

Nghiên cứu khả năng biến dạng của tấm nhựa nhiệt dẻo PVC khi gia công bằng phương pháp biến dạng gia tăng đơn điểm (SPIF)

Studying the formation potential of thermoplastic PVC sheets in single point incremental forming (SPIF) method

Phạm Văn Trung

Khoa Kỹ thuật - Công nghệ, Trường Đại học Phạm Văn Đồng

Email: phamvantrung@pdu.edu.vn

Mobile: 0984705677

Tóm tắt

Từ khóa:

Biến dạng gia tăng đơn điểm; PVC.

Hầu hết các công trình nghiên cứu trước đây và hiện tại về xử lý nhựa nhiệt dẻo đều dựa trên công nghệ ép khuôn kín như quá trình nén và ép phun. Tuy nhiên công nghệ này không phù hợp trong sản xuất nhỏ vì chi phí đầu tư cao. Ngày nay người ta bắt đầu nghiên cứu tạo hình cho các tấm nhựa nhiệt dẻo bằng phương pháp SPIF khi sử dụng máy CNC để gia công.

Các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm trước đây đối với vật liệu nhựa nhiệt dẻo chưa xây dựng được mô hình phân tích ảnh hưởng của nhiệt độ đến khả năng tạo hình của các loại vật liệu. Trong bài báo này, tôi xây dựng mô hình thực nghiệm để xét sự ảnh hưởng của nhiệt độ và các thông số công nghệ đến khả năng tạo hình của tấm PVC khi gia công bằng phương pháp SPIF.

Abstract

Keywords:

Single Point Incremental Forming (SPIF); PVC.

Most of the previous and the current research regarding thermoplastic treatment focus on closed-mold technologies, such as compression and injection molding. However, these processes are not suitable for small production, since they require high tooling investment. Recently, Single Point Incremental Forming has been used for thermoplastic sheet forming by using CNC machine.

The previous theoretic and experimental studies for thermoplastic materials have not yet established models for analyzing the influence of temperature on the formation potential of these materials. In this article, the author established an experimental model to consider the influence of temperature and technological parameters to the PVC sheet's formation potential when processed by SPIF.

Ngày nhận bài: 23/7/2018

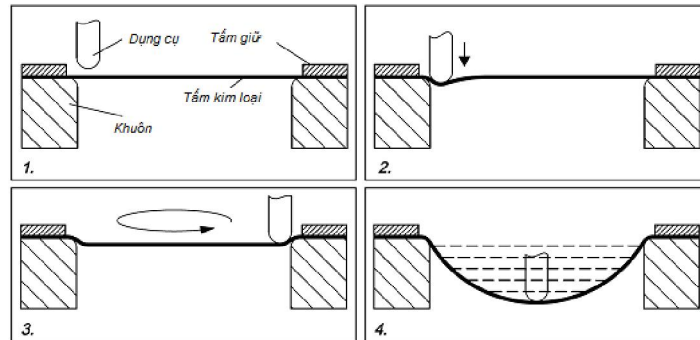
Ngày nhận bài sửa: 07/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. GIỚI THIỆU

Phương pháp tạo hình gia tăng đơn điểm (*Single Point Incremental Forming - SPIF*) là một phương pháp gia công biến dạng các tấm kim loại, nhựa nhiệt dẻo, composite,... tiên tiến

hiện nay. Quá trình tạo hình tấm gia tăng được dựa trên nguyên tắc gia công theo lớp, ở đây mô hình được chia nhỏ thành từng lát cắt ngang. Đường chạy dụng cụ điều khiển số được lập trình sử dụng đường viền của những lát cắt này. Trong quá trình, dụng cụ tạo hình dạng bán cầu đơn di chuyển dọc theo đường chạy dao được điều khiển NC như sau: dụng cụ di chuyển xuống, tiếp xúc tấm, vẽ một đường viền trên mặt phẳng ngang, sau đó thực hiện một bước xuống, vẽ đường viền kế tiếp, và cứ như thế tiếp tục cho đến khi nguyên công hoàn tất (Hình 1). Quá trình có thể được thực hiện trên máy phay CNC 3, 5 trục hoặc robot công nghiệp.

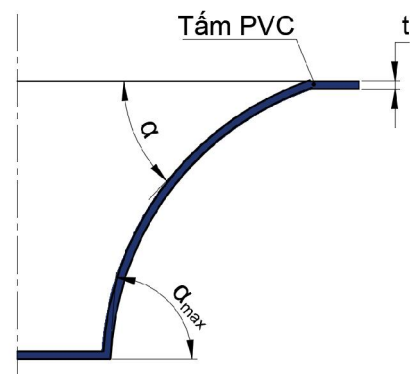


Hình 1. Công nghệ tạo hình biến dạng gia tăng đơn điểm (SPIF)

Trong các nghiên cứu trước đây, lý thuyết biến dạng dẻo kết hợp với thực nghiệm thường chỉ tập trung nghiên cứu đối với vật liệu thép, nhôm và một vài nghiên cứu đối với vật liệu thủy tinh, còn các vật liệu composite, polyme,... thì vẫn còn rất ít. Chỉ dừng lại ở mức “Preliminary Studies on SPIF for Thermoplastic Materials (Nghiên cứu sơ bộ SPIF đối với nhựa nhiệt dẻo)” [1], “Single point incremental forming of PVC (Tạo hình biến dạng cục bộ liên tục đơn điểm trên vật liệu PVC)” [2], “SPIF in processing polymer materials (SPIF trong gia công vật liệu polyme)” [3]. Trong [1] các tác giả đã nghiên cứu ảnh hưởng của tỉ lệ kích thước dụng cụ và lượng tiến dao theo chiều sâu là đáng kể, tuy nhiên vẫn chưa quan tâm đến nhiệt độ, trong khi đó nhiệt độ có ảnh hưởng rất lớn đến khả năng tạo hình của polymes, composite. Trong [2] các tác giả nghiên cứu ảnh hưởng của đường kính dụng cụ và chiều dày tấm, tuy nhiên các tác giả chưa nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ chạy dao, bước xuống dụng cụ, tốc độ trục chính, nhiệt độ. Trong bài báo này tôi xây dựng mô hình thực nghiệm và tiến hành thực nghiệm để tìm ra sự ảnh hưởng của các nhân tố: lượng tiến dao (Δz), đường kính dụng cụ (d), tốc độ dụng cụ (f) và nhiệt độ (T) đến khả năng góc tạo hình (α) của tấm nhựa nhiệt dẻo PVC.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

Trong bài báo này, để nghiên cứu khả năng biến dạng của góc tạo hình α khi gia công bằng SPIF tôi sử dụng mô hình cone cong có đường kính $\Phi = 200\text{mm}$. Hình dáng hình học của chi tiết được thiết kế để có thể nghiên cứu tất cả các góc thành từ 0 đến 90° , chọn bán kính góc lượn $R = 60\text{mm}$, khi đó chiều sâu $h = 60\text{mm}$. Khi chiều dày của chi tiết thay đổi theo qui tắc cosine và độ dốc của chi tiết gia tăng theo



Hình 2. Các góc kéo α

chiều sâu, vùng phân tích được giới hạn đến một góc nhỏ hơn 90° . Nó được mô tả bằng góc α , (Hình 2). Trong suốt quá trình tạo hình vật liệu hư hỏng vì sự vát mỏng.

Trong quá trình tiến hành thực nghiệm, những tấm polymer dân dụng với độ dày đồng đều $t = 2\text{mm}$ đã được sử dụng.

Việc khảo sát thực nghiệm đã được tiến hành trên máy CNC chuyên dụng bao gồm những thành phần theo sau: 1/ một bộ kẹp giữ với tấm đỡ phía sau tấm kẹp trên, 2/ dụng cụ tạo hình đơn điểm, 3/ đồ gá có sử dụng hệ thống gia nhiệt, (Hình 3).



Hình 3. Các thành phần của qui trình ISF để tạo hình tấm nhựa PVC

Trong bài báo này, ảnh hưởng của các thông số k cần khảo sát là bước xuống dụng cụ Δz (mm), tốc độ tiến dụng cụ f (lượng chạy dao - mm/phút), nhiệt độ tạo hình T ($^{\circ}\text{C}$), đường kính dụng cụ d (mm). Do đó, số lượng thí nghiệm cần thiết N khi qui hoạch theo nhân tố riêng phần TNR là:

$$N = 2^{k-p} = 2^{4-1} = 8, \quad \text{với } k = 4.$$

$$p = 1 \quad (\text{nhân tố } x_4 \text{ thay thế cho tương tác } x_1x_2x_3)$$

Để tính toán sai số lặp của thí nghiệm, mỗi trường hợp thí nghiệm sẽ được lặp lại 3 lần ($m = 3$). Như vậy, sẽ có tổng cộng 24 số lần thí nghiệm được tiến hành.

Các nhân tố này được chọn để khảo sát vì chúng ảnh hưởng rất lớn đến khả năng biến dạng của tấm nhựa PVC với những đặc điểm sau:

*** Bước xuống dụng cụ Δz (mm):**

Ảnh hưởng đến thời gian tạo hình sản phẩm nên có ảnh hưởng đến năng suất. Vì nếu Δz lớn thì ít tốn thời gian gia công hơn và vì vậy năng suất sẽ được nâng cao hơn. Ngoài ra bước xuống dụng cụ còn ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt. Khi Δz nhỏ thì bán kính cong hình thành trên bề mặt tấm do dụng cụ tỳ xuống sau mỗi vòng tạo hình là nhỏ nên độ nhẵn bề mặt cũng nhỏ so với khi bước Δz lớn. Điều này có nghĩa là giá trị Δz nhỏ thì chất lượng bề mặt sẽ tốt hơn khi trị số Δz lớn. Tuy nhiên, Δz cũng không được quá bé vì khi đó chi tiết sẽ sớm bị rách do bề dày tấm sau khi tạo hình là khá mỏng khi dụng cụ kéo dẫn phôi tấm. Kết hợp các yếu tố ảnh hưởng trên với công suất cho phép của máy CNC, giá trị Δz được chọn là từ 0,4 - 1,2 mm.

*** Đường kính dụng cụ d (mm):**

Đường kính dụng cụ d có liên quan đến lực tạo hình và ứng suất gây ra sự nứt rách. Dụng cụ có đường kính nhỏ tập trung các vết nứt tại vùng biến dạng trên phôi tấm, trong khi dụng cụ có đường kính lớn phân phối các vết nứt trên một vùng mở rộng hơn. Khi đường kính dụng cụ tăng lên, quá trình càng giống với dập truyền thống, do đó giảm giới hạn tạo hình. Tuy nhiên, khi dùng dụng cụ có bán kính nhỏ, nó sẽ dễ dàng đâm thủng vào trong tấm và gây ra hiện tượng bong tróc. Vì vậy khả năng tạo hình giảm đáng kể nếu bán kính của dụng cụ tạo hình là nhỏ.

Ngoài ra, kích cỡ của đường kính dụng cụ còn chịu chi phối bởi công suất máy. Cùng với các đại lượng Δz , f , nó phải thỏa mãn yêu cầu máy hoạt êm, không bị rung động trong quá trình tạo hình. Với thông số đường kính d của dụng cụ ta chọn giá trị $d_1 = 6 \text{ mm}$ và $d_2 = 12 \text{ mm}$ để thực hiện trong bài báo này (Hình 4).



Hình 4. Các dụng cụ

*** Tốc độ tiến dụng cụ f (mm/phút):**

Thông số này chủ yếu ảnh hưởng đến năng suất và độ co rút (*springback*). Tương tự bước xuống dao Δz , tùy theo giá trị f lớn hay bé sẽ cho năng suất cao hay thấp. Khi tốc độ tiến dụng cụ f nhỏ thì khả năng đàn hồi trở lại của phôi tấm kẽm, dụng cụ ít bị rung động nên ít sinh nhiệt và độ *springback* sẽ nhỏ, và vì vậy chi tiết thu được có độ chính xác cao hơn. Ngược lại, nếu giá trị f lớn thì nhiệt sinh ra do ma sát lớn, *springback* cũng sẽ lớn và độ chính xác của chi tiết kém hơn.

Trong qui trình tạo hình SPIF trên vật liệu nhựa nhiệt dẻo, sự mài mòn dụng cụ do ma sát với vật liệu tấm là không đáng kể vì tính mềm dẻo của nhựa. Đây cũng là một ưu điểm nổi trội của công nghệ góp phần làm giảm chi phí khi so sánh với ứng dụng trên vật liệu kim loại. Để đảm bảo quá trình vận hành không vượt quá công suất của máy, cũng như tính đến năng suất gia công, giá trị f dùng nghiên cứu thực nghiệm nằm trong khoảng 1000 - 2500 mm/phút.

*** Nhiệt độ tạo hình T ($^{\circ}C$):**

Nhiệt độ làm thay đổi cơ tính của vật liệu PVC (làm mềm ra hay cứng lại), nên ảnh hưởng rất lớn đến sự biến dạng của PVC, nhiệt độ cũng ảnh hưởng đến độ co rút (*springback*).

Để xác định khoảng nhiệt độ tối ưu cho khả năng biến dạng của phôi tấm là lớn nhất, cần tiến hành chạy thí nghiệm ở nhiều mức nhiệt độ khác nhau. Đầu tiên tiến hành tạo hình ở nhiệt độ phòng (khoảng $30^{\circ}C$), rồi tăng dần nhiệt độ trong các lần chạy kế tiếp cho đến nhiệt độ nóng chảy của PVC là $70^{\circ}C$. Kết quả khả năng biến dạng lớn nhất thu được tại khoảng nhiệt độ ($30 - 50^{\circ}C$) được xem là phù hợp để khảo sát thực nghiệm. Để gia nhiệt cho tấm PVC ta sử dụng một tấm gia nhiệt treo phía dưới, khi dụng cụ đi xuống bao nhiêu thì tấm gia nhiệt sẽ di chuyển theo.

Như vậy có tất cả 04 nhân tố cần khảo sát. Giới hạn trên và dưới của các thông số thay đổi được cho trong Bảng 1

Bảng 1. Bảng các thông số được biểu diễn dưới dạng tự nhiên và mã hóa

Tên	Nhân tố		Mức nhân tố			Khoảng thay đổi
	Ký hiệu		Cao nhất	Thấp nhất	Cơ sở	
	Tự nhiên	Mã hóa				
Bước xuống dụng cụ, mm	Δz	x_1	1,2	0,4	0,8	0,4
Đường kính dụng cụ, mm	d	x_2	12	6	9	3
Tốc độ tiến dụng cụ, mm/phút	f	x_3	2500	1000	1750	750
Nhiệt độ tạo hình, $^{\circ}C$	T	x_4	50	30	40	10

Quan hệ giữa nhân tố mã hóa và tự nhiên có dạng:

$$\begin{aligned} x_1 &= (\Delta z - 0,8)/0,4 & x_2 &= (d - 9)/3 \\ x_3 &= (f - 1750)/750 & x_4 &= (T - 40)/10 \end{aligned}$$

3. KẾT QUẢ

Bảng 2. Bảng ma trận qui hoạch tiến hành 8 thí nghiệm với 3 lần lặp lại (với y_1, y_2, y_3 lần lượt là kết quả của lần thực hiện thứ nhất, thứ hai, thứ ba. Khi xác định phương trình hồi qui ta lấy giá trị y_{tb} để tính)

N ^o	Thông số đầu vào				Kết quả α_{max}		
	Δz (mm)	d (mm)	f (mm/ph)	T (°C)	y_1	y_2	y_3
1	0,4	6	1000	30	50		
2	0,4	6	1000	30		53	
3	0,4	6	1000	30			53
4	1,2	6	1000	50	65		
5	1,2	6	1000	50		63	
6	1,2	6	1000	50			63
7	0,4	12	1000	50	65		
8	0,4	12	1000	50		65	
9	0,4	12	1000	50			66
10	1,2	12	1000	30	60		
11	1,2	12	1000	30		63	
12	1,2	12	1000	30			60
13	0,4	6	2500	50	65		
14	0,4	6	2500	50		65	
15	0,4	6	2500	50			65
16	1,2	6	2500	30	65		
17	1,2	6	2500	30		62	
18	1,2	6	2500	30			62
19	0,4	12	2500	30	55		
20	0,4	12	2500	30		57	
21	0,4	12	2500	30			57
22	1,2	12	2500	50	65		
23	1,2	12	2500	50		68	
24	1,2	12	2500	50			66



Hình 5. Các chỉ tiết ở các chế độ gia công khác nhau

Quá trình lặp lại các thí nghiệm cho từng trường hợp cho thấy rằng giá trị của góc tạo hình không thay đổi nhiều. Tuy nhiên, ở từng chế độ chạy khác nhau thì giá trị của chúng cũng có sự chênh lệch rõ rệt.

Phương trình hồi qui để xét sự ảnh hưởng của 4 thông số khảo sát đến góc biến dạng lớn nhất được viết dưới dạng mã hóa:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3$$

Với việc chọn nhân tố x_4 thay thế cho tương tác $x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$ ($x_4 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$) gọi là biểu thức sinh, thì mô hình có dạng:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_4x_4$$

Kết quả tính toán được phương trình hồi quy xác định mối quan hệ giữa 4 thông số công nghệ và góc tạo hình lớn nhất đối với mô hình chóp cụt có dạng như sau:

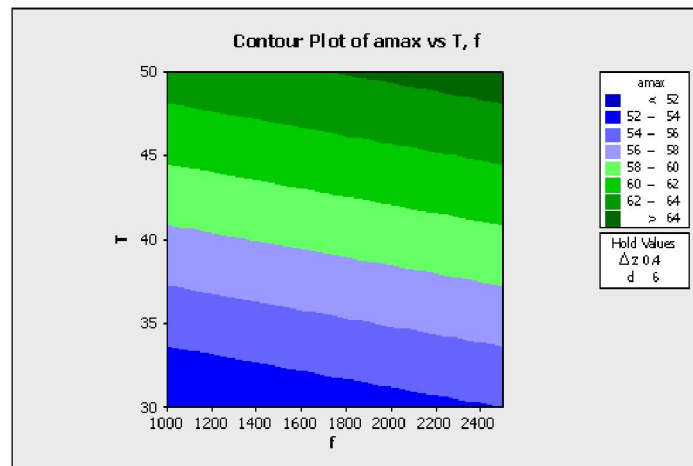
$$y = 61,5825 + 1,9175x_1 + 0,665x_2 + 1,0825x_3 - 2x_2x_3 + 3,5x_1x_2x_3$$

Thay các tương tác x_1, x_2, x_3, x_4 vào ta được:

$$y = 25,2367 + 4,7938 \Delta z + 1,7773 d + 0,0224 f - 0,0008df + 0,35T \text{ (độ)}$$

Để đánh giá mối quan hệ giữa các thông số đến khả năng biến dạng lớn nhất của tấm, ta sử dụng phần mềm Minitab để vẽ ra các đồ thị Contour dựa trên phương trình hồi qui nhận dạng tự nhiên.

* Trong 04 thông số khảo sát, cố định hai thông số ở một mức xác định, hai thông số còn lại thay đổi. Trong bài báo này, các thông số được cố định ở mức thấp (mức cơ sở và mức cao cũng thực hiện tương tự). Hình 6 là đồ thị minh họa sự ảnh hưởng của T và f đối với góc biến dạng α khi cố định $\Delta z, d$.



Hình 6. Ảnh hưởng của T và f đối với góc biến dạng α

Dựa vào đồ thị thấy rằng khả năng tạo hình gia tăng nếu tăng tốc độ tiến dụng cụ f và nhiệt độ tạo hình T. Khi T = 50, f = 2500 giá trị $\alpha_{max} > 64^\circ$ (trong thực nghiệm $\alpha_{max} = 65^\circ$). Trong đó T ảnh hưởng lớn nhất, f ảnh hưởng nhỏ hơn.

Tiến hành vẽ các biểu đồ tương tự về mối quan hệ giữa các thông số cho những trường hợp còn lại, cùng với các nhận xét tương ứng, đưa ra nhận xét chung như sau:

Các thông số ảnh hưởng chủ yếu đến khả năng tạo hình α của vật liệu PVC trong qui trình ISF là nhiệt độ tạo hình T, đường kính d và bước xuống dụng cụ Δz . Còn tốc độ tiến dụng cụ f cũng có ảnh hưởng nhưng không đáng kể.

Để tăng khả năng tạo hình cho tấm nhựa PVC cần thiết phải tăng nhiệt độ tạo hình và bước xuống dụng cụ. Tuy nhiên, lưu ý rằng giá trị nhiệt độ tăng không được vượt quá nhiệt độ chảy của nhựa PVC (75°C).

Khả năng biến dạng của tấm nhựa PVC dày 2mm có thể đạt tới 68° nếu thực hiện đúng với chế độ gia công như *bảng 2* cùng với điều kiện bôi trơn ổn định.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này chúng tôi đã nghiên cứu sự ảnh hưởng của nhiệt độ T, bước xuống dụng cụ Δz , tốc độ tiến dụng cụ f và đường kính dụng cụ d đến khả năng tạo hình của tấm nhựa nhiệt dẻo PVC bằng phương pháp SPIF. Sau khi tiến nghiên cứu thực nghiệm bài báo đã đưa ra phương trình hồi qui xác định sự ảnh hưởng của các thông số trên và đã đưa ra nhận xét sự ảnh hưởng của các thông số trên đối với khả năng tạo hình của vật liệu tấm PVC. Theo kết quả thực hiện của bài báo đã các thông số nhiệt độ tạo hình T, đường kính d và bước dụng cụ Δz có ảnh hưởng lớn đến góc tạo hình α của vật liệu PVC, còn tốc độ f có ảnh hưởng không đáng kể. Để tăng khả năng tạo hình của tấm PVC khi gia công bằng phương pháp biến dạng gia tăng đơn điểm cần chọn chế độ gia công hợp lý như *bảng 2* cùng với điều kiện bôi trơn ổn định.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. V. S. Le, A. Ghiotti, G. Lucchetta., 2008. *Preliminary Studies on SPIF for Thermoplastic Materials*. In: International Journal of material.
- [2]. V. Franzen, L. Kwiatkowski, P. A. F Martins, A. E. Tekkaya., 2009. *Single point incremental forming of PVC*. Journal of materials processing technology, Volume 209.
- [3]. P.A.F. Martins, L. Kwiatkowski, V. Franzen, A.E. Tekkaya and M. Kleiner., 2009. *SPIF in processing polymer material*. Journal: CIRP Annals – Manufacturing Technology, Volume 58, Issue 1.
- [4]. Pham Van Trung, Vo Van Cuong, Nguyen Thanh Nam., 2011. *Deformation Ability Of Singel Point Incremental Forming For Thermo-Plastic Composite Materials*. Tạp chí Phát Triển KH&CN, tập 14, số K2.
- [5]. Nguyễn Quốc Bảo, Pham Văn Trung., 2014. Nghiên cứu khả năng biến dạng của tấm composite nền PE cốt sợi thủy tinh khi gia công bằng phương pháp biến dạng gia tăng đơn điểm. *Tạp chí trường ĐH Phạm Văn Đồng*.
- [6]. Marcelo Pinto Pradella, Luis Fernando Folle., 2016. *Study of incremental sheet forming process of PVC*. Matéria (Rio J.) vol.21 no.4 Rio de Janeiro Oct./Dec. 2016
- [7]. Sridhar R, Rajenthirakumar D., 2016. *Incremental Forming of Polymer-Numerical and Experimental Investigation*. Polymers & Polymer Composites, Vol. 24, No. 7, 2016
- [8]. G. Medina-Sánchez, E. Torres-Jimenez, R. Lopez-Garcia, R. Dorado-Vicente*, R. Cazalla-Moral., 2017. *Temperature influence on Single Point Incremental Forming of PVC parts*. Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017, 28-30 June 2017, Vigo (Pontevedra), Spain
- [9]. Isabel Bagudanch, Marc Sabater & Maria Luisa Garcia-Romeu., 2017. *Single Point versus Two Point Incremental Forming of thermoplastic materials*. Journal Advances in Materials and Processing Technologies, Volume 3, 2017