

Thixoforming을 위한 금속 복합재료의 다단 재가열 공정

허재찬*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 강충길(부산대 기계공학부)

Multi-Step Reheating Process of Metal Matrix Composites for Thixoforming

J. C. Heo*(Mech. & Precision Eng. Dept., PNU), C. G. Kang(Mech. Eng. Dept., PNU)

ABSTRACT

The forming process of metal matrix composites by the die casting and squeeze casting process are limited in size and dimension in term of final parts without machining. The thixoforming process for metal matrix composites has numerous advantages compared to die casting, squeeze casting and comocasting. The characteristics of thixoforming process can decrease the liquid segregaton because of the improvement in fluidity in a globular microstructure state and utilizes flow without air entrapment. Therefore, in order to obtain the sound parts of metal matrix composites by using thixoforming process which as co-existing solidus-liquidus phase, it is very important to obtain reheating condition. However, for the thixoforming process, the billet with the desired volume fraction must be heated to obtain a uniform temperature distribution over the entire cross-sectional areas. To obtain the reheating conditions of composites, the particulate reinforced metal matrix composites for thixoforming were fabricated by combined stirring process which is simultaneously performed with electro-magnetic stirring and mechanical stirring process.

Key Words : Metal matrix composites(금속복합재료), Thixoforming(틱소오포오밍), Reheating(재가열)

1. 서론

금속복합재료의 반응용 성형은 기계식 또는 전자 기식 교반법에 의해 수지상정 파단 조직이 파괴된 등축정 조직을 가지는 경량 복합합금소재를 주로 이용하고 있다.

금속복합재료의 반응용성형을 위해서는 장입할 금속 복합재료의 재가열에 관한 연구가 필수적이다. 현재까지의 알루미늄 재료의 재가열 방법은 저주파코일을 이용한 유도가열방식인데, 이러한 방식에서 코일의 크기, 소재와 코일 내경의 가열온도와 시간의 데이터 등이 고려되어 성형시 빌렛의 온도가 균일하게 되도록 가열하는 방법 등이 연구되었다[1][2]. 현재까지 알루미늄 재료에 대한 재가열 연구에 비해서, 금속복합재료에 대한 연구는 아직 보고되고 있지 않다.

저자는 금속복합재료의 재가열을 위하여 코일 설계방법을 제안하여 코일을 제작하였다[3]. 실험을 통하여 재가열중 빌렛 단면에 있어서 온도편차를 최소화하고, 고상율이 50~55% 범위 내에서 Thixoforming이 가능한 재가열

조건을 제안한 것이다. 이론적으로 구한 재가열온도와 고상율 사이의 관계를 가열 중 강화재의 변화에 따른 빌렛의 온도변화를 측정된 결과 가열시간에 따라 복합재료 단면에 있어서 온도변화가 불규칙한 결과를 보여주었다.

본 연구에서는 수직형 코일로 빌렛을 재가열할 때 온도에 따른 빌렛의 변화 양상과 온도편차 등을 규명함으로써 중공형 모양 부품의 Thixoforming에 필요한 재가열 조건에 활용이 가능하도록 하였다.

2. 재가열 실험 방법

재가열은 빌렛의 미세조직을 제어할 수 있기 때문에 소재는 적절한 구상화 조직을 가지도록 재가열되어야 한다. 복합교반 장비를 이용하여 수지상정 조직을 파괴, 분산시켜 재가열시 적절한 구상화 조직을 가지도록 빌렛을 제조하였다.

재가열을 위한 복합재료 빌렛 size와 소재의 온도 측정 부위가 Fig.1에 나타내고 있다.

중공형 모양의 부품의 성형을 위해 제작된 빌렛

에 맞게 최적 설계된 재가열 코일을 20kW 유도 가열로에 설치하고 재가열 한 후 퀘칭하여 조직을 관찰하였다. 빌렛을 세 부분으로 나누어 ϕ 2mm로 가공한 후 CA 열전대를 삽입하여 설정온도와 실제 가열 온도와의 차이를 얻었다. Main의 위치를 20kW 유도가열로의 입력 온도로 설정하였다.

재가열을 3단계로 제어함으로써 소재의 균일한 가열을 얻을 수 있으므로 온도를 3단계로 설정하였다[4]. 최대 열량(Q)은 4.0kw로 유지하였다.

금속복합재료는 기존의 재가열에 관한 데이터를 직접 적용할 수가 없으므로, 소재의 재가열 시 온

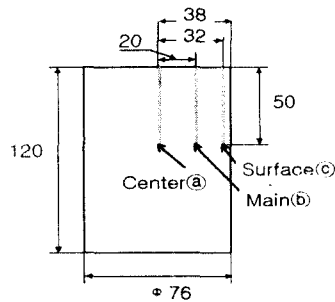


Fig 1 The positions for measuring temperature

도와 강화재의 체적 함유율 사이의 관계가 정확히 규명되어야 한다. 본 연구에서는 온도설정을 기지재의 온도와 고상율 사이의 실험 데이터를 이용하여 복합재료의 재가열 온도로 이용하였다.

3. 재가열 실험결과 및 고찰

재가열에 의한 반응용 소재의 제조는 성형공정에서 중요한 공정으로 재가열을 거쳐 제조된 소재는 조직이 미세하고 균일한 구상화조직이 되어야 한다. 또한 유도가열로에서 급형으로 이송 될 때 소재의 형태가 유지되어야 한다. 설정온도의 최종 단계에서 빌렛의 형상을 유지할 수 있고 균일한 구상화조직을 얻을 수 있는 조건을 실험적인 방법으로 찾았으며 최적의 재가열 조건을 Table 1~2에 나타내었다. Table 1~2에서 사용된 기호의 정의는 Fig 3에 나타내었다.

Table 1~2은 복합재료 빌렛의 최적 재가열 조건을 강화재 크기와 체적 함유율에 따라 나타낸 것이다. 설정 온도의 최종 단계에서 빌렛의 형상을 유지할 수 있고 균일한 구상화조직을 얻을 수 있는 조건을 실험적인 방법으로 도출하였다.

Table 1 Reheating condition (A380+SiCp 5.5 μ m) for semi-solid forming

Vol%	Reheating time (min)			Holding time (min)			Holding temperature T_h (°C)			Billet size $\phi \times l$ (mm)
	t_{a1}	t_{a2}	t_{a3}	t_h	t_h	t_h	T_{h1}	T_{h2}	T_{h3}	
0	4	1	1	1	1	1	451	558	563	76×120
10	4	1	1	1	2	1	501	563	570	76×120
20	4	1	1	1	2	1	501	563	573	76×120

Table 2 Reheating condition (A380+SiCp 14 μ m) for semi-solid forming

Vol%	Reheating time (min)			Holding time (min)			Holding temperature T_h (°C)			Billet size $\phi \times l$ (mm)
	t_{a1}	t_{a2}	t_{a3}	t_h	t_h	t_h	T_{h1}	T_{h2}	T_{h3}	
0	4	2	1	1	1	1	451	558	563	76×120
10	4	1	1	1	2	1	501	563	568	76×120
20	4	1	1	1	2	1	501	563	573	76×120

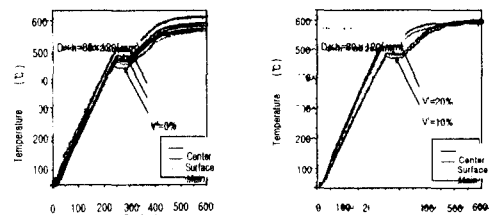


Fig 2 Measured temperature-time curve during reheating process of particulate reinforced metal matrix composites

Fig 2은 제조된 복합재료의 재가열 시간에 따른 온도 분포를 나타낸 것이다. 강화재의 체적 함유율과 강화재의 평균 입자 크기에 관계없이 Fig 1의 측정위치에 따른 온도차이를 보면 최종지점에서는 surface위치와의 온도차가 5°C이내이고 나머지는 시간이 갈수록 설정온도와 온도편차가 줄어든다는 것을 알 수 있다. 따라서 전체적으로 일부 경우를 제외하고는 부위별 온도편차가 거의 없이 균일하게 가열되고 있음을 보여주고 있다. 또한 강화재의 평균입자 크기에 관계없이 체적함유율이 높을수록 재가열온도가 상승함을 관찰할 수 있었다. 이는 강화재의 열전도도가 상대적으로 기지재보다 낮고 또한 체적함유율이 높을수록 기지재의 체적함유율이 낮아져 보다 높은 열용량을 필요로 하기 때문에 최종 재가열 온도가 상승하는 것으로 사료된다. 또한 빌렛내부에 존재하는 기공등이 원인인 것으로 사료된다.

Fig 3~4는 Fig 1에서 보여주는 center(a)와

surface㉔, middle㉕와 surface㉖의 재가열 온도편차를 각각 나타낸 것이다. 체적함유율이 10%인 경우보다 20%인 경우 온도편차가 작게 나타남을 관찰할 수 있었다. 위의 원인은 20%인 경우, Fig 6와 Fig 7에서 보여주듯이 강화재가 보다 균일하게 분산되었기 때문으로 사료된다.

Fig 5~Fig 6는 재가열 후 퀀칭한 각 조건별 금속복합재료의 중심부와 가장자리의 미세조직 사진을 나타낸 것이다. Fig 5은 복합법에 의해 제조한 A380 빌렛의 조직사진이다. Fig 5에서 보여주는 바와 같이 위치에 따른 구상화조직의 차이는 크지 않다. 강화재의 평균입자크기가 $14\mu\text{m}$ 인 경우 Fig 6와 Fig 7에서 보는 바와 같이 강화재가 분산되어 있지 않은 부위에서 기지재의 구상화조직이 성장한 상태를 관찰할 수 있었다. 유도 가열에 의한 복합재료의 재가열 시 기지재와 강화재의 열전도도 차이에 의하여 시편 내부에는 온도 구배가 생기며 강화재가 분산되어 있지 않은 부위는 과열되어 구상화 조직이 성장하게 된다. 이렇게 성장한 구상화 조직들이 강화재 입자들을 계면밖으로 밀어내어 계면상에 모이게 된다. 그러므로 기지재의 균일한 구상화 조직을 얻기 위해서는 강화재의 균일한 분산이 필요한 것으로 사료된다.

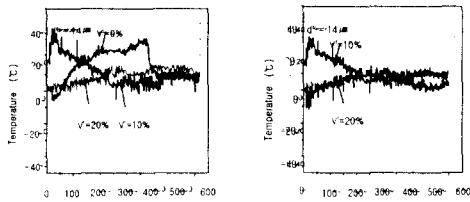


Fig 3 Temperature difference between center and surface position during reheating process of particulate reinforced metal matrix composites

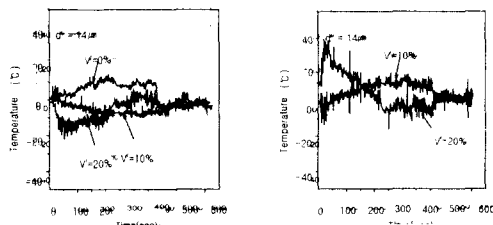


Fig 4 Temperature difference between main and surface position during reheating process of particulate reinforced metal matrix composites

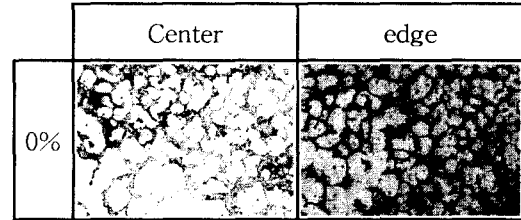


Fig 5 Microstructure of A380 raw material after reheating process

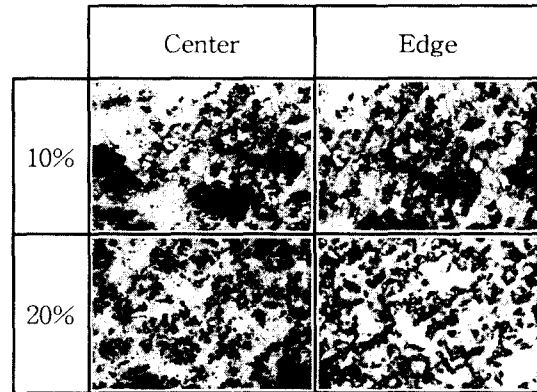


Fig 6 Microstructure of particulate reinforced metal matrix composites after reheating process($d_p = 5.5\mu\text{m}$)

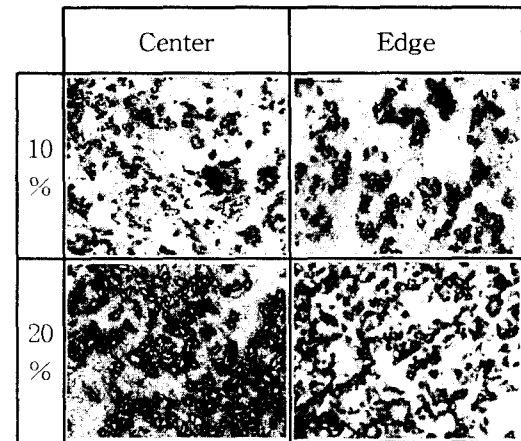


Fig 7 Microstructure of particulate reinforced metal matrix composites after reheating process($d_p = 14\mu\text{m}$)

Fig 8(a)~(c)는 각각 Table 3,1,4의 조건으로 재가열한 빌렛의 측면사진이다. (a)의 경우에는 최적 온도 이하에서 열량이 공급되어 빌렛이 전체적으로 용해되지 않아 절단이 용이하지 않았으며 빌렛의 원형이 유지되고 있음이 관찰되었다. (b)의

경우에는 조직 관찰을 위한 절단이 용이하였고 공정조직이 충분히 용해되어 반응용 성형에 적합한 것으로 사료된다. (c)의 경우에는 최적온도이상에서 과도한 열량이 공급되어 빌렛의 원형이 유지되지 못하고 다량의 액상이 흘러내려 반응용 성형에 적합하지 않은 것으로 사료된다.

Table 3 Reheating condition for underheating(A380+SiCp 5.5 μm) for semi-solid forming

Vo %	Reheating Time (min)			Holding Time (min)			Holding Temperature (°C)			Billet size φ × l (mm)
	t _{a1}	t _{a2}	t _{a3}	t _{h1}	t _{h2}	t _{h3}	T _{h1}	T _{h2}	T _{h3}	
0	4	2	1	1	1	1	451	558	560	76×120
10	4	1	1	1	2	1	501	563	567	76×120
20	4	1	1	1	2	1	501	563	570	76×120

Table 4 Reheating condition for overheating(A380+SiCp 5.5 μm) for semi-solid forming

Vol%	Reheating Time (min)			Holding Time (min)			Holding Temperature (°C)			Billet size φ × l (mm)
	t _{a1}	t _{a2}	t _{a3}	t _{h1}	t _{h2}	t _{h3}	T _{h1}	T _{h2}	T _{h3}	
0	4	2	1	1	1	1	451	558	566	76×120
10	4	1	1	1	2	1	501	563	573	76×120
20	4	1	1	1	2	1	501	563	576	76×120

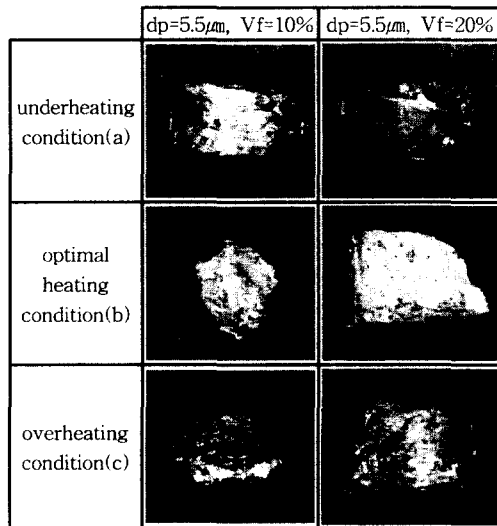


Fig 8 Photos of reheating billet after quenching in a side view

4. 결론

전자기 교반법과 기계식 교반법을 혼합한 복합 교반법을 이용한 입자강화형 금속복합재료 빌렛의 제조와 재가열 실험등을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 강화재의 평균입자의 크기가 5.5μm이고, 체적 함유율이 각각 10, 20%일 때, 빌렛의 현상을 유지하지는 재가열의 최종온도는 각각 570, 573℃임을 알 수 있었다.

(2) 강화재의 평균입자의 크기가 14μm이고, 체적 함유율이 각각 10, 20%일 때, 빌렛의 현상을 유지하지는 재가열의 최종온도는 각각 568, 573℃이며, 기지재의 재가열 온도에 비해서 7~10℃ 정도 높게 나타남을 알 수 있었다.

(3) 복합 교반 장비로 균일하게 분산된 복합재료를 재가열하는 동안의 부위에 따른 온도차는 강화재의 함유량이 클수록 감소함을 알 수 있었다.

(4) 재가열 조건에서 3℃정도의 작은 온도 차이에도 이에 따른 재가열 양상은 확연히 구분되므로 오버슈트량을 고려하여 이보다 작은 오차범위를 가질 수 있는 유도가열 조건을 설정해야 함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. H. K. Jung, C. G. Kang, 1999 " An Induction Heating Process with Coil Design and Solutions Avoiding Coarsening Phenomena of Al-6 Pct Si-3 Pct Cu-0.3Pct Mg Alloy for thixoforming", Metallurgical Transactions A, 30A, pp.2967-2977
2. H. K. Jung, C.G.Kang, Y.H. Moon, 2000, "Induction heating of semi solid billet and control of globular microstructure to prevent coarsening phenomena", J of materials engineering and performance, 9-1, pp12-23
3. 임해정, 강충길, 조형호, "전자기식 교반법을 이용한 입자강화형 금속복합재료의 제조 및 Thixoforming을 위한 재가열 공정", 한국소성가공학회지 제9권 제15호, 2000년, pp.494~503
4. H. K. Jung, C. G. Kang, 1999, "A Study on Induction Heating Process of Al-6% Si-3% Cu-0.3%Mg Alloy for Thixoforming", Journal of the Korean Foundrymen's Society, 19-3, pp25-35