm であった.全条件で母材と比較して微細となる傾向を示したが,本実験の範囲内では工具回転数 1200rpm で撹拌による熱影響によって一部が粗大な結晶粒となり,工具回転数 1600rpm の条件では溶体化処理温度に達したため,微細な組織と粗大な組織が混合した組織を示し観察場所により粒径に大きな差が生じた.また AZ91D 合金は,塑性流動性が AZ31 マグネシウム合金等と比較して劣るため,接合速度の増加に伴い撹拌力の影響が減少し結晶粒は粗大となった.最小の平均結晶粒径は工具回転数 800rpm,接合速度 0.5mm/s の条件で 9.1μm であった.

Fig.6 に継手横断面中央の硬さ分布を示す.破線は母材の平均硬さを示す.硬さにばらつきはあるが,撹拌部の硬さは全条件で大きな変化は認められなかった.また,ショルダによる熱影響部では変形したポロシティが AS 側に多く認められたため,軟化域が RS 側よりも広くなる傾向にあった.図は示さないが,工具回転数の増加に伴い軟化域と母材部および撹拌部の硬さとの差は認められなくなった.

Fig.7 に接合方向と垂直に採取した試験片による引張試験の結果を示す.全条件で母材の引張強さを若干下回る値を示し,工具回転数の増加に伴う熱影響により引張強さが減少する傾向を示した.最高引張強さおよび伸びは,工具回転数 1200rpm,接合速度 0.5mm/s の条件で σ=199MPa, δ=1.5%で,それぞれ母材に比較して引張強さが 99%の値,伸びが 58%の値であった. 破断は全条件で母材破断であった.

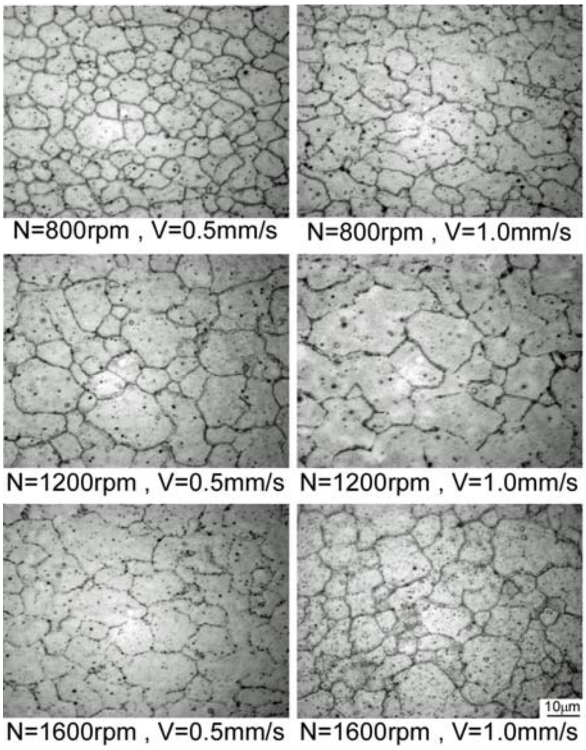

Fig.4 Microstructures of center of stir zone.

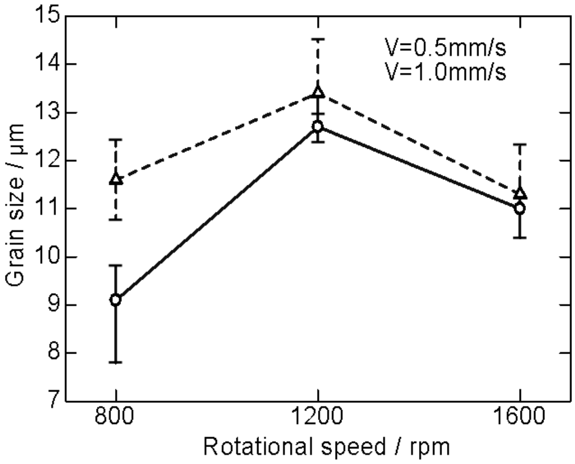

Fig.5 Measuring results of grain size.

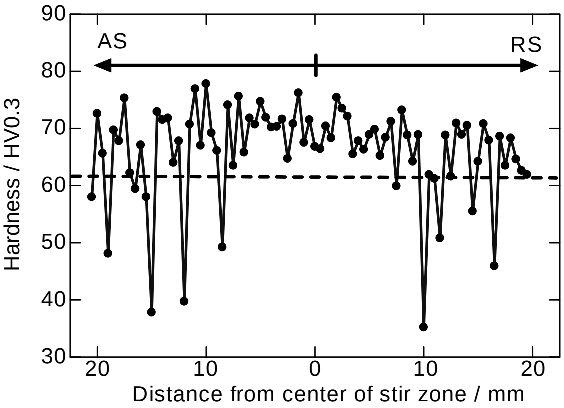

Fig.6 Hardness distribution of FSW joint.
（N=800rpm , V=0.5mm/s）

Fig.8 に 3 点曲げ試験後の破断後外観を示す.全条件で破断したため，図に示すαとβの角度を測定し平均値を求めた.測定結果をFig.9 に示す.母材の角度は 17° であり図中に破線で示した．継手の曲げ試験後の角度が母材に比較して低い,または同程度の条件では破断は接合界面近傍であり，母材に比較して角度が増大した条件では撹拌部 AS 側で破断した.最大値は工具回転数 1200rpm,接合速度 0.5mm/s の条件の 28° と母材の約 1.7 倍変形した.これは過去の実験より AZ91D 合金に FSP を行い,撹拌部から平行に採取した引張試験結果より撹拌部の伸びは,母材に比較して著しく向上した [2] ことによるものと考える.

Fig.10 に温度測定の結果を示す.測定は FSW 開始点より 30mm,接合界面より AS 側に 5.5mm の位置の板厚中央部で行った．工具回転数 800rpm の条件では最高温度 655K であり，工具回転数 1600rpm の条件では最高温度 678K であった．一般にマグネシウム合金の融点は約 942K であり [1],全条件で最高温度がこれより低いため固相状態での接合であった.

参考文献

1)時末　光ほか:現場で生かす金属材料シリーズマグネシウム，工業調査会,2009,14-23.

2)吉原晃二ほか:摩擦攪拌プロセスによった AZ91D マグネシウム合金の機械的性質,第 61 回塑性加工連合講演概要,2010,338.

3)加藤数良ほか:AZ31 マグネシウム合金摩擦攪拌接合継手の組織および機械的性質,軽金属,42,2006,131.

4)吉原晃二ほか:摩擦攪拌プロセスによった ADC12 合金の機械的性質,日本機械学会 第 17 回機械材料・材料加工技術講演概要(2009),322.

5)植松美彦ほか:AZ61 マグネシウム合金摩擦攪拌接合継手の疲労挙動,溶接学会論文集,第 25 巻,1 号,2007,224.

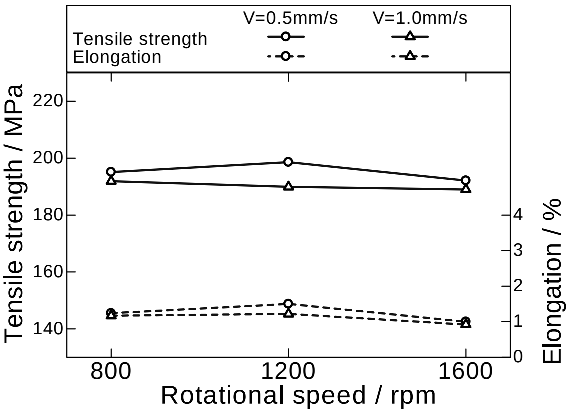

Fig.7 Results of tensile test.

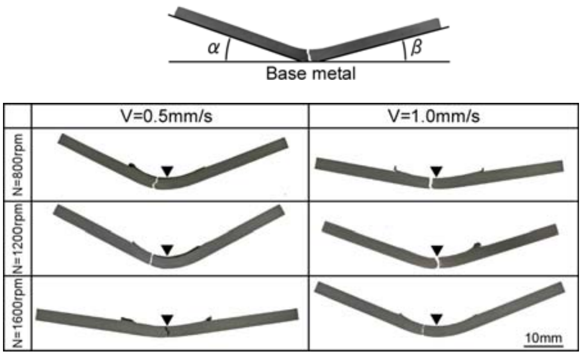

Fig.8 Appearances of bending tested specimen.

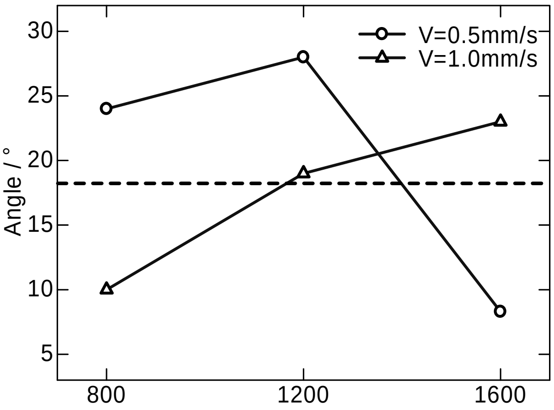

Fig.9 Angles of after bending test.

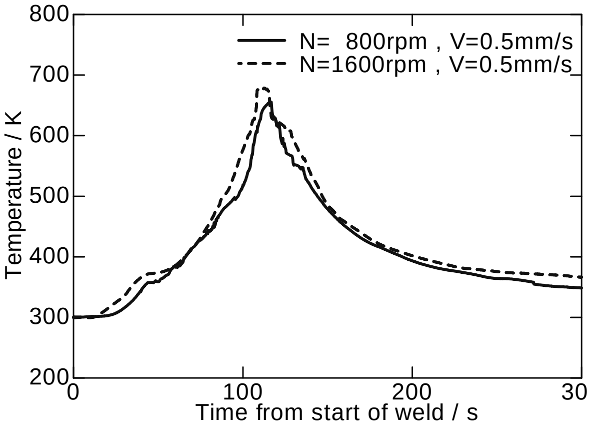

Fig.10 Measuring results of temperature of FSW.