



## ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ NHÁM VÀ LỰC CHẶN PHÔI ĐẾN QUÁ TRÌNH GIA NHIỆT TRONG CÔNG NGHỆ DẬP VUỐT

Ngô Thị Thảo<sup>1\*</sup>, Thân Văn Thế<sup>1</sup>, Luyện Thế Thanh<sup>1</sup>, Đinh Văn Tùng<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Hưng Yên

<sup>2</sup> Trường Cao đẳng Kinh tế Kỹ thuật Tô Hiệu Hưng Yên

\* Tác giả liên hệ: ngothaohnt@gmail.com

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 05/03/2021

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 06/04/2021

Ngày bài báo được duyệt đăng: 15/06/2021

### Tóm tắt:

Công nghệ dập sâu có gia nhiệt đang được ứng rộng rãi để giảm các khuyết tật như rách, nứt. Thông thường, có hai phương pháp gia nhiệt là trực tiếp và gián tiếp. Khi gia nhiệt trực tiếp trên khuôn, các thanh nhiệt được đặt trong cối và tấm chặn phôi để làm nóng khuôn sau đó truyền sang phôi. Trong bài báo này, ảnh hưởng của độ nhám bề mặt và lực chặn phôi đến thời gian gia nhiệt và nhiệt độ phân bố trên phôi đã được nghiên cứu. Một mô hình truyền nhiệt được xây dựng dựa vào phần mềm phân tích Comsol. Kết quả chỉ ra rằng lực chặn phôi và độ nhám bề mặt có ảnh hưởng tới thời gian gia nhiệt cho phôi. Kết quả này cung cấp những thông tin cho quá trình xây dựng toàn bộ quá trình dập ấm cho các loại phôi có tính chất dẫn nhiệt và độ dày khác nhau.

**Từ khóa:** dập ấm, lực chặn phôi, độ nhám, truyền nhiệt tiếp xúc, phần mềm Comsol.

### 1. Giới thiệu

Gia công có gia nhiệt ngày càng được ứng dụng rộng rãi như là một phương pháp gia công mới, cải thiện tính năng gia công của kim loại nói chung và đặc biệt là các hợp kim có độ cứng cao. Kim loại có xu hướng dễ biến dạng hơn khi gia nhiệt, do đó nâng cao được tính gia công của vật liệu. Tùy thuộc vào tính chất của mỗi quá trình gia công, các phương pháp gia nhiệt khác nhau sẽ được sử dụng như làm nóng bằng dòng điện, hồ quang, cảm ứng từ tần số cao... Chúng có thể chia ra làm hai phương pháp gia nhiệt cho phôi đó là gia nhiệt trực tiếp và gián tiếp. Đối với gia nhiệt trực tiếp, phôi sẽ nhận nhiệt truyền từ các tấm khuôn. El-Morsy and Manabe [1] sử dụng phương pháp phân tử hữu hạn mô phỏng ảnh hưởng của quá trình trao đổi nhiệt trong khi dập sâu có gia nhiệt. Trong nghiên cứu này, các tác giả giả thiết phôi, cối và tấm chặn phôi sẽ được nung lên sau đó đưa vào máy dập; chày được giữ ở nhiệt độ phòng. Kết quả chỉ ra rằng trao đổi nhiệt trong khi dập sâu có ảnh hưởng đến khả năng biến dạng của hợp kim ma giê. Jonhannes Winklhofer và các cộng sự [2] sử dụng LS-Dyna để mô phỏng quá trình dập ấm hợp kim nhôm. Quá

trình mô phỏng đã được thực hiện với các nhiệt độ khác nhau của phôi như 25°C, 100°C, 175°C và 250°C. Phương pháp gia nhiệt trực tiếp thông qua cối và tấm chặn phôi được nhóm nghiên cứu của M. Huseyin Cetin công bố trong tài liệu tham khảo [3]. Phương pháp quy hoạch thực nghiệm đã được sử dụng để tìm ra nhiệt độ tối ưu cho quá trình dập ấm sâu AA 5754-O. Phương pháp mô phỏng số cũng được sử dụng để phân tích quá trình trao đổi nhiệt cho các hệ thống gia nhiệt khác nhau khi dập ấm [4]. Các tác giả chỉ ra có sự chênh lệch nhiệt độ khi truyền từ khuôn sang phôi và đây là một vấn đề mà thường được bỏ qua trong nhiều nghiên cứu; đó là ảnh hưởng của chất lượng tiếp xúc giữa khuôn và phôi. Hệ số trình truyền nhiệt tại vùng tiếp xúc phụ thuộc vào áp lực, độ nhám bề mặt, vật liệu... Khi gia nhiệt trực tiếp trên khuôn, hiệu quả truyền nhiệt thông qua các bề mặt tiếp xúc sẽ ảnh hưởng tới sự đồng đều nhiệt độ trên khuôn cũng như thời gian gia nhiệt. Luyen The-Thanh và cộng sự [5] dựa trên nhiệt độ đo thực nghiệm để tìm ra hàm mô tả sự thay đổi nhiệt độ trên phôi. Tuy nhiên, các tác giả chỉ tìm ra hàm số cho quá trình gia nhiệt ban đầu mà không đưa ra được thời gian gia nhiệt cho phôi ở

lần dập tiếp theo. Thi-Thao Ngo và cộng sự [6] ứng dụng phần mềm Comsol để nghiên cứu quá trình gia nhiệt trên khuôn dập với giá trị khác nhau của nguồn nhiệt. Trong nghiên cứu, các hệ số đối lưu đã được tính toán để đưa vào mô hình mô phỏng nhưng chưa đưa ra ảnh hưởng của hệ số truyền nhiệt tại các bề mặt tiếp xúc của phôi-cối và phôi-tấm chặn phôi.

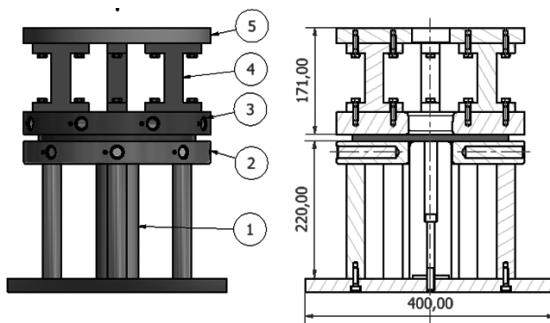
Trong nghiên cứu này, hệ số truyền nhiệt giữa các bề mặt tiếp xúc giữa phôi với tấm khuôn sẽ được phân tích. Ảnh hưởng của áp lực và độ nhám tại vùng tiếp xúc đến sự truyền nhiệt sẽ được xem xét. Bên cạnh đó, thời gian gia nhiệt cho phôi cũng được tìm ra.

**2. Xây dựng mô hình**

Một chi tiết dạng cốc được dập từ phôi tròn dày 0,6mm và đường kính 200mm làm bằng hợp kim nhôm 6061. Tính chất cơ-nhiệt của hợp kim nhôm 6061 được đưa ra trên bảng.

Bảng 1. Tính chất cơ-nhiệt của vật liệu [6]

	Al6061	Chày (SKD11)	Chặn phôi (SKD11)
$\rho(\text{kg/m}^3)$	2700	7830	7830
$k(\text{W/m.K})$	160	30	30
$C_p (\text{kJ/kgK})$	900	480	480
$E (\text{Pa})$	70E9	200E9	200E9
Posion	0.33	0.25	0.25
Độ cứng (HB)	60	217	217



1- Thanh đỡ ; 2 – Chặn phôi ; 3 – Cối ;  
4 – Thanh treo ; 5 – Giá treo

Hình 1. Kết cấu khuôn dập

Mô hình khuôn và hệ thống gia nhiệt được mô tả trên Hình 1. Các thanh gia nhiệt có đường kính  $\phi 160\text{mm}$  dài 100mm với lõi niken-crom và bao quanh bởi thép không gỉ. Trên cối và tấm chặn phôi,

mỗi tấm được bố trí 8 thanh gia nhiệt phân bố đều xung quanh khuôn. Giá trị nguồn nhiệt trong quá trình mô phỏng sẽ được lựa chọn để giúp khuôn và phôi đạt được nhiệt độ mục tiêu.

Quá trình gia nhiệt trên khuôn bao gồm hiện tượng truyền nhiệt trong vật rắn, đối lưu và bức xạ. Tuy nhiên nhiệt độ của khuôn không lớn nên hiện tượng bức xạ có ảnh hưởng nhỏ và bỏ qua trong nghiên cứu này. Phương trình tổng quát quá trình truyền nhiệt trong không gian 3 chiều như sau [7]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k(T) \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k(T) \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k(T) \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial z} \right) + q_i = \rho C_p \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial t} \tag{1}$$

Điều kiện ban đầu và điều kiện biên bao gồm:

$$T(x, y, z, t = 0) = T_\infty \tag{2}$$

$$\frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial n} = 0 \text{ tại bề mặt cách nhiệt} \tag{3}$$

$$q_{out} = h(T(x, y, z, t) - T_\infty) \text{ tại bề mặt đối lưu} \tag{4}$$

Trong khuôn dập, hệ số đối lưu tự nhiên trong công thức (4) được chia theo hướng bề mặt trên khuôn là mặt thẳng đứng và mặt nằm ngang. Theo tài liệu tham khảo [8], các hệ số này được tính như sau:

$$h = \overline{Nu} k_{air} / L \tag{5}$$

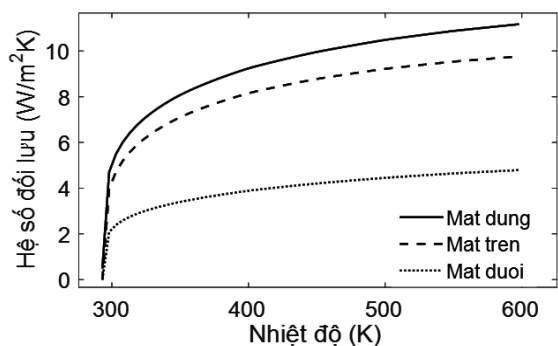
$$\overline{Nu} = 0.68 + \frac{0.67(Ra_L)^{1/4}}{\left[1 + (0.492 / Pr)^{9/16}\right]^{4/9}} \text{ mặt đứng} \tag{6}$$

$$\overline{Nu} = 0.54 Ra_L^{1/4} \text{ cho mặt trên của tấm} \tag{7}$$

$$\overline{Nu} = 0.52 Ra_L^{1/5} \text{ cho mặt dưới của tấm} \tag{8}$$

$$Ra_L = g \left[ 2 / (Ts + T_\infty) \right] (Ts - T_\infty) L^3 / (\alpha_{air} \nu_{air}) \tag{9}$$

Để nhận thấy, hệ số  $h$  là hàm số phụ thuộc vào nhiệt độ khuôn và môi trường. Hình 2 mô tả sự thay đổi của hệ số đối lưu và nhiệt độ.



Hình 2. Quan hệ của hệ số đối lưu và nhiệt độ



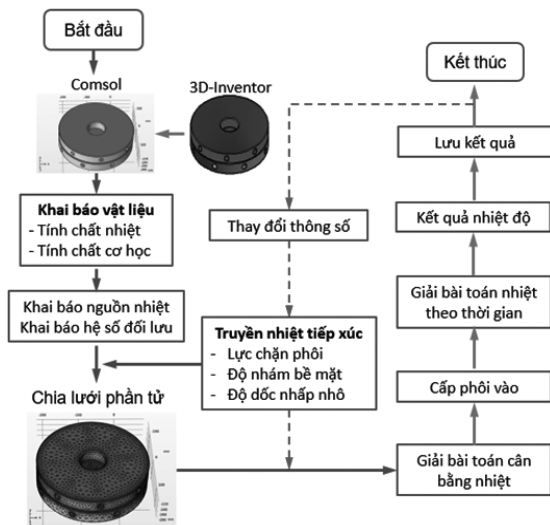
Hình 3. Minh họa tiếp xúc giữa hai chi tiết [9]

Mô hình truyền nhiệt trong khuôn dập cần thiết lập điều kiện biên tại vị trí tiếp xúc giữa các tấm khuôn và phôi như minh họa trên Hình 3. Truyền nhiệt tại các mặt tiếp xúc quan trọng giữa phôi-cối và phôi-tấm chặn phôi có thể mô tả thông qua hệ số  $h_c$  [10] như sau:

$$h_c = \begin{cases} 1.13 \left( \frac{k \tan \varphi}{\sigma} \right) \left( \frac{p}{H} \right)^{0.94} & \text{Biến dạng đàn hồi} \\ 1.55 \left( \frac{k \tan \varphi}{\sigma} \right) \left( \frac{p\sqrt{2}}{E \tan \varphi} \right)^{0.94} & \text{Biến dạng dẻo} \end{cases} \quad (10)$$

$$k = \frac{2k_1k_2}{k_1 + k_2}; E = 2 \left[ \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right]^{-1} \quad (11)$$

$$\sigma = 1.25(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{0.5}; \tan \varphi = \left\{ (slope)_1^2 + (slope)_2^2 \right\}^{0.5} \quad (12)$$



Hình 4. Sơ đồ phân tích truyền nhiệt

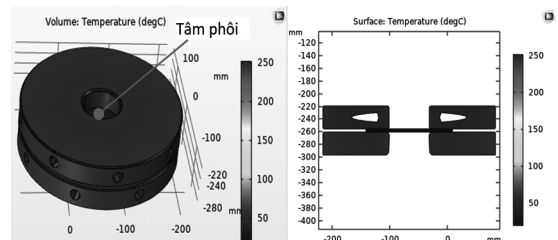
Từ các công thức trên cho thấy, khả năng truyền nhiệt qua vùng tiếp xúc giữa 2 vật liệu phụ thuộc vào nhiều thông số như: Chất lượng bề mặt, áp lực, hệ số truyền nhiệt, mô đun đàn hồi... của 2 đối tượng. Bên cạnh đó, để giảm khối lượng tính toán

trên máy tính, các chi tiết và kết cấu không quan trọng sẽ không xem xét trong phân tích này. Toàn bộ quá trình thiết lập và phân tích được thể hiện trên sơ đồ Hình 4.

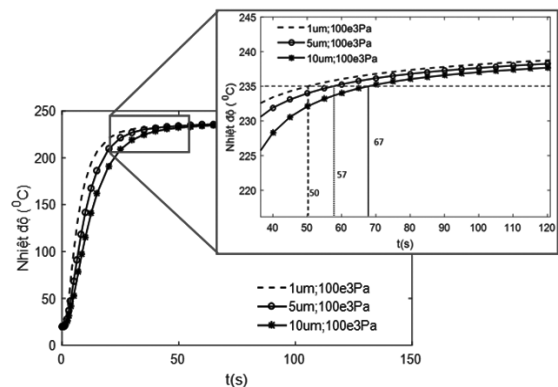
Các trường hợp khảo sát trong bài báo, nhiệt độ khuôn sẽ được gia nhiệt với nhiệt lượng  $3000W/m^2$  giúp khuôn ổn định tại nhiệt độ  $250^{\circ}C$ . Sau đó phôi hợp kim nhôm Al6061 được đưa vào gia nhiệt đến khi đạt đến nhiệt độ cân bằng. Các thông số về độ nhám, độ dốc của nhấp nhô và lực chặn phôi được thay đổi để xem xét ảnh hưởng riêng của từng thông số cũng như tổ hợp của chúng đến nhiệt độ cuối cùng trên phôi.

### 3. Kết quả và thảo luận

Trước hết, cối và tấm chặn phôi được gia nhiệt đạt đến nhiệt độ  $250^{\circ}C$  như trên Hình 5. Trên hình cho thấy, 2 tấm khuôn có nhiệt độ phân bố đồng đều.



Hình 5. Nhiệt độ của cối và tấm chặn phôi

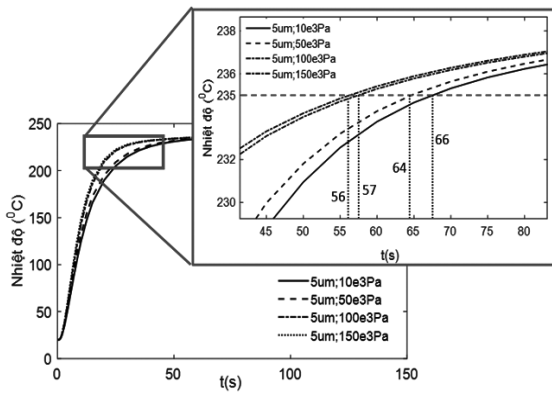


Hình 6. Nhiệt độ tại tâm phôi với các độ nhám khác nhau

#### 3.1. Ảnh hưởng của độ nhám bề mặt

Dải độ nhám được khảo sát trong nghiên cứu này  $R_a = 1 \square 10\mu m$ . Áp lực chặn phôi được giữ nguyên trong các phân tích với giá trị  $1E5Pa$ . Kết quả phân tích được thể hiện trên Hình 6. Kết quả cho thấy thời gian gia nhiệt sẽ tăng khi độ nhám tăng. Thời gian gia nhiệt khi độ nhám  $R_a = 1\mu m$  là

50 giây, nó tăng lên 57 giây khi  $R_a = 5\mu m$  và 67 giây khi  $R_a = 10\mu m$ . Như vậy, độ nhám có ảnh hưởng đáng kể tới thời gian gia nhiệt cho phôi.



Hình 7. Ảnh hưởng của áp lực đến thời gian gia nhiệt cho phôi với  $R_a = 5\mu m$

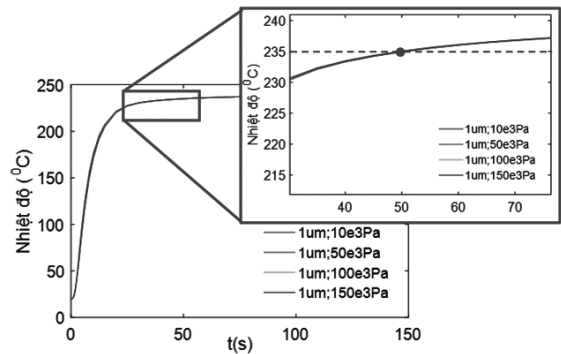
### 3.2. Ảnh hưởng của lực chặn phôi

Độ nhám và độ dốc của nhấp nhô trên bề mặt được giữ là hằng số, lực chặn phôi thay đổi ở các mức 10kPa, 50kPa, 100kPa và 150kPa. Từ Hình 7, một điều nhận thấy rằng khi lực chặn phôi tăng thì thời gian gia nhiệt sẽ giảm. Thời gian gia nhiệt giảm từ 66 giây khi  $p=10\text{KPa}$  xuống 56 giây với  $p=150\text{KPa}$ . Tuy nhiên có sự giảm mạnh thời gian gia nhiệt (7 giây) khi tăng áp lực từ 50kPa lên 100kPa. So sánh giữa trường hợp 100kPa và 150kPa, sự khác biệt về thời gian không nhiều, nó chỉ khoảng 1 giây. Điều này cho thấy, nếu giữ nguyên độ nhám, nếu áp lực trên một giới hạn thì sẽ không có sự ảnh hưởng nhiều tới thời gian gia nhiệt khi tiếp tục tăng áp lực. Điều này do các nhấp nhô trên bề mặt sẽ bị biến dạng khi áp lực đạt tới giá trị nhất định. Bề mặt tiếp xúc trở nên phẳng, tiếp xúc giữa 2 bề mặt được cải thiện, từ đó khả năng truyền nhiệt cũng tốt hơn. Sau đó tăng tiếp áp lực thì cũng không thể tăng biến dạng và làm phẳng hơn các nhấp nhô vì chúng đạt biến dạng tới hạn.

### Tài liệu tham khảo

- [1]. Abdel-Wahab El-Morsy, Ken-Ichi Manabe, Finite element analysis of magnesium AZ31 alloy sheet in warm deep-drawing process considering heat transfer effect. *Materials Letters*, **60**, pp. 1866 – 1870, 2006.
- [2]. Johannes Winklhofer, G. Trattig, Christoph Lind, C. Sommitsch, Hannes Feuerhuber, Simulation of Aluminium Sheet Metal Deep Drawing at Elevated Temperature using LS-Dyna, LS-DYNA Forum,

Để xem xét kỹ hơn về ảnh hưởng của áp lực tới thời gian gia nhiệt cho phôi, các phân tích được thực hiện với độ nhám  $R_a = 1\mu m$ . Kết quả được thể hiện như trên Hình 8. Quan sát hình ta thấy với độ nhám bề mặt thấp, áp lực hầu như không ảnh hưởng tới thời gian gia nhiệt cho phôi. Khi tăng áp lực từ 10kPa lên 150kPa, thời gian gia nhiệt đều ở khoảng 50 giây. Điều này cho thấy, nếu quá trình gia công khuôn và chuẩn bị phôi có độ nhám thấp sẽ giúp cho việc gia nhiệt tốt hơn, giảm thời gian gia nhiệt; dẫn đến tăng năng suất dập và giảm giá thành sản phẩm.



Hình 8. Ảnh hưởng của áp lực đến thời gian gia nhiệt cho phôi với  $R_a = 1\mu m$

### 4. Kết luận

Nghiên cứu này đã xây dựng được một mô hình truyền nhiệt cho quá trình dập ấm phôi hợp kim nhôm. Kết quả cho thấy khi độ nhám tăng thì thời gian gia nhiệt sẽ giảm. Tương tự, khi tăng lực chặn phôi thì cũng làm giảm thời gian gia nhiệt. Tuy nhiên, khi độ nhám nhỏ ( $R_a = 1\mu m$ ), thời gian gia nhiệt hầu như không thay đổi với các giá trị lực chặn phôi khác nhau. Bằng cách áp dụng phương pháp mô phỏng số, chúng ta có thể dự đoán được thời gian gia nhiệt cho các trường hợp vật liệu, lực chặn phôi, độ nhám bề mặt khác nhau. Mô hình này có thể sử dụng cho tối ưu hóa thông số của quá trình gia nhiệt trực tiếp trên khuôn.

Bamberg 2010.

- [3]. M. Huseyin Cetin, Abdullah Ugur, Osman Yigit, Hasan Gokkaya, Erol Arcaklioglu, Development of Forming Temperature Curves for Warm Deep Drawing Process Under Non-isothermal Conditions, *Arab J Sci Eng*, **40**, pp. 2763–2784, 2015.
- [4]. J. M. P. Martins, J. L. Alves, D. M. Neto, M. C. Oliveira, L. F. Menezes, Numerical analysis of different heating systems for warm sheet metal forming. *Int J Adv Manuf Technol*, **83**, pp. 897–909, 2016.
- [5]. Luyen The-Thanh, Mac Thi-Bich, Banh Tien-Long, Nguyen Duc-Toan, A study on heating and determining the temperature generation on the sheet metal before the deep drawing process, *International Journal of Modern Physics B*, **Vol. 34, No. 22n24**, 2040133, 2020.
- [6]. Thi-Thao Ngo, Luyen The Thanh, and Van-The Than, Study on Heating Process for Drawing Mold Based on Numerical Method. *MMMS 2020 Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham.
- [7]. Jin-Huang Huang et al., An inverse method for estimating heat sources in a high speed spindle, *Applied Thermal Engineering*, **105**, pp. 65–76, 2016.
- [8]. Frank P. Incropera, David P. Dewitt, Fundamentals of heat and mass transfer, seventh ed., second ed., John Wiley & Sons, New York, 2011
- [9]. <https://www.comsol.com/blogs/thermal-contact-resistance-simulation/>
- [10]. Madhusudana CV. Thermal contact conductance. Switzerland: Springer 2014.

## EFFECTS OF SURFACE ROUGHNESS AND HOLDER FORCE ON HEATING BLANK PROCESS IN DEEP DRAWING

### Abstract:

*Warm deep drawing is widely applied to reduce defects such as tearing and wrinkling. There are two commonly heating methods including indirect and direct heating on the mold. For directly heating on the mold, heat generated by stainless steel cartridge rod located in mold plates will be transferred to blank. In this paper, influence of surface roughness and blank holder force on heating time while temperature distribution on the workpiece will be analyzed. A heat transfer model was modeled using finite element analysis software Comsol. Results show that the workpiece blank holder force and the roughness of the mold and workpiece have influence on the heating time. Herein results will provide useful information for construction and simulation of the warm deep drawing process under different blank's materials.*

**Keywords:** warm deep drawing, blank holder force, surface roughness, thermal contact, Comsol software.