

УДК 621.774.39

АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ ВЫСАДКЕ КОНЦОВ ТРУБ НЕФТЯНОГО СОРТАМЕНТА*

Ерпалов М.В., Богатов А.А.

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

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы качества труб нефтяного сортамента с высаженными концами, производимых методом осадки на гидравлических прессах SMS Meeg. Основное внимание уделено причинам образования дефектов на внутренней поверхности изделий в виде незаполнений штампового пространства, расположенных непосредственно вблизи торца трубы. Результаты компьютерного моделирования процесса высадки позволили установить зависимость образования дефектов от технологических факторов, включая исходные размеры заготовок. Результаты промышленного эксперимента подтвердили основные положения компьютерного моделирования и позволили сформулировать взаимосвязанные требования к заготовке и калибровке инструмента, позволяющие исключить образование дефектов на внутренней поверхности труб. Результаты работы позволили интенсифицировать процесс высадки концов труб в один проход с увеличением коэффициента утолщения стенки приблизительно до 1,85.

Ключевые слова: насосно-компрессорные трубы, бурильные трубы, высадка концов труб, качество продукции, конечно-элементное моделирование, промышленное исследование.

Введение

Высадка концов представляет собой локальное утолщение стенки трубы на заданном расстоянии от торца, при этом различают наружную, внутреннюю или комбинированную высадку [1, 2]. Утолщение концов труб позволяет повысить прочность резьбового или сварного соединения готового изделия с муфтой или замком, необходимыми для сборки насосно-компрессорных или бурильных труб в колонны при добыче нефти и газа. Большая потребность в трубах нефтяного сортамента в условиях осложнения добычи природных ресурсов обуславливает высокие требования к качеству изготавливаемых труб. Опыт производства труб с высаженными концами на гидравлических прессах SMS Meeg позволяет утверждать, что основным видом брака при высадке являются дефекты на внутренней поверхности труб в виде незаполнений штампового пространства, расположенных, как правило, в области перехода от высаженной части к телу трубы или непосредственно вблизи торца (рис. 1). Если в первом случае брак связан преимущественно с незавершенностью процесса высадки, т.е. с недопрессовкой металла в очаге деформации [3], то причины образования дефектов вблизи торца трубы неочевидны. Согласно [4] причиной это-

го вида брака является более низкая температура торца трубы по отношению к температуре остальной нагреваемой части заготовки. Однако на практике повышение температуры металла непосредственно у торца трубы перед деформацией не приводит к существенному повышению качества продукции. В связи с этим целью представленной работы является теоретическое и промышленное исследование причин образования внутренних дефектов в зависимости от технологических факторов, включающих размеры заготовки, условия трения на контактной поверхности с инструментом, температуру нагрева концов труб перед высадкой, а также температуру инструмента.

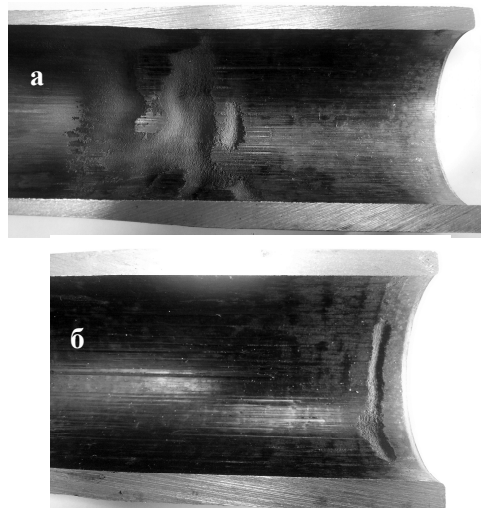


Рис. 1. Основные виды брака при высадке концов труб: а – незаполнение штампового пространства в переходной зоне от высаженной части к телу трубы; б – незаполнение штампового пространства непосредственно вблизи торца трубы

* Работа выполнена в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности №11.1369.2014/К от 18.07.2014 (Номер государственной регистрации: 114122470051).

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).

© Ерпалов М.В., Богатов А.А., 2015

Конечно-элементное моделирование процесса высадки концов труб

Для решения поставленной задачи проведено компьютерное моделирование процесса высадки концов труб с применением метода конечных элементов, реализованного в программе Deform-3D*. В качестве заготовок были выбраны насосно-компрессорные трубы с номинальными размерами 73,02×5,51 мм, изготавливаемые в соответствии с API 5CT [5], а также бурильные трубы 73,0×9,2 мм по ГОСТ Р 50278-92 [6]. Анализ допусков на диаметр и толщину стенки в соответствии с нормативной документацией на насосно-компрессорные трубы показал возможность изменения размеров заготовки в диапазоне от 73,23×4,82 до 73,81×6,2 мм, при этом допуск на максимальное значение толщины стенки установлен равным +12,5%.

Заготовки с указанными выше размерами были использованы при моделировании высадки со следующими технологическими параметрами процесса. По рекомендациям разработчиков программы Deform-3D показатель трения по Зибелю был установлен равным $\psi = 0,3$. Длина нагрева и длина высаживаемого конца трубы были определены в соответствии с действующей в ОАО «ПНТЗ» калибровкой инструмента. Температура нагрева концов труб непосредственно перед высадкой составила $T_n = 1200^\circ\text{C}$. Температура матриц принята равной $T_m = 200^\circ\text{C}$, а пуансона – $T_p = 130^\circ\text{C}$. Дополнительно были решены задачи с использованием заготовки размером 73,02×5,51 мм, учитывающие отдельно изменение показателя трения до 0,7, температуры нагрева металла до 1100°C ; температура торца заготовки T_t при этом изменялась от 1100 до 1290°C , а температура инструмента варьировалась в диапазоне от 150 до 250°C для матриц и от 100 до 180°C для пуансона. В общей сложности в ходе компьютерного моделирования процесса высадки концов труб было решено 10 задач.

В качестве материала заготовки принята сталь AISI-1045 из базы материалов программы Deform-3D, среда – вязкопластическая. Скорость перемещения пуансона принята равной 95 мм/с. Характерный размер сетки при разбиении заготовки на конечные элементы составил 2,9 мм, а общее количество элементов при длине заготовки 750 мм – от 200 000 до 275 000 в зависимости от размеров поперечного сечения трубы.

Результаты компьютерного моделирования свидетельствуют о наличии нескольких стадий процесса высадки труб, которые в основном согласуются с [7]. Установлено, что наибольшее влияние на образование внутренних дефектов

оказывает начальная стадия процесса высадки с момента соприкосновения пуансона с заготовкой до формирования контакта между поршневой частью пуансона (фланцем) и торцом трубы. При этом необходимо отметить, что в научной литературе стадия раздачи трубы традиционно не рассматривается, т.к. с точки зрения формоизменения металла она не представляет интереса. Однако указанная стадия процесса характеризуется интенсивным отводом тепла от нагретого конца трубы через поверхность контакта в холодный инструмент. В результате этого наряду с общим остыванием нагретого конца трубы имеет место локальное охлаждение (рис. 2), величина которого определяет изменение термомеханических свойств металла заготовки в небольшой области вблизи торца трубы.

Максимальный перепад температур вблизи контактной поверхности заготовки с инструментом в конце стадии раздачи трубы характеризуется величиной

$$K_T = \frac{T_{1\max} - T_{1\min}}{T_{1\max}}. \quad (1)$$

Далее в процессе потери устойчивости профиля трубы происходит постепенное увеличение наружного и внутреннего диаметра конца заготовки, в результате чего контакт трубы с пуансоном пропадает. После этого начинает заполняться штамповое пространство, образованное рабочей поверхностью матриц и пуансона, при этом заполнение очага деформации происходит в направлении от периферии к оси заготовки [8–10]. За счет неравномерности сопротивления деформации в осевом направлении, обусловленной охлаждением металла в начальной стадии процесса высадки, поле радиальной составляющей скорости течения частиц металла характеризуется наличием двух локальных максимумов (рис. 3).

В случае когда частицы металла, находящиеся на границе областей 1–2 (см. рис. 3), имеют большую радиальную скорость по отношению к частицам на границе 2–3, между поверхностью пуансона и внутренней поверхностью трубы формируется замкнутая воздушная полость, которая к моменту окончания деформации полностью не исчезает. Для количественного описания склонности металла трубы к образованию дефектов на внутренней поверхности высаженной части введен показатель наличия брака:

$$K_B = \frac{r_2 - r_1}{L_2}. \quad (2)$$

* Лицензия кафедры «Обработка металлов давлением» УрФУ.



Рис. 2. Изменение температурного поля заготовки

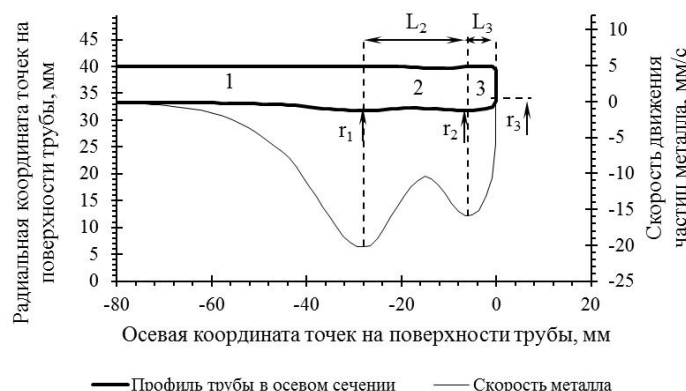


Рис. 3. Поле радиальной скорости перемещения частиц металла

В работе дополнительно введен параметр, характеризующий степень тесноты калибра:

$$K_K = \frac{2S}{D_M - d_{\Pi}}, \quad (3)$$

где S – толщина стенки трубы, мм; D_M – диаметр рабочей цилиндрической части матрицы, мм; d_{Π} – диаметр рабочей конической части пуансона в сечении фланца, мм.

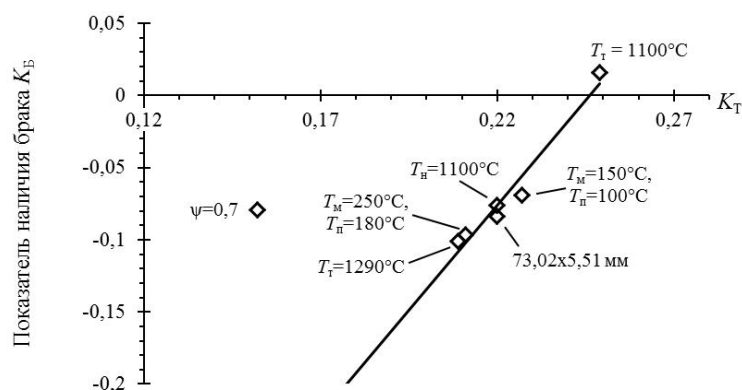
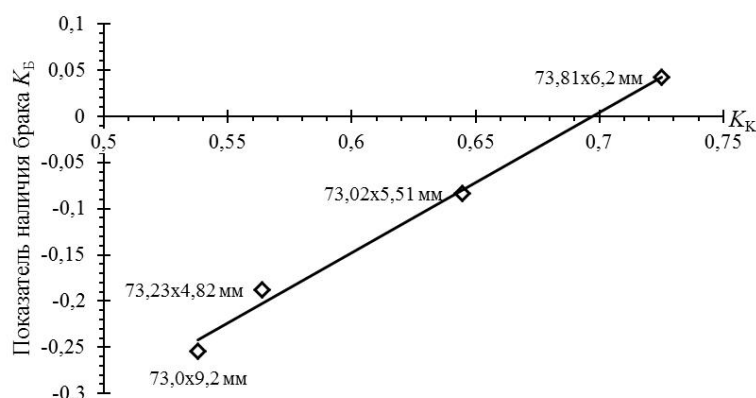
На рис. 4 представлена зависимость показателя наличия брака K_B от величины K_T , характеризующей неравномерность сопротивления деформации вдоль оси заготовки в конце стадии раздачи трубы. Из приведенной диаграммы видно, что внутренний дефект в виде незаполнения штампового пространства образуется при температуре торца трубы $T_T = 1100^\circ\text{C}$, что на 100°C ниже температуры нагрева остальной части высаживаемой части трубы. К незначительному увеличению склонности к образованию внутренних дефектов на поверхности труб приводит уменьшение температуры инструмента. Ухудшение условий трения на контактной поверхности с матрицами приводит к повышению неравномерности деформации конца трубы [10], что, в свою очередь, приводит к увеличению склонности металла трубы к образованию внутренних дефектов. Это видно из рис. 4 – значение

величины K_B резко отличается от линии тренда.

Повышение температуры инструмента, а также температуры торца по отношению к остальной нагреваемой части трубы обеспечивает более равномерную конца заготовки. Следует отметить, что в силу равенства величин K_T в случаях нагрева концов труб до температур 1200 и 1100°C склонность металла к образованию внутренних дефектов также одинакова.

На рис. 5 представлена зависимость показателя наличия брака K_B от величины K_K , характеризующей толщину стенки заготовки относительно размеров штампового пространства. Видно, что с увеличением тесноты калибра склонность к образованию брака увеличивается, а при высадке концов труб $73,81 \times 6,2$ мм наблюдаются внутренние незаполнения штампового пространства вблизи торца трубы. Статистический анализ опытных данных, несмотря на малое их количество, позволяет утверждать, что независимо от размеров трубы и параметров калибровки имеет место линейная связь между величинами K_B и K_K . Таким образом, была установлена связь между максимальной толщиной стенки, при которой наблюдается образование дефектов, с параметрами калибровки инструмента:

$$S^{\max} = 0,3486 \cdot (D_M - d_{\Pi}). \quad (4)$$

Рис. 4. Зависимость показателя наличия брака K_B от величины K_T Рис. 5. Зависимость показателя наличия брака K_B от величины K_K

Промышленное исследование процесса высадки концов труб

С целью проверки основных результатов теоретического исследования был проведен промышленный эксперимент на гидравлическом прессе SMS Meer ОАО «ПНТЗ». Для этого был выполнен отбор заготовок с номинальным размером 73,02×5,51 мм по критерию средней толщины стенки. Согласно (4) для действующей в ОАО «ПНТЗ» калибровки инструмента максимальное значение толщины стенки, при которой на внутренней поверхности трубы начинают образовываться дефекты, составляет 5,96 мм. Для промышленного эксперимента, направленного на изучение условий образования внутренних дефектов вблизи торца труб, были отобраны заготовки со средними значениями толщины стенки 5,28, 5,36, 5,49, 5,79, 5,87 и 6,09 мм. Высадка производилась при длине нагрева концов труб 310 мм, температуре нагрева 1290°C, давлении в главном гидроцилиндре пресса 10 МПа и времени задержки перед началом отведения пуансона в обратном направлении 1,8 с.

По результатам промышленного эксперимента установлено, что единственной трубой, у которой обнаружены внутренние дефекты в виде незаполнения штампового пространства, является

труба, имеющая среднее значение толщины стенки 6,09 мм, что превышает критическое значение 5,96 мм, установленное по результатам компьютерного моделирования. Для всех остальных заготовок, среднее значение толщины стенки которых меньше критического, внутренних дефектов не обнаружено. Таким образом, в промышленных условиях подтверждена достоверность выражения (4), позволяющего устанавливать требования либо к заготовкам, поступающим на операцию высадки, либо к калибровке инструмента исходя из фактических размеров труб.

Из рис. 5 видно, что в случае высадки концов бурильных труб ПН 73×9 в соответствии с ГОСТ Р 50278-92 в один проход параметр, характеризующий тесноту калибра, является минимальным. То есть за счет отсутствия стадии раздачи трубы образование внутренних дефектов вблизи торца исключено. Для проверки возможности высадки концов бурильных труб ПН 73×9,2 мм в промышленных условиях в один проход в ОАО «ПНТЗ» была проведена соответствующая опытная работа. В результате успешно были высажены концы труб в объеме 30 т, при этом коэффициент утолщения стенки трубы составил около 1,85. Дефектов по внутренней поверхности высаженных концов обнаружено не было (рис. 6), что также подтверждает результаты теоретического исследования.

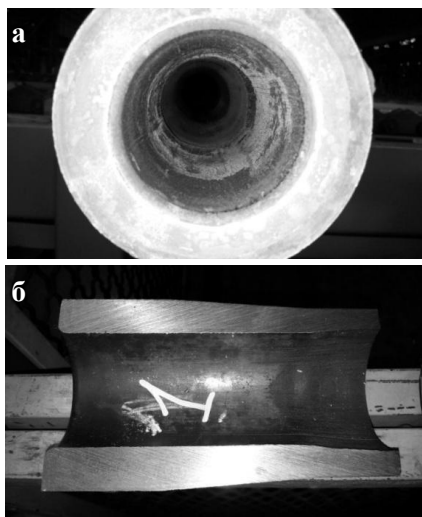


Рис. 6. Высаженный конец бурильной трубы ПН 73×9: а – вид с торца; б – высаженный конец трубы в разрезе

Заключение

В работе выполнено теоретическое и промышленное исследование процесса высадки концов труб в один проход. Основное внимание уделено качеству внутренней поверхности получаемых изделий. В результате компьютерного моделирования установлено влияние технологических параметров процесса высадки на склонность металла к образованию дефектов на внутренней поверхности в виде незаполнений штампового пространства. Установлена и подтверждена в промышленных условиях зависимость между максимально допустимой толщиной стенки и параметрами калибровки технологического инструмента (4).

Список литературы

1. Освоение технологии высадки концов труб нефтяного сортамента на ОАО «ПНТЗ» / Ерпалов М.В. [и др.] // ОМД 2014. Фундаментальные проблемы. Инновационные материалы и технологии: материалы Международ. науч.-техн. конгресса. М.: Изд-во ООО «Белый ветер», 2014. Т.2. С. 64–69.
2. Ерпалов М.В., Кондратьева Г.Н., Богатов А.А. Модернизация технологии высадки концов труб с целью повышения эффективности гидравлического пресса SMS Meer // Инновационные технологии в металлургии и машиностроении: материалы Междунар. конференции. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. С. 581–592.
3. Ерпалов М.В. Исследование технологического процесса высадки концов труб на гидравлических прессах с целью повышения их качества: отчет о НИР (заключ.) / Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б.Н.Ельцина; рук. А.А. Богатов; исп. М.В. Ерпалов. Екатеринбург, 2013. 11 с.
4. Мюллер В., Арем Р. Технология работы. Обжимной пресс: презентация / ОАО «ПНТЗ». Первоуральск, 2009. 28 с.
5. API 5CT. Обсадные и насосно-компрессорные трубы. 9-е изд. Введ. 2012–01–01. Американский институт нефти, 2011.
6. ГОСТ Р 50278-92. Трубы бурильные с приваренными замками. Технические условия. Введ. 1994-01-01. М.: Стандартинформ, 2010.
7. Трубы для нефтяной промышленности / Ткаченко В.А. [и др.]. М.: Металлургия, 1986. 256 с.
8. Остренко В.Я. Технологические особенности высадки труб в закрытых матрицах // Металлургическая и горнорудная промышленность. 1965. №1. С. 33–35.
9. Остренко В.Я. Аналитический метод определения силовых и энергетических параметров высадки концов труб // Производство труб: сб. тр. ВНТИТИ. М.: Металлургия, 1968. №20. С. 223–230.
10. Теория обработки металлов давлением / Тарновский И.Я. [и др.]. М.: Металлургияиздат. 1963. С. 382–387.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

INVESTIGATION OF THE CAUSES OF DEFECTS AT OCTG UPSETTING

Erpalov Mikhail Viktorovich – Research Assistant, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia. E-mail: m.v.erpalov@urfu.ru.

Bogatov Alexandr Alexandrovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of the Metal Forming Department, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia. E-mail: omd@urfu.ru.

Abstract. The paper deals with the quality issues of OCTG with upset ends produced on SMS Meer hydraulic presses. It focuses on the causes of defects appearing on the inner surface of products in the form of underfilled pass near the pipe end. The results of computer simulation of upsetting have established dependence of defects formation on technological factors, including original workpiece sizes. The industrial experiment results have confirmed the key points of the computer simulation and allowed formulation of requirements to a workpiece and tool calibration which eliminate defects formation on the inner surface of pipes. The results of this work have made it possible to intensify the pipe end upsetting process in a single pass with an increase in a wall-thickening ratio up to 1.85.

Keywords: Tubing, drill pipe, pipe end upsetting, product quality, finite element modeling, industrial research.

References

1. Erpalov M.V. [et al.]. Development of OCTG ends upsetting technology at JSC «PNTZ». OMD 2014. Fundamental'nye problemy. Innovatsionnye materialy i tekhnologii: materialy Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo kongressa [OMD 2014. Fundamental problems. Innovative Materials and Technologies: Proceedings of the International scientific and engineering Congress]. Moscow: Publishing House «Bely veter», 2014, vol. 2, pp. 64-69.
2. Erpalov M.V., Kondratieva G.N., Bogatov A.A. Upgrading pipe-ends upsetting technology in order to improve performance of SMS Meer hydraulic presses. Innovatsionnye tekhnologii v metallurgii i mashinostroenii: materialy Mezhdunarodnoj konferentsii

- [Innovative technologies in metallurgy and mechanical engineering: Proceedings of the International Conference]. Ekaterinburg: Publishing House Ural. univ, 2014, pp. 581-592.
3. 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.
 4. Mueller W., Arem R. Work technology. Upsetting press: Presentation. JSC «PNTZ». Pervouralsk, 2009. 28 p.
 5. API 5CT. Specification for Casing and Tubing. Ninth edition. Effective Date 2012-01-01. Published by American Petroleum Institute (API), 2011.
 6. GOST R 50278-92. Gosudarstvennyj Standart 50278-92. Truby buril'nye s privarennyimi zamkami. Tekhnicheskie usloviya [State Standard 50278-92. Drill pipes with welded locks. Technical conditions]. Moscow: Publishing House Standartinform, 2010.
 7. Tkachenko V.A. [et al.]. Truby dlya neftyanoj promyshlennosti [The pipes for the oil industry]. Moscow: Metallurgy, 1986. 256 p.
 8. 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.
 9. 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.
 10. Tamowski I.Ja. [et al.]. *Teoriya obrabotki metallov davleniem* [Theory of metal forming]. Moscow: Metallurgizdat, 1963, pp. 382-387.

Ерпалов М.В., Богатов А.А. 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, каковыми 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