



Калужный В. Л. /д. т. н./
НТУУ «КПИ»



Калужный А. В. /к. т. н./
НТУУ «КПИ»



Олександренко Я. С.
НТУУ «КПИ»



Куликов И. П.
НТУУ «КПИ»

Качество изделий при холодной открытой и закрытой раздаче трубчатых заготовок из нержавеющей стали

Методом конечных элементов установлено влияние формы пуансона и относительной толщины заготовки на работу деформации и качество изделий при холодной открытой и закрытой раздаче трубчатых заготовок из нержавеющей стали. Для раздачи пуансонами с разным углом конуса и пуансоном специального профиля определены зависимости усилия раздачи от перемещения пуансона, выявлены форма и размеры сдеформированных частей заготовок. Использование пуансона специального профиля снижает энергосиловые затраты процесса и увеличивает коэффициент раздачи. Расчетные данные подтверждены экспериментальными исследованиями. Ил. 6. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: метод конечных элементов, раздача, трубчатая заготовка, конусный пуансон, пуансон специального профиля, работа деформации, форма и размеры сдеформированных заготовок

Finite element method established influence of the shape of the punch and the relative thickness of the workpiece on the work of deformation and quality of products in cold open and closed bulging tubular stainless steel blanks. For bulging by punches with different cone angle and punch special profile determined depending on the bulging's efforts of movement of the punch, identified the shape and dimensions of deformed parts of workpieces. Using the special profile punch allows to decrease the energy-power process costs and increase the expansion ratio. The calculated data are confirmed by experimental researches.

Keywords: finite element method, bulging, tubular blank, conical punch, special profile punch, work of deformation, shape and size of the deformed parts of workpieces

В машиностроении, атомной энергетике, нефтедобывающей промышленности и строительной индустрии широко используются штампованные детали трубопроводной арматуры. Это соединительные элементы различной конфигурации: цилиндрические трубчатые заготовки с фланцем, конические и криволинейные трубчатые заготовки с фланцами и без фланцев. Фланцы могут быть расположены перпендикулярно оси трубчатой заготовки и под разным углом. Для изготовления таких изделий широко используется холодная открытая и закрытая раздача трубчатых заготовок конусным пуансоном, сущность которой заключается в увеличении диаметра трубчатой заготовки за счет утонения стенки. Причем для изделий с плоскими фланцами раздача является промежуточным переходом штамповки. В настоящее

время накоплен производственный и экспериментальный опыт по холодной раздаче. В работе [1] для трубчатых заготовок из малоуглеродистой стали и алюминия приведены экспериментальные данные по влиянию отжига и относительной толщины заготовки $l = S_o/D_o$ (S_o – толщина стенки исходной заготовки, D_o – внешний диаметр заготовки) на коэффициент открытой раздачи $k_p = D_1/D_o$ (D_1 – наибольший диаметр сдеформированной заготовки). Приближенные данные по критическому коэффициенту раздачи, с точки зрения потери устойчивости стенки заготовки, приведены в работах [2, 3]. Экспериментальные значения предельного коэффициента раздачи k_p для раздачи трубчатых заготовок из алюминиевых сплавов, нержавеющей и среднеуглеродистой сталей, и титана приведены в источнике [4].

В последних публикациях [5, 6] для открытой раздачи трубчатых заготовок из нержавеющей стали приведены данные по влиянию угла конуса пуансона на напряженно-деформированное состояние в них, а также данные по увеличению коэффициента раздачи благодаря использованию пуансона специального профиля. Однако актуальными задачами являются установление влияния формы деформирующей поверхности пуансона, относительной толщины заготовки на работу деформации и качество изделий. Определение работы деформации позволит осуществлять раздачу на кривошипном прессовом оборудовании. Показателями качества являются форма и размеры изделий, установление которых даст возможность прогнозировать надежность мест соединений деталей, полученных раздачей с другими изделиями. Такие задачи можно решить путем разработки математических моделей и выполнением расчетного анализа с использованием метода конечных элементов (МКЭ) [7, 8].

Цель работы

Определение влияния формы деформирующей поверхности пуансонов и относительной толщины заготовки при холодной раздаче на качество изделий. Исследование влияния этих параметров проводили с использованием МКЭ в программном комплексе DEFORMTM. Схемы открытой и закрытой раздачи трубчатых заготовок традиционным конусным пуансоном и пуансоном специального профиля с соответствующими обозначениями показаны на рис. 1. При открытой раздаче (рис. 1а) заготовка 1 устанавливается на плите 2. Усилие деформирования P_d прикладывается с помощью традиционного конусного пуансона 3 с углом конуса α .

При закрытой раздаче (рис. 1б) заготовка 1 устанавливается в обойме 2 на плите 3. В процессе раздачи обойма 2 и пуансон 4 смещаются вниз с одинаковым перемещением U_o . Наличие обоймы препятствует потере устойчивости стенки заготовки при раздаче. Для снижения влияния сил трения при формообразовании раздачей и увеличения коэффициента раздачи используется конусный пуансон специального профиля (рис. 1в). Деформирующая поверхность такого пуансона образована пересечением окружностей диаметром D , центры которых расположены с шагом t , а касательная к окружностям составляет угол α с осью пуансона.

Установление влияния угла конуса пуансона на работу деформации и качество изделий после открытой раздачи традиционным конусным пуансоном с $\alpha = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ и 40° проводили расчетно-экспериментальным путем для трубчатых заготовок из стали 12Х18Н10Т размерами $D_o = 38$ мм, $H_o = 80$ мм и $S_o = 1,5$ мм.

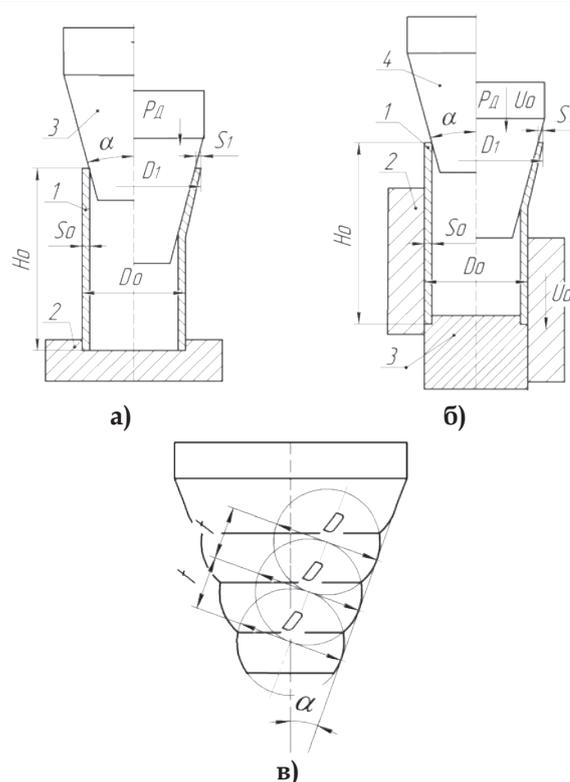
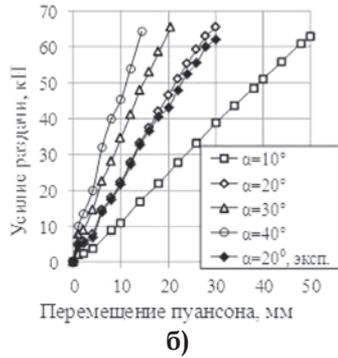


Рис. 1. Схемы раздачи трубчатой заготовки и конусный пуансон специального профиля:
 а – открытая раздача; б – закрытая раздача;
 в – пуансон специального профиля

На рис. 2 приведены результаты расчетных и экспериментальных исследований. При открытой раздаче происходит потеря устойчивости стенки цилиндрической части заготовки. Форма детали в разрезе с потерей устойчивости стенки заготовки показана на рис. 2а на примере раздачи пуансоном с $\alpha = 20^\circ$. Расчетные зависимости усилия раздачи от перемещения пуансона с разным углом α показаны на рис. 2б. Для раздачи пуансоном с $\alpha = 20^\circ$ приведена экспериментальная зависимость, которая получена на испытательной машине TIRA test 2300. Расхождение расчетных и экспериментальных данных по максимальному значению усилия раздачи составило 3,8 %, что подтверждает адекватность математических моделей. Приведенные зависимости позволяют определить работу деформации при раздаче. Деталь, полученная раздачей экспериментально, и конусный пуансон с углом $\alpha = 20^\circ$ приведены на рис. 2в.

Геометрическая форма и размеры в миллиметрах (мм) сформированных частей трубчатых заготовок после раздачи пуансонами с разным углом α , полученные расчетным путем, показаны на рис. 3. Тонкими линиями приведены конусные пуансоны. С увеличением угла α уменьшается длина конусной части сформированных заготовок. После раздачи пуансоном с $\alpha = 10^\circ$ указанная длина составила 44 мм, а после



а)

б)

в)

Рис. 2. Результаты расчетно-экспериментальных исследований раздачи традиционным конусным пуансоном с разным углом α :

- а – расчетная форма детали в разрезе с потерей устойчивости стенки;
- б – зависимости усилия раздачи от перемещения пуансона;
- в – деталь и конусный пуансон с $\alpha = 20^\circ$

раздачи пуансоном с $\alpha = 40^\circ$ – всего 11 мм. В месте перехода цилиндрической части заготовки в коническую часть наблюдается незначительное утолщение стенки с последующим уменьшением толщины стенки до торца заготовки. После раздачи пуансоном с $\alpha = 10^\circ$ толщина стенки в месте перехода возрастает с $S_0 = 1,5$ мм до 1,52 мм, после раздачи пуансоном с $\alpha = 40^\circ$ – до 1,57 мм. Торце стенки утоняется до значения $S_1 = 1,22$ мм после раздачи пуансоном с $\alpha = 10^\circ$ и до величины $S_1 = 1,17$ мм после раздачи пуансоном с $\alpha = 30^\circ$. Наименьший коэффициент раздачи $k_p = 1,39$ получен при формообразовании пуансоном с $\alpha = 10^\circ$. Пуансоны с $\alpha = 20^\circ$ и $\alpha = 30^\circ$ обеспечивают практически одинаковые наибольшие диаметры сформированных частей заготовок и коэффициент раздачи составил $k_p = 1,44$.

Существенное влияние на процесс холодной раздачи оказывает относительная толщина заготовки $l = S_0/D_0$ [1-4]. С использованием МКЭ было изучено влияние этого фактора на рабо-

ту деформации, форму и размеры сформированных заготовок из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Открытой раздаче конусным пуансоном с углом $\alpha = 25^\circ$ подвергали трубчатые заготовки с внутренним диаметром 35 мм и толщиной стенки $S_0 = 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5$ и 4 мм. При этом значения относительных толщин соответственно составили $l = 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08$ и $0,09$.

На рис. 4 приведены зависимости усилия раздачи от перемещения пуансона до момента потери устойчивости стенки при формообразовании заготовок с разной относительной толщиной l . С увеличением значения l усилие раздачи возрастает. При этом с возрастанием величины l с 0,03 до 0,07 незначительно увеличивается перемещение пуансона до момента потери устойчивости стенки. Дальнейший рост значений S_0/D_0 практически не влияет на максимальное перемещение пуансона, при котором стенка цилиндрической части заготовки теряет устойчивость.

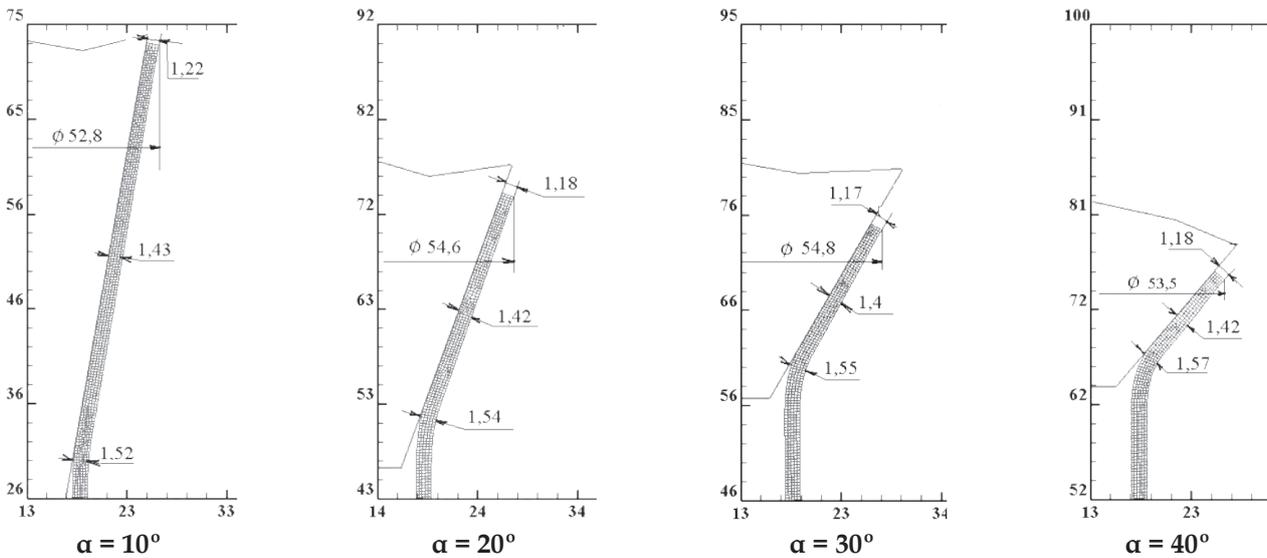


Рис. 3. Форма и размеры в миллиметрах сформированных частей заготовок после раздачи пуансонами с разным углом α

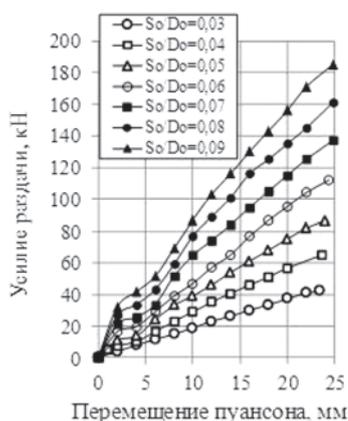


Рис. 4. Зависимости усилия раздачи от перемещения пуансона при формообразовании заготовок с разным значением $l = S_o / D_o$

На рис. 5 показаны формы и размеры в миллиметрах сдеформированных частей заготовок с разной относительной толщиной l . Тонкими линиями приведены конусные пуансоны. Для рассмотренных значений l имеет место утолщение заготовки в месте перехода цилиндрической части заготовки в конусную часть. С увеличением значения l величина утолщения растет. После раздачи заготовки с $l = 0,03$ толщина стенки увеличивается с $S_o = 1$ мм до 1,03 мм, а после раздачи заготовки с $l = 0,09$ толщина с $S_o = 4$ мм возросла до 4,1 мм. Интенсивность утонения стенки сдеформированных частей заготовок также возрастает с увеличением величины l . После раздачи заготовки с $l = 0,03$ толщина торца стенки с $S_o = 1$ мм уменьшилась до величины $S_1 = 0,78$ мм, а после раздачи заготовки с $l = 0,09$ мм толщина с $S_o = 4$ мм уменьшилась до $S_1 = 3,1$ мм.

Выше отмечено, что использование пуансона специального профиля позволяет уменьшить усилие раздачи и увеличить коэффициент раздачи. Был проведен сравнительный расчетный

анализ открытой и закрытой раздачи указанным пуансоном трубчатых заготовок из стали 12X18H10T размерами $D_o = 38$ мм, $H_o = 80$ мм и $S_o = 1,5$ мм. Для проверки адекватности математических моделей выполнены экспериментальные исследования.

Расчетным путем выявленный профиль пуансона, обеспечивающий ровную по длине сдеформированную часть заготовки. Такой профиль получен пересечением окружностей диаметром $D = 35$ мм, центры которых расположены с шагом $t = 5$ мм под углом $\alpha = 20^\circ$. Установлено, что при закрытой раздаче происходит разрушение торца сдеформированной части, поэтому моделирование заканчивали до возникновения разрушения. На рис. 6 приведены расчетные и экспериментальные данные по раздаче пуансоном специального профиля. Зависимости усилия раздачи от перемещения пуансона показаны на рис. 6а: 1 и 2 – расчетные зависимости для открытой и закрытой раздачи соответственно, 3 – экспериментальная зависимость для открытой раздачи. Расчетное усилие открытой раздачи, при котором стенка теряет устойчивость, получено при перемещении пуансона на 33 мм составило 64 кН. Максимальное расхождение расчетных и экспериментальных данных составило 5,5 %. При закрытой раздаче разрушение стенки начинается при перемещении пуансона на 50 мм и усилия 100 кН. Деталь, полученная экспериментально открытой раздачей, и пуансон специального профиля приведены на рис. 6б. При этом экспериментальная величина коэффициента раздачи составила $k_p = 1,6$. Форма и размеры сдеформированных частей заготовок после открытой и закрытой раздачи показаны соответственно на рис. 6в и 6г. Величина коэффициента раздачи для первого случая формоизменения составила $k_p = 1,54$, для второго – $k_p = 1,7$. По сравнению с открытой

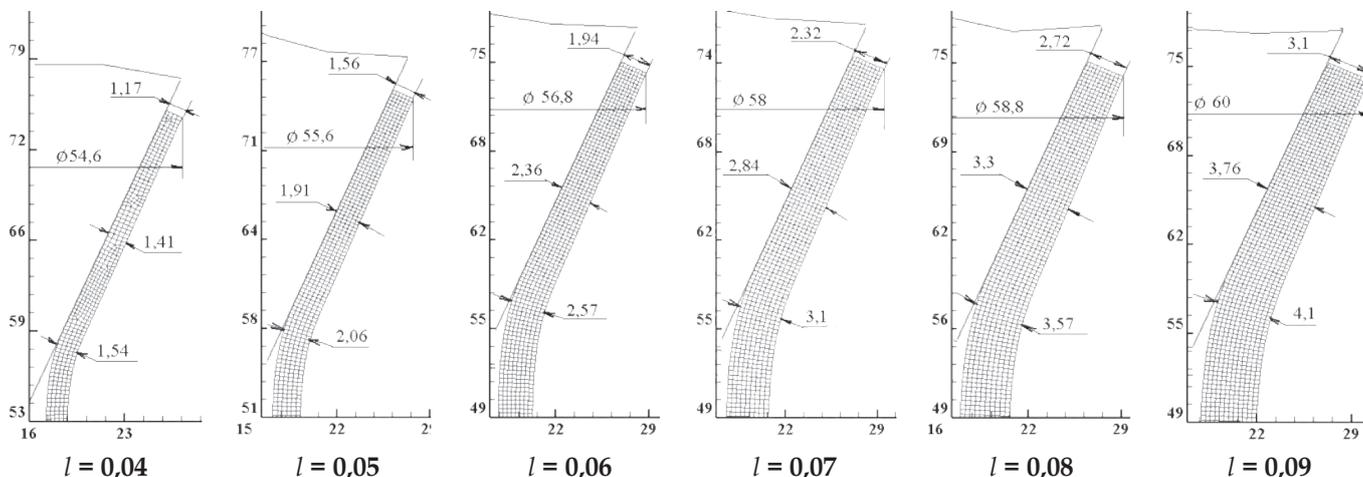


Рис. 5. Форма и размеры в миллиметрах сдеформированных частей после раздачи заготовок с разным значением относительной толщины l

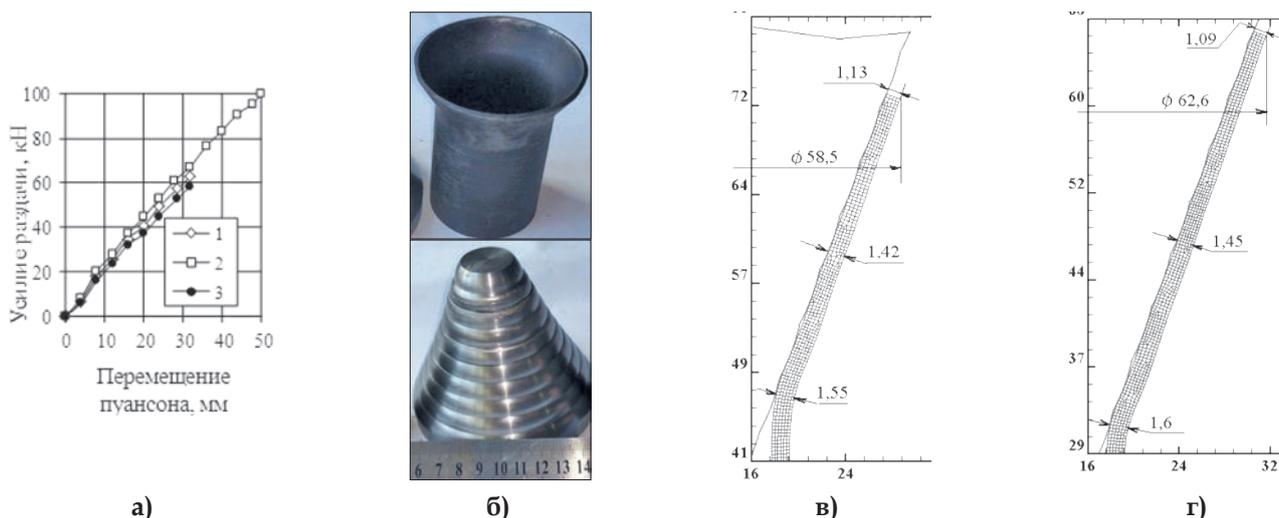


Рис. 6. Результаты расчетных и экспериментальных исследований раздачи трубчатых заготовок пуансоном специального профиля:

а – зависимости усилия раздачи от перемещения пуансона; б – деталь и пуансон специального профиля; в и г – формы и размеры в миллиметрах сдеформированных частей заготовок после открытой и закрытой раздачи соответственно

раздачей традиционным конусным пуансоном (см. рис. 4) коэффициент раздачи увеличен на 6,5 %. Это достигнуто благодаря уменьшению влияния сил трения при формоизменении раздачей. Торец стенки деформированной части после открытой раздачи утоняется до величины $S_1 = 1,13$ мм, а после закрытой – до $S_1 = 1,09$ мм.

Выводы

Методом конечных элементов проведен анализ процессов открытой и закрытой холодной раздачи трубчатых заготовок из нержавеющей стали традиционным конусным пуансоном и пуансоном специального профиля. Для открытой раздачи установлено влияние угла конуса пуансона и относительной толщины заготовки на работу деформации, форму и размеры сдеформированных частей заготовок. Для увеличения коэффициента раздачи выявлен профиль пуансона, образованный пересечением окружностей постоянного диаметра, центры которых расположены под углом с определенным шагом. Результаты расчетов подтверждены проведенными экспериментальными исследованиями.

Библиографический список

1. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. 6-е изд. пераб. и дополн. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1979. – 520 с.
2. Аверкиев Ю. А. Холодная штамповка / Ю. А. Аверкиев. Издательство Ростовского университета, 1984. – 288 с.
3. Аверкиев Ю. А. Технология холодной штамповки / Ю. А. Аверкиев., А. Ю. Аверкиев. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.

4. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. Т. 4. Листовая штамповка / Под ред. А. Д. Матвеева; Ред. совет: Е. И. Семенов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1985-1987. – 544 с.

5. Калюжный В. Л. Влияние угла конуса пуансона на силовые режимы и качество изделий при раздаче трубчатых заготовок из стали 12Х18Н10Т / В. Л. Калюжный, В. В. Пиманов, Я. С. Олександренко // Вестник НТУ «ХПИ», Серия «Новые решения в современных технологиях». – Харьков, 2013. – № 44. – С. 120-126.

6. Калюжный В. Л. Двусторонняя раздача трубчатой заготовки с последующим образованием плоского фланца / В. Л. Калюжный, В. В. Пиманов, Я. С. Олександренко, И. В. Выхованец // Пластическая деформация металлов. Коллективная монография. – Днепропетровск: Акцент ПП, 2014 г. – С. 311-314.

7. Калюжный А. В. Интенсификация процесса раздачи осесимметричных заготовок / А. В. Калюжный, В. В. Пиманов, Я. С. Олександренко и др. // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов. – ДГМА. – Краматорск, 2014. – № 1 (38). – С. 103-109.

8. Олександренко Я. С. Влияние угла конуса спрофилированного пуансона на силовые режимы и качество изделий при раздаче трубчатых заготовок из стали 12Х18Н10Т / Я. С. Олександренко, И. П. Куликов // Сборник научных трудов (серия отраслевое машиностроение и строительство). – НТУ. – Полтава, 2014. – №2 (41). – С. 259-265.

Поступила 28.01.2015