

УДК 621.735

Ашкелянец А. В.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЗАГОТОВКИ ПРИ ВНЕДРЕНИИ КОЛЬЦЕВОГО КОНУСНОГО ИНСТРУМЕНТА**

Ковка дисков с уступами относится к металлоемким операциям, что обуславливается большими значениями допусков и напусков при получении данного типа поковок. Это в свою очередь приводит к большим отходам металла при дальнейшей обработке данного изделия. Основной металлозатратной операцией является удаление кузнечного напуска. Напуск назначается при получении диска с уступом в случае, когда высота уступа в несколько раз превышает высоту полотна диска. Ту часть уступа которую невозможно получить существующей технологией, а именно осадкой в подкладном кольце накрывают кузнечным напуском, который в дальнейшем удаляется механической обработкой. Так применение технологического инструмента «врезное кольцо», которое дает возможность получить максимально приближенную форму поковки к размерам конечного изделия за счет рационального формоизменения заготовки при его внедрении и этим дает возможность не назначать кузнечный напуск при производстве данного типа дисков с уступами и этим уменьшить металлозатраты производства является актуальным.

Описание и анализ экспериментального исследования применения технологического инструмента «врезное кольцо» было рассмотрено авторами [1], где описывалось влияние наружного угла конусности «врезного кольца» на конечную высоту заготовки при проведении первого этапа эксперимента, который заключался в внедрении «врезного кольца» с различными углами конусности. Так же авторами [2] были проанализированы экспериментальные исследования, а именно оценено влияние внутреннего угла конусности на конечную высоту уступа.

Задачей данного исследования является оценка результатов математического моделирования и сравнение их с полученных данными экспериментальных исследований. Эти экспериментальные исследования выполнялись с применением технологического инструмента «врезное кольцо» при получении дисков с уступом, высота которого в несколько раз превышает высоту полотна диска без назначения кузнечного напуска.

Цель работы состоит в сравнении полученных результатов экспериментальных и теоретических исследований на основании формоизменения металла при внедрении технологического инструмента «врезное кольцо» в цилиндрическую заготовку с последующей осадкой полученной заготовки в подкладном кольце. При этом в результате математического моделирования были получены такие данные как температура, степень деформации, напряжения в поперечном сечении образца после каждой стадии предлагаемой технологии производства данного типа дисков.

Переходы предлагаемого способа производства дисков с уступом при использовании технологического инструмента «врезного кольца» представлено на рис. 1.

Для дальнейшего теоретического исследования формоизменения металла была выбрана программа компьютерного моделирования «Forge3» фирмы «Transvalor» (Франция). Исследования проводились совместно с сотрудниками Ченстоховского политехнического университета в рамках договора о сотрудничестве с НМетАУ. Автор благодарит сотрудников Ченстоховского политехнического университета за помощь в проведении исследований.

Описание модели процесса формоизменения при моделировании поставленной задачи: используется закон трения Амонтона; принимается теория пластического течения несжимаемых сред Сен-Венана – Леви – Мизеса; задача считается трехмерной.

Для получения решения в программе «Forge 3» используется условие стационарности функционала смешанного вариационного принципа:

$$J = -\frac{1}{2} \int_V \sigma_s \dot{\varepsilon}_j dV + \int_V \sigma \dot{\varepsilon}_0 dV - \int_F \sigma_\tau u_\tau dF, \quad (1)$$

где  $\sigma_s(\varepsilon_i, \varepsilon_j, t)$  – зависимость напряжения текучести  $\sigma_s$  от интенсивности скорости деформации  $\varepsilon_i$ , интенсивности деформации  $\varepsilon_j$ , и температуры  $t$ ;  $V$  – объем металла;  $\sigma_\tau$  и  $u_\tau$  – напряжение трения и скорость скольжения металла по инструменту;  $F$  – поверхность контакта металла с инструментом.

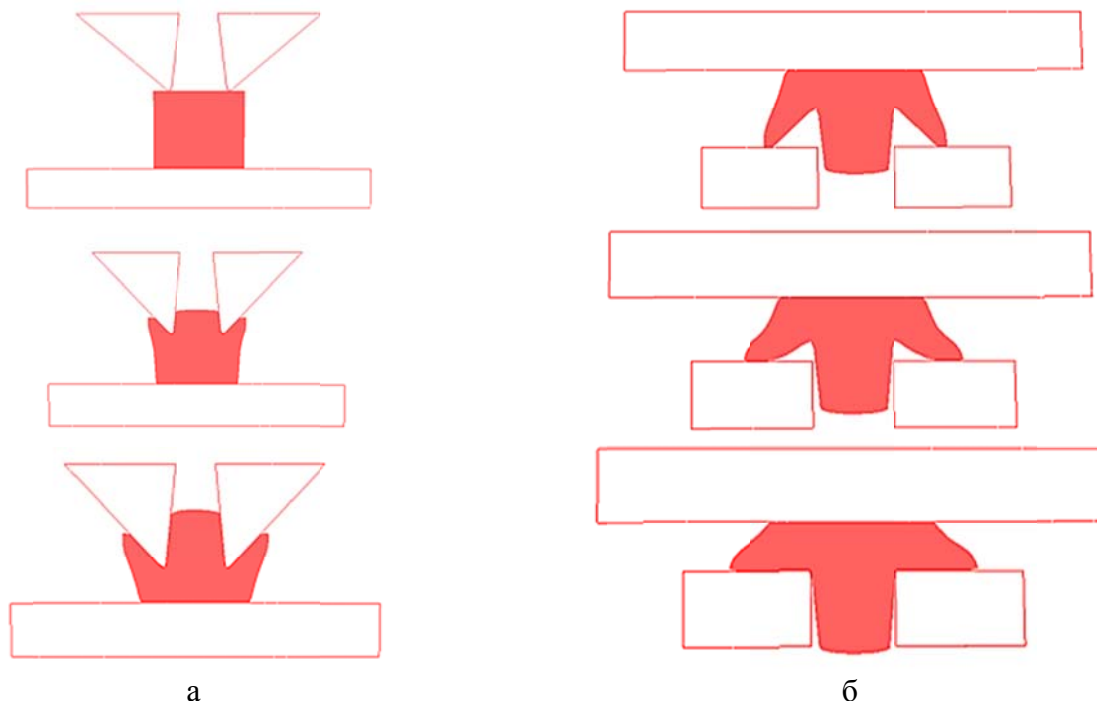


Рис. 1. Переходы новой технологии производства дисков с уступами [3]:

а – 1-ая стадия (внедрения «врезного кольца»); б – 2-ая стадия (осадка в подкладном кольце)

Зависимость  $\sigma_s(\varepsilon_i, \varepsilon_j, t)$  выбирается для конкретных материалов из литературных данных или по результатам пластометрических испытаний.

В программе используются конечные элементы в виде тетраэдров с линейной аппроксимацией среднего напряжения и кусочно-линейной аппроксимацией скорости (по угловым узлам элемента и узлу в центре тяжести элемента) [4].

В качестве исходных данных были выбраны следующие показатели: температура нагрева заготовки:  $T = 1200^\circ\text{C}$ ; температура инструмента:  $T = 50^\circ\text{C}$ ; размеры заготовки:  $D_3 = 400$  мм,  $H_3 = 400$  мм; скорость опускания инструмента:  $V = 60$  мм/с; марка стали заготовки: Ст45.



Рис. 2. Математическое моделирование внедрения «врезного кольца»

Данная схема, представленная на рис. 2 соответствует 9-ому номеру опыта ПФЭ. [2] «Врезное кольцо» применялось со следующей геометрической формой:  $\alpha_{\text{вн.}}^\circ - 6^\circ$ ;  $\alpha_{\text{нар.}}^\circ - 45^\circ$ ;  $d_{\text{отв.}} - 25$  мм;  $h_{\text{внедр.}} - 2/3$  высоты заготовки.

Марки стали выбиралась из условия реологического подобия, т. к. при проведении экспериментальных исследований использовался свинец марки С1, который по формоизменению при пластической деформации соответствует формоизменению марки стали 45 при горячей пластической деформации [5].



Рис. 3. Сравнение геометрии полученных образцов после 1-го стадии:  
а – вид образца, полученный математическим моделированием; б – экспериментально полученный образец

При анализе рис. 3 можно сказать, что наблюдается идентичность геометрических параметров в поперечном сечении полученных образцов в результате математического моделирования с поперечным сечением экспериментально полученных образцов. Это в свою очередь подтверждает правильность выбора граничных условий при моделировании и так же подтверждает адекватность используемого программного обеспечения.

На рис. 4 представлены результаты математического моделирования первой стадии технологии при внедрении «врезного кольца», которые дают возможность оценить температурные и деформационные схемы распределения в поперечном сечении образца.

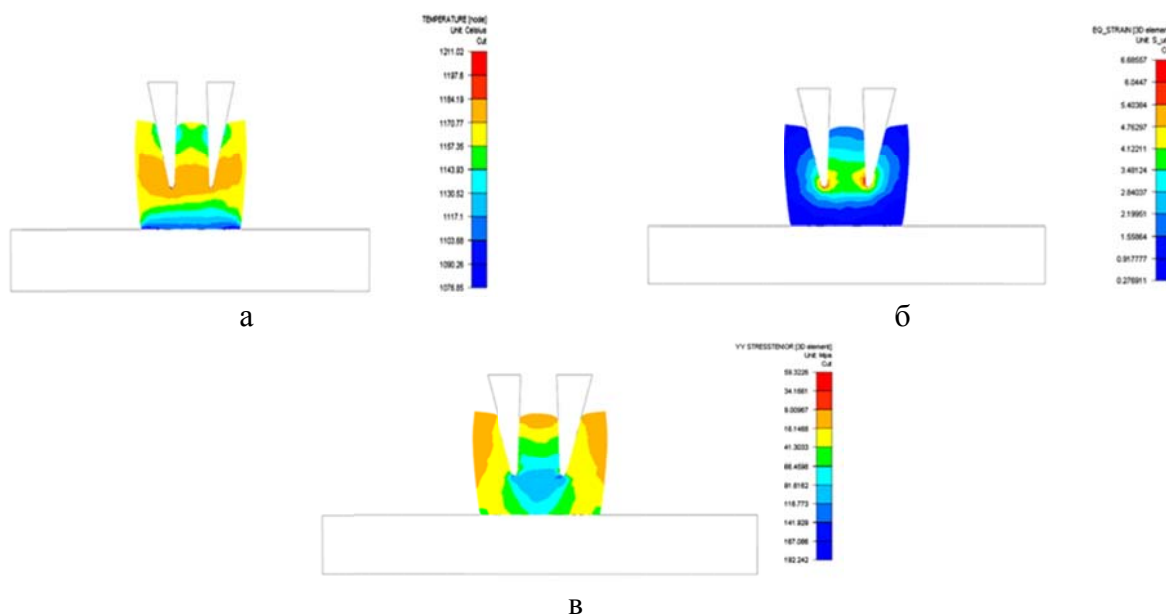


Рис. 4. Результаты математического моделирования внедрения «врезного кольца»:  
а – распределения температуры; б – распределения деформации; в – распределения напряжений

При моделировании второй стадии представлено на рис. 5 граничные условия вводились только для инструмента, это: температура инструмента, коэффициент трения и условия теплообмена заготовки и инструмента. Что касается заготовки, то все ее характеристики были перенесены после первой стадии с помощью функции импорта сетки. При использовании этой функции заготовка переносится со всеми изменениями в результате первого моделирования это: перенос сетки, значение температуры, деформации, напряжений и т. д.



Рис. 5. Математическое моделирование осадки полученного образца в подкладном кольце

При анализе рис. 6 можно сказать, что при выполнении математического моделирования второй стадии предлагаемой технологии так же наблюдается сходство при сравнении поперечных сечений полученных образцов. Это в свою очередь так же подтверждает правильность выбора граничных условий при моделировании.



Рис. 6. Сравнение геометрии полученных образцов после 2-го стадии:  
а – вид образца полученного математическим моделированием; б – экспериментально полученный образец

На рис. 7 представлены результаты математического моделирования второй стадии технологического процесса, которая заключается в осадки полученной заготовки в подкладном кольце. Полученные данные дают возможность оценить распределения температуры и деформации поперечном сечении образца.

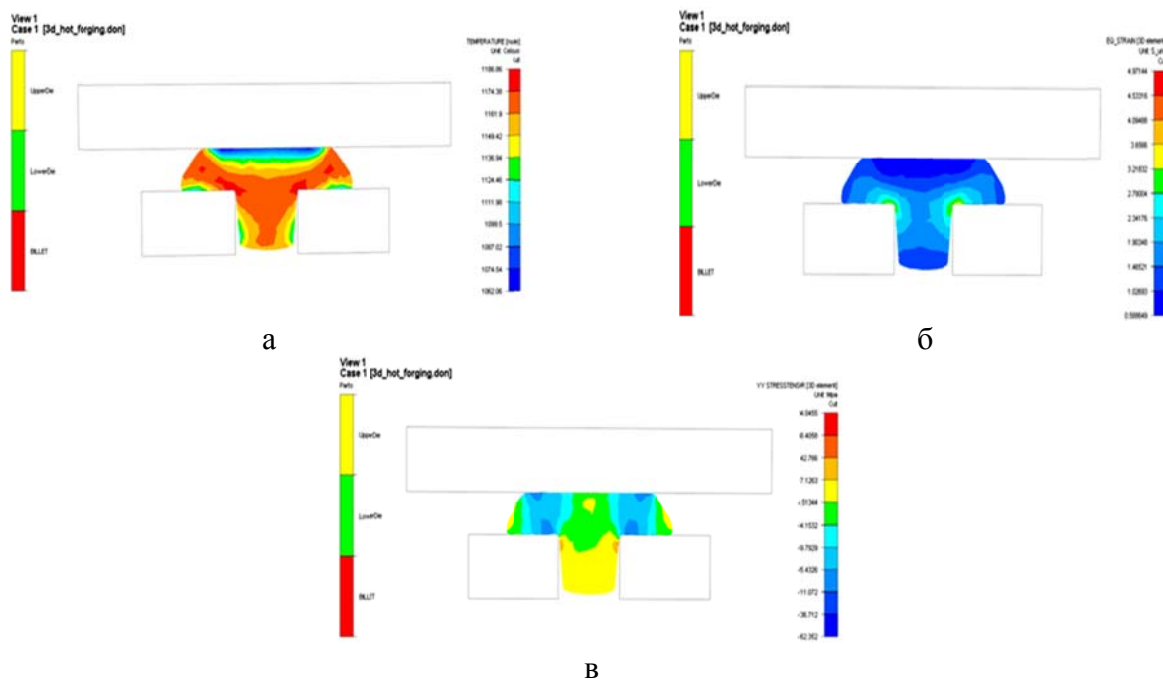


Рис. 7. Результаты математического моделирования осадки в подкладном кольце:  
а – Распределения температуры; б – Распределения деформации; в – Распределения напряжения

## ВЫВОДЫ

Производство дисков с уступом при использовании технологического инструмента «врезное кольцо» дает возможность получить поковку такого типа изделий с минимальным значением кузнечного напуска. В связи с этим возникла необходимость выполнения математического моделирования рассматриваемого процесса.

Сравнение экспериментальных результатов получения дисков с уступами при использовании технологического инструмента «врезное кольцо» с дальнейшей осадкой в подкладном кольце, и данных, полученных путем моделирования с использованием программного обеспечения «Forge 3», показывают хорошую сходимость результатов, что подтверждает правильность выбранного программного обеспечения и ввода граничных условий.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашкелянec А. В. Экспериментальное исследование формoизменения металла при внедрении врезного кольца / А. В. Ашкелянec // *Обработка материалов давлением: сборник научных трудов.* – Краматорск : ДГМА, 2009. – № 2 (21) – С. 307–311
2. Ашкелянec А. В. Анализ экспериментального исследования влияния внутреннего угла конусности на высоту уступа при внедрении «врезного кольца» / А. В. Ашкелянec, В. Л. Чухлеб // *Обработка материалов давлением: сборник научных трудов.* – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 2 (23) – С. 99–102 с.
3. Патент 90962 Україна, МПК (2009) B21K 1/28. Спосіб кування дисків з уступами / В. Л. Чухліб, А. В. Ашкелянec. – № a200814963; Заяв. 25.12.08. Опубл. 10.06.2010. Бюл. № 11. – 4 с.
4. Forge 3 – a general tool for practical optimization of forging sequence of complex three-dimensional parts in industry / Chenot J. L., Fourment L., Coupez T., Ducloux R., Wey E. // *Forging and Related Technology.* – Birmingham, (UK). – 1998. – P. 113–122.
5. Шломчак Г. Г. Проблеми сучасного наукового експерименту в обробці металів тиснення / Г. Г. Шломчак // *Вісті Академії інж. Наук України.* – 1995. – № 3. – С. 79–89.

## REFERENCES

1. Ashkeljanec A. V. Jeksperimental'noe issledovanie formoizmenenija metalla pri vnedrenii vreznoho kol'ca / A. V. Ashkeljanec // *Obrabotka materialov davleniem : sbornik nauchnyh trudov.* – Kramatorsk : DGMA, 2009. – № 2 (21) – S. 307–311
2. Ashkeljanec A. V. Analiz jeksperimental'nogo issledovanija vlijanija vnutrennego ugla konusnosti na vysotu ustupa pri vnedrenii «vreznoho kol'ca» / A. V. Ashkeljanec, V. L. Chuhleb // *Obrabotka materialov davleniem: sbornik nauchnyh trudov.* – Kramatorsk : DGMA, 2010. – № 2 (23) – S. 99–102 с.
3. Patent 90962 Ukraina, MPK (2009) V21K 1/28. Sposib kuvannja diskiv z ustupami / V. L. Chuhlib, A. V. Ashkeljanec'. – № a200814963; Zajav. 25.12.08. Opubl. 10.06.2010. Bjul. № 11. – 4 s.
4. Forge 3 – a general tool for practical optimization of forging sequence of complex three-dimensional parts in industry / Chenot J. L., Fourment L., Coupez T., Ducloux R., Wey E. // *Forging and Related Technology.* – Birmingham, (UK). – 1998. – P. 113–122.
5. Shlomchak G. G. Problemi suchasnogo naukovogo eksperimentu v obrobci metaliv tisnennja / G. G. Shlomchak // *Visti Akademii inzh. Nauk Ukraini.* – 1995. – № 3. – S. 79–89.

Ашкелянec А. В. – канд. техн. наук НМетАУ

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: [Antoha015@rambler.ru](mailto:Antoha015@rambler.ru)