

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ТРЕНИЯ НА ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА НАРУЖНОЙ ВЫСАДКИ КОНЦОВ ТРУБ

Некрасов И.И., Карамышев А.П., Паршин В.С., Федулов А.А., Дронов А.И., Хорев В.А.

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

### Аннотация

**Постановка задачи:** процесс наружной высадки концов труб используется при получении утолщенного конца насосно-компрессорной трубы. Для получения достоверных данных о технологических параметрах процесса высадки осуществлялось моделирование последовательных технологических операций данного процесса на примере высадки концов труб на прессе SMS Meer, установленного в ОАО «ПНТЗ», с использованием программного комплекса конечно-элементного моделирования. Рассматривались трубы трех типоразмеров, представляющих интерес для существующего производства. **Используемые методы:** построены трехмерные объекты, воспроизводящие заготовку, высадочный пуансон и составную матрицу. Производилось назначение свойств данных объектов. Задавались условия трения, движение и закрепление объектов в пространстве. Варьировались условия трения между высадочным инструментом и заготовкой. **Результаты:** путем расчета по предлагаемой модели получены зависимости усилия высадки от времени при различных значениях показателя трения по Э. Зибелю. Проведенные экспериментальные исследования позволяют говорить об адекватности созданной математической модели реальному процессу высадки. **Практическая значимость:** значения величин, полученные путем моделирования, могут быть использованы при создании технологии, оборудования и инструмента для наружной высадки концов труб.

**Ключевые слова:** наружная высадка, насосно-компрессорные трубы, математическая модель, усилие высадки, показатель трения.

### Введение

Как известно, условия трения на границе инструмента с металлом при обработке металлов давлением в значительной мере определяют стойкость инструмента, формоизменение металла, а также энергосиловые параметры процесса [1–5]. Таким образом, исследование условий трения в процессах ОМД позволяет наиболее эффективно выстроить технологию обработки металла, вести конструирование оборудования и инструмента для конкретного производства [6–7].

Процесс наружной высадки концов труб является одним из тех, где работа, затрачиваемая на преодоление сил трения, составляет значительную часть энергетических затрат, связанных с осуществлением деформации металла. Наружная высадка концов труб осуществляется на сегодня в основном с применением высадочных прессов и подразумевает наличие составной матрицы и пуансона, образующих рабочее пространство инструмента. Заготовка подвергается

нагреву до температуры деформации и устанавливается на ось прессования. Путем перемещения пуансона происходит образование утолщенного конца трубы в соответствии с рис. 1.

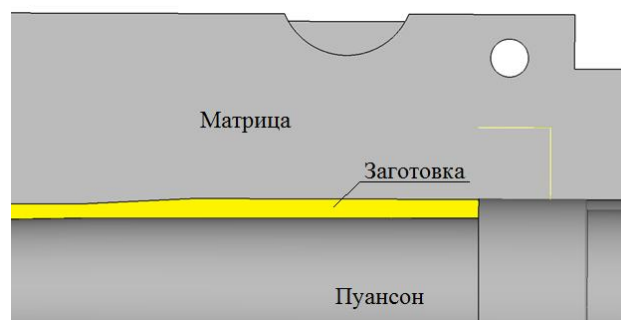


Рис. 1. Схема процесса наружной высадки концов труб

Развитие технологии горячей прокатки и наружной высадки концов труб в условиях ОАО «Первоуральский новотрубный завод» позволило вести работы по освоению труб НКТ из коррозионностойких марок сталей 18ХМФБ, 18ХЗМФБ, 15Х5МФБ на прессе фирмы SMSMeer ОАО «ПНТЗ» [8].

### Моделирование процесса наружной высадки концов насосно-компрессорных труб

С целью оценки возможности оборудования и совершенствования существующей технологии был проведен ряд исследований по определению зависимости энергосиловых параметров процесса наружной высадки концов труб от условий трения в зоне контакта металла с инструментом. Поскольку формоизменение металла во внешних зонах очага деформации, распределение температур, степени деформации, скорости деформации в процессе наружной высадки являются неизвестными, для проведения теоретического исследования был выбран метод конечных элементов. Программный продукт DEFORM-3D, базирующийся на МКЭ, позволяет путем задания физико-механических свойств материала, различного вида граничных условий, движения инструмента получать значения энергосиловых параметров процессов ОМД [9–11].

Путем создания прототипов инструмента и заготовки, передачи их в DEFORM-3D, проведения необходимых действий по подготовке данных к решению и последовательного решения задач по нагреву заготовки в индукторе, охлаждению при транспортировке на ось пресса, деформации металла при высадке были получены результаты по определению зависимости усилия высадки концов труб из стали 15Х5МФБ при нагреве участка трубы под высадку до значения температуры 1300°C [10] для типоразмеров труб 60,32×4,83, 73,0×7,0, 88,90×6,45 мм. Диапазон изменения показателя трения по Зибелю при этом составил 0,1–1,0. Согласно API-5CT и ГОСТ 633-80 при стандартной длине высаженной части для типоразмеров труб 60,32×4,83, 73,0×7,0, 88,90×6,45 мм длина высаженного участка трубы составляет  $101,6_{-25,4}^0$ ,  $95_{min}$ ,  $114,6_{-25,4}^0$  мм соответственно. Наружный диаметр высаженной части составляет  $65,89_{+1,59}^0$ ,  $78,60_{+1,5}^0$ ,  $95,25_{+1,59}^0$  мм соответственно по указанным типоразмерам. В расчетах приняты номинальные значения размеров.

#### Анализ полученных результатов

На рис. 2 представлены графики зависимости значений усилия высадки при различных величинах показателя трения для некоторых типоразмеров высаживаемых труб. Как видно из графиков, усилие высадки увеличивается с ростом показателя трения. При изменении показателя трения с 0,1 до 1,0 это увеличение составляет для стандартной высадки концов труб для типоразмера 60,32×4,83 мм – 6,57 раза, для 73,0×7,0 мм – 5,01 раза, для 88,90×6,45 мм – 7,14 раза.

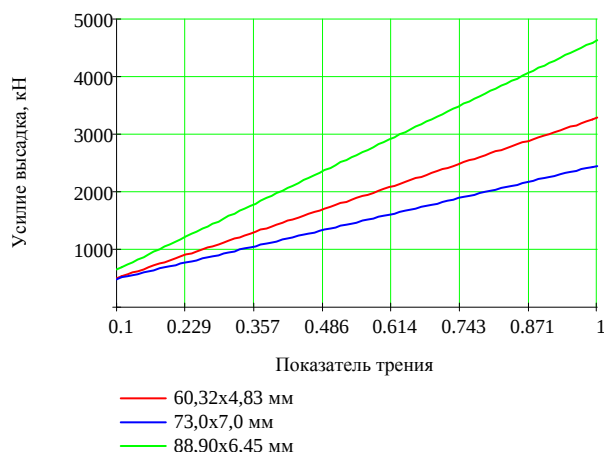


Рис. 2. Зависимость усилия высадки от показателя трения при стандартной высадке

Кроме того, были определены значения усилий высадки при различных сочетаниях условий трения на границах металла с матрицей и металла с пуансоном для рассматриваемых типоразмеров труб (см. таблицу).

Значения усилия высадки при различных условиях трения при стандартной высадке

| Типоразмер, мм | Показатель трения на пуансоне $\psi_{\text{пуан}}$ | Показатель трения на матрице $\psi_{\text{матр}}$ | Усилие высадки, кН |
|----------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------|
| 60,32×4,83     | 0,1                                                | 0,1                                               | 500                |
|                | 1,0                                                | 0,1                                               | 884                |
|                | 0,5                                                | 0,5                                               | 1530               |
|                | 0,1                                                | 1,0                                               | 1750               |
|                | 1,0                                                | 1,0                                               | 3285               |
| 73,0×7,0       | 0,1                                                | 0,1                                               | 490                |
|                | 1,0                                                | 0,1                                               | 1020               |
|                | 0,5                                                | 0,5                                               | 1400               |
|                | 0,1                                                | 1,0                                               | 2030               |
|                | 1,0                                                | 1,0                                               | 2455               |
| 88,90×6,45     | 0,1                                                | 0,1                                               | 650                |
|                | 1,0                                                | 0,1                                               | 1470               |
|                | 0,5                                                | 0,5                                               | 2150               |
|                | 0,1                                                | 1,0                                               | 3320               |
|                | 1,0                                                | 1,0                                               | 4640               |

Как следует из представленных данных, при значениях показателя трения  $\psi_{\text{пуан}} = \psi_{\text{матр}} = 0,1$  получены минимальные значения усилия высадки, равные 500 кН, на типоразмере 60,32×4,83 мм. Максимальное значение усилия высадки, равные 4640 кН при  $\psi_{\text{пуан}} = \psi_{\text{матр}} = 1,0$ , на типоразмере 88,90×6,45 мм.

При  $\psi_{\text{пуан}} = 0,1$  и изменении показателя трения на матрице с  $\psi_{\text{матр}} = 0,1$  до  $\psi_{\text{матр}} = 1,0$  на типоразмере 88,90×6,45 мм рост усилия высадки составляет 5,11 раза.

При  $\psi_{\text{матр}} = 0,1$  и изменении показателя трения

на пуансоне с  $\psi_{\text{пуан}}=0,1$  до  $\psi_{\text{пуан}}=1,0$  на типоразмере 88,90×6,45 мм рост усилия высадки составляет 2,26 раза.

Аналогичная картина наблюдается в случае разных значений показателей трения на матрице и пуансоне и на типоразмерах труб 60,32×4,83 и 73,0×7,0 мм.

С целью проверки адекватности созданной математической модели процесса наружной высадки концов труб произведен расчет усилия стандартной высадки в DEFORM-3D для типоразмера 73,02×5,51 мм по API-5CT из материала сталь 30Г2. В результате расчета усилия высадки по предлагаемой математической модели получено значение 1440 кН. Путем замеров усилия высадки на прессе SMS Meer ОАО «ПНТЗ» определена величина давления в главном цилиндре прессы. Величина давления составила 147 бар, что соответствует значению усилия высадки 1495 кН. Таким образом, отклонение расчетных и экспериментальных данных составляет 3,7%, что говорит об адекватности созданной математической модели процесса наружной высадки концов труб реальному технологическому процессу.

### Заключение

Проведенные исследования влияния условий трения на энергосиловые параметры процесса при наружной высадке концов труб позволяют разработать мероприятия по повышению стойкости инструмента и оборудования для наружной высадки труб и снижению энергосиловых параметров процесса.

### Список литературы

1. Грудев А.П., Зильберг Ю.В., Тилик В.Т. Трение и смазки при обработке металлов давлением. М.: Металлургия, 1982. 312 с.
2. Колмогоров Г.Л., Трофимов В.Н., Чернова Т.В. Условия улучшенного (смешанного) режима трения // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №1. С. 31–33.
3. Совершенствование инструмента и математическое моделирование процесса формирования головок фланцевых болтов / В.И. Кадошников, Е.С. Решетникова, Л.В. Решетников, С.В. Кочуков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. №2. С. 52–56.
4. Раскатов Е.Ю., Лехов О.С. Выбор рациональной калибровки валков пилгримовых станов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. №4. С. 24–27.
5. Шимов Г.В., Буркин С.П. Основы технологических процессов обработки давлением. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 150 с.
6. Ling K., Liu Y.-K. Study on forming process of the oil pipe with upset ends // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 456. P. 648–651.
7. Yu Y.-Q. Analysis of the tube head upsetting forming process // Petrochemical Equipment. 2015. Vol. 44. P. 58–63.
8. Исследование сопротивления деформации сталей 18ХМФБ и 18ХЗМФБ при горячей деформации / А.В. Коновалов, А.С. Смирнов, А.П. Карамышев, И.И. Некрасов, В.С. Паршин, А.А. Федулов, А.И. Дронов, А.В. Серебряков // Металлург. 2015. №11. С. 110–112.
9. Ишимов А.С., Барышников М.П., Чукин М.В. К вопросу выбора математической функции уравнения состояния для описания реологических свойств стали 20 в процессе горячей пластической деформации // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №1. С. 43–52.
10. Методы исследования механических характеристик металлов и сплавов в процессах обработки давлением с учетом неоднородности структуры / М.П. Барышников, М.В. Чукин, А.Б. Бойко, Х. Дыя, А.Б. Назайбеков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №4. С. 26–31.
11. Моделирование в среде DEFORM микроструктуры металлических образцов, подвергнутых интенсивной пластической деформации / М.Ю. Семашко, В.Г. Шеркунов, П.А. Чигинцев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №1. С. 57–61.
12. Определение оптимальной скорости движения пуансона в процессе наружной высадки насосно-компрессорных труб / А.П. Карамышев, И.И. Некрасов, В.С. Паршин, А.И. Пугин, А.А. Федулов, А.И. Дронов, В.А. Хорев // Современные металлические материалы и технологии (СММТ'2015): труды междунар. науч.-техн. конференции: в 3 т. Т. 3. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. С. 75–82.

Материал поступил в редакцию 23.05.16.

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-4-57-60

## LOOKING AT THE RELATIONSHIP BETWEEN THE FRICTION CONDITIONS AND THE ENERGY AND FORCE OF THE EXTERNAL UPSET END PROCESS

**Igor Nekrasov** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia. E-mail: Nekrasovii@yandex.ru

**Andrey Karamyshev** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia. E-mail: andrey.karamyshev@yandex.ru

**Vladimir Parshin** – D.Sc. (Eng.), Professor

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia. E-mail: Netskater@mail.ru

**Artem Fedulov** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia. E-mail: Artem.feduloff@yandex.ru

**Alexey Dronov** – Postgraduate Student

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia.

**Valeryi Khorev** – Postgraduate Student

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia.

### Abstract

**Problem Statement (Relevance):** The external pipe end upset technique is applied for oil well tubing with thicker ends. This article examines the upset process performed by the SMS Meer press running at the PNTZ OJSC site. To obtain reliable data about the process parameters, the process sequence was simulated with the help of the finite-element software package. Three different pipe sizes, which are of most interest to the site, were examined in the case study.

**Methods Applied:** 3D-objects were made that imitate the workpiece, the upset die and the complex matrix. Each object was assigned its relevant properties. The simulation was done under given friction conditions, with the objects moving and positioned in space. The varying conditions included friction between the upset die and the workpiece. **Findings:** With the help of the model proposed, dependencies were identified between the upset force and the upset time at different friction factors. The experimental study conducted proves that the model is adequate to the real process. **Practical Relevance:** The values obtained as a result of simulation can be useful in the design of pipe end upset technologies, equipment and tools.

**Keywords:** External upset process, oil well tubing pipes, mathematical model, upset force, friction factor.

### References

1. Grudev A.P., Zilberg Yu.V., Tilik V.T. Friction and lubrication in metal forming. Moscow: Metallurgiya, 1982, 312 p. (In Russ.)
2. Kolmogorov G.L., Trofimov V.N., Chernova T.V. The conditions of an improved (combined) friction regime. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 1, pp. 31–33. (In Russ.)
3. Kadoshnikov V.I., Reshetnikova E.S., Reshetnikov L.V., Kochukov S.V. Improved tooling for and improved modelling of the flanged bolt head forming process. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2008, no. 2, pp. 52–56. (In Russ.)
4. Raskatov E.Yu., Lekhov O.S. Choosing the best calibration mode for pilger mill rolls. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2011, no. 4, pp. 24–27. (In Russ.)
5. Shimov G.V., Burkin S.P. Basic metal forming processes. Yekaterinburg: Publishing House of the Ural University, 2014, 150 p. (In Russ.)
6. Ling K., Liu Y.-K. Study on forming process of the oil pipe with upset ends. *Applied Mechanics and Materials*. 2014, vol. 456, pp. 648–651.
7. Yu Y.-Q. Analysis of the tube head upsetting forming process. *Petrochemical Equipment*. 2015, vol. 44, pp. 58–63
8. Kononov A.V., Smirnov A.S., Karamyshev A.P., Nekrasov I.I., Parshin V.S., Fedulov A.A., Dronov A.I., Serebryakov A.V. Examining the strain resistance of '18ХМФБ' and '18Х3МФБ' steel grades in hot deformation conditions. *Metallurg* [Metallurgist]. 2015, no. 11, pp. 110–112. (In Russ.)
9. Ishimov A.S., Baryshnikov M.P., Chukin M.V. On choosing the mathematical function for the state equation to describe the rheological properties of steel grade 20 under hot plastic deformation conditions. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 1, pp. 43–52. (In Russ.)
10. Baryshnikov M.P., Chukin M.V., Bojko A.B., Dyya H., Nazajbekov A.B. Methods of studying the mechanical properties of metals and alloys undergoing forming processes with due regard to the structural heterogeneity. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2014, no. 4, pp. 26–31. (In Russ.)
11. Semashko M.Yu., Sherkunov V.G., Chigintsev P.A. Microstructural DEFORM modeling of steel samples that were subject to severe plastic deformation. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 1, pp. 57–61. (In Russ.)
12. Karamyshev A. P., Nekrasov I. I., Parshin V. S., Pugin A. I., Fedulov A. A., Dronov A.I., Khorev V.A. Identifying the optimum die speed for external-upset-end tubing production process. *Sovremennye metallicheskie materialy i tekhnologii (SMMT'2015): Trudy mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. [Advanced Metallic Materials and Technologies 2015. Proceedings of the International Scientific Conference]. Saint Petersburg: Publishing House of Peter the Great S.-Petersburg Polytechnic University, 2011, pp. 75–82. (In Russ.)

Received 23/05/16

Исследование влияния условий трения на энергосиловые параметры процесса наружной высадки концов труб / Некрасов И.И., Карамышев А.П., Паршин В.С., Федулов А.А., Дронов А.И., Хорев В.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т.14. №4. С. 57–60. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-4-57-60

Nekrasov I., Karamyshev A., Parshin V., Fedulov A., Dronov A., Khorev V. Looking at the relationship between the friction conditions and the energy and force of the external upset end process. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2016, vol. 14, no. 4, pp. 57–60. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-4-57-60