

반도체 칩 캡슐화 성형 공정에 있어서 와이어 스위프 및 패들 변형에 관한 연구

한세진*, 허용정**, 이성철***

A Study of Wire Sweep, Pre-conditioning and Paddle Shift during Encapsulation of Semiconductor Chips

Se-Jin Han*, Yong-Jeong Huh**, Sung-Cheol Lee***

ABSTRACT

In this paper, methods to analyze wire sweep and paddle shift during the semiconductor chip-encapsulation process have been studied. The analysis of wire sweep includes flow-field analysis in a complicated geometry, drag-force calculation for given flow of fluid, and wire-deformation calculation for given loads. The paddle-shift analysis is used to analyze the deformation of the paddle due to the pressure difference in two cavities. The analysis is done using either analytical solutions or numerical simulation. The analytical solution is used for rough but fast calculation of wire sweep. The numerical solution is used for more accurate calculation of wire-sweep. The numerical results of wire sweep show good agreements with the experimental ones.

Key Words : Semiconductor(반도체), Chip Encapsulation(칩 캡슐화성형), Wire Sweep(와이어 스위프), Paddle Shift(패들변형), Lead Frame(리드프레임), Mold(금형)

1. 서론

대부분의 집적회로(integrated circuits)는 EMC(Epoxy Molding Compound) 성형수지를 트랜스퍼 성형법에 의해 캡슐화 성형(encapsulation)하여 제조된다. 칩 캡슐화성형 공정 중 발생하는 문제들 중 와이어 스위프(wire sweep)과 패들 변형(paddle shift)의 해석은 가장 다루기 어려운 문제들로 알려져 있다.

와이어 스위프 해석은 캡슐화성형 공정 중 칩과

리드프레임을 연결하는 와이어의 변형을 해석하기 위한 것이다⁽¹⁾. 와이어 스위프에 관한 연구로는 Reusch가 전기적 아날로그 방법을 사용하여 이 문제에 접근을 시도하였으나 와이어 스위프와 유동 파라미터 간의 정량적 모델을 제시하지는 못하였다⁽²⁾. Manzione는 와이어 스위프를 유동 중에 있어서의 리드프레임 움직임과 관련하여 연구하였으며, 리드프레임 움직임으로 인한 와이어 변형이 와이어 상에서의 점성유동으로 인한 변형보다 훨씬 크다는 점을 연구하였다⁽³⁾. Ngyuen 등은 와이어 스위프를 계산하기 위한 정량적 모델을 제시하였으나 계산값과

* 미국 코넬대학교 기계항공 공학부

** 한국기술교육대학교 메카트로닉스 공학부

*** 인하공업전문대학 기계과

실험값 간의 상당한 불일치를 보였다⁽⁴⁾.

본 연구에서는 반도체 칩의 캡슐화성형 공정 중 발생하는 와이어 변형을 정확하게 정량적으로 예측할 수 있는 모델을 정립하려고 하는 것이다. 예비조건 해석과 패들의 변형을 정량적으로 예측하기 위한 방안도 연구하였다.

본 연구에서의 해석은 해석적 방법 또는 수치모사에 의해 수행되었으며, 해석적 방법에 의한 해는 엄밀하지는 않으나 근사 해를 쉽게 얻기 위한 이유로 사용되었고, 수치모사에 의한 해는 와이어 스위프의 보다 엄밀한 계산을 위해 사용되었다. 본 연구는 유동에 있어서 와이어의 영향을 무시한다.

예비조건 해석은 EMC(Epoxy Molding Compound) 성형수지가 포트(pot)에 위치한 후 몰드 금형으로 주입되기 전에 EMC의 온도 및 경화도(degree of cure) 분포를 계산하려는 것이다. 일반적으로 트랜스퍼 포트(transfer pot)의 온도는 펠렛(pellet)의 예열 온도보다 높기 때문에 펠렛은 포트 안에 위치하고 있는 동안 온도와 경화도의 변화를 경험하게 되며 이러한 예비조건의 마지막 단계에서의 펠렛 평균온도와 경화도를 계산하게 된다.

패들 변형은 2개의 캐비티에서의 압력차로 인하여 발생하게 되며, 패들변형 해석은 이러한 패들의 변형을 해석하려는 것이다. C-SET은 칩 캡슐화성형시의 유동해석을 위한 상용 소프트웨어로서 캐비티에서의 압력을 계산하기 위해 사용되었고, 구조해석용 상용 소프트웨어인 ABAQUS가 리드프레임 변형을 계산하기 위해 사용되었다.

이러한 해석 프로그램은 캡슐화성형 시스템을 설계함에 있어 대단히 유용하다. 예를 들면 리드프레임과 와이어를 설계하는데 사용되거나 몰드 금형 온도, 충전 시간 및 경화 시간을 포함한 최적 공정 조건을 선정하기 위해서도 사용될 수 있다.

2. 와이어 스위프 해석

본 연구에서는 캡슐화성형 공정의 충전단계에서 와이어를 통과하는 유체의 점성항력에 기인한 와이어 변형을 고려하여 와이어 스위프를 계산한다. 패들 또는 리드프레임의 움직임에 기인한 와이어 변형, 압입 단계에서의 와이어 변형, 표면장력의 영향 등은 무시한다.

본 연구에서의 해석 절차는 전체유동해석, 국부 유동해석과 와이어변형계산의 3단계로 이루어져

있다⁽⁵⁾. 와이어 스위프를 계산하기 위한 방안 및 계산치와 실험치의 비교 등이 다음 장에서 상세하게 서술된다.

2.1 전체유동해석

전체유동해석은 포트, 런너, 캐비티에서의 유동을 해석하여 캐비티에서의 속도, 온도 및 경화도를 계산하려는 것이다.

본 연구에서 C-SET이 전체유동해석을 위해 사용되었다. 내부에 리드프레임을 가지는 캐비티에 있어서, 캐비티는 리드프레임에 의해 상 캐비티와 하 캐비티의 2부분으로 나뉘어 진다. 이것은 제각기 독립된 캐비티로 취급된다. 이는 리드프레임을 몰드 금형 온도와 같은 온도의 고체 벽으로 간주하는 것과 동일하다. 유동에 대한 와이어의 영향은 패키지(package)에 사용된 와이어 수가 많을 때 중요할 수도 있으나 본 연구에서는 와이어 수가 그다지 많지 않으므로 그 영향을 무시할 수 있다고 가정하였다. 유한요소 메쉬를 생성함에 있어서, 이상적으로 요소들은 전체 와이어가 하나의 요소 내에 포함되도록 선정되어야 한다. 대체로 이것은 너무 많은 요소를 필요로 하게 된다. 속도가 평면 위치와 크게 변화하지 않는 경우에는 작은 수의 요소가 와이어 스위프 해석을 위해 사용될 수 있다.

이러한 예로써 Fig. 1의 몰드금형 형상을 들 수 있다. 이 예는 에폭시 성형수지로 트랜스퍼 성형을 사용하여 칩을 캡슐화 하는 것을 고려한다. 용융액의 초기온도는 85℃, 몰드 금형온도는 180℃, 충전시간은 12초이다. 몰드금형은 12개의 캐비티로 되어 있고 각 캐비티는 37×14×3.8 mm 이다.

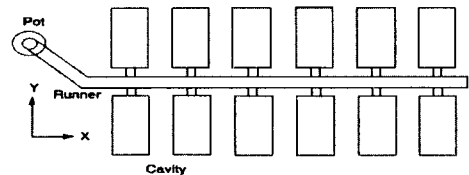


Fig. 1 A mold configuration for chip encapsulation

다이(die)와 리드프레임은 28개의 와이어로 연결된다. 포트에서 가장 가까운 캐비티의 중심점에서 5초 경과후 두께 방향에 대한 온도와 속도 분포

의 예측 결과가 Fig. 2 (a),(b)에 도시되어 있다.

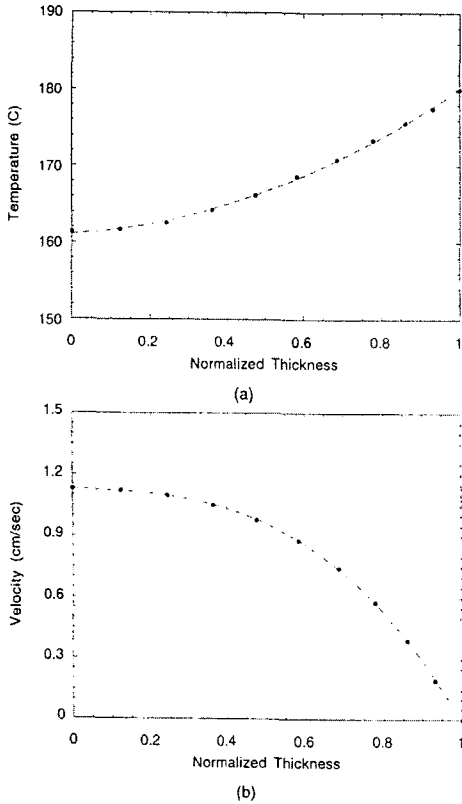


Fig. 2 (a) Temperature and (b) velocity distribution in the thickness direction at a central point of the cavity closest to the pot at 5 seconds of encapsulation

두께 방향에 있어서의 속도와 온도 분포는 3차 및 2차 다항식에 의해 다음과 같이 근사 될 수 있다⁽⁵⁾.

$$v = v_0 + (-9 v_0 + 12 v_B)(z/h)^2 + (8 v_0 - 12 v_B)(z/h)^3 \quad (1)$$

$$T = (1.5 T_B - 0.5 T_w + (1.5 T_w - 1.5 T_B)(z/h)^2) \quad (2)$$

여기서 v_0 는 캐비티의 중심($z=0$)에서의 속도이고, v_B 는 평균속도, T_w 는 금형벽($z=h$)에서의 온도, T_B 는 체적온도, z 는 두께 방향 좌표이다. 식(1),(2)에 의해 근사된 결과가 Fig. 2에 나타나 있다. 임의의

두께 위치에서 온도와 속도는 위의 근사 식으로부터 구할 수 있다.

2.2 국부유동해석

전체유동해석을 통하여 캐비티에서 온도와 속도 분포를 계산한 후, 와이어 주위의 국부적 유동장을 해석해서 와이어 상에서의 항력을 계산해야 한다. 와이어상에서의 항력을 정확하게 계산하기 위해서는 와이어와 리드프레임의 복잡한 기하학적 형상 때문에 3차원 유동해석이 요구된다. 아울러 비등온, 비균일 경화 해석도 요구된다. 그러나 이와 같은 상세 유동해석은 막대한 계산량을 요하므로 단순화한 해석 방법을 이용하여 항력을 계산한다. 먼저 2차원 등온유동에 대한 실린더 상에서의 항력을 계산하는 방법을 기술한다. 그 후에 비등온, 비균일 경화 상태에서 일반적 형상을 갖는 와이어상에서의 항력 계산 방법을 기술한다. 해석적 해가 이를 위해 사용될 것이다. 해석적 해는 항력의 근사값을 신속하게 계산하기 위해 사용되며 수치 해는 항력의 보다 정확한 계산을 위해 사용된다.

2.2.1 2차원 등온 유동에 있어서 실린더 상에서의 항력 계산

(1) 해석 방정식

(A) Lamb의 모델

이 방법은 캐비티 벽이 와이어로부터 무한대로 떨어져 있어서 항력계산에서 벽의 영향을 무시할 수 있다고 가정하는 것이다. 뉴턴 유체에 있어서, 이 접근방법은 다음과 같이 와이어 상에서 항력을 계산한다^{(6), (7)}.

$$D = \frac{C_D \rho U^2 d}{2} \quad (3)$$

$$C_D = \frac{8\pi}{Re[2.002 - \ln(Re)]} \quad (4)$$

$$Re = \frac{\rho U d}{\eta} \quad (5)$$

여기서 D 는 와이어의 단위 길이 당 항력, d 는 와이어의 직경, U, ρ 는 각각 Fig. 3에 나타난 것과 같이 와이어를 지나는 유체의 속도, 점도, 밀도를 나타낸다. 이 식은 크리핑 유동에 대해 유효하다 ($Re \ll 1$).

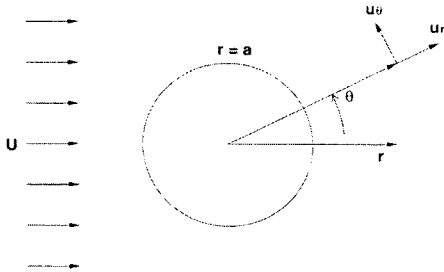


Fig. 3 Coordinate system used in Lamb's equation

(B) Takaisi의 모델

이 방법은 항력에 있어서 캐비티 벽의 영향을 고려한다. 와이어상에서의 항력은 다음 식에 의하여 계산할 수 있다⁽⁸⁾.

$$D = 4\pi\eta b_o \tag{6}$$

여기서

$$b_o = \frac{U}{\ln(h/a) - 0.9156 + 1.7243 (a/h)^2} \tag{7}$$

여기서 a는 와이어의 반경, h는 물드금형 캐비티 두께의 1/2 이다. 이 경험식은 크리핑 유동 (Re<<1) 조건하의 뉴턴 유체에 대해서만 유효하다. 이 식은 h/a가 20~200 사이의 범위에 있는 직사각형 캐비티 단면에 대한 실험결과를 곡선보간하여 얻어졌다.

(2) 수치 해석

비 뉴턴 유체에 있어서는 상기한 방법을 사용하기 어렵다. 이 경우 와이어상에서 항력을 계산하기 위해 유동해석을 수행할 필요가 있다. 와이어 주위 2차원 유동해석이 다음의 방정식들에 의해 수행될 수 있다. (관성효과 무시)

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{8}$$

$$\frac{\partial(\sigma_{xx} - p)}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} = 0 \tag{9}$$

$$\frac{\partial(\sigma_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(\sigma_{yy} - p)}{\partial y} = 0 \tag{10}$$

여기서, 일반화된 뉴턴 유체에 있어서 응력은 다음식에 의해 계산될 수 있다⁽⁹⁾.

$$\sigma_{xx} = 2\eta \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \sigma_{yy} = 2\eta \frac{\partial v}{\partial y},$$

$$\sigma_{xy} = \eta \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \tag{11}$$

여기서 η는 전단률, 온도, 경화도에 의존한다. 그러나 여기서는 비등온, 경화 영향은 무시한다. 사각형요소, 속도에 대한 2차 형상함수, 압력에 대한 선형 형상함수를 채택하여 유한요소해석을 수행한다. Galerkin 방법을 이용하여 다음과 같은 행렬식을 얻는다⁽¹⁰⁾.

$$[K] \begin{Bmatrix} u \\ v \\ p \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} R_u \\ R_v \\ 0 \end{Bmatrix} \tag{12}$$

여기서 [K]는 점성의 전단률 의존도에 기인한 변수이고, R_u, R_v는 경계조건으로부터 발생한다. 점성의 전단률 의존도로부터 발생하는 비선형성을 고려하여 위 방정식은 수렴할 때까지 반복적으로 계산된다. 와이어를 따라 발생하는 전단응력과 압력으로부터 다음 식에 의해 와이어 상에서 단위 길이 당 항력을 계산할 수 있다.

$$D = - \int_0^{2\pi} \tau_{\theta\theta} \sin \theta a \, d\theta - \int_0^{2\pi} p \cos \theta a \, d\theta \tag{13}$$

여기서 τ_{θθ}는 원주방향 전단응력이고, a는 와이어의 반경이다. (Fig. 3에서 정의된 극좌표계 참조)

2.2.2 와이어상에서의 항력계산

실린더 상에서 2차원 등온유동에 대한 항력계산방법을 이용하여, 와이어 상에서의 항력을 일반적인 경우에 있어서 아래 설명과 같이 계산할 수 있다. 그러기 위해 다음과 같은 가정이 필요하다.

(i) 반도체 칩에서 사용된 와이어 길이는 일반적으로 와이어 직경보다 훨씬 크다. 그래서 와이어를 따라 특정한 한 점에서 유동을 국부적으로는 2차원 유동으로 다룰 수 있다. 그러므로 전체유동해석으로부터 얻은 점에서의 속도를 이용하여 2차원 유동해석으로 와이어의 한 점에서의 항력을 계산한다.

(ii) 온도와 경화도에 있어서, 와이어상의 한 점에서 항력은 온도와 경화도가 전체유동해석으로부터 얻어진 점에서의 온도 값과 경화도 값을 가지는 유동장에서 일정하다는 가정에 의해서 계산될 수 있다. 와이어 근처의 유체는 와이어로부터 멀리 떨어져 있는 유체보다 항력계산에 있어서 더 중요하

기 때문에 이러한 가정이 사용되었다.

(iii) 실제경우에 있어서, 와이어가 캐비티의 중심에 있지 않더라도 와이어가 캐비티의 중심에 있다고 가정될 수 있다. 만약 와이어가 벽에 근접하지 않다면 와이어 상에서 항력은 상대적으로 일정한 값을 갖는다는 것을 Taneda⁽¹¹⁾가 증명했기 때문에 이러한 가정이 만들어졌다. 이러한 근사값들은 정확한 3차원, 비등온과 비균일 경화 유동해석과 비교하면 덜 정확한 결과를 가져오지만 합리적으로 결과를 산출하기 위해 사용된다.

국부유동해석의 세부 단계는 다음과 같다.

(1) 칩 캡슐화성형에 사용된 와이어와 동일한 직경을 가진 실린더 상에서의 항력은 해석적 방법이나 수치적 방법에 의해 계산될 수 있다. 수치적 방법을 사용함에 있어서, 만약 수치해석이 와이어를 따라 각각의 온도와 속도에 대해 수행된다면 많은 계산시간이 소요될 것이다. 계산시간을 절약하기 위해 캡슐화성형 공정 중에 발생하는 범위 내에 있는 어떤 속도와 온도에서 항력을 계산한다.

보간(fitting)에 의해 이러한 항력들을 어떤 속도와 온도에서 계산하였고, 모든 속도와 온도에서의 항력은 보간 방정식(fitting equation)으로부터 구할 수 있다. 계산된 항력의 한 예가 Fig. 4에 나타나 있다. 이 결과로 미루어 볼 때 항력이 다음의 경험식에 의해 보간될 수 있음을 보여준다.

$$D = (a_0 v^{a_1}) * \text{EXP}((b_0 + b_1) * T) \quad (14)$$

여기서 v 와 T 는 와이어를 통과하는 유체속도와 온도이고, a_0, a_1, b_0, b_1 은 보간 상수들이다($a_0 = 2.06 \times 10^8, a_1 = 0.7533, b_0 = -0.03247, b_1 = -0.001278$).

대부분의 경우에 있어서 캡슐화성형의 충전단계 공정 중 유체의 경화도는 매우 작아 그 영향은 무시한다. 이것은 점성이 경화에 기인해서 한번 증가하기 시작하면 매우 빠르게 증가하기 때문이다. 그러므로, 대부분의 충전공정들은 점성에서 어떠한 감지할 수 있는 증가가 일어나기 전에 완료되도록 설계되었다. 경화에 기인한 점성 상승을 무시할 수 없는 경우에 있어서 그 영향을 다음 식에 의하여 근사적으로 반영할 수 있다.

$$D = (a_0 v^{a_1}) * \text{EXP}((b_0 + b_1) * T) * \left(\frac{\alpha_g}{\alpha_g - \alpha} \right)^{(c_1 + c_2 a)} \quad (15)$$

여기서 α 는 경화도, c_1, c_2 는 보간 상수이다(c_1

$= 3.5374, c_2 = -5.203$). 위 식에서 매개변수의 값은 유체 점성의 함수이고 와이어 반경에 대한 반두께의 비율(h/a)이다.

(2) 와이어상에서 항력은 식(15)를 사용하여 계산될 수 있으며, 이 계산을 수행함에 있어 전체유동해석으로부터 얻은 충전단계 공정 중 매 순간마다 예측된 체적온도와 체적속도를 이용하게 된다. 여기서 체적온도는 속도 가중치 두께 평균온도(velocity-weighted average temperature across thickness), 체적속도는 두께 평균온도(average velocity across thickness)를 의미한다. 결과가 와이어 상에서 항력이 최대가 되도록 하는 시간을 선택한다. 각 시간에서의 항력 계산값이 Fig. 5에 나타나 있다. 항력은 약 3.8초에서 최대가 되고, 이 시간에 있어서 갭(gap)에서의 속도와 온도 분포는 와이어 스냅 계산에 사용될 것이다.

(3) 이를 수행함에 있어서 단계(2)에서 구한 시간과 대응하는 전체유동해석에서 얻은 한 점에서의 온도와 속도를 이용한다. 식 (15)를 사용하여 와이어를 따라 특정한 한 점에서 와이어 상에서 항력을 계산한다.

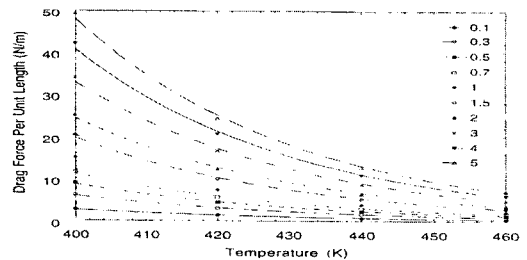


Fig. 4 Drag force on a wire at different temperatures and velocities (Numbers inside the plot denote the fluid velocity in cm/sec)

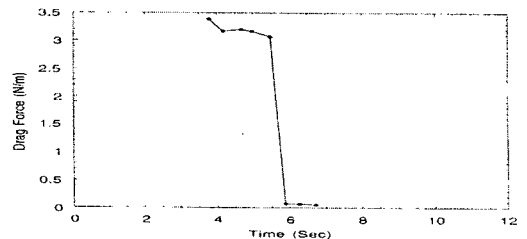


Fig. 5 Drag force as a function of time

2.3 와이어 변형 계산

2.3.1 해석적 해

와이어가 선형탄성거동을 한다고 가정하면, 와이어 변형을 해석적 해를 이용해 구할 수 있다.

(1) Nguyen 공식

L >> H 일 때 하중 P 방향으로의 와이어 변형은 다음과 같이 계산될 수 있다⁽⁴⁾.

$$\delta = \frac{PH^3}{24GI_p} + \frac{PL^3}{24EI} \quad (16)$$

여기서 δ 는 와이어 변형, P는 하중, H는 높이, L은 와이어 길이, G는 전단 변형률, E는 탄성계수, I_p 는 극관성모멘트, I는 관성모멘트를 나타낸다.

(2) 원호 (Circular Arch)

근사해의 다른 형태는 원호 일부분으로 와이어 형상을 표현하여 구할 수 있다.(Fig. 6) 이런 경우에 와이어의 변형은 다음 식에서 구할 수 있다⁽¹²⁾.

$$\delta = \delta_A + \theta_A R \sin x + \Psi_A R (1 - \cos x) + \frac{M_A R^2}{EI} F_1 + \frac{T_A R^2}{EI} F_2 + \frac{V_A R^3}{EI} F_3 - \frac{w R^4}{EI} F_{a13} \quad (17)$$

위 식에서 모든 상수들의 정의는 참고문헌 12에서 참조하면 된다.

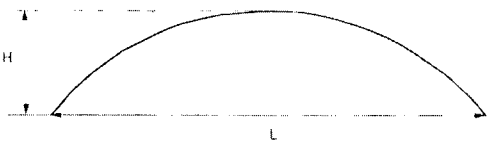


Fig. 6 Representation of wire geometry as a circular arch

2.3.2 ABAQUS를 이용한 계산

일반적으로 와이어 변형은 탄성 변형이 아니고, 하중이 임의적으로 분포될 수 있어 변형이 클 수 있다. 이런 경우에 있어서 정확한 와이어 변형 계산을 위해서는 수치모사를 사용해야 한다. 상용 소프트웨어 ABAQUS를 이런 목적으로 사용할 수 있다. 와이어가 변형할 때, 변형된 위치에서 속도와 온도는 원래 값과 다를 수 있다. 와이어의 변형된 위치에서의 새로운 속도와 온도를 이용하여 와이어의

변형을 계산한다. 수렴할 때까지 이 과정을 반복한다. 캡슐화성형 온도에서는 와이어의 재료 성질을 이용한다. (Fig. 7 참조)

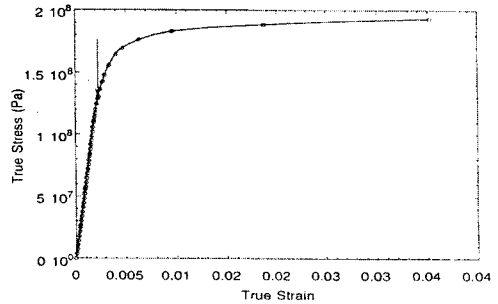


Fig. 7 Tensile property of a gold wire used in chip interconnection (Arrow indicates start of plastic region)

2.4 계산과 실험결과의 비교

Fig. 8에 도시된 것과 같이 세 가지 서로 다른 방법들이 와이어 스위프 계산을 위해 행해졌다. Fig. 9는 Fig. 8에서 나타난 것과 같이 실험과 계산에 의해 각각 얻어진 와이어 스위프 데이터를 보여준다. 이 값들은 유동방향에 수직으로 와이어가 놓여 있는 경우이다. 이것은 또한 다양한 방법으로 계산된 와이어 스위프 데이터를 보여주고 있다. Fig. 9에서 "Numerical"은 수치모사가 항력 계산과 와이어 변형 계산을 위해 ABAQUS가 이용되었을 때 구해진 결과를 나타내며, 이 결과 값이 실험결과에 가장 가깝다는 것을 알 수 있다.

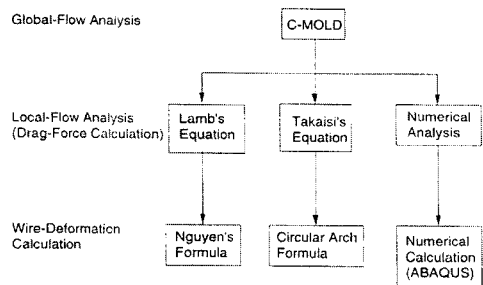


Fig. 8 Procedures used for wire-sweep analysis in this study

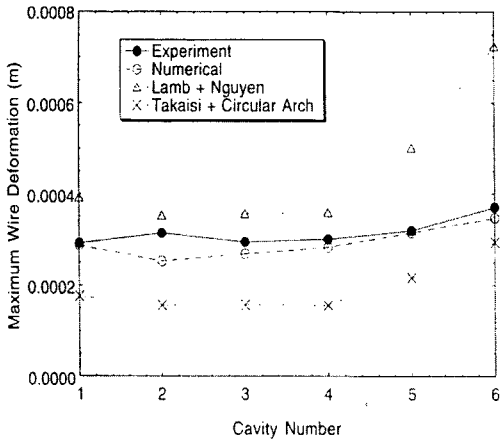


Fig. 9 Comparison of wire-sweep values experimentally measured and calculated by various methods

3. 예비조건

3.1 해석

캡슐화성형에 있어서 펠렛은 포트에 놓여지고 약간의 시간지연 후에 물드금형 캐비티로 주입된다. 지연기간동안, 펠렛의 온도와 경화도에 변화가 있을 수 있다. 캡슐화성형 공정의 보다 정확한 해석을 위해 이러한 지연기간의 포함이 필요하다.

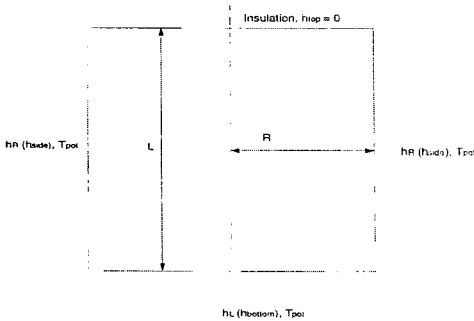


Fig. 10 Analysis of Pre-conditioning

본 연구에 있어서, 단순화된 예비조건 해석이 Fig. 10에 도시된 바와 같이 지연기간동안의 조건을 고려하여 이루어졌고, 양측과 하부는 열 전달계수가 다를 가능성이 있지만 같은 벽 온도로서 대류

열 경계조건에 있다고 가정되었고 상부는 절연조건이라고 가정하였다. 반경이 R이고 길이가 2L인(펠렛을 나타내는) 로드의 과도온도는 다음 식으로 계산할 수 있다⁽¹³⁾.

$$\left(\frac{T - T_{inf}}{T_0 - T_{inf}}\right)_{2R, 2L} = \left(\frac{T - T_{inf}}{T_0 - T_{inf}}\right)_{2R} \left(\frac{T - T_{inf}}{T_0 - T_{inf}}\right)_{2L} \quad (18)$$

여기서 Tinf는 주변매체의 온도(이 경우엔 Tpot)이고, T0는 로드의 초기온도, "2R, 2L"은 길이가 2L이고 반경이 R인 실린더의 해를, "2R"은 반경이 R인 무한히 긴 실린더의 해를, "2L"은 반폭(half-width)이 L인 무한히 긴 평면의 해를 나타낸다. 이 해에 대한 상세한 사항은 참고문헌 13를 참조하면 된다.

일치하는 샘플의 상응하는 경화도는 위에서 구한 온도 이력을 사용한 Kamal 방정식(14)을 적분함에 의해 알아낼 수 있다.

$$\frac{da}{dt} = (K_1 + K_2 a^m)(1 - a)^n \quad (19)$$

여기서

$$K_1 = A_1 e^{-E_1/T} \quad (20)$$

$$K_2 = A_2 e^{-E_2/T} \quad (21)$$

그리고 m, n, A1, A2, E1, E2는 상수 매개변수들이다(m=0.5234, n=1.366, A1=2.046, A2=5.473×107, E1=5342, E2=9471).

3.2 사례연구

다음 예는 예비조건 해석을 설명한다. 사용된 EMC 성형수지는 Nitto-Denko사의 MP-190M이다. 펠렛의 직경은 14mm, 길이는 17mm이다. 펠렛의 초기온도는 85°C, 포트 온도는 180°C, 펠렛과 포트 사이의 열 전달계수는 1000 J/m-K 그리고 펠렛의 초기 경화도는 0이다. 시간지연이 10초일 때 펠렛의 평균온도는 119°C이고 시간지연의 마지막 단계에서 평균 경화도는 0.00029이다. 예비조건 시간이 20초 증가되었을 때 평균온도는 138°C, 경화도는 0.00322로 증가한다.

4. 패들변형해석

4.1 해석

칩의 캡슐화성형 공정에서 상부 캐비티와 하부

캐비티의 압력이 다를 수 있는데 이는 패들을 원위 치로부터 변형시키는 원인이 된다. 패키지의 두께가 감소함에 따라, 패들의 작은 변위 조차도 패키지의 신뢰도에 심각한 문제를 일으킬 수 있다.

만일 리드프레임이 변형된다면 유동에 있어서 캐비티의 두께 또한 변화될 것이다. 이것은 압력분포를 차례로 변화시키게 될 것이다. 그러므로, 유동 해석과 리드프레임 변형해석의 반복은 캡슐화성형 공정의 각 단계에서 수행되어야 한다.

본 연구에 있어서 유동해석은 C-SET 프로그램을 사용하여 수행되었다. 해석 결과는 상부와 하부 캐비티 사이의 압력 차를 나타낸다. 이 압력 차 정보는 리드프레임 변형을 계산하기 위해 이용될 것이다. ABAQUS는 이러한 목적으로 사용되었다. 비선형 해석은 대변형 문제 때문에 사용되었다. EMC 성형재료의 고점성 때문에 리드프레임 상의 하중이 제거된 후에 리드프레임의 탄성적 스프링백은 무시한다. 또한 압입단계 공정 중에 가능한 압력차는 무시한다.

4.2 사례연구

Fig. 11은 몰드 캐비티 구성을 보여준다. 칩 캐비티 치수는 $20 \times 20 \times 1.4$ mm이고 충전시간은 5초, 몰드온도는 175°C , 그리고 초기 펠렛 온도는 90°C 이다. 변형해석에 사용된 리드프레임은 패들과 리드프레임의 4개 다리로 구성되어 있다. 변형 계산에서 리드프레임의 다리 4개의 끝단은 고정지지된 것으로 가정한다. 리드프레임 재료는 탄성계수가 1.21×10^{11} Pa이고 그 두께는 0.125mm이다. 그리고 패들의 길이는 12mm이다.

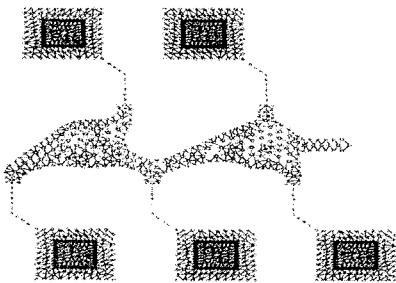


Fig. 11 Mold configuration used in the paddle-shift analysis

Fig. 12는 리드프레임의 계산 값을 보여주고 있

으며 원래의 리드프레임 형상뿐만 아니라 변형된 형상도 보여준다. Fig. 13은 변형된 패들의 측면을 10배 확대하여 도시한 그림이다.

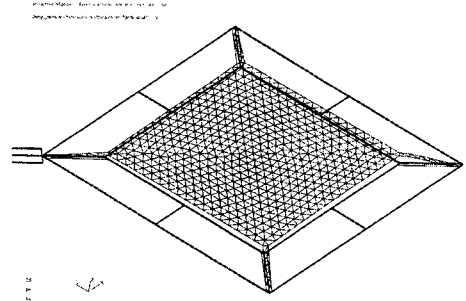


Fig. 12 Original and calculated deformed leadframe geometry



Fig. 13 Side view of the deformed paddle

5. 결론

반도체 칩 캡슐화 성형공정 중 빈번히 발생하는 문제점 중에서 와이어 스윙, 패들 변형 문제를 선정하여 이를 정량적으로 정확하게 예측할 수 있는 모델을 제시하고 해석을 수행함으로써 문제해결을 위한 방안을 모색하고자 시도하였다.

(1) 와이어 스윙 계산을 위해 유동해석을 수행하였고 와이어 상에서의 항력을 계산하기 위한 방안을 연구하였다. 구해진 항력을 이용하여 와이어의 변형을 다양한 방법으로 구하여 그 결과치를 실험치와 비교하였으며 그 결과 본 연구에서 제안한 수치해석을 통한 결과치가 실험치와 가장 잘 일치함을 입증하였다.

(2) 캡슐화 성형 공정의 보다 정확한 해석을 위해 예비조건 해석 방안을 연구하였으며 실제사례를 통해 해석을 수행하였다.

(3) 칩의 캡슐화 성형공정에서 상부 캐비티와 하부 캐비티 압력차로 인한 패들 변형 해석을 시도하였으며 실제사례를 선정하여 변형을 정량적으로 해석하였다.

참고문헌

1. Manzione, L.T., Plastic Packaging of Microelectronic Devices, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
2. Reusch, R.K., "Wire Sweep in Small Outline Package," Semiconductor Int., pp. 139-145, 1987.
3. Manzione, L.T., "Packaging of Microelectronic Devices," SPE Antec Paper, 1983.
4. Nguyen, L.T., Danker, A., Santhiran, N. and Shervin, C. R., "Flow Modeling of Wire Sweep during Molding of Integrated Circuits," ASME Winter Annual Meeting, p. 27, 1992.
5. Han, S., A Study on Plastic Encapsulation of Semiconductor Chips, Ph.D Dissertation, Cornell University, 1994.
6. White, F. M., Viscous Fluid Flow, McGraw-Hill, New York, 1974.
7. Nguyen, L.T., "Wire bond behavior during molding operations of electronic packages," Polymer Engineering and Science, V. 28, pp. 926-943, 1988.
8. Takaisi, Y., "Note on the drag on a circular cylinder moving with low speeds in a viscous liquid between two parallel walls," J. Physical Society of Japan, V.11, p. 1059, 1956.
9. Bird, R. B., Armstrong, R. C. and Hassager, O., Dynamics of Polymeric Liquids, Vol. 1, Wiley-Interscience, New York, 1987.
10. Huebner, K. H. and Thornton, E. A., The Finite Element Method for Engineers, John Wiley & Sons, New York, 1982.
11. Taneda, S., "Experimental Investigation of the Wall-Effect on a Cylindrical Obstacle Moving in a Viscous Fluid at Low Reynolds Numbers," J. of the Physical Society of Japan, V. 19, pp. 1024-1030, 1964.
12. Young, W. C., Roark's Formulas for Stress and Strain, pp. 326-328, McGraw-Hill Book Company, New York, 1975.
13. Arpaci, V. S., Conduction Heat Transfer, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA, 1996.
14. Kamal, M. R. and M. E. Ryan, Chapter 4 of Injection and Compression Molding Fundamentals, A. I. Isayev (editor), Marcel Dekker, New York, 1987.