

- [Innovative technologies in metallurgy and mechanical engineering: Proceedings of the International Conference]. Ekaterinburg: Publishing House Ural. univ, 2014, pp. 581-592.
- Erpalov M.V. The research of the pipe-ends upsetting process on hydraulic presses to enhance their quality: The final research report. Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin; Supervisor A.A. Bogatov; Executor M.V. Erpalov. Ekaterinburg, 2013. 11 p.
  - Mueller W., Arem R. Work technology. Upsetting press: Presentation. JSC «PNTZ». Pervouralsk, 2009. 28 p.
  - API 5CT. Specification for Casing and Tubing. Ninth edition. Effective Date 2012-01-01. Published by American Petroleum Institute (API), 2011.
  - GOST R 50278-92. Gosudarstvennyj Standart 50278-92. Truby buril'nye s privarennyimi zamkami. Tekhnicheskie usloviya [State Standart 50278-92. Drill pipes with welded locks. Technical conditions]. Moscow: Publishing House Standartinform, 2010.
  - Tkachenko V.A. [et al.]. Truby dlya neftyanoj promyshlennosti [The pipes for the oil industry]. Moscow: Metallurgy, 1986. 256 p.
  - Ostrenko V.Ja. Technological features of pipes upsetting in closed tools. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'* [Metallurgical and Mining Industry]. 1965, no. 1, pp. 33-35.
  - Ostrenko V.Ja. Analytical method of determining the energy-power parameters of the pipe ends upsetting. *Proizvodstvo trub: sbornik trudov VNTITI* [Production of pipes: Proceedings VNTITI]. Moscow: Metallurgy, 1968, no. 20, pp. 223-230.
  - Tamowski I.Ja. [et al.]. *Teoriya obrabotki metallov davleniem* [Theory of metal forming]. Moscow: Metallurgizdat, 1963, pp. 382-387.

Erpalov M.V., Bogatov A.A. Анализ причин возникновения дефектов при высадке концов труб нефтяного сортамента // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №4. С. 7–12.

Erpalov M.V., Bogatov A.A. Investigation of the causes of defects at octg upsetting. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 4, pp. 7–12.

УДК 621.777.01

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СОВМЕЩЕННЫЙ ПРОЦЕСС ВЫСАДКИ, ПРОШИВКИ И ОБРАТНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ\*

Чигинцев П.А., Семашко М.Ю., Шеркунов В.Г.

Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, Россия

**Аннотация.** В статье описывается математическое моделирование совмещенного процесса высадки, прошивки и обратного выдавливания, зависимость результатов от варьируемых параметров.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, интенсивная пластическая деформация, рационализация, прессование.

### Введение

Математическое моделирование малоисследованных процессов позволяет в значительной степени увеличить шанс удачного проведения натурного эксперимента, снизить количество дорогостоящих итераций при его осуществлении. Также подобные расчеты, при правильном задании начальных и граничных условий, позволяют провести рационализацию исследуемого процесса с целью повышения его эффективности. В последнее время математическое моделирование применяется для решения как производственных, так и научно-практических задач. Для этого используются различные программные

пакеты, в число которых входят всемирно известные ANSYS, DEFORM, ABACUS, LS-DYNA, отечественный продукт Q-Form, а также программы собственного авторства [1–4].

Для моделирования совмещенного процесса высадки, прошивки и обратного выдавливания [5] наиболее подходящими являются специализированные программы, предназначенные для расчета процессов объемной штамповки, которыми являются Deform и Q-Form. Таким образом, для рационализации конструктивных и технологических параметров совмещенного процесса высадки, прошивки и обратного выдавливания был выбран пакет Deform ввиду большого опыта проведения в нем различных расчетов [6].

Целью рационализации конструкции технологической оснастки для реализации совмещенного процесса высадки, прошивки и обратного выдавливания, а также его технологических параметров является повышение эффективности процесса в целом, а также определение влияния на конечный результат каждого из рассматрива-

\* Статья по материалам доклада на международной молодежной научно-технической конференции «Инновационные процессы обработки металлов давлением: фундаментальные вопросы связи науки и производства», состоявшейся 15–17 июня 2015 г. в ФГБОУ ВПО «МГТУ» (г. Магнитогорск) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ №15-38-10185).

© Чигинцев П.А., Семашко М.Ю., Шеркунов В.Г., 2015

емых параметров. При этом эффективность стоит воспринимать не исключительно как меру отражения максимальных накопленных деформаций за один цикл, что в значительной мере определяет физико-механические свойства получаемой заготовки, но и как характеристику равномерности процесса по времени и объему.

### Теория и методы исследования

Конструктивно технологическая оснастка для реализации совмещенного способа высадки, прошивки и обратного выдавливания состоит из трех основных элементов: пуансона, основания и матрицы. Последняя является наиболее важным из них и во многом определяет течение металла. Так, в процессе исследования рассматривались два основных параметра матрицы: угол сопряжения канала матрицы и ее полости  $\alpha$  и соотношение их диаметров  $k$  (рис. 1):

$$k = d/D.$$

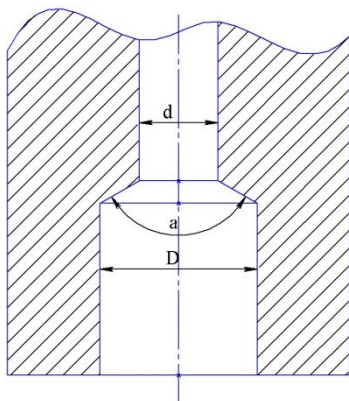


Рис. 1. Конструктивные элементы матрицы

В качестве технологических параметров были выбраны скорость  $v$  и температура  $T$  деформирования. При этом движение инструмента на прямом и обратном ходе заготовки принимается одинаковой, а температура задается равной для заготовки и всей технологической оснастки. Исходные данные для дробного факторного эксперимента представим в виде таблицы (табл. 1).

Таблица 1

Исходные данные дробного факторного эксперимента

Фактор	Значение фактора	Базовое значение «0»	Верхний предел «+1»	Нижний предел «-1»
$X_1$	Температура $T$ , °C	150	180	120
$X_2$	Угол перехода матрицы $\alpha$ , град	75	90	60
$X_3$	Скорость деформирования $v$ , мм/с	1/6	1/4	1/12
$X_4$	Соотношение диаметров $k$	5/16	4/8	5/8

Таким образом, с учетом изменения четырех параметров сформирован план дробного факторного эксперимента, также представленного в виде таблицы (табл. 2).

В качестве критерия эффективности процесса была выбрана накопленная пластическая деформация  $\bar{\varepsilon}^p$  (strain effective), определяемая по формуле

$$d\bar{\varepsilon}^p = f(d\varepsilon^p) = \sqrt{\frac{2}{3} \left( d\varepsilon_x^{p2} + d\varepsilon_y^{p2} + d\varepsilon_z^{p2} + \frac{1}{2} d\gamma_{xy}^{p2} \right)};$$

$$\bar{\varepsilon}^p = \int d\bar{\varepsilon}^p \neq f(\varepsilon^p).$$

Данный параметр взят за основу ввиду того, что по графикам его распределения можно легко оценить равномерность деформирования по времени процесса, а также по объему за счет рассмотрения одиннадцати точек, расположение которых позволяет с достаточной точностью описать характер деформирования всей заготовки: четыре из них находятся на ее оси, четыре – в контактном слое и три – в толще материала (на расстоянии половины радиуса от оси) (рис. 2).

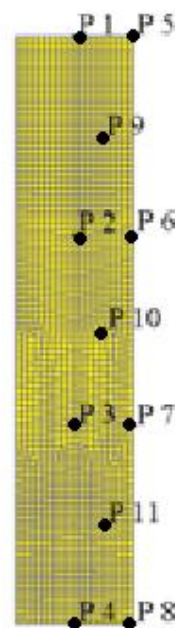
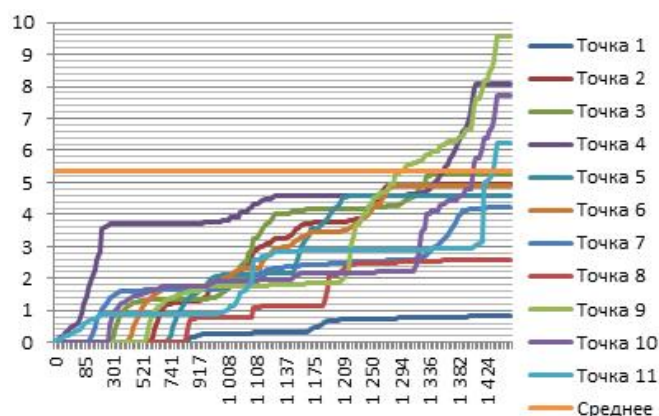


Рис. 2. Точки измерения деформаций

Для каждого из математических расчетов был построен график, отражающий изменение показательного параметра за все время процесса для каждой из одиннадцати точек (рис. 3). Также на графике присутствует горизонтальная линия, показывающая средний уровень показателя по итогам процесса.

Рис. 3. Пример графика изменения  $\bar{\varepsilon}^P$ 

На графиках видно, что процесс деформирования происходит крайне неравномерно. Для графика каждой точки характерны горизонтальные и наклонные участки. Первые отвечают моментам времени, когда материал в данной точке не деформируется. Наклонные участки, наоборот, — времени деформирования материала. Крутизна же наклонного участка показывает, насколько интенсивно деформируется участок заготовки в определенный момент времени, что соответствует представлениям о том, что интенсивность деформации является дифференциальной функцией от полной деформации.

Подобные всплески можно объяснить наличием зон наибольшей интенсивности деформаций, при попадании в которые происходит активное деформирование участка заготовки, что, в свою очередь, отражается на графике накопленных деформаций как наклонный участок. Таких участков в сечении заготовки несколько. Первый из них располагается под углом близким к  $135^\circ$  по отношению к вектору скорости (на прямом ходе, соответствующем приложению усилия деформирования к пуансону) и расходится от участка максимальных деформаций, находящихся у кромки переходной части матрицы (рис. 4). Вторая подобная зона также берет начало у вышеописанной кромки, но располагается под углом близким к  $45^\circ$  к вектору скорости (рис. 5).

Неодинаковую интенсивность деформирования разных точек, разницу крутизны последовательных наклонных участков на одной кривой, а следовательно, и неравномерность интенсивности деформаций по объему и времени соответственно можно объяснить расположением точек относительно кромки переходной части матрицы. Так, максимально приближенные к ней точки деформируются наиболее интенсивно, но с меньшей продолжительностью, а точки более удаленные — со значительно меньшей интенсивностью, но в течение продолжительного периода времени. При этом средний уровень интенсив-

ности деформации в первом участке, ориентированном к оси заготовки выше, чем во втором, ориентированном к образующей.

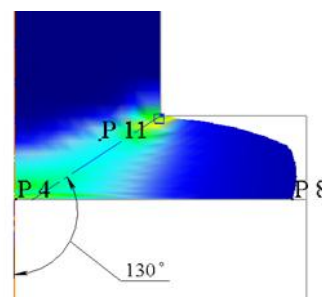


Рис. 4. Первый участок интенсивного деформирования

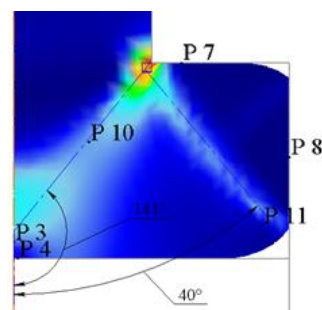


Рис. 5. Второй участок интенсивного деформирования

#### Результаты и их обсуждение

Анализ полученных результатов позволил оценить несколько важнейших показателей совмещенного процесса высадки, прошивки и обратного выдавливания. Первым из них является средний по объему уровень накопленной деформации для каждого варианта сочетаний варьируемых параметров. Оценка этого показателя позволяет говорить об эффективности той или иной конфигурации с точки зрения повышения физико-механических свойств полученной заготовки: чем выше уровень накопленной деформации, тем больше изменение за один цикл (рис. 6).

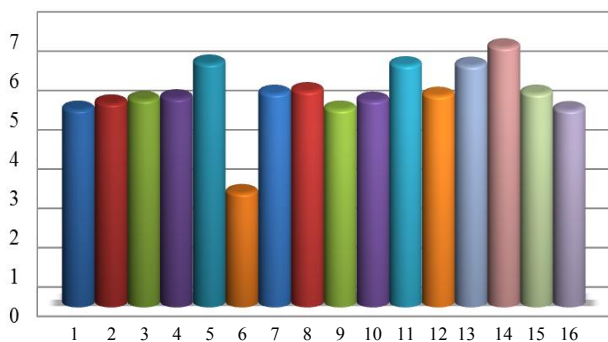


Рис. 6. Средняя накопленная деформация

Однако необходимо не только придать как можно большие деформации заготовке, но сделать это как можно равномернее. Для этого рассматривается показатель, характеризующий усредненную разницу накопленной деформации в каждой из рассматриваемых точек и ее среднее значение, что позволяет количественно оценить равномерность деформирования заготовки по объему (рис. 7).

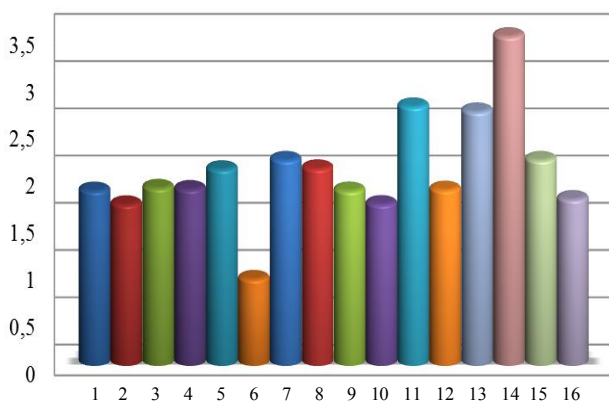


Рис. 7. Отклонение от средней деформации

## Заключение

Расположение зон повышенных значений интенсивности говорит о преобладании сдвиговых деформаций в процессе, что позволяет сделать вывод о весьма высокой эффективности процесса с точки зрения реализации интенсивной пластической деформации

Наибольшее влияние на эффективность совмещенного процесса оказывают конструктивные характеристики технологической оснастки, а существующая конструкция имеет значительный потенциал повышения эффективности как с точки зрения уровня накопленной деформации, так и по части равномерности свойств и структуры получаемых заготовок.

## Список литературы

1. Тарасов А.Ф., Алтухов А.В. Моделирование процесса интенсивного пластического деформирования заготовок по схеме реверсивного сдвига // *Металлургические процессы и оборудование*. 2013. №4. С. 47–54.
2. Камалетдинов И., Юсупов В., Биба Н. Разработка и исследование математической модели процесса равноканального углового прессования // *Машины, Технологии, Материалы*. 2013. С. 122–124.
3. Рудской А.И., Золотов А.М., Ганин С.В. Моделирование процесса равноканального углового прессования заготовок из порошковых композиций на основе алюминия и редкоземельных металлов в капсулах // *Цветные металлы*. №1, спец. вып.
4. Константинов Д.В., Корчунов А.Г. Мультимасштабное компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2015. № 1. С. 36–43. Пат. 2424076 РФ. Способ пластического структурообразования и устройство для его осуществления / Семашко М.Ю., Трусовский В.И., Шеркунов В.Г.
5. Семашко М.Ю., Шеркунов В.Г., Чигинцев П.А. Моделирование в среде Deform микроструктуры металлических образцов, подвергнутых интенсивной пластической деформации // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2013. № 1. С. 57–61.

## INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

### INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE COMBINED PROCESS OF DIRECT AND INVERSE EXTRUSION

**Chigintsev Pavel Andreevich** – Postgraduate Student, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia. E-mail: 4iga90@mail.ru.

**Semashko Marina Yurevna** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia. E-mail: mara1979@mail.ru.

**Sherkunov Viktor Georgievich** – D.Sc. (Eng.), Professor, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia.

**Abstract.** The article describes a mathematical modeling of a combined process of direct and inverse extrusion, dependence of results on variable parameters.

**Keywords:** Mathematical modeling, severe plastic deformation, rationalization, extrusion.

## References

1. Tarasov A.F., Altukhov A.V. Modeling of the reverse-shearing severe plastic deformation of workpieces. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2013, no. 4, pp. 47–54.
2. Kamaletdinov I., Yusupov V., Biba N. Development and study of a



- mathematical model of equal channel angular extrusion. *Mashiny, Tekhnologii, Materialy* [Machines, Technologies, Materials]. 2013, pp. 122-124.
3. Rudskoi A.I., Zolotov A.M., Ganin S.V. Simulation of equal channel angular extrusion of workpieces from aluminum-based pulverulent compositions and capsular rare-earth metals. *Tsvetnye metally* [Non-ferrous metals]. No. 1, *Spets.vypusk* [Special edition].
  4. Konstantinov D.V., Korshunov A.G. Multi-scale computer simulation of metal forming processes. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 1, pp. 36-43.
  5. Semashko M.Yu., Truskovskii V.I., Sherkunov V.G. *Sposob plasticheskogo strukturoobrazovaniya i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Plastic structuring and a plastic-structuring facility]. Patent RF, no. 2424076.
  6. Semashko M.Yu., Sherkunov V.G., Chigintsev P.A. Deform-based microstructure simulation of metallic samples exposed to severe plastic. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 1, pp. 57-61.

Чигинцев П.А., Семашко М.Ю., Шеркунов В.Г. Исследование влияния технологических параметров на совмещенный процесс высадки, прошивки и обратного выдавливания // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №4. С. 12–16.

Chigintsev P.A., Semashko M.Yu., Sherkunov V.G. Influence of technological parameters on the combined process of direct and inverse extrusion. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 4, pp. 12–16.

УДК 621.73.043

## РАЗРАБОТКА СПОСОБА КУЗНЕЧНОЙ ПРОТЯЖКИ БЕЗ ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ИСХОДНОЙ ЗАГОТОВКИ\*

Богатов А.А., Нухов Д.Ш.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

**Аннотация.** В работе рассмотрена идея обеспечения знакопеременной деформации при протяжке литых слитков без изменения исходных формы и размеров. Способ осуществляется применением кузнечных штампов [1], имеющих два участка рабочей поверхности – гладкий и профильный. Была определена рациональная гравюра профильной части штампа и режимы обжатий, которые обеспечивают высокую однородность деформации во всем объеме заготовки после протяжки.

**Ключевые слова:** литая структура; знакопеременная деформация; дисперсность структуры; математическое моделирование; напряженное и деформированное состояние; показатели напряженного состояния; степень деформации; кузнечная протяжка слитка; штамп; обжатие заготовки.

### Введение

В настоящее время одной из актуальных проблем обработки металлов давлением является, с одной стороны, получение высококачественной литой заготовки, а с другой – поиск новых технологических схемковки и прокатки, обеспечивающих проработку литой структуры и высокий уровень механических свойств и экс-

плуатационных характеристик металлургической продукции. Известно, что знакопеременная деформация способствует проработке литой и формированию мелкозернистой структуры [2–11]. Авторами работы исследован новый способ протяжки, при котором осуществляется знакопеременная деформация с равномерной проработкой литой структуры по сечению заготовки.

### Выбор рациональных размеров инструмента деформации в условиях гладкой деформации

Применение инструмента с рабочей поверхностью в виде углублений и выступов с формой цилиндрических сегментов позволяет получить обжатую на первом этапе заготовку с волнистой поверхностью. На следующем этапе обжатия

\* Статья по материалам доклада на международной молодежной научно-технической конференции «Инновационные процессы обработки металлов давлением: фундаментальные вопросы связи науки и производства», состоявшейся 15–17 июня 2015 г. в ФГБОУ ВПО «МГТУ» (г. Магнитогорск) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ №15-38-10185).

© Богатов А.А., Нухов Д.Ш., 2015