Materials Physics and Mechanics 22 (2015) 170-175 Received: December 23, 2014

НЕОДНОРОДНОСТЬ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ МНОГОКРАТНЫМ ВЫДАВЛИВАНИЕМ

В.Г. Шибаков, Д.Л. Панкратов, А.П. Андреев*, С.И. Андреева

Казанский федеральный университет, Кремлевская 18, Казань, 420008, Россия

*e-mail: andreevanton@list.ru

Аннотация. Рассмотрен способ получения упрочненных полуфабрикатов интенсивной пластической деформации выдавливанием. Приведены результаты имитационного моделирования процесса на различных стадиях выдавливания. Сделаны выводы о применимости результатов имитационного моделирования для получения осесимметричных изделий.

1. Введение

Значительное измельчение структуры металлов и сплавов, вплоть до возникновения наноструктурных состояний, может быть обеспечено интенсивной пластической деформацией (ИПД).

Известны и хорошо исследованы специальные схемы механического деформирования, такие как интенсивное кручение под высоким давлением, кручение дисковых заготовок на наковальнях Бриджмена, равноканально-угловое (РКУ) прессование, всестороння ковка и др. В последнее время появился ряд новых технологических схем ИПД: “песочные часы” [1], винтовое прессование, при котором интенсивные сдвиговые деформации достигаются путем гидромеханического прессования призматических заготовок через матрицу с винтовым каналом, сечение которого, ортогонально оси прессования и постоянно вдоль этой оси [2].

Приведенные технологические схемы ИПД имеют ряд достоинств. Во-первых, можно изготовить массивные образцы для проведения механических испытаний. Во-вторых, в получаемых из порошков материалах может быть существенно снижена остаточная пористость. В-третьих, эти методы можно использовать для получения сверхмелкозернистой структуры не только в модельных, но и в промышленных сплавах, что позволяет говорить о перспективах промышленного применения.

К числу таких методов можно отнести и перспективный способ обработки металлов ИПД выдавливанием для измельчения структур [3].

Основные технологические этапы этого метода приведены на рис. 1.

Заготовку 1 помещают в матрицу 2, установленную на специальной плите 3. Высота матрицы превышает высоту заготовки. На заготовку устанавливают сплошной 4 и полый 5 пуансоны, которые попеременно осуществляют деформирование.

На рис. 2 представлен алгоритм, демонстрирующий различные комбинации деформирования при ИПД выдавливанием.

На основе разработанного алгоритма сформирована матрица различных вариантов (табл. 1) процесса ИПД выдавливанием, где 0 и 1 – булевые переменные, соответствующие выполнению деформирования 1 или не выполнению 0.

© 2015, Institute of Problems of Mechanical Engineering

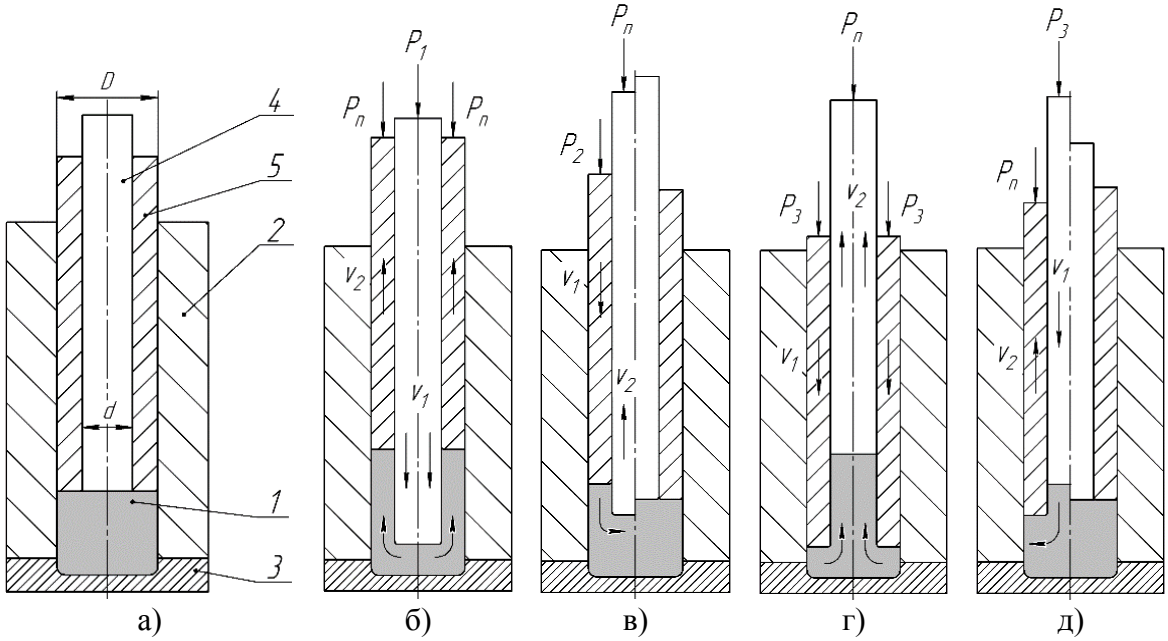


Рис. 1. Схема процесса ИПД выдавливанием:
а) исходное состояние; б) обратное выдавливание «стакана»; в) образование исходной формы радиальным выдавливанием из «стакана»; г) обратное выдавливание стержня с утолщением; д) образование исходной формы радиальным выдавливанием из стержня с утолщением; 1 – заготовка; 2 – матрица; 3 – плита подкладная; 4 – сплошной пуансон; 5 – полый пуансон; P_1 – P_3 – силы выдавливания на разных стадиях; $P_п$ - сила противодавления ($0 \le P_п < P_2$, $0 \le P_п < P_3$); D, d – диаметры пуансонов; v_1, v_2 – скорости движения инструментов.

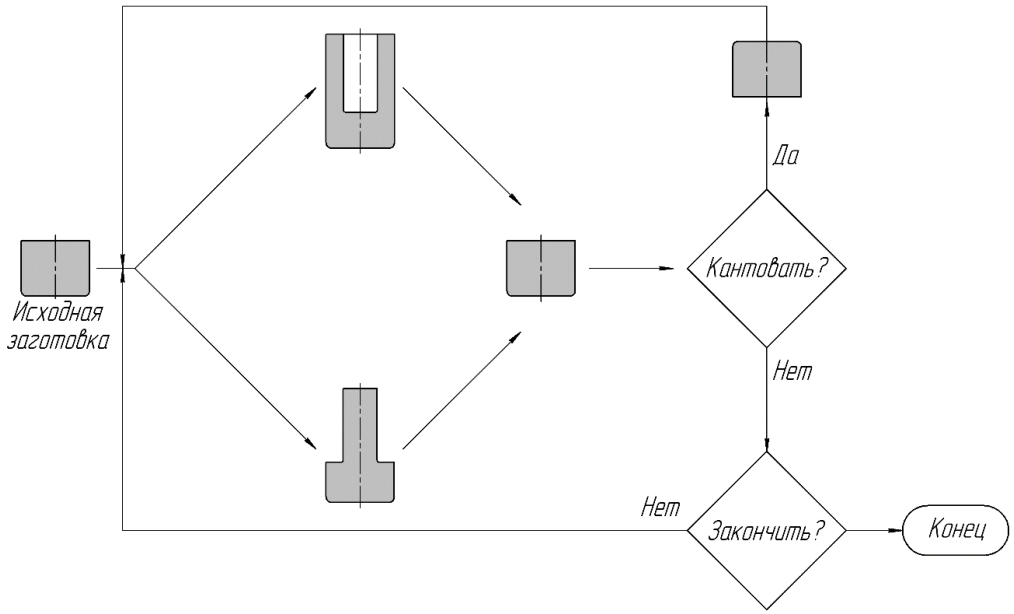


Рис. 2. Алгоритм процесса при ИПД выдавливанием.

Процесс может начинаться с обратного выдавливания «стакана» (деформированием инструментом 4) или стержня с утолщением (деформированием инструментом 5). Затем осуществляют деформирование инструментом 5, либо деформирование инструментом 4, до получения исходного контура заготовки (например, варианты 1 и 2 табл. 1).

Таблица 1. Морфологическая матрица вариантов ИПД выдавливанием.

№ варианта	Исходная заготовка	Обратное выдавливание «стакана»	Обратное выдавливание стержня с утолщением	Радиальное выдавливание с получением исходной формы	Кантовка			
1	1	1	0	1	0	0	0	0
2	1	0	1	1	0	0	0	0
3	1	1	0	1	0	0	1	1
4	1	0	1	1	0	1	0	1
5	1	1	0	1	1	1	0	1
6	1	0	1	1	1	0	1	1
7	1	1	0	1	1	0	1	1
8	1	0	1	1	1	1	0	1

Специфика структурообразования и деформационного упрочнения при переходе к интенсивным пластическим деформациям, впервые была отмечена и систематически изучена в работах В.И. Трефилова, Ю.И. Мильмана и С.А. Фирстова [4-7]. В.И. Трефилов и С.А. Фирстов с сотрудниками обнаружили, что с ростом деформации в материале формируется качественно новый вид дислокационной структуры – сильно разориентированные ячейки. Основная их особенность – это непрерывное увеличение углов разориентировки с ростом деформации при слабом уменьшении поперечных размеров. Как потом оказалось, подобная эволюция структуры присуща и другим металлам. В.И. Трефилов с сотрудниками предложили оценивать деформационное упрочнение при интенсивных деформациях с позиций уменьшения размера зерна – в предельном случае до размера сильно разориентированной ячейки. Его точка зрения о радикальном изменении механизма упрочнения получила многочисленные подтверждения и в настоящее время признается многими учеными.

Исходя из сказанного, можно заключить, что направленное и непрерывно происходящее в процессе пластической деформации движение дисклинаций должно приводить к фрагментации структуры металла, то есть разбиению его на микрообласти, разориентированные на углы порядка нескольких градусов. Чем больше будет степень пластической деформации, тем мельче должны быть фрагменты и больше их разворот относительно друг друга [8].

Для установления влияния способа на напряженно-деформированное состояние в заготовке и определения наиболее оптимальных вариантов деформирования проведено имитационное моделирование процесса ИПД выдавливанием в среде конечно-элементного моделирования QForm 7.2. Моделирование проводилось последовательно согласно морфологической матрице вариантов (табл. 1). Материал заготовки алюминиевый деформируемый сплав АД1, температура заготовки 20 °С, температура инструмента 20 °С, графитовая смазка. Скорость деформирования 1 мм/с. Для удобства сравнения полученных результатов шкала пластической деформации при различных вариантах выдавливания одинаковая и имеет градацию от 0 до 20 (рис. 3). Результаты имитационного моделирования при различных вариантах выдавливания сведены в таблицу 2. Таблица сформирована с учетом алгоритма, приведенного на рисунке 4.

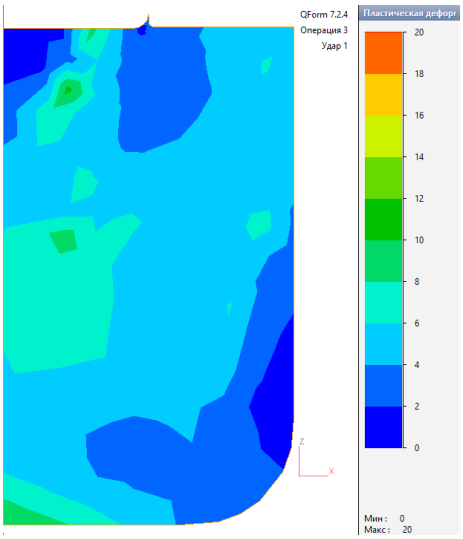


Рис. 3. Пример распределение пластической деформации при выдавливании по варианту № 3.

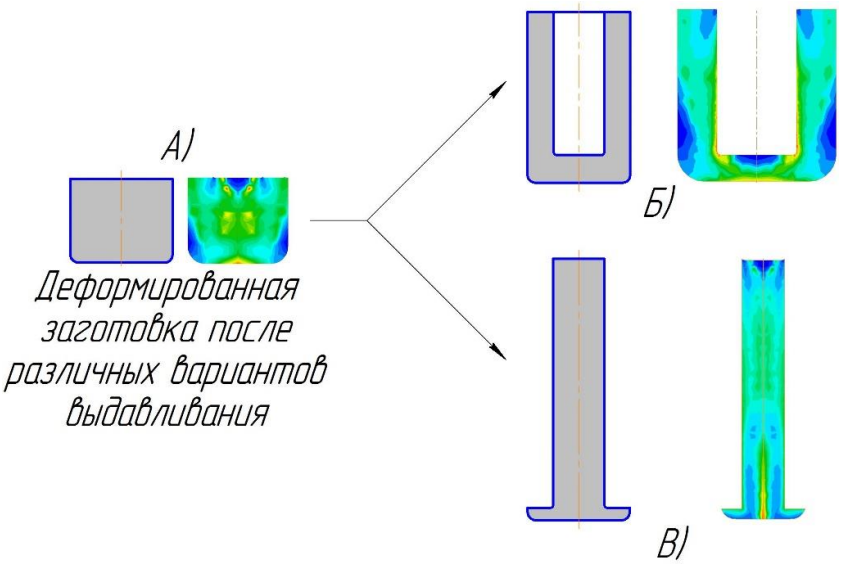
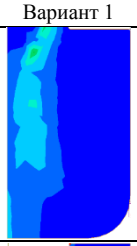
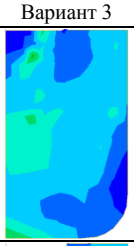
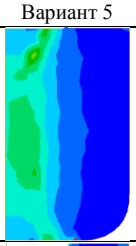
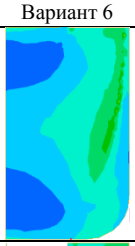
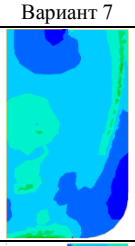
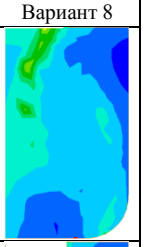
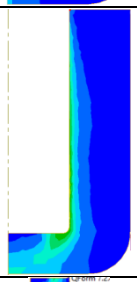
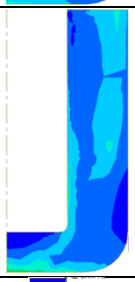
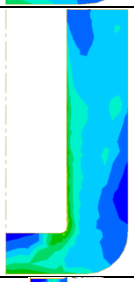
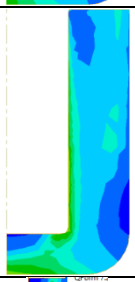
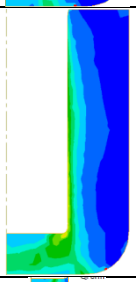
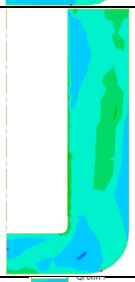
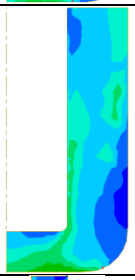
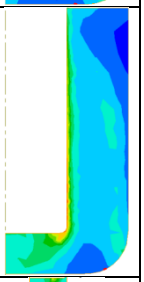
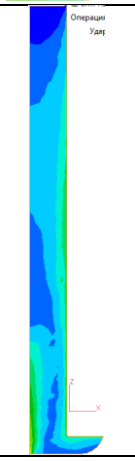
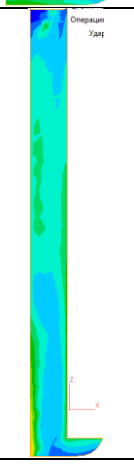
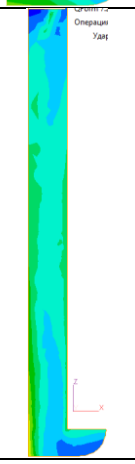
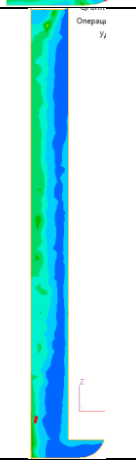
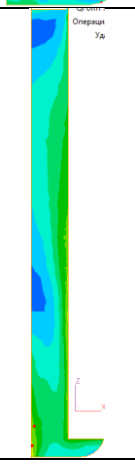
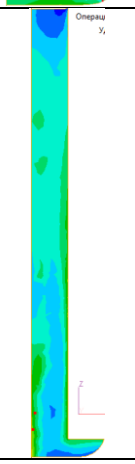
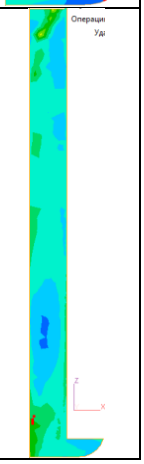


Рис. 4. Алгоритм формирования сводной таблицы результатов (табл. 2):
а) заготовка с накопленной степенью деформации после реализации одного из вариантов выдавливания;
б) полуфабрикат типа «стакан»; в) полуфабрикат типа «стержень с утолщением».

Анализируя сформированную таблицу 2 с результатами имитационного моделирования после различных вариантов выдавливания, можно сделать заключение, что:

1) интенсивность деформаций по сечению цилиндрической заготовки расположены не равномерно и использование ее в дальнейшей обработке не перспективно. Возможно применение отдельных вариантов, например, вариант №5 (ε_{icp}=7), когда деформация в основном сконцентрирована в центральной части на оси Z (снятие определенного слоя на токарном станке с дальнейшим использованием прочной сердцевины в различных деталях). Для использования накопленных деформаций наиболее рационально предлагается выдавливать цилиндрические заготовки упрочненные различными вариантами выдавливания по алгоритму приведенному на рисунке 4.

Таблица 2. Сводная таблица результатов имитационного моделирования по различным вариантам выдавливания.

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5	Вариант 6	Вариант 7	Вариант 8
А)								
Б)								
В)								

2) для получения упрочненных трубных заготовок или цилиндрических полуфабрикатов с прочной стенкой предлагается использовать вариант №6 с дополнительным выдавливанием металла на последней операции в «стакан» – деформации при такой схеме выдавливания распределяются наиболее равномерно по всему сечению полуфабриката (ε_{icp}=8).

3) для получения различных упрочненных по всему сечению стержневых заготовок необходимо использовать варианты выдавливания № 3, 4, 7, 8 с выдавливанием на последней операции «стержня с утолщением» (ε_{icp}=7). Если необходимы стержневые заготовки с прочной сердцевиной и мягким наружным слоем, то необходимо использовать вариант №5 с выдавливанием на последней операции «стержня с утолщением» (ε_{icp}=5). Возможно получение стержней с упрочненной периферической частью и мягкой сердцевиной, для этого необходимо провести деформирование по варианту № 2 или 6 с выдавливанием на последней операции «стержня с утолщением» (ε_{icp}=7÷9).

Выводы:

1. Рассмотренный способ перспективен для осуществления ИПД в крупногабаритных заготовках, в том числе из интерметаллидов и других материалах.
2. Напряженно-деформированное состояние позволяет обеспечить интенсивные пластические деформации заготовок без разрушения и дефектов.
3. Сопоставлены результаты имитационного моделирования и НДС в заготовках с возможным применением этих результатов для получения заготовок или полуфабрикатов.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров

Литература

[1] О.В. Голубев, *Разработка технологии получения заготовок холодновысадочного инструмента высокой стойкости*. Дис. канд. тех. наук (Уфа, 1999).
[2] Д.В. Орлов, В сб. *7-ая всероссийская научная конференция студентов-физиков. Тез. докл.* (Санкт-Петербург, 2001), http://asf.ur.ru/VNKSF/Tezis/v7.
[3] *Патент* №2189883 РФ, МКИ 7 B 21 J 5/00, 13/02, C 21 D 7/02. Способ пластического структурообразования металлов при интенсивной пластической деформации и устройство для его осуществления.
[4] В.И. Трефилов, Ю.В. Мильман, С.А. Фирстов, *Физические основы прочности тугоплавких металлов* (Наукова думка, Киев, 1975).
[5] *Структура, текстура и механические свойства деформированных сплавов молибдена*, под ред. В.И. Трефилова (Наукова думка, Киев, 1983).
[6] А.С. Рубцов, В.В. Рыбин // *Физика металлов и металловедение* **44(3)** (1977) 611.
[7] В.А. Манилов,В.Г. Ткаченко, В.И. Трефилов, С.А. Фирстов // *Металлы* **2** (1967) 114.
[8] В.В. Рыбин, *Большие пластические деформации и разрушение металлов* (Металлургия, М.,1986).

THE HETEROGENEITY OF THE STRESS-STRAIN STATE DURING SEVERE PLASTIC DEFORMATION BY MULTIPLE EXTRUSION

V.G. Shibakov, D.L. Pankratov, A.P. Andreev*, S.I. Andreeva

Kazan Federal University, Kremlyovskaya 18, Kazan, 420008, Russia

*e-mail: andreevanton@list.ru

Abstract. A method of obtaining a hardened semi-intensive plastic deformation by extrusion is considered. The results of process simulation at different stages of extrusion are given. Conclusions are drawn about the applicability of the simulation results to obtain the axisymmetric products.

References

[1] O.V. Golubev, *Development of high durability cold heading tool work piece production technology*. Diss. Cand. Tech. Sci. (Ufa, 1999).
[2] D.V. Orlov, In: *7-th All-Russia scientific conference of physicist students: Thesis of papers* (St.-Petersburg, 2001), http://asf.ur.ru/VNKSF/Tezis/v7.
[3] The patent №2189883 RF, ICI 7 B 21 J 5/00, 13/02, C 21 D 7/02. *Method of plastic metal structurization at intensive plastic deformation and the device for its realization.*
[4] V.I. Trefilov, J.V. Milman, S.A. Firstov, *Physical principles of strength of refractory metals* (Naukova dumka, Kiev, 1975).
[5] *Structure, texture and mechanical properties of wrought molybdenum alloys*, ed. by V.I. Trefilov (Naukova dumka, Kiev, 1983).
[6] A.S. Rubtsov, V.V. Rybin // *Physics of Metals and Metal Science* **44 (3)** (1977) 611.
[7] V.A. Manilov, V.T. Tkachenko, V.K. Trefilov, S.A. Firstov // *Metals* **2** (1967) 114.
[8] V.V. Rybin, *Big plastic deformations and destruction of metals* (Metallurgy, M., 1986).