

ANETA ŁUKASZEK-SOŁEK

Zastosowanie metody dynamicznego modelowania materiału w procesach kucia matrycowego

Streszczenie

Zagadnienie odkształcalności stali i stopów jest istotne zarówno w badaniach naukowych, jak i w procesach termomechanicznego kształtowania odkuwek matrycowych. Można przewidywać, że w perspektywie najbliższych lat technologie kuźnicze będą nadal wiodącymi metodami wytwarzania części i detali o szerokim zastosowaniu oraz wysokiej jakości. Przy produkcji wielu odpowiedzialnych komponentów metodą kucia matrycowego mają zastosowanie nowoczesne materiały konstrukcyjne – stale średniowęglowe stopowe 4130 oraz 4340 z grupy ultrawysokowytrzymałych stali (Ultra High Strength Steels (UHSS)).

W części teoretycznej pracy wykazano na podstawie analizy literatury popularność i powszechność stosowania metody dynamicznego modelowania materiału (DMM). Ponadto stwierdzono brak kompleksowych badań stali i stopów oraz rozwiązań opartych na naukowej metodologii projektowania technologii kuźniczych.

W niniejszej pracy przedstawiono analizy i badania mające na celu określenie wpływu metody dynamicznego modelowania materiałów (DMM) oraz kryteriów stabilności procesu według Prasada, Murty'ego, Gegela, Alexandra/ Malasa, a także lokalizacji odkształcenia według kryterium Semiatina–Lahotiego na zachowanie materiału, mikrostrukturę i jego własności. Szczególny nacisk położono na stworzenie naukowej metodologii projektowania procesów kucia wymienionych stali, jak również innych stali i stopów, bazując na pojęciu odkształcalności i opierając się na parametrach odkształcalności (wyznaczane w oparciu o interpolację funkcjami składanymi (funkcje typu spline)). Ponadto w badaniach uwzględniono podział odkształcalności na dwie niezależne części: wewnętrzną i zewnętrzną. Szczegółowa analiza płynięcia materiału podczas odkształcania na gorąco i dobór kryteriów stabilności procesu pozwoliły na zidentyfikowanie najkorzystniejszych parametrów w oknach procesowych umożliwiających uzyskanie odkuwek o najwyższej jakości i własnościach. Ponadto zwrócono szczególną uwagę na możliwość występowania obszaru niestabilnego płynięcia przy małych i średnich odkształceniach rzeczywistych. Autorka przeprowadziła także szereg symulacji procesu kucia odkuwek modelowych w programie QForm V8 w celu oceny geometrii strefy odkształcenia z uwzględnieniem kinematyki płynięcia materiału pod kątem wypełnienia występów, naroży wykroju matrycującego na gotowo oraz stanu

naprężeń średnich z przewagą naprężeń ściskających. Funkcje definiowane przez użytkownika (*User's Defined Functions* (UDF)) umożliwiają obliczenia parametrów, które nie są ujęte na liście standardowych wewnętrznych parametrów programu QForm V8. Funkcja ta wykorzystuje programowanie w języku Lua. Autorka stworzyła specjalny skrypt, umożliwiający wyznaczenie w odkuwce rozkładów wybranych parametrów odkształcalności według podejścia Prasada. Uzupełnienie modelowania numerycznego o wprowadzone parametry, przy wykorzystaniu skryptu Lua, pozwala efektywnie rozwiązywać skomplikowane problemy kinematyki płynięcia materiału w wykrojach matrycowych dla złożonych odkuwek, przy opracowywaniu nowych technologii kuźniczych dla nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych czy modyfikowania aktualnie stosowanych technologii. W pracy pokazano korzystny efekt włączenia dodatkowych parametrów do programu QForm V8 w celu przewidywania rozkładów: parametru wrażliwości na prędkość odkształcenia m , parametru efektywności dyssypacji mocy η oraz parametru niestabilności płynięcia ξ według kryterium Prasada, a w konsekwencji mikrostruktury i własności mechanicznych badanych materiałów. Na podstawie przeprowadzonych prób przemysłowych kucia odkuwek modelowych typu koło zębate i kołnierz z kontrolowanym chłodzeniem powietrzem, wykonano rentgenowską analizę strukturalną, analizę mikrostruktury oraz pomiary twardości w miejscach wytypowanych na podstawie numerycznych rozkładów parametru niestabilności płynięcia według podejścia Prasada. Omówiono możliwość wykorzystania opracowanej metodologii bazującej na dynamicznym modelowaniu materiału do poznania zachowania materiału podczas odkształcania na gorąco, symulacji procesów o charakterze przemysłowym oraz podania najkorzystniejszych parametrów procesowych, tj. temperatury, odkształcenia i prędkości odkształcenia, jako wytycznych technologicznych procesu kucia matrycowego.

ANETA ŁUKASZEK-SOŁEK

Application of Dynamic Material Model Method in Drop Forging Processes

Summary

The issue of the workability of steels and alloys is significant both in scientific research and in the processes of the thermomechanical processing of die forgings. It is possible to predict that, in the perspective of the nearest future, forging technologies will remain to be the leading methods of producing parts and details having a wide scope of application and also a high quality. In the case of the production of numerous important components with the application of the method of die forging, modern structural materials, the medium-carbon alloy 4130 steel, and also the 4340 one, in the UHSS groups, are applied.

In the theoretical part of this work upon the basis of the analysis of the literature, it was proved, that the method of dynamic material modelling is popular and commonly applied. Furthermore, what was ascertained was the lack of comprehensive research into the steels and alloys, and also solutions based upon the scientific methodology of designing forging technologies.

In this work, the analyses and research the purpose of which was to determine the influence exerted by the method of DMM (Dynamic Material Model), and also the criteria of process stability in accordance with Prasad, Murty, Gegel, Alexander/ Malas, and also the flow localization in accordance with Semiatin–Lahoti’s criterion, upon the behaviour of material, microstructure and properties of it. Particular emphasis was put on developing the scientific methodology of designing the forging processes of the steels referred to above, as well as other steels and alloys upon the basis of the notion of workability and parameters of workability (determined upon the basis of the interpolation spline functions). Moreover, in the research, the division of workability into two independent parts: internal and external (the State-of-Stress) was taken under consideration. The detailed analysis of material flow during hot deformation and the selection of the criteria of process stability made it possible to identify the most advantageous parameters in the processing windows, making it possible to obtain forgings having the highest quality and properties. Furthermore, particular attention was paid to the possibility of the occurrence of the unstable flow area in the case of small and medium true strains. The authoress also conducted a number of simulations of the die forging

of the model forgings with the application of the QForm V8 software in order to assess the geometry of the deformation zone taking under consideration the material flow kinematics in the aspect of filling in the projections, the corners of finishing impression, and also the state of mean stresses with the domination of compressive stresses. User defined functions (UDF) make it possible to calculate the parameters which are not included in the list of standard internal parameters of the QForm V8 software. That functions applied software in the Lua language. The authoress developed a special Lua script, making it possible to determine in the forging the distributions of selected workability parameters in accordance with Prasad's approach. Complementing numerical modelling by means of the addition of entered parameters and upon the basis of the Lua scripts makes it possible to solve complicated problems of material flow kinematics in die impressions for complex forgings in the course of developing new forging technologies for modern structural materials, or modifying the ones currently in use. In this work, the positive result of including additional parameters into the QForm V8 software in order to predict the distribution of the strain rate sensitivity parameter m , the efficiency of power dissipation parameter η and the flow instability parameter ξ based on Prasad's criterion, and, as a result, the microstructure and mechanical properties of the materials being investigated. Upon the basis of the industrial tests being conducted on gear wheel and flange model forgings with controlled air cooling, the X-ray structural analysis was performed, and so were hardness measurements, in pre-selected places, upon the basis of the numerical distributions of flow instability parameters in accordance with Prasad's approach. The possibility of using the developed methodology basing upon Dynamic Material Modelling in order to investigate material flow behaviour in hot deformation, simulate industrial character processes, and also provide the best possible process parameters, namely temperature, strain and strain rate as the technological guidelines of die forging process was discussed.