

입자 강화형 금속 복합재료의 Thixomolding

이동건*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 전용필**(부산대 대학원 정밀기계공학과),
강충길(부산대 대학원 기계공학부)

Thixomolding of Particulates Reinforced Metal Matrix Composites

D.K. Lee (Mech. & Precision Eng. Dept., PNU), Y.P. Jeon (Mech. & Precision Eng. Dept., PNU),
C.G. Kang (Mech. Eng. Dept., PNU)

ABSTRACT

The characteristics of thixoforging process can decrease liquid segregation because of the improvement in fluidity in a globular microstructure state and utilizes flow without an air entrapment.

Therefore, in order to obtain the sound parts of metal matrix composites by using thixoforging process which is co-existing solidus-liquidus phase, it is very important to obtain a die design, fabrication conditions which affects the uniformity of the solid fraction on unfilling state and various defects throughout the fabricated parts.

The die designs and fabrication conditions to obtain the good piston part are proposed for thixoforging process of metal matrix composites.

Key Words Thixoforging process(딕소오포오밍 성형), Metal matrix composites(금속복합재료), Oxide film(산화층), Die design(금형설계), Reheating(재가열)

1. 서론

금속복합재료의 반응용 성형 공정은 고액 공존 영역에서 경질 정형 부품을 제조하는 공정으로서, 기계식 또는 전자기식 교반법에 의해 수직상정 조직이 파괴된 등축정 조직을 가지는 경량 복합합금소재를 주로 이용하고 있다.

반응용 성형 기술은 원소재 개발, 반응용 성형성 평가 및 D/B 구축, 반응용 소재의 기초 물성치 조사 등의 포괄적인 면에서 연구가 활발히 진행되고 있다.

그 이유는 환경 오염 저감, 경량화 소재 적용 가능, 금형 수명 향상 및 양호한 기계적 성질 등을 얻을 수 있는 공정이기 때문이다.

반응용 성형 기술로서 Hervieu[1] 등은 AZ91 마그네슘 합금을 P.I.D(pressure ingot die casting) 공정에 적용하여 입의 형상의 케비티 내부로의 충전 실험을 수행하였으며, 정[2] 등은 반응용 재료의 압축 성형 실험시 변형률 속도 변화에 따른 고·액간의 거시적 분리 현상으로 발생할 수 있는 액상 편석 방지를 위한 성형조건을 제안하

었다.

Lee[3]등은 SiCp/Al 복합재료에 있어서 Si의 양이 재현 반응과 성형성에 미치는 영향 등을 검토하였다. Laplante[4]등은 SiCp/Al 복합재료를 이용하여 반응용 압출공정을 수행할 때 강화제의 금속학적거동과 압출거동해석 방법을 제시하였다.

이와 같은 반응용 성형 공정에 사용되는 소재는 일반적으로 Al 및 Mg 합금이지만, 금속계 복합재료를 이용하여 반응용 단조공정을 연구한 사례는 보고되지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 반응용 성형 공정을 금속 복합재료의 소재에 이용하여 피스톤 부품을 제조하는 성형공정을 제시하고자 한다.

2. 반응용 성형실험

2.1 실험방법

반응용 성형 실험은 200Ton 고속 유압 프레스를 이용하였으며, 좌우 대칭 분할 금형을 적용하였다.

성형 조건은 가압력을 각각 100, 80, 60MPa로 하였으며, 가압 속도는 $370 \pm 10 \text{ mm/s}$, 금형 온도는 $300 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 일정하게 하였으며, 가압 유지 시간은 10sec로 하였다.

성형 소재는 각각 강화재 함유율이 0, 10, 20%, 강화재 크기가 14, $25\mu\text{m}$ 인 5가지 종류이며, 가압력이 60, 80, 100MPa인 3가지. 경우에 대하여 성형 실험을 수행하였다.

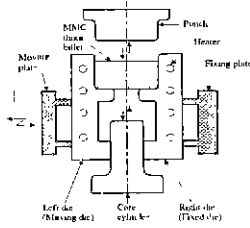


Fig. 1 Schematic diagram of thixoforging for piston parts

Fig. 1는 반응용 성형을 위한 금형의 조립도이다.

성형에 있어서 가장 중요한 재가열공정을 재가열 조건은 반응용 알루미늄 재료의 연구내용[5, 6]을 응용하여 재가열조건을 도출한 결과를 이용하였다[7, 8].

2.2 실험 결과

Fig. 2는 강화재의 크기가 $14\mu\text{m}$ 인 경우에 대하여 성형된 소재에 대해 완전 충전 조건을 나타낸 것이다.

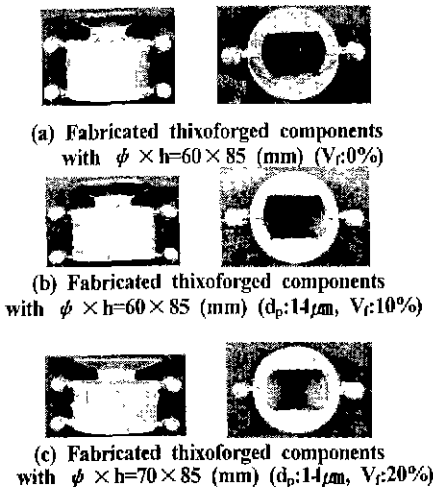


Fig. 2 Thixoforged components to particulates reinforced metal matrix composites billets with various volume fraction

강화재가 0%의 경우 재가열 온도가 575°C (Fig.2(a))에서, 10%의 경우 580°C (Fig.2(b)), 20%의 경우 601°C (Fig.2(c))에서 양호한 성형성을 가졌다. Fig.2(c)의 경우, 직경이 $\phi 70\text{mm}$ 인 것은 강화재의 체적함유율이 증가하면 기공이 증가하여 소재의 체적이 감소함에 기인한 것이다.

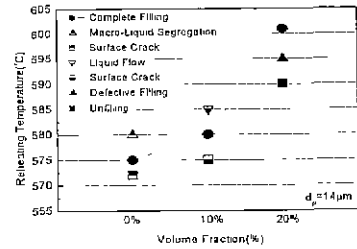


Fig. 3 Relationship between various filling patterns of thixoforged components and reheating temperature with various volume fraction

Fig. 3은 반응용 성형품의 각종 결함 및 외관 형상을 재가열 온도와 섬유함유율 사이의 관계를 나타낸 것이다. 반응용 성형시 완전 충전(●)되는 재가열 온도는 강화재의 크기가 $14\mu\text{m}$ 일 때, 강화재의 체적함유율이 0%, 10%, 20%로 증가함에 따라 각각 575°C , 580°C 및 601°C 로 상승함을 알 수 있다.

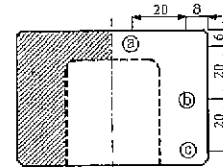


Fig. 4 Schematic diagram of optical observation at (a), (b) and (c) points for microstructure

성형된 소재에서 Fig 4의 (a), (b), (c) 부위의 미세 조직을 관찰하였으며, 이는 Fig. 5, 6에 나타나 있다.

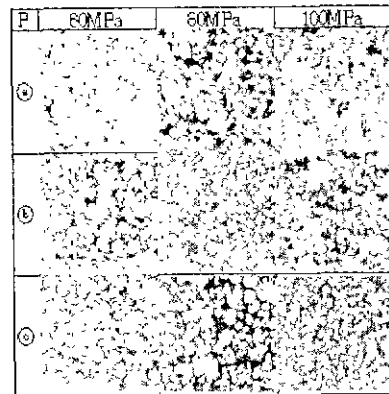


Fig. 5 Microstructure of piston specimen after thixoforging for variation of forming pressure with volume fraction 0%(SO)

Fig. 5는 SO(0%)의 소재를 이용하여 가압력을 각각 60MPa, 80MPa 및 100MPa로 반응용 성형 한 미세조직을 Fig 6의 부위별로 나타낸 것이다. 각각의 경우에 대하여 가압력이 직접 작용되는 (a)부위에서는 고상 입자의 응집

현상이 관찰되었으며, 캐비티 내부에서의 유동이 가장 먼 ㉔부위에서는 비교적 액상의 함량이 증가되었다. 또한 가압력에 따른 미세 조직의 변화는 발견되지 않으며, 미세하게 포집된 기공이 60, 80MPa에서 소수 관찰되었다.

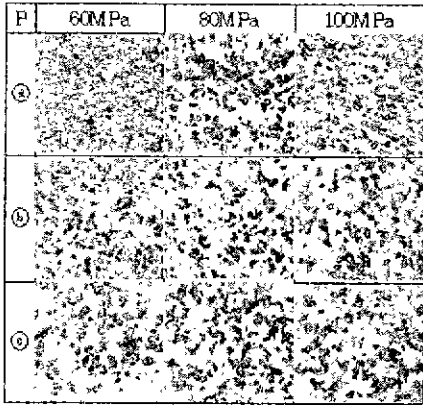


Fig. 6 Microstructure of piston specimen after thixoforging for variation of forming pressure with volume fraction 10% and particle size 25µm(LS)

Fig. 6은 LS(25µm, 10%)의 성형된 미세 조직을 나타낸 것이다. 관찰된 미세 조직에서의 강화재 분산 정도는 양호하나 강화재의 크기가 14µm인 경우에 비해 가압력에 의하여 강화재의 응집현상이 다소 감소하였으나, 포집된기공이 관찰되었다. 다이 캐비티로의 충전 유동에 따라 ㉔부위에서 ㉔부위로 갈수록 강화재의 함량이 감소하고 액상의 증가가 관찰되었다.

3. 기계적 성질 조사

3.1 인장 실험

인장 실험은 간접가압되는 부위와 직접가압되는 부위로 환봉 및 판재 형상의 시험편을 준비하여 반응용 성형 조건 별로 실험하였으며, 상용 피스톤과 비교하였다.

실험 결과, 강화재 크기가 25µm인 경우보다 14µm인 경우 인장 강도가 높게 나타났다. 이는 강화재의 체적함유율이 같을 때, 강화재의 크기가 더 작은 경우에 강화 입자와 기지계의 층 계면 접합 면적이 커서 시험편의 전체 계면접합 강도가 향상되었다고 사료된다. Mortensen[9]는 강화재의 크기와 체적함유율 및 기지계, 강화재의 종류에 따른 금속 복합재료의 기계적 성질을 보고하였다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 가압력이 증가할수록 인장 강도가 증가하였다. 한편, 전체적으로 인장 강도가 낮은 경향을 가지는 것은 낮은 계면접합 강도나 기공의 잔존에 기인한 것으로 사료된다. Samuel[10]등은 Al-Si-10vol.% SiCp 금속복합재료를 이용하여 인장 실험한 결과, 시험편 내부에서의 파괴 진행 경로는 기지재 또는 강화재와 기지계의

계면을 따라 진행한다고 보고하였다. 따라서, 간접 가압부의 인장강도가 낮은 것은 미세조직에서 기공 주위의 강화재에 기인하여 접합 강도가 상대적으로 낮아져 파괴 진행 속도가 상승되기 때문인 것으로 사료된다. 반면에, 강화재 입자 크기에 따른 인장강도의 크기는 별다른 차이가 없었다.

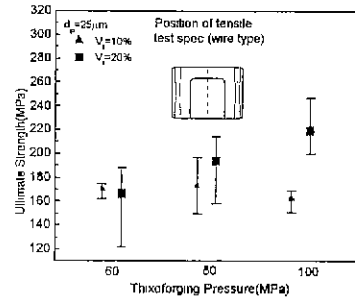
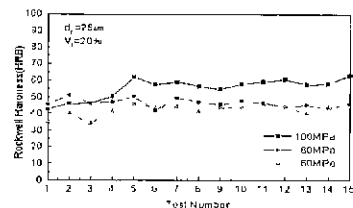


Fig. 7 Ultimate strength of particulates metal matrix composites by thixoforging

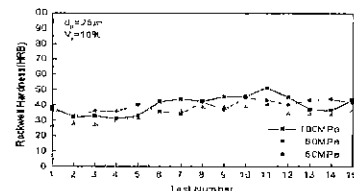
3.2 경도 실험

Fig. 8에서 간접가압부의 경도 시험편을 준비하여 성형 시 빌렛의 층진 경로를 따라 0.5mm 간격으로 측정하였다. PMMC의 경우 Al 기지재에 SiCp가 분산되어 있기 때문에 로크웰(RHB) 경도기로 측정하였으며, 열처리는 인장시험과 같은 조건으로 하여 측정하였다. 그 결과, 가압력과 강화재의 함유율이 높을수록 경도 값이 증가함을 알 수 있었다.

A357의 T6열처리 조건과 금속복합재료의 T6열처리 조건의 차이는 용체화 처리 단계의 조건과 3단계의 인공시효로 나타나며, 이에 기인하여 순수 기지재 만을 가지는 성형품의 경도값이 전체적으로 감소한 것으로 사료된다.



(a) Rockwell hardness profile with LL(25µm, 20%)



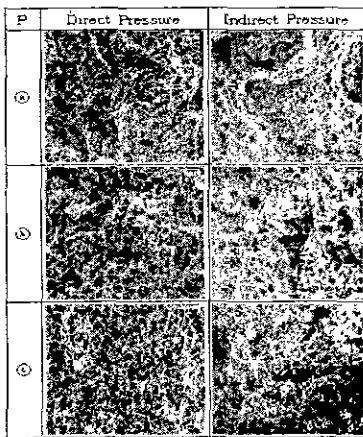
(b) Rockwell hardness profile with LS(25µm, 10%)

Fig. 8 Rockwell hardness(HRB) profile for variation of thixoforging pressure 100, 80 and 60MPa with particulate metal matrix composites and A357, AC8A

참고문헌

한편, Fig. 9에서 기공의 분포를 전체적으로 관찰하기 위해 강화재의 평균입자크기가 25 μm 인 시험편의 파단면에 대하여 비교적 저배율에서 SEM 촬영한 사진에서 $V_f=20\%$ (직접가압부)인 경우 미소한 기공 관찰되었다.

그러나, 강화재의 체적함유율에 관계없이 전반적으로 기공의 발생이 적음을 알 수 있다. 또한 강화재의 체적함유율이 0%인 경우 연성파괴의 파단면 조직이 관찰되며, $V_f=10\%$, 20%인 경우 연성 및 취성파단이 동시에 관찰되었다. 간접가압부의 경우에는 강화재의 체적함유율에 따라 조대한 기공이 파단면에서 관찰되었다. 이는 반응용 성형 시 다이캐비티 내부의 가압력의 차와 재가열 시 시험 단면부의 불균일한 온도 분포에 대한 영향으로 간접 가압을 받는 부위에서 기공의 함량이 상대적으로 높아져서 최종 적 성형품의 기계적 성질을 저하시키는 것으로 사료된다.



A : Particle crack
B : Interface separation between SiCp and matrix
C : Porosity

Fig. 9 SEM fractograph of A357/SiCp tensile specimen with both direct and indirect pressure (particle size: 25 μm , V_f : ①0%, ②10%, ③20%)

4. 결론

(1) 강화재의 체적함유율이 0, 10, 20%일 때, 완전히 충전이 이루어지는 온도는 각각 575 $^{\circ}\text{C}$, 580 $^{\circ}\text{C}$ 및 601 $^{\circ}\text{C}$ 임을 알 수 있었다.

(2) 간접 가압부에서는 강화재의 체적함유율이 20%이고, 강화재의 평균입자 크기가 14 μm 일 때 인장 강도 및 경도가 가장 높았으며, 직접 가압부에서는 강화재의 체적함유율이 20%인 경우가 기계적 성질이 우수하였다.

(3) 반응용 성형된 성형품은 가압력 100MPa, 강화재의 체적함유율 20%, 강화재의 평균입자 크기가 14 μm 인 경우 일 때 가장 우수한 성질을 얻을 수 있었다.

- O. Hervieu, J. Collot, "Die-Casting of light metal in the semi-solid state: study of the PID process", Proc. of 4th Int. Conf on semi-solid process of alloys and composites, University of Sheffield, England, June 19-21, 1996, pp.283~289
- 정경득, 강충길, "반용용 합금의 입축공정에서 다단 속도제어가 액상편석에 미치는 영향", 한국소성가공학회지 제9권 제7호, 2000년, pp.706~715
- J.C Lee and H.I. Lee, "Alloy design and processing of thixoformable wrought Al alloy composites reinforced with SiC", Proceedings 5th international conference semi-solid processing alloy and composites, Colorado School of Mines, June 23-25, 1998, pp.597~604
- S. Laplante, N. Legros, F. Ajersch, B. Clement and S. Turenne, "Extrusion of thixocast semi-solid A356-15 SiCp cylindrical sections", Proc. of 4th. Int. Conf. on semi-solid process of alloys and composites, University of Sheffield, England, June 19-21, 1996. pp.301~305
- H.K Jung, C.G. Kang, "An Induction Heating Process with Coil and Solutions Avoiding Coarsening Phenomena of Al-6 Pct Cu-0.3 Pct Mg Alloy for Thixoforming", Metallurgical and Materials Trans. Vol.30A NOV. 1999, pp.2967~2977
- H.K Jung, C.G. Kang, "Reheating process of cast and wrought aluminum alloy for thixoforming and their globularization mechanism", Journal of Materials Processing Technology 104 (2000), pp.244~253
- 임해정, 강충길, 조형호, "전자기식 교반법을 이용한 입자강화형 금속복합재료의 제조 및 Thixoforming을 위한 재가열 공정", 한국소성가공학회지 제9권 제15호, 2000년, pp.494~503
- 이동건, 강충길, "복합교반법으로 제조한 금속복합재료의 Thixoforming용 재가열공정", 한국소성가공학회 논문집, 투고 중(2001)
- A. Mortensen, "A Review of the Fracture Toughness of Particle Reinforced Aluminum Alloys", Proc. of an International Conf on Fabrication of Particulates Reinforced Metal Composites, ASM International, Montréal, Québec, Canada, 17-29. Sep.. 1990, pp.217~233
- A. M. Samuel, H. Liu, F. H. Samuel, "Effect of melt, solidification and heat-treatment processing parameters on the properties of Al-Si-Mg/SiC(p) composites, J of Materials Science 28, 1993, pp.6785~6798