

Dr inż. Sylwia BEDNAREK, dr inż. Aneta ŁUKASZEK-SOŁEK, mgr inż. Paweł CHYŁA,
prof. dr hab. inż. Jan SIŃCZAK

Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, Kraków

Wpływ nierównomierności temperatury materiału wyjściowego na parametry procesu kucia

Stock temperature non-uniformity influence on forging process parameters

Streszczenie

W przeprowadzonych badaniach analizowano proces kucia tulejki z kołnierzem. Badania obejmowały zagadnienia nierównomierności temperatury materiału wyjściowego, która może wystąpić w praktyce przemysłowej i jej wpływ na parametry siłowe procesu kucia oraz na rozkład odkształceń i naprężeń w gotowej odkuwce.

Abstract

In this paper the forging process of bush with flange was analysed. The aim of this work was to pay attention to stock temperature non-uniformity problem, which may occurs in industrial practice and it's influence on force parameters of forging process and strain and stresses distribution in final product.

Słowa kluczowe: materiał wyjściowy, temperatura, kucie w matrycach otwartych, modelowanie numeryczne

Key words: stock, temperature, half die forging, numerical modelling

1. WPROWADZENIE

Jednozabiegowe kucie na gorąco w matrycach otwartych jest najbardziej rozpowszechnioną metodą seryjnego wykonywania mało skomplikowanych stalowych odkuwek części maszyn i urządzeń, o masie od kilkunastu gramów do kilkuset kilogramów [1]. W zależności od gatunku stali, gabarytów odkuwki oraz maszyny używanej w procesie kształtowania (młot, prasa itp.), materiał wyjściowy przed kuciem nagrzewa się do temperatury kucia 1000÷1200°C [2]. W procesie nagrzewania wykorzystuje się różne piece i sposoby grzania (gazowe, oporowe, indukcyjne, itp.). Ze względu na cykl pracy wyróżnia się piece przelotowe, z wysuwaniem trzonem, komorowe, itp. [3].

Gradient temperatury w materiale wyjściowym ma duży wpływ na parametry siłowe procesu kucia, żywotność oprzyrządowania, a także na rozkład odkształceń w gotowej odkuwce, co wpływa na jej własności [1, 2].

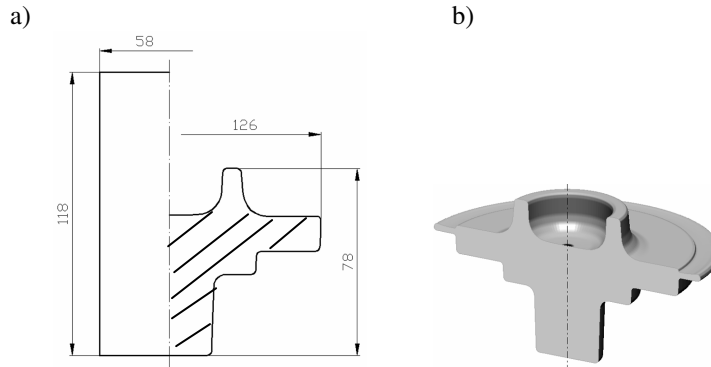
1. INTRODUCTION

Singel-treatment hot forging in half die is the widespread method of making not complicated steel parts of machines and plants with mass about several-dozens to several-hundreds kg [1]. In dependence of steel grade, forging overall dimensions and machine used to forming (hammer, press etc.), the stock before forging is heated to forging temperature 1000÷1200°C [2]. In heating process are used different furnace types and heating methods (gas-fired, resistance, induction, etc.). In respect of work cycle discriminates following furnaces continuous, car-type, chamber, etc. [3].

Stock temperature gradient has considerable influence on forging process force parameters, tools life and also on strain distribution in final product, which influences on properties [1, 2].

Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania, w artykule przedstawiono wyniki analizy procesu kucia osiowosymetrycznej tulei z kołnierzem o masie 2,35 kg, kutej z materiałów wyjściowych o różnym gradiencie temperatury. Podstawowe wymiary materiału wyjściowego i odkuwki oraz odkuwkę w przekroju z wypływką, przedstawiono na rysunku 1.

Take into consideration above conditions, in this paper are presented the results of analysis of the forging process of axisymmetric bush with flange about mass 2,35 kg, forged from stocks with different temperature gradient. Basic dimensions of stock and forging also intersection of forging with flash are presented in figure 1.



Rys. 1. Podstawowe wymiary materiału wyjściowego i odkuwki (a) oraz przekrój odkuwki z wypływką (b)
Fig. 1. Stock and forging dimensions (a) and intersection of forging with flash (b)

2. MODELOWANIE PROCESU KUCIA

Symulacja komputerowa procesu kucia tulei z kołnierzem została wykonana za pomocą komercyjnego programu QForm2D/3D. Obliczenia wykonano dla czterech wariantów (tabela 1). Warianty A i B zakładały początkową temperaturę materiału wyjściowego 900 °C, a następnie jego nagrzew w piecu przepychowym o temperaturze 1200 °C przez 120 s (wariant A) i 600 s (wariant B). Jest to sytuacja, kiedy na skutek przestoju maszyny lub awarii pieca, materiał wyjściowy się ochładza i w celu szybkiego dogrzania do założonej temperatury kucia, operator maszyny wkłada materiał do zbyt gorącego pieca. Warianty C i D zakładały, że materiał wyjściowy o temperaturze 1200 °C jest chłodzony w powietrzu przez 120 s (wariant C) i 600 s (wariant D). Takie warunki mogą wystąpić w praktyce przemysłowej podczas przestoju spowodowanego np. nieplanowanym przezbrojeniem matrycy. Operator zamiast odrzucić schłodzone kawałki materiału lub umieścić je w piecu zaczyna ich kształtowanie.

2. FORGING PROCESS MODELLING

Computer simulation of forging process of the bush with flange was carried out by commercial programme QForm2D/3D. Calculations were made for four variants (table 1). Variants A and B assumed initial stock temperature 900 °C, then heating in pusher furnace about 1200 °C temperature by 120 s (variant A) and 600 s (variant B). This situation is a result of machine shutdown or break-down, stock is cooling down and to quick reheating up to established forging temperature, machine operator puts material in to too hot furnace. Variants C and D assumed, that stock temperature about 1200 °C is cooled on air by 120 s (variant C) and 600 s (variant D). This conditions may occurs in industrial practice during shutdown caused by not planned dies rearming. Operator instead throw away cooled piece or put it in to furnace starts forming it.

Tablica 1. Warunki brzegowe materiału wyjściowego przed procesem kucia tulei z kołnierzem

Wariant	A	B	C	D
Charakterystyka procesu	Dogrzewanie w piecu		Chłodzenie w powietrzu	
Temperatura wyjściowa materiału wsadowego, °C	900		1200	
Temperatura otoczenia, °C	1200		20	
Czas procesu, s	120	600	120	600

Własności fizykochemiczne odkształcanego materiału przyjęto według danych wyznaczonych dla stali o zawartości 0,2% C, zakładając lepkoplastyczny model ciała. Dla wszystkich analizowanych wariantów pozostałe warunki przyjęto zgodnie z praktyką przemysłową: temperaturę matryc 300 °C oraz prędkość przesuwu trawersy górnej suwaka prasy 10 mm/s, a czynnik tarcia między narzędziami a odkształcanym materiałem 0,4. Zagadnienie rozważano jako osiowosymetryczne.

3. TERMOMECHANICZNY MODEL PROCESU ODKSZTAŁCENIA

Program QForm2D/3D umożliwia analizę rozkładu temperatury i masy, która pozwala przewidzieć zachowanie kształtowanego materiału, dzięki czemu symulacja dostarcza kompletu informacji dotyczących temperatury, stanu odkształcenia i naprężenia w materiale podczas procesu. W efekcie pozwala to prognozować rozwój mikrostruktury, a także własności mechaniczne i użytkowe gotowych wyrobów.

Krzywa płynięcia materiału jest funkcją temperatury T , odkształcenia ε oraz prędkości odkształcenia $\dot{\varepsilon}$

$$\sigma = f(T, \varepsilon, \dot{\varepsilon}) \quad (1)$$

Na rysunku 2 przedstawiono krzywe płynięcia analizowanej stali o zawartości 0,2% węgla dla różnych temperatur i prędkości odkształcenia.

Table 1. Stock boundary conditions before forging process of bush with flange

Wariant	A	B	C	D
Process characteristic	Reheating in furnace		Cooling on air	
Initial stock temperature, °C	900		1200	
Environment temperature, °C	1200		20	
Process time, s	120	600	120	600

Physico-chemical properties of deformed material were accepted according to data assigned for steel contains 0.2% C, viscoplastic body model was established. For all analysed variants residual conditions were accepted in accordance with industrial practice: tools temperature 300 °C and press cross-bar velocity 10 mm/s, friction factor between tools and deformed material 0.4. Problem was considered as axisymmetric.

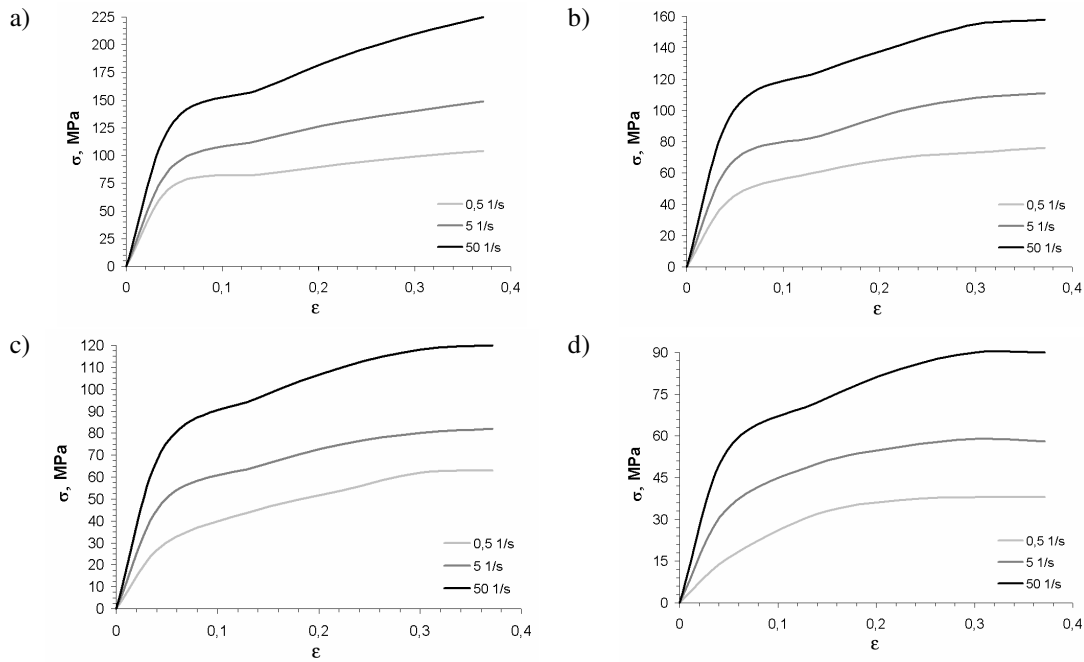
3. THERMO-MECHANICAL MODEL OF DEFORMATION PROCESS

QForm2D/3D makes possible the analysis of temperature and mass distribution, which allows to predict deformed material behaviour, thanks to that simulation supply the informations kit concerning temperature, strain and mean stresses state in material during process. In effect that allows to forecasting microstructure evolution, and also mechanical properties of final product.

Material flow curve is function of temperature T , strain ε and strain rate $\dot{\varepsilon}$

$$\sigma = f(T, \varepsilon, \dot{\varepsilon}) \quad (1)$$

In figure 2 are presented flow curves of analysed steel with 0.2% C contains for different temperatures and strain rates.



Rys. 2. Krzywe płynięcia stali o zawartości 0,2% węgla dla prędkości odkształcania $0,5 \text{ s}^{-1}$, 5 s^{-1} i 50 s^{-1} w temperaturze 900 °C (a), 1000 °C (b), 1100 °C (c) i 1200 °C (d)
 Fig. 2. Flow curves for steel with 0.2% C contains for strain rates $0,5 \text{ s}^{-1}$, 5 s^{-1} and 50 s^{-1} in temperature 900 °C (a), 1000 °C (b), 1100 °C (c) and 1200 °C (d)

Przyjęty model termomechaniczny pozwala jednocześnie wyznaczyć rozkład temperatury i odkształcenia w kształtowanym materiale. Ma to istotne znaczenie, gdyż istnieje silna korelacja między tymi dwiema wielkościami. Rozkład temperatur wyznacza się rozwiązując wariacyjne równanie przepływu ciepła:

$$\nabla(k_c \nabla T) + Q = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

gdzie:

- k_c – współczynnik przewodności cieplnej materiału wyjściowego,
- T – temperatura,
- Q – wydajność wewnętrznego źródła ciepła,
- ρ – gęstość materiału wyjściowego,
- c_p – ciepło właściwe,
- t – czas.

Przy rozwiązywaniu równania (2) stosuje się następujące rodzaje warunków brzegowych:

- rozkład temperatury na brzegu (powierzchni) odkuwki

$$T = T_0(x, y, z) \quad (3)$$

Accepted thermo-mechanical model allows to simultaneously assign temperature and strain distribution in formed material. It has significant meaning because there exist strong correlation between this two quantities. Temperature distribution is assigned by solving variation heat flow equation:

$$\nabla(k_c \nabla T) + Q = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

where:

- k_c – stock thermal conductivity,
- T – temperature,
- Q – internal heat source capacity,
- ρ – stock density,
- c_p – specific heat,
- t – time.

To solve (2) equation are used following boundary conditions:

- temperature distribution on border

$$T = T_0(x, y, z) \quad (3)$$

- strumień ciepła przez powierzchnię z powodu konwekcji

$$q = \alpha_k (T_\infty - T) \quad (4)$$

- strumień ciepła przez powierzchnię z powodu radiacji

$$q = -\varepsilon' \sigma_o (T^4 - T_\infty^4) \quad (5)$$

gdzie:

- T_0 – temperatura brzegu (powierzchni) odlewki,
- T_∞ – temperatura otoczenia,
- x, y, z – współrzędne kartezjańskie,
- q – gęstość strumienia ciepła przez powierzchnię,
- α_k – współczynnik konwekcyjnej wymiany ciepła,
- ε' – emisyjność,
- σ_o – stała Boltzmana [4].

4. ANALIZA WYNIKÓW OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH [5]

Wyniki obliczeń numerycznych przedstawiono na rysunkach od 3 do 8 w postaci map rozkładu temperatury, intensywności odkształcenia i naprężeń średnich oraz rozkładu sił w procesie kucia tulei z kołnierzem [5].

Rozkład temperatury w materiale wyjściowym przed procesem kucia dla analizowanych wariantów (tablica 1) nagrzewania (A i B) oraz chłodzenia (C i D) pokazano na rysunku 3. Zbyt krótki czas przebywania materiału wyjściowego w piecu (wariant A – rys. 3a) powoduje, że w materiale występuje gradient temperatury rzędu 20 °C. Środek jest chłodniejszy (1060 °C), natomiast zewnętrzne obszary (szczególnie naroża) nagrzewają się do około 1100 °C. W wariantcie B (rys. 3b) materiał wyjściowy na tyle długo przebywał w piecu, że jego temperatura jest równomierna i wynosi prawie 1200 °C, czyli tyle ile przyjęta temperatura pieca. Przy chłodzeniu (warianty C i D) środek materiału wyjściowego jest cieplejszy w porównaniu z zewnętrznymi obszarami materiału (rys. 3c i 3d).

- heat flux on area by convection reason

$$q = \alpha_k (T_\infty - T) \quad (4)$$

- heat flux on area by radiation reason

$$q = -\varepsilon' \sigma_o (T^4 - T_\infty^4) \quad (5)$$

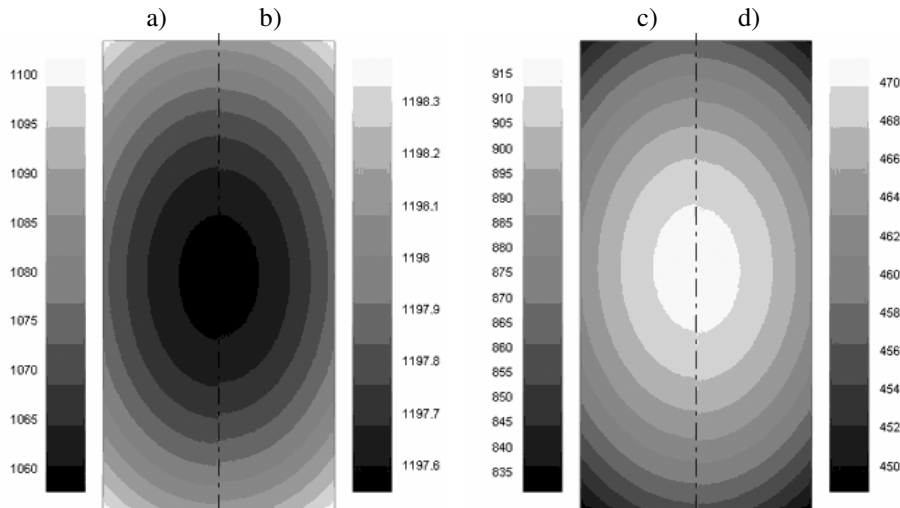
where:

- T_0 – border temperature (surface),
- T_∞ – environment temperature,
- x, y, z – Cartesian coordinates,
- q – heat flux density by area,
- α_k – convectional heat exchange coefficient,
- ε' – emissivity,
- σ_o – Boltzmann constant [4]/

4. ANALYSIS OF NUMERICAL CALCULATIONS RESULTS [5]

Numerical calculations results are presented in figures from 3 to 8 in form of temperature, effective strain and mean stresses distribution maps also load during forging process of bush with flange [5].

In figure 3 are presented temperature distributions in stock before forging process for analysed variants (table 1) heating (A and B) and cooling (C and D). Too short time of stock spent in furnace (variant A – fig. 3a) causes, that in material occurs temperature gradient 20 °C order. The central part is cooler (1060 °C), while external areas (corners especially) become heated about to 1100 °C. In variant B (fig. 3b) stock spends so long time in furnace, that his temperature is uniform and equal almost 1200 °C, which is equal to established furnace temperature. During cooling (C and D variants) central part of the stock is warmer than external material areas (fig. 3c and 3d).



Rys. 3. Rozkład temperatury ($^{\circ}\text{C}$) w materiale wyjściowym dla różnych wariantów nagrzewania A (a) i B (b) oraz chłodzenia C (c) i D (d)

Fig. 3. Temperature distribution ($^{\circ}\text{C}$) in stock for various heating A (a), B (b) and cooling variants C (c), D (d)

Krótszy czas przebywania materiału poza atmosferą pieca (wariant C) powoduje obniżanie temperatury do 830°C na zewnątrz i do 920°C wewnątrz materiału wyjściowego, co dyskwalifikuje go do dalszego kucia bez ponownego nagrzania. Analogiczna sytuacja występuje, gdy wydłużymy czas chłodzenia (wariant D) – wtedy temperatura materiału wyjściowego wynosi tylko od 450 do 470°C .

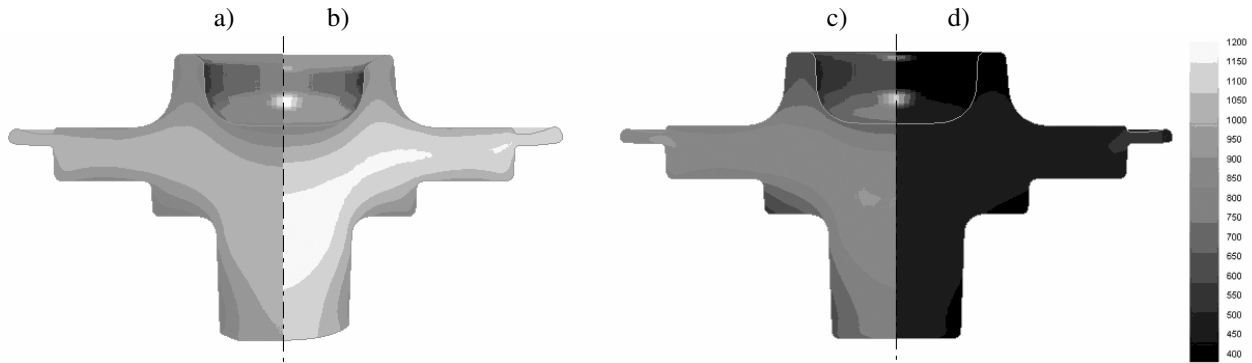
Do celów porównawczych dokonano obliczeń procesu kucia dla wszystkich wariantów nagrzewania i chłodzenia. Rozkład temperatur w odkuwce po kuciu pokazano na rysunku 4. W odkuwkach A i B (rys. 4a i 4b), temperatura wewnątrz wynosi $1000\div 1070^{\circ}\text{C}$ w odkuwce A (rys. 4a) oraz $1150\div 1200^{\circ}\text{C}$ dla odkuwki B (rys. 4b). Obszary styku z matrycami są chłodniejsze i mają od 780 do 860°C . Dla odkuwek C i D (rys. 4c i 4d), dla których założono chłodzenie materiału wyjściowego w powietrzu, temperatura wewnątrz odkuwki wzrosła na skutek pracy odkształcenia i wynosi $800\div 900^{\circ}\text{C}$ w odkuwce C (rys. 4c) oraz $450\div 510^{\circ}\text{C}$ w odkuwce D (rys. 4d). Temperatury te są jednak i tak za niskie by można kształtować na gorąco.

Na rysunku 5 przedstawiono mapy rozkładu intensywności odkształcenia. Obszary o maksymalnych wartościach intensywności odkształcenia występują przy promieniach zewnętrznych matrycy dolnej i wynoszą od $3,5$ do $4,5$.

The shorter time of stock being outside the furnace (variant C) causes temperature decrease to 830°C outside and to 920°C inside of the stock, which disqualifies this stock from forming process without reheating. Analogical situation occurs, when we elongate cooling time (variant D) – then stock temperature amount to $450\div 470^{\circ}\text{C}$.

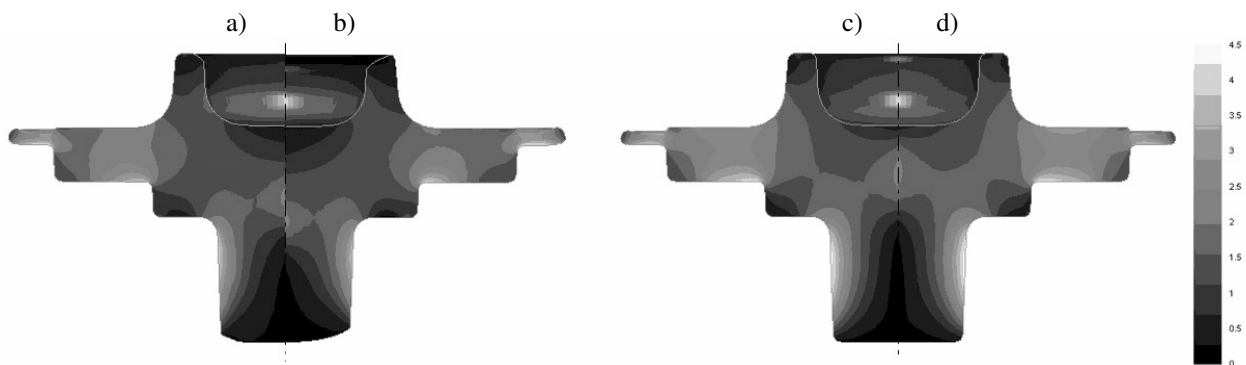
To make a comparison of achieved forging process calculations for all variants of heating and cooling. In figure 4 is presented temperature distribution in forging after process. In forgings A and B (fig. 4a and 4b), temperature inside forging is equal $1000\div 1070^{\circ}\text{C}$ for forging A (fig. 4a) and $1150\div 1200^{\circ}\text{C}$ (fig. 4b – forging B). Contact areas with dies are cooler and temperature in them is amount $780\div 860^{\circ}\text{C}$. For forgings C and D (fig. 4c and 4d), for which cooling on air was established, temperature inside of the forging increase on effect of plastic work and amount $800\div 900^{\circ}\text{C}$ (fig. 4c – forging C) and $450\div 510^{\circ}\text{C}$ in forging D (fig. 4d). This temperatures are too low to hot forming process could be carried on.

In figure 5 are presented effective strain distributions. Areas with maximal values of effective strain occurs near external radius of lower die and are equal $3,5\div 4,5$.



Rys. 4. Rozkład temperatury ($^{\circ}\text{C}$) w odkuwce wykonanej z materiałów wyjściowych z różnych wariantów nagrzewania A (a) i B (b) oraz chłodzenia C (c) i D (d)

Fig. 4. Temperature distribution ($^{\circ}\text{C}$) in forging made from various stocks for various heating A (a), B (b) and cooling variants C (c), D (d)



Rys. 5. Rozkład intensywności odkształcenia w odkuwce wykonanej z materiałów wyjściowych z różnych wariantów nagrzewania A (a) i B (b) oraz chłodzenia C (c) i D (d)

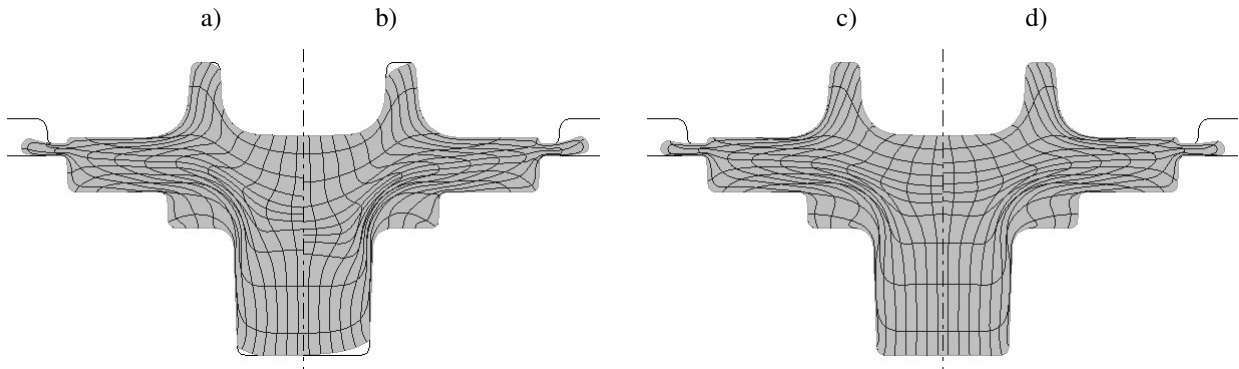
Fig. 5. Effective strain distribution in forging made from various stocks for various heating A (a), B (b) and cooling variants C (c), D (d)

Obszary, w których intensywność odkształcenia wynosi $1,5 \div 3,5$ pokrywają się z obszarami, w których nastąpił wzrost temperatury podczas kucia, na skutek generacji ciepła podczas odkształcenia plastycznego.

Na rysunku 6 pokazano siatkę odkształcenia w gotowej odkuwce, wykonanej z czterech materiałów wyjściowych, dla których założono różne warunki nagrzewania (A, B) (rys. 6a i 6b) lub chłodzenia (C, D) (rys. 6c i 6d). Stopień zdeformowania siatki jest informacją o wielkości odkształcenia w danym obszarze odkuwki. W odkuwkach wykonanych z materiałów wyjściowych chłodzonych (wariant C i D) zniekształcenie siatek jest bardzo podobne. Największe zniekształcenie występuje w obszarze, z którego materiał wypływa do wypłytki, nieco mniejsze w osi. Większe różnice występują w odkuwkach wykonanych z materiałów wyjściowych nagrzewanych (wariant A i B) – zwłaszcza w osi.

Zones in which effective strain is equal $1,5 \div 3,5$ covers with areas in which occurs temperature increase during forging, on effect of heat generation during plastic deformation.

In figure 6 are presented deformation meshes in forgings, made from four stocks, for which were established different heating (fig. 6a and 6b) or cooling conditions (fig. 6c and 6d). Mesh deformation degree is an information about deformation size in given forging area. In forgings made from cooled stocks (variant C and D) mesh distortion is similar. The largest distortion occurs in area, from which material flows into flash, smaller in axis area. Larger differences occurs in forgings made from heated stocks (variant A and B) – in axis area especially.



Rys. 6. Siatka odkształcenia w odkuwce wykonanej z materiałów wyjściowych z różnych wariantów nagrzewania A (a) i B (b) oraz chłodzenia C (c) i D (d)

Fig. 6. Strain mesh in forging made from various stocks for various heating A (a), B (b) and cooling variants C (c), D (d)

W odkuwce A, oczka zdeformowanej siatki w sąsiedztwie osi symetrii, są położone bliżej matrycy górnej niż analogiczne oczka dla odkuwki B. Poza tym widać niewypełnione obszary w matrycy dolej i górnej odkuwki z wariantu B, gdzie zbyt nagrzanym materiałem łatwiej przemieszczał się w kierunku wypłytki niż naroży. Można temu zapobiec na kilka sposobów:

- zwiększając nieznacznie objętość materiału wyjściowego, co spowoduje większy odpad,
- zmieniając konstrukcję rowka na wypływkę,
- zmniejszając temperaturę początku kucia.

Na rysunku 7 przedstawiono mapy rozkładów naprężeń średnich dla wszystkich czterech wariantów stanu nagrzania materiału wyjściowego. Z ich porównania wynika wyraźny wpływ temperatury odkształcanego materiału na parametry siłowe procesu kucia, które następnie wpływają na wartość naprężeń średnich. Dla materiałów wyjściowych nagrzewanych (warianty A i B) naprężenia średnie są zdecydowanie niższe (czterokrotnie) w porównaniu dla pozostałych dwóch wariantów (materiały wyjściowe chłodzone – warianty C i D). Ze względu na najwyższą temperaturę (materiał wyjściowy B) najniższe wartości naprężeń średnich występują w objętości odkuwki wykonanej z tego materiału wyjściowego (do -250 MPa).

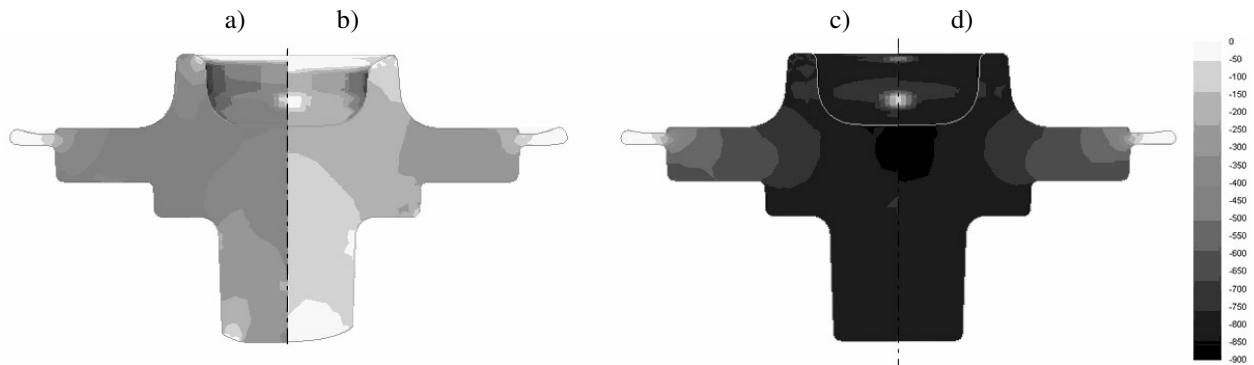
Przebieg zmian wartości siły w procesie kucia odkuwki tulei z kołnierzem (rys. 8) ilustruje wpływ temperatury nagrzewania materiału wyjściowego na parametry siłowe analizowanego procesu, które mają bezpośredni

In forging A deformed mesh nets in axis neighborhood are positioned closer to upper die than in analogical mesh nets for B forging. Beside this there are visible unfilled areas in lower and upper dies for B variant, where too high heated material easily was displacing in flash then corners direction. It could be prevented on few ways:

- insignificantly increasing stock volume, which causes larger discard,
- changing the flash gap design,
- decreasing initial forging temperature.

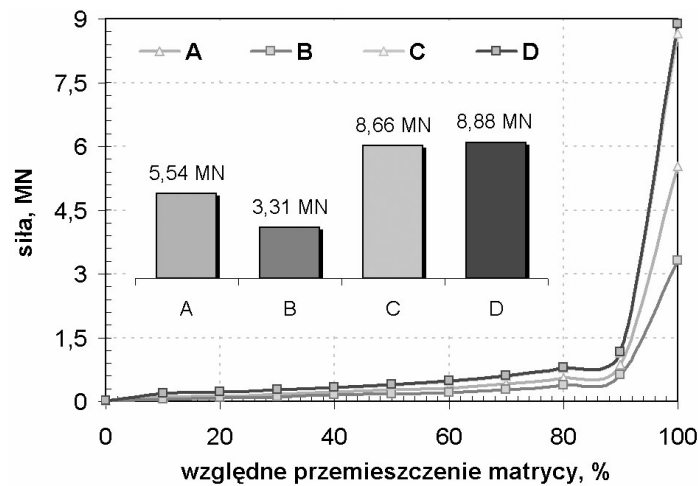
In figure 7 are presented mean stresses distribution maps for all four stock heating state variants. From comparison of them clearly comes that deformed material temperature influence on force parameters of forging process, which following influence on mean stresses values. For stocks heated (variants A and B) mean stresses are resolute lower (four times) than for other two variants (cooled stocks – variants C and D). In respect of the highest temperature (stock B) the lowest values of mean stress occurs in forging volume made from this stock (to -250 MPa).

The course changes of load during forging process of the bush with flange (fig. 8) illustrate stock heating temperature influence on force parameters of analysed process, which have got direct influence on values of effective strain and mean stresses, which following influence on mechanical properties of final product.



Rys. 7. Rozkład naprężeń średnich (MPa) w odkuwce wykonanej z materiałów wyjściowych z różnych wariantów nagrzewania A (a) i B (b) oraz chłodzenia C (c) i D (d)

Fig. 7. Mean stress distribution (MPa) in forging made from various stocks for various heating A (a), B (b) and cooling variants C (c), D (d)



Rys. 8. Wpływ nierównomierności temperatury materiału wyjściowego na wartość i przebieg zmian wartości siły w procesie kucia tulei z kołnierzem

Fig. 8. Stock temperature non-uniformity influence on force value and course in bush with flange forging process

wpływ na wielkość intensywności odkształcenia i naprężenia średniego, które następnie wpływają na własności mechaniczne gotowego wyrobu. Im wyższa temperatura (materiał wyjściowy B), tym niższa wartość siły (3,31 MN). Największa wartość siły 8,88 MN występuje w przypadku kucia odkuwki z materiału wyjściowego D (materiał o najniższej temperaturze początku odkształcania). Do 80% względnego przemieszczenia matrycy krzywe sił dla poszczególnych wariantów materiału wyjściowego mają niemal identyczne przebiegi. Największe różnice pojawiają się w końcowym etapie kształtowania (dobijanie odkuwki).

If temperature is higher (stock B) then load values are lower (3,31 MN). The maximal load value 8,88 MN occurs in forging case of forging made from D stock (material with the lowest initial temperature of deforming start). To 80% of relative tool displacement load curves for individual stock variants have got almost identical courses. The maximal differences occurs in final stage of forming (forging restriking).

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Jak wynika z przedstawionej analizy procesu kucia w różnych wariantach stanu nagrzewania materiału wyjściowego, wpływ temperatury nagrzewu materiału wyjściowego ma duże znaczenie dla prawidłowego przeprowadzenia procesu kształtowania gotowej odkuwki. Zarówno parametry siłowe procesu, intensywność odkształcenia jak i naprężenia średnie zależą od temperatury odkształcanego materiału, a te następnie wpływają na własności mechaniczne odkuwki.

Przy kuciu na gorąco występuje także aspekt ekonomiczny, co będzie bardziej opłacalne: zmniejszenie sił potrzebnych do kucia danej odkuwki przez nagrzew do wyższych temperatur, czy też przez kształtowanie w niższych temperaturach, ale przy wyższych parametrach siłowych urządzeń do kucia.

Dzięki programom komputerowym możliwe jest przeprowadzenie serii analiz procesu kucia celem znalezienia optymalnego wyboru podstawowych parametrów kucia: siły nacisku prasy i temperatury nagrzewu materiału wyjściowego.

Praca finansowana przez MNiSW, nr umowy 11.11.110.859.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Malinowski Z.: Numeryczne modele w przeróbce plastycznej i wymianie ciepła. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2005.
- [2] Sińczak J. (pod red.): Procesy przeróbki plastycznej. Ćwiczenia laboratoryjne. Wyd. Naukowe AKAPIT, Kraków 2001.
- [3] Senkara T.: Piece grzewcze w hutnictwie żelaza. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1974.
- [4] Wiśniewski S., Wiśniewski T.S.: Wymiana ciepła. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.
- [5] Sprawozdanie wewnętrzne z realizacji pracy 11.11.110.859.

5. SUMMARY AND CONCLUSIONS

From presented analysis of forging process in different heating state of the stock, influence of the stock heating temperature has great meaning to correct carry out the final forging forming process. Both the process force parameters, effective strain and mean stresses depends on deformed material temperature and them following influence on forging mechanical properties.

During hot forging process occurs economical aspect namely, what will be more profitable: decreasing forces needed to deforming of given product by heating to higher temperatures or deforming in lower temperatures but using higher force parameters of the forging devices.

Thanks to computer programs is possible to carry out series of forging process analysis in order to find optimal selection of the basic forging parameters, i.e. press load and stock heating temperature.

Acknowledgement

Financial assistance of MNiSW in the framework of 11.11.110.859.