

УДК 621.771.251

Кривцова О. Н.  
Кузьмина Н. Ю.  
Сенюк В.

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДЧИСТОВЫХ КАЛИБРОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ АРМАТУРНОЙ СТАЛИ

Арматурная сталь служит для изготовления арматуры железобетонных конструкций. Арматура в железобетонных конструкциях устанавливается преимущественно для восприятия растягивающих усилий и усиления бетона сжатых зон конструкций. Прочностные характеристики арматуры зависят от химического состава стали (содержания углерода, легирующих добавок) и характера её обработки (упрочнение стали в холодном состоянии волочением, вытяжкой, сплющиванием, термическая обработка и т.д.). Несмотря на постоянное совершенствование технологии прокатки, при производстве сортовой металлопродукции все еще высока доля выхода металла в брак. В частности, при прокатке арматурной стали распространен такой геометрический дефект, как отсутствие продольных или поперечных ребер.

Из работы [1] известно, что для наилучшего заполнения чистовых калибров любой формы необходимо не только обеспечить точное выполнение его геометрических размеров, но и, по возможности, минимизировать анизотропию механических свойств по всему поперечному сечению деформируемого металла. Если в первом случае необходимо лишь соблюдение требований ГОСТ по геометрическим размерам калибра с учетом температурного расширения металла, то со второй задачей возникают определенные трудности, так как довольно сложно предсказать распределение накопленной деформации как за все проходы в целом, так и за отдельные калибры. В частности, большой интерес представляет форма и размеры предчистового калибра, после которого раскат попадает в чистовой калибр, где формируется окончательный профиль.

Для детального изучения процесса прокатки арматурного профиля было решено провести компьютерное моделирование в программном комплексе «DEFORM-3D». В работах [1–2] предложены наиболее рациональные, с точки зрения авторов, формы предчистовых калибров для прокатки арматурной стали. Однако возникает спорный вопрос относительно так называемых «переходных» профилей, которые одни авторы относят к малым профилям, а другие – к большим; в частности, профиль №20. Для данного профиля в качестве предчистового калибра предлагается как однорадиусный овал, так и плоский овал с двойной вогнутостью.

Также, в работе [3] была предложена новая калибровка для прокатки круглой и арматурной стали, главной особенностью которой является предчистовой калибр, выполненный в виде гладкой бочки. Поэтому для определения наиболее рациональной формы предчистового калибра было решено смоделировать прокатку во всех трех калибрах для того, чтобы выявить наиболее равномерное распределение накопленной деформации по сечению заготовки.

Поскольку деформация является кумулятивным параметром, при анализе всего технологического процесса весьма сложно отследить ее изменение на каком-либо определенном этапе. Поэтому, для оценки влияния формы предчистового калибра на деформированное состояние, провели единичное моделирование, т.е. моделирование только предчистового калибра.

В результате моделирования были получены следующие результаты распределения эквивалентной деформации (рис. 1).

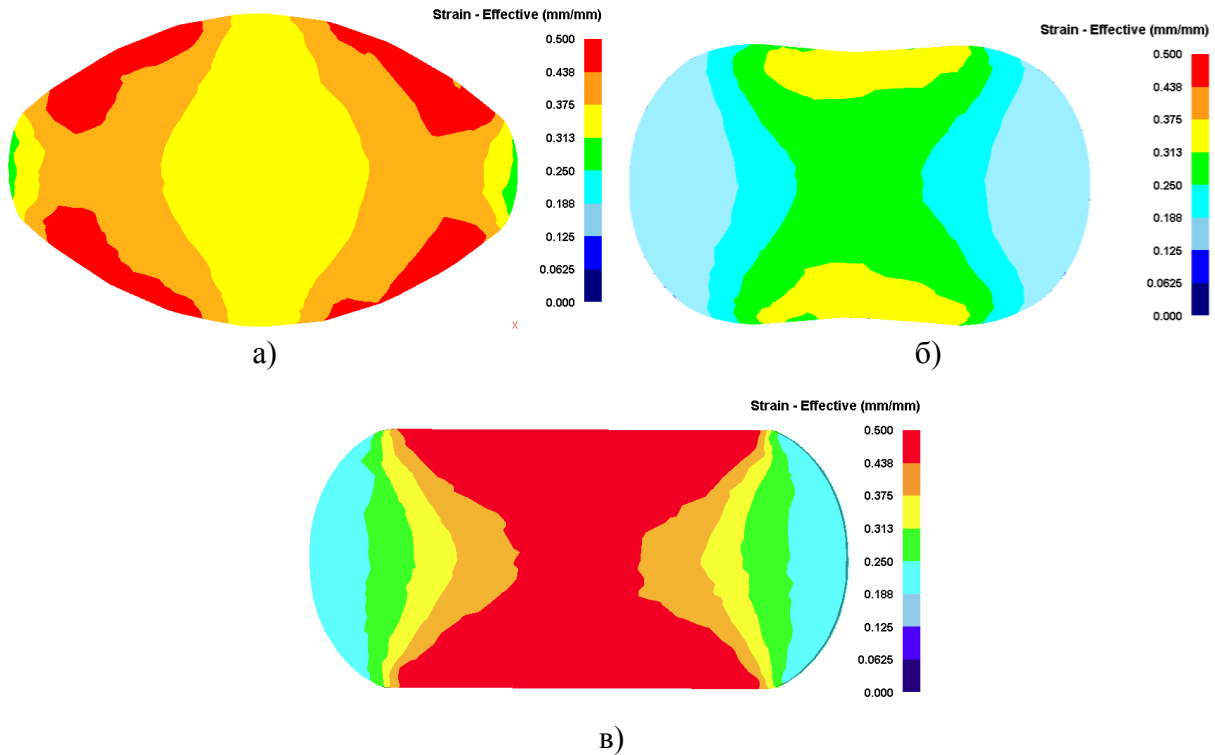


Рис. 1. Распределение эквивалентной деформации:  
 а) однорадиусный овал; б) плоский овал с двойной вогнутостью; в) гладкая бочка

Для детального изучения распределения эквивалентной деформации по сечению рассматривали два направления: вертикальное и горизонтальное, поскольку перед попаданием в чистовой калибр заготовка во всех трех случаях кантуется на 90 градусов. Также было рассмотрено усилие прокатки, возникающее при деформировании в данных калибрах, необходимое для оценки изменения значения усилия по сравнению с базовой величиной. За базовое значение усилия было принято значение, получаемое в однорадиусном овале, так как данный калибр наиболее распространен на сортовых станах, прокатывающих арматурные профили.

А) Однорадиусный овал

При прокатке в калибре в форме однорадиусного овала распределение деформации протекает крайне неравномерно. При достаточно равномерном распределении в осевой зоне (рис. 2), при движении металла к стенкам калибра, значения деформации резко возрастают, особенно на наклонных участках раската. В то же время на боковых торцах, на которых после кантовки происходит формирование поперечных ребер будущей арматуры, наблюдается существенное снижение величины деформации (рис. 3).

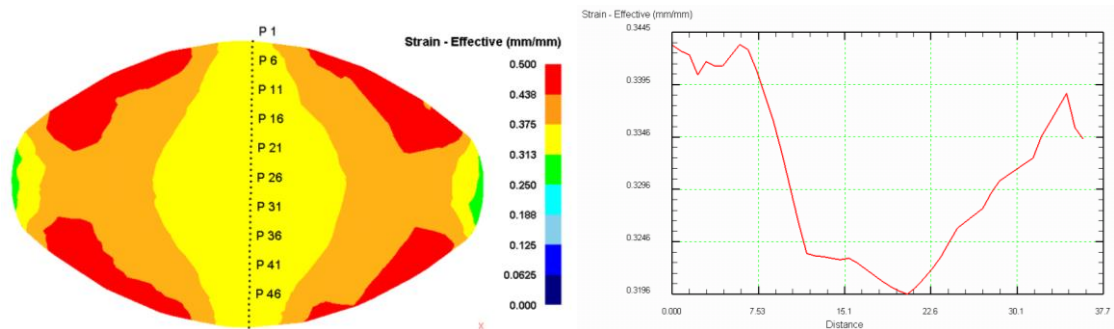


Рис. 2. Распределение деформации при прокатке в однорадиусном овале в вертикальном направлении

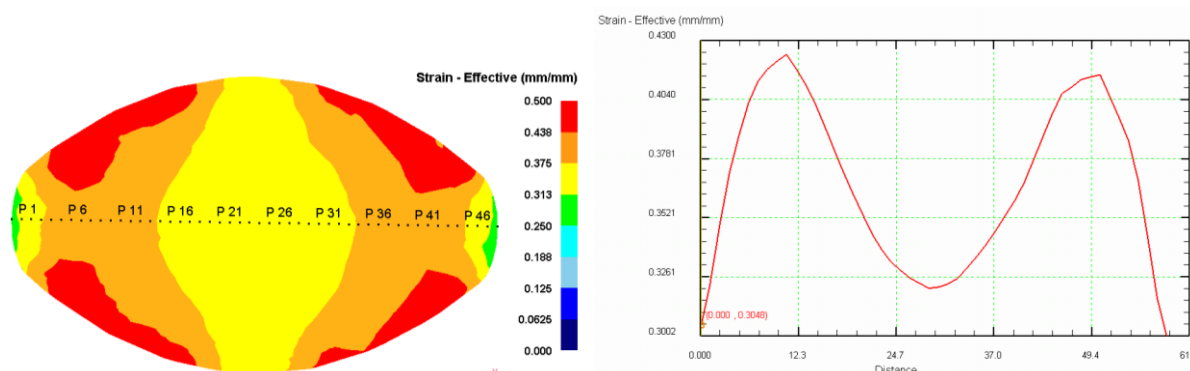


Рис. 3. Распределение деформации при прокатке в однорадиусном овале в горизонтальном направлении

В целом, в вертикальном направлении распределение деформации составляет от 0,3195 до 0,3435 (разброс значений составит 7,5 %). В горизонтальном направлении распределение деформации составляет от 0,3008 до 0,4248 (разброс значений составляет 41,2 %). При учете наклонных зон, где величина деформации достигает значения 0,5, разброс составляет 66,2 %.

На графике усилия отчетливо видны две зоны: в первой зоне, характеризующей захват заготовки, усилие плавно возрастает по мере заполнения очага деформации. При установившемся процессе прокатки значение усилия остается на одном уровне и составляет примерно 251,5 кН (рис. 4).

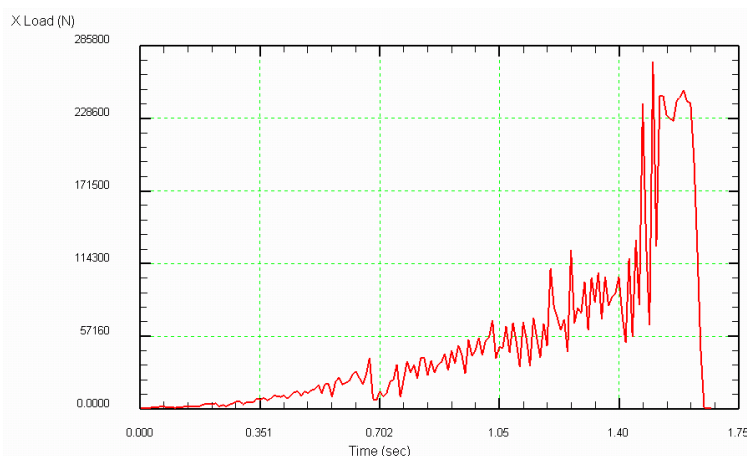


Рис. 4. Усилие при прокатке в однорадиусном овале

#### Б) Плоский овал с двойной вогнутостью

При прокатке в калибре по форме плоского овала с двойной вогнутостью распределение деформации в вертикальном и горизонтальном направлениях протекает более равномерно по сравнению с однорадиусным овалом. В осевой зоне наблюдается некоторое увеличение деформации за счет вогнутостей (рис. 5). На боковых торцах, распределение величины деформации металла носит более равномерный характер, чем в однорадиусном овале (рис. 6). Это подтверждают графики распределения деформации – в первом случае отчетливо видны пики, характеризующие резкое увеличение, затем – снижение, и, следом за этим, увеличение величины деформации. Во втором случае график носит более монотонный характер.

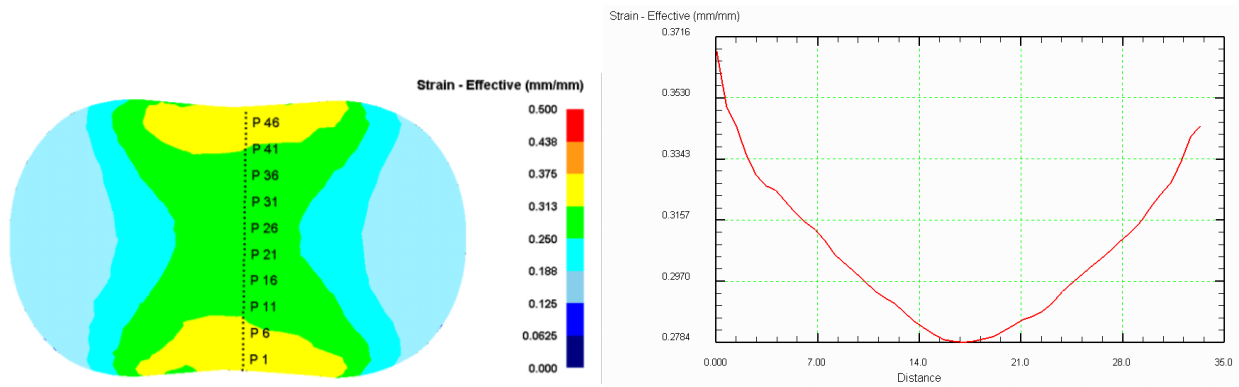


Рис. 5. Распределение деформации при прокатке в плоском овале в вертикальном направлении

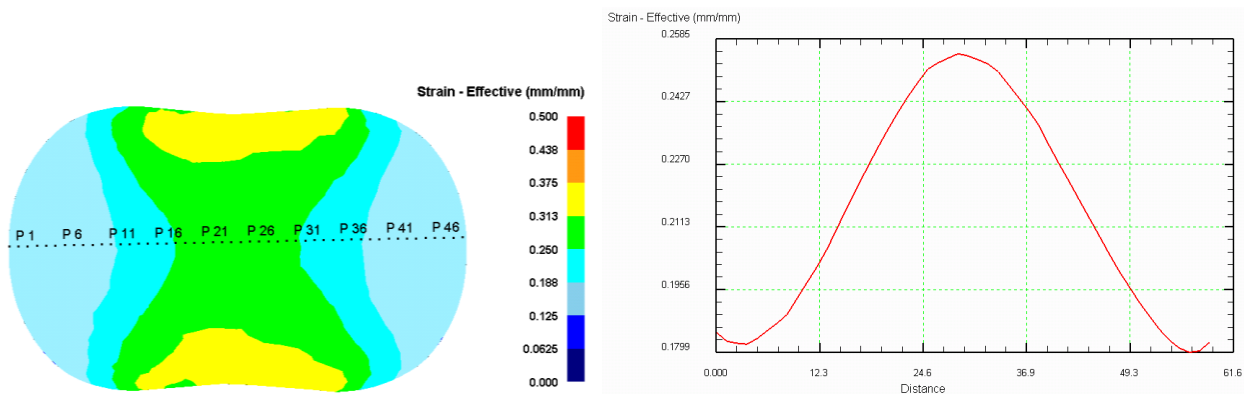


Рис. 6. Распределение деформации при прокатке в плоском овале в горизонтальном направлении

В целом, в вертикальном направлении распределение деформации составляет от 0,2784 до 0,3678 (разброс значений составляет 32,2 %). В горизонтальном направлении распределение деформации составляет от 0,1799 до 0,2512 (разброс значений составляет 39,6 %).

На графике усилия, как и в первом случае, отчетливо видны две зоны: зона захвата заготовки и зона установившегося процесса прокатки, где значение усилия остается на одном уровне и составляет примерно 154,6 кН (рис. 7).

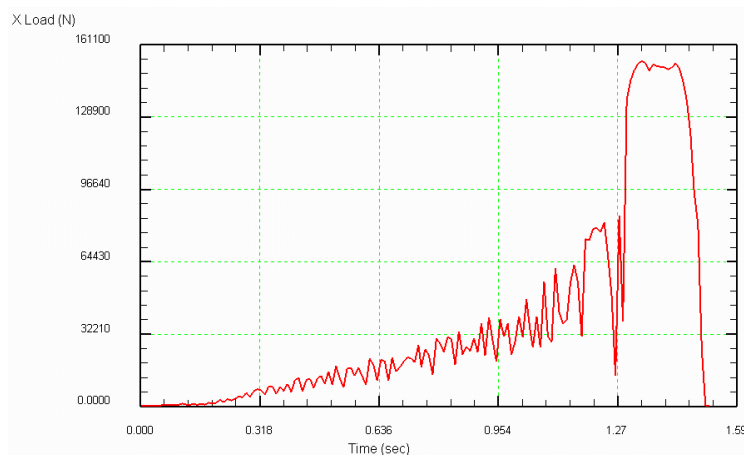


Рис. 7. Усилие при прокатке в плоском овале

В) Гладкая бочка

При прокатке на гладкой бочке распределение деформации в вертикальном и горизонтальном направлениях протекает весьма неравномерно. При достаточно равномерном распределении деформации в осевой зоне (рис. 8), при движении к боковым торцам, где контакт металла с валками отсутствует, наблюдается значительное снижение ее величины (рис. 9).

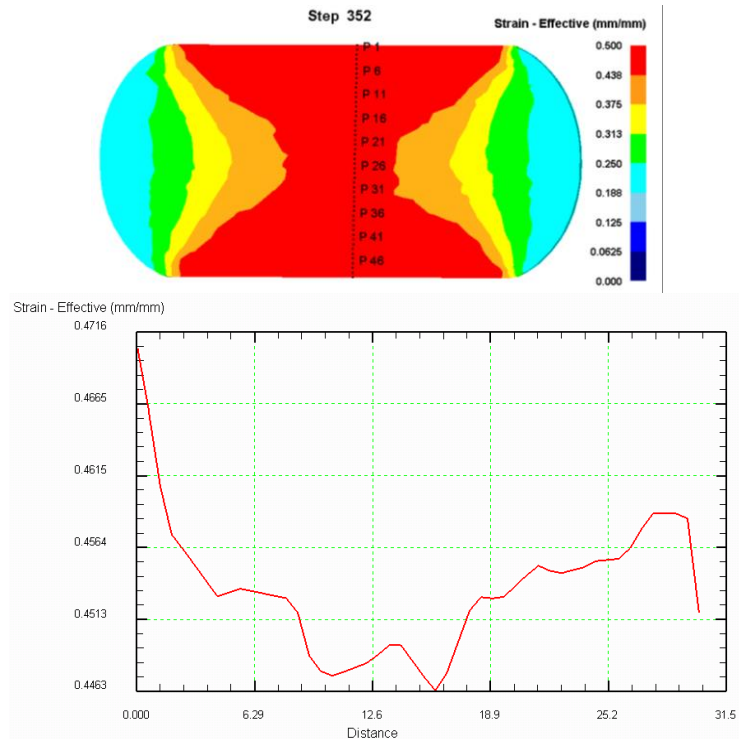


Рис. 8. Распределение деформации при прокатке на гладкой бочке в вертикальном направлении

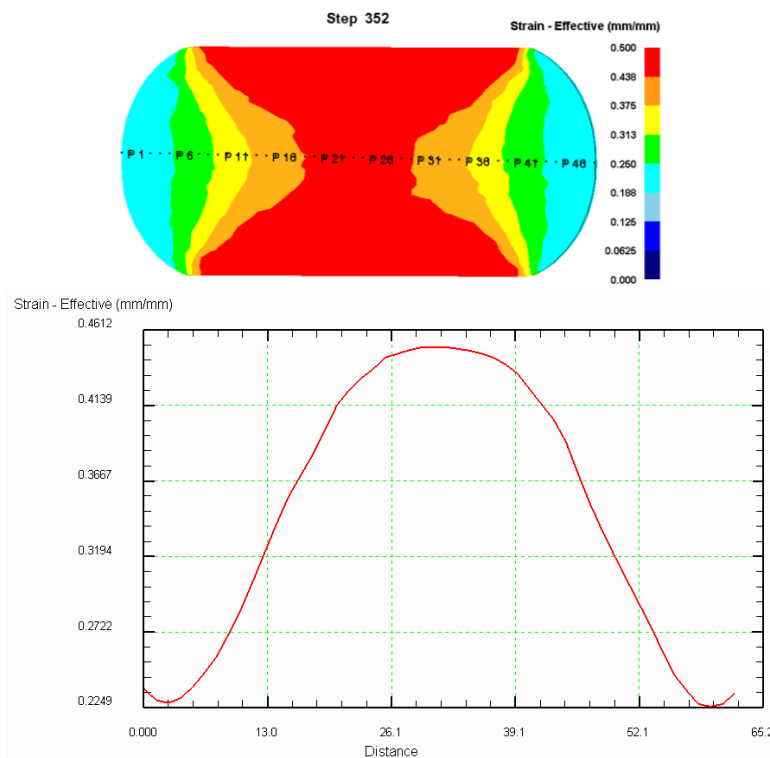


Рис. 9. Распределение деформации при прокатке на гладкой бочке в горизонтальном направлении

В целом, в вертикальном направлении распределение деформации составляет от 0,4463 до 0,4705 (разброс значений равен 5,4 %). В горизонтальном направлении распределение деформации составляет от 0,2249 до 0,4517 (разброс значений равен 100,8 %).

На графике усилия, как и в рассмотренных выше калибрах, видны две зоны. В зоне установившегося процесса прокатки значение усилия составляет примерно 184,3 кН (рис. 10).

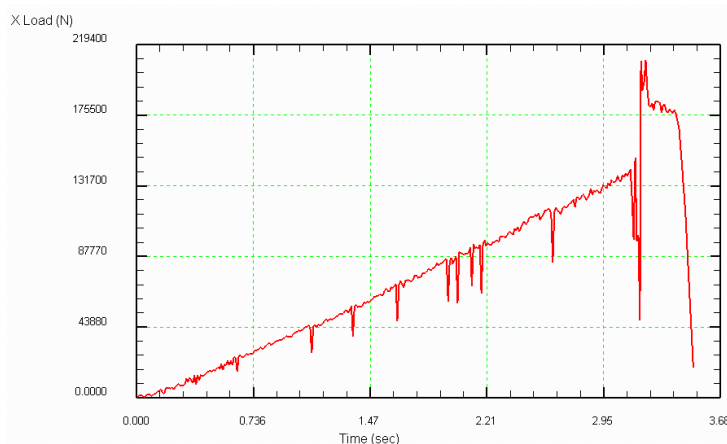


Рис. 10. Усилие при прокатке на гладкой бочке

### ВЫВОДЫ

1) При прокатке во всех трех вариантах предчистовых калибров распределение деформации носит неравномерный характер в вертикальном и горизонтальном направлениях.

2) Из рассмотренных калибров наиболее равномерное распределение деформации обеспечивает плоский овал с двойной вогнутостью, в котором разброс в вертикальном и горизонтальном направлениях примерно одинаков. В остальных двух калибрах разница разбросов довольно различная.

3) Анализ графиков усилия показал, что при прокатке в плоском овале и на гладкой бочке значения усилия не превышают значение для однорадиусного овала, что говорит о возможности использования данных калибров на существующем оборудовании без его модернизации.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов В.К. Калибровка прокатных валков. Учебное пособие для вузов / В. К. Смирнов, В. А. Шилов, Ю. В. Инатович. – Издание второе, переработанное и дополненное. – М.: Теплотехник, 2010. – 490 с.
2. Технология прокатного производства / М. А. Беняковский, К. Н. Богоявленский, А. И. Виткин [и др.] – М.: Металлургия, 1991. – 423 с.
3. Совершенствование калибровки валков для прокатки круглых и арматурных профилей / В. Н. Асанов, А. Б. Стеблов, О. Н. Тулупов, Д. В. Ленартович. – Сталь. – 2008. – №11. – С. 90–92.

### REFERENCES

1. Smirnov V.K. Kalibrovka prokatnyh valkov. Uchebnoe posobie dlja vuzov / V. K. Smirnov, V. A. Shilov, Ju. V. Inatovich. – Izdanie vtoroje, pererabotannoe i dopolnennoe. – M.: Teplotehnik, 2010. – 490 s.
2. Tehnologija prokatnogo proizvodstva / M. A. Benjakovskij, K. N. Bogojavlenskij, A. I. Vitkin [i dr.] – M.: Metallurgija, 1991. – 423 s.
3. Sovershenstvovanie kalibrovki valkov dlja prokatki kruglyh i armaturnyh profilej / V. N. Asanov, A. B. Steblov, O. N. Tulupov, D. V. Lenartovich. – Stal'. – 2008. – №11. – S. 90–92.

Кривцова О. Н. – канд. техн. наук, зав. каф. ОМД КГИУ  
 Кузьминова Н. Ю. – преп. каф. ОМД КГИУ  
 Сенюк В. – студент каф. ОМД КГИУ

КГИУ – Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау, Казахстан.

E-mail: [krivcova60@mail.ru](mailto:krivcova60@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 02.03.2016 г.