

薄板を用いた簡易金型の製作に関する研究

佐野 正明・石黒 輝雄・八代 浩二・国枝 正典*1・山崎 久男*2

Study on Manufacturing of Simple Molds by Diffusion Bonding of Laminated Thin Metal Sheets

Masaaki SANÔ, Teruo ISHIGURO, Kouji YATSUSHIRO, Masanori KUNIEDA*1 and Hisao YAMASAKI*2

要 約

ダイカスト等の熱間用金型では、薄板を積層して拡散接合させた簡易金型の適用が試みられているが、繰り返しの熱応力付加時における拡散接合面の熱的挙動について明確になっていないという問題があった。そこで本研究では、積層手法により製作した試験片に熱疲労試験機を用いて熱応力を付加し、各サイクルの表面における残留応力の測定、X線回折法による分析および電子顕微鏡によるクラック発生状態の観察を行った。また熱疲労試験を終了後に試験片を切断し、表面からのクラックの進展状況について観察を行った結果、ダイカスト金型として低サイクルの使用には有効であることが確認できた。

1. 結 言

各種の金型において、加工機の高精度化・CAD/CAM機能の高効率化が達成され、短納期・高品質な金型の製作が実現されている。しかし、国内におけるものづくりの生産形態を考えると、更なる多品種少量生産が求められ、金型形状についても一段と複雑化傾向を示し、従来の金型製作手法では対応が困難となる場合も生じている。このような背景から、短納期および少量生産に対応するような簡易金型の製作要求が一段と強まっており、一部では少量生産用の金型として光造形やアルミニウム素材による金型等が取り入れられているが、これらの金型はダイカストおよび鍛造金型に用いる事は困難である。

近年、この対応策として金型の製作に薄板積層手法が注目されている。この手法はレーザ切断などを施した薄板を積層し、拡散接合させて金型を製作するもので、直彫り加工を伴わないことから製作時間の短縮および薄肉化による材料コストの低減が可能である。また、製作段階で製品形状に沿った冷却水路を複雑に設定でき、従来の金型と比較して優れた冷却性能を有することができる。しかし、熱応力が繰り返し付加された時の拡散接合面の熱的挙動について、明確になっていないという問題があった。

そこで本研究では、積層手法により製作した試験片に熱疲労試験を実施し、拡散接合面の熱的挙動の検討を行った。

2. 実験方法

2-1 試験片

実験に用いた素材は、熱間金型用合金工具鋼 (SKD61) の厚さ30mmの板を用いた。これを、圧力8MPa、温度1200℃、保持時間135min、拡散接合面の表面粗さ1.5 μ m Rzの接合条件にて拡散接合を行った。また、高温により金属組織が粗大化して靱性が低下する問題を解決するため、図1に示すように、炉内で870℃まで8時間かけて徐々に加熱して1時間保温後、10時間かけて60℃まで炉内で冷却しアニーリング処理を施した。さらに熱疲労試験を行うため、図2に示す様な、直径58mm、厚さ20mmの円筒形状の試験片に加工した。

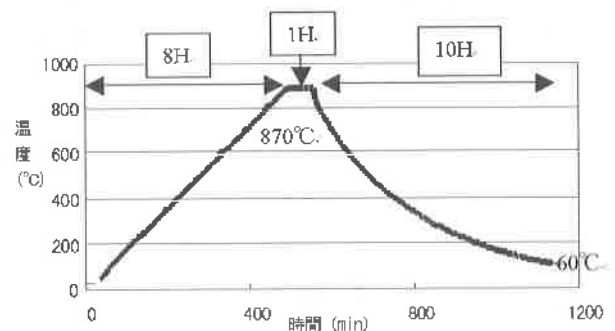


図1 アニーリング処理条件

2-2 熱疲労試験と評価方法

熱疲労試験はダイカスト操業条件を想定し、試験片の表面を加熱したブロックに接触させて加熱 (570℃, 160s 保持) 後、水槽中へ投入し冷却 (100℃, 15s 保持) させる接触加熱方式にて行った^{1) 2)}。図3にサイクル加

*1 国立大学法人東京農工大学

*2 株式会社積層金型研究所

熱-冷却条件を示す。この条件で5000サイクルまで熱疲労試験を行った。図4に試験機の概略を示す。

評価方法は、加熱-冷却過程における1, 2, 5, 10, 200, 500, 1000, 2000サイクルにて、試験を中断して各サイクルの表面における残留応力の測定、X線回折法による分析および電子顕微鏡によるクラック発生状態の観察を行った。また、5000サイクル終了後、同様な試験片表面の測定と試験材料を切断して表面からのクラックの進展状況および硬度について測定を行い、熱疲労挙動の検討を行った。

残留応力測定については櫛リガク製 MSF-2Mを用いて、平行ビーム法による並傾法で行った。測定方向は拡散接合面に対して垂直方向をV、水平方向をHとして測定した。また、X線回折法による分析について櫛リガク製RAD-3Cを用いて測定を行った。表1に残留応力測定およびX線回折の測定条件を示す。表面のクラック観察には電子顕微鏡（日本電子製JSM-5310LV）を用いた。5000サイクル終了後の硬度測定については、マイクロピッカース硬度計（櫛アカシ製 MVK）を使用し、荷重10gにて測定を行った。

測定箇所については図2に示す様に、それぞれ外周から約10mm内側近辺の、拡散接合面上の2点（測定箇所NO.1, 2）、非拡散接合面上の2点（測定箇所No.3, 4）の4箇所とした。測定値はそれぞれの平均値を用いた。

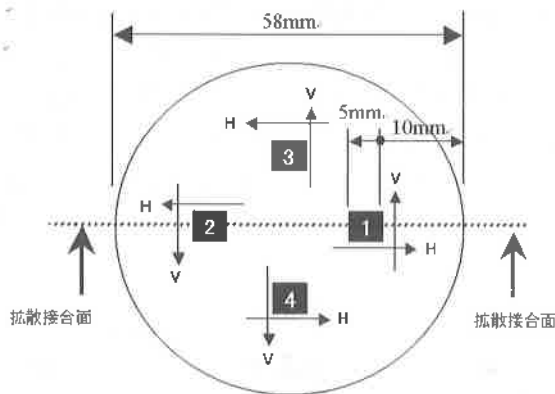


図2 熱疲労試験片および測定箇所

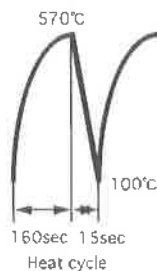


図3 加熱-冷却サイクル

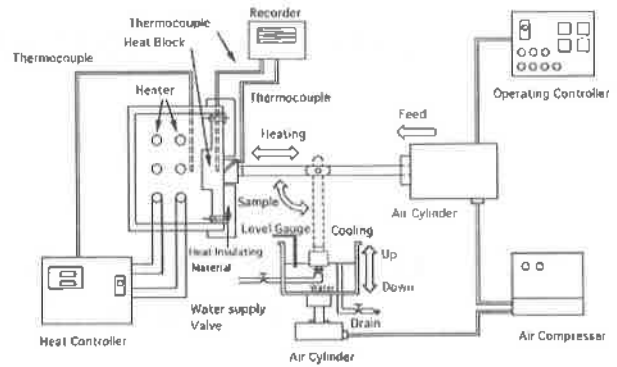


図4 熱疲労試験装置の概略

表1 残留応力およびX線回折法による分析条件

測定条件	残留応力	X線回折
回折角度	α Fe (211)	----
Target-Filter	Cr-V	Cr-V
管電圧	30kV	40kV
管電流	8mA	30mA
応力定数	-297MPa	----

3. 結果および考察

3-1 残留応力測定結果

図5は試験片表面における残留応力測定結果の変化を示す。熱疲労試験前と開始直後については、試験片表面に施された研削加工の影響から、試験片の拡散接合面に垂直方向（V）、水平方向（H）の測定方向により測定値に明確な違いがみられるとともに、100サイクルまでは残留応力値はほぼ直線的に変化し、約-400MPaを示した。以降、熱疲労サイクル数が増加するに従い、圧縮残留応力は減少し、5000サイクル終了時には-200MPaに収束した。

また、100サイクル以降は、拡散接合面と非拡散接合面、測定方向の違いによる残留応力の違いが明確に認められず、サイクルの増加に従って、ほぼ同一の値に収束したことがわかる。

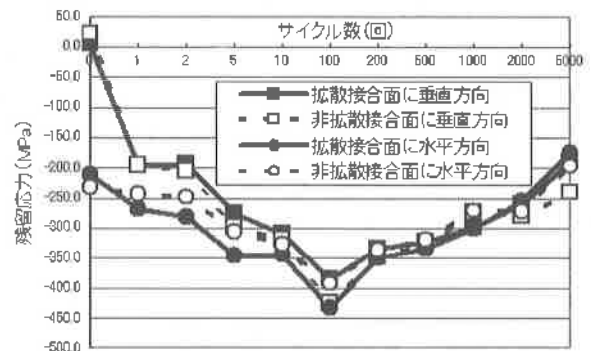


図5 残留応力値の変化

3-2 X線回折法による分析結果

図6に、測定箇所NO.1の各サイクルにおける試料表面のX線回折法による分析結果を示す。試験前においては α Feのみの回折線であったが、サイクル数の増加に従って減少し、100サイクルから Fe_3O_4 回折線が観察されるようになった。また、これについては他の3箇所についても同様な結果であり、X線回折の分析結果には拡散接合面と非拡散接合面における違いは特に認められなかった。これは熱疲労試験によるサイクルの増加に伴い、試料表面に一樣に酸化膜が形成されていったことによるとと思われる。

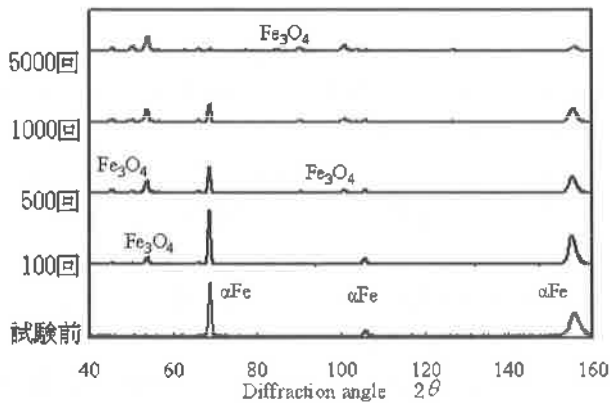


図6 X線回折の変化

3-3 電子顕微鏡観察結果

図7に拡散接合面である測定箇所NO.2における電子顕微鏡観察による結果を示す。なお、拡散接合面は写真中央部で垂直方向である。図7の写真から、100サイクルにて亀甲状にクラックが発生し、以降はクラックが成長および増加していく様子が確認できた。また図8に5000サイクル時における各測定箇所を比較したものを示す。全てにおいて若干の差はあるがクラックが発生しており、クラックの発生状況として、拡散接合面と非拡散接合面における違いは特に認められなかった。

図5の残留応力値の変化による結果と図7および図8の電子顕微鏡観察結果と併せ、クラックの発生・成長に伴い、圧縮残留応力が開放されていったものと推察される。

3-4 試験後の断面観察による熱疲労挙動の検討

図9に熱疲労試験後の断面の光学顕微鏡による観察結果を示す。5000サイクル終了後に図2に示す測定箇所について切断を行い、クラックの発生状況の観察を行った。

(a)は熱疲労試験前の拡散接合面近傍の観察結果であるが、拡散接合面にはクラックは認められず、接合が良好に行われていることが確認できる。なお、試験前の観察結果については、同接合条件にて行った別のサンプルで観察を行った。

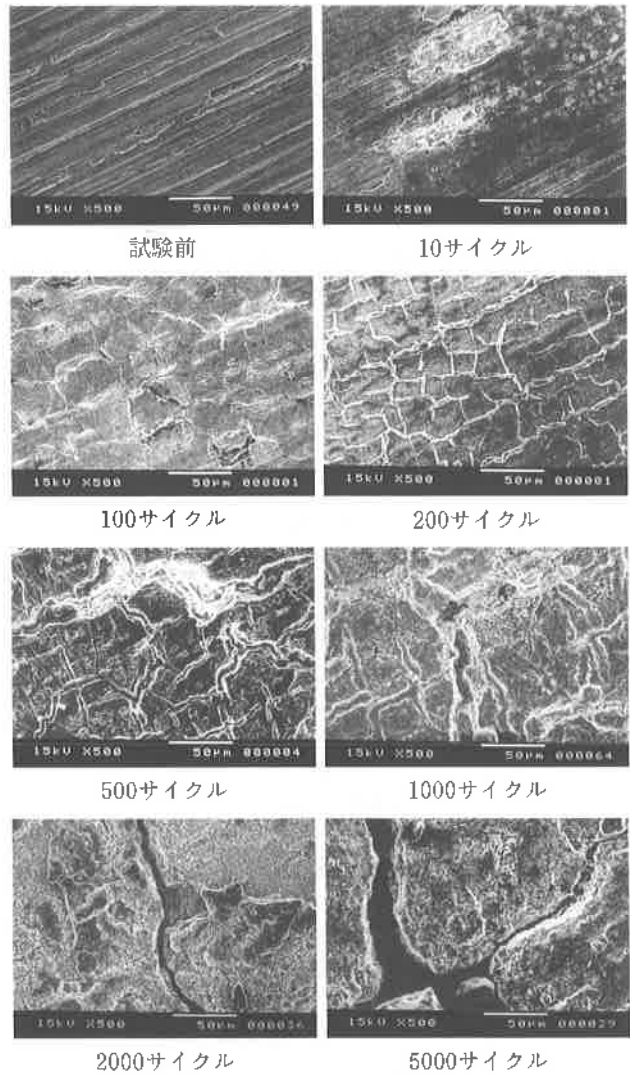
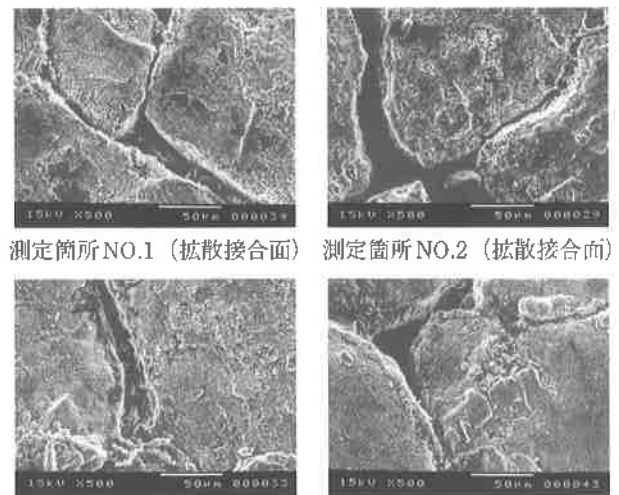


図7 測定箇所NO.2 (拡散接合面) 電子顕微鏡観察写真



測定箇所NO.1 (拡散接合面) 測定箇所NO.2 (拡散接合面)
測定箇所NO.3 (非拡散接合面) 測定箇所NO.4 (非拡散接合面)
図8 拡散接合面と非拡散接合面での比較(5000サイクル時)

(b)は熱疲労試験5000サイクル実施後の拡散接合面の断面を観察した結果であるが、図1の測定箇所NO.1では1.5mm、測定箇所NO.2では拡散接合面に沿って直線的に最大3.5mmのクラックが観察された。

(c)は熱疲労試験5000サイクル実施後の非拡散接合面の断面を観察した結果であるが、測定箇所NO.3では0.8mm、測定箇所NO.4では0.9mmのクラックが認められた。

また、断面方向の硬度測定結果についてを図10に示す。測定箇所は、同接合条件にて行った試験前の別サンプルの拡散接合面近傍とNO.2測定箇所の拡散接合面近傍である。試験前と5000サイクル試験後では特に違いは認められず、ピッカース硬度HV270程度で一定の値を保っており、熱疲労試験における変化は認められなかった。

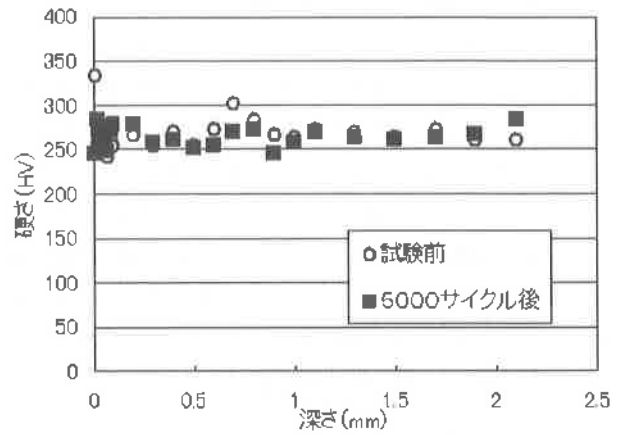
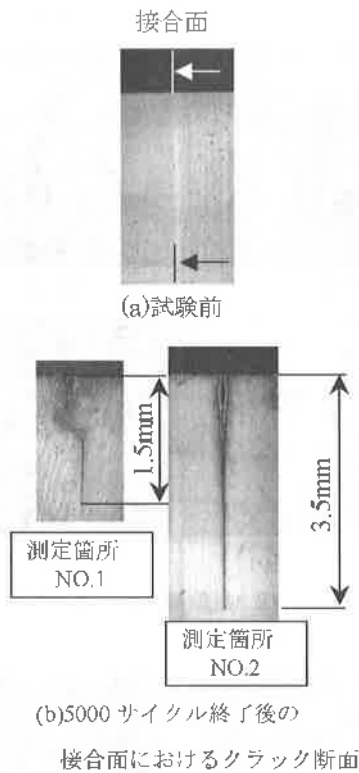
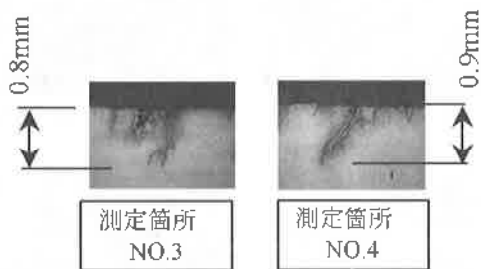


図10 硬度測定結果



(b)5000 サイクル終了後の

接合面におけるクラック断面



(c)5000 サイクル終了後の

非接合面におけるクラック断面

図9 試料断面の比較 (試験前と5000サイクル後)

4. まとめ

積層金型の熱疲労試験を行い、熱的挙動について検討した結果を以下に記す。

- 1) 加熱-冷却サイクルが100回にて、圧縮残留応力が最大となり、以降クラックの増加とともに減少した。
- 2) X線回折法による分析結果より、加熱-冷却サイクル回数の増加に従って α Feは減少し、相対的に Fe_3O_4 が増加した。
- 3) 5000サイクル終了後の断面観察の結果、拡散接合面にて最大3.5mm、非接合部分にて0.9mmのクラックが観察された。
- 4) 試験前と5,000サイクル終了時の硬度の比較では、特に変化は認められなかった。

これにより、積層金型のダイカスト金型としての使用に当たって低サイクルの使用には有効であることが確認できた。しかし、金型寿命の把握という観点より、クラックの進展状況についてのさらなる調査が必要であると思われる。

参考文献

- 1) 八代浩二他：表面処理における金型鋼の機能性向上に関する研究（第一報），山梨県工業技術センター研究報告，平成13年度第16号，p.4-8（2002）
- 2) 佐野正明，八代浩二：放電加工面の高品質・高精度化に関する研究（第二報），山梨県工業技術センター研究報告，平成13年度第16号，p.83-86（2002）