

УДК 621.771.23.04: 621.771.26: 621.778.1 - 422

Ключников К. Ю.  
Лохматов А. П.  
Воробей С. А.  
Сикачина И. В.  
Раздобреев В. Г.

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОФИЛЕЙ ЛЕНТОЧНОГО ТИПА ИЗ ЗАГОТОВОК КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ МЕТОДОМ ПРОКАТКИ-ВОЛОЧЕНИЯ

Профили ленточного типа широко используются в машиностроении, авиастроении, приборостроении и других отраслях промышленности. Производство профилей ленточного типа в Украине весьма ограничено. В последнее время освоено производство некоторых видов ленты на ОАО «Запорожсталь», в частности толщиной от 0,3 до 0,5 мм шириной от 10 до 500 мм из низкоуглеродистых сталей, которую получают путем роспуска холоднокатаного широкополосного проката. Однако для многих видов ленточных профилей требования к точности размеров выше, чем обеспечивает данная технология. Кроме того, особенностью потребности в лентах является большое количество типоразмеров и видов при относительно небольших объемах каждого типоразмера. Создание в этих условиях крупных специализированных предприятий по производству ленты экономически невыгодно. Так, по данным экономических исследований, проведенных в Германии [1], прокатывать профили на промышленных прокатных станах целесообразно только при их годовой потребности не менее 20 т каждого вида. Во всех остальных случаях, особенно для профилей простого сечения, целесообразно в качестве исходной заготовки использовать прокат массовых сечений (как правило – круглого).

Сложившиеся в мировой практике схемы производства высокоточных профилей (к которым относятся и профили ленточного типа мелких размеров) включают в себя получение заготовок способом горячего деформирования (прокаткой, прессованием) и последующую холодную деформацию [2]. Выбор конкретной схемы определяется экономическими соображениями (стоимостью изготовления одной тонны профилей) и средствами, которыми располагает завод для получения профилей, удовлетворяющих по качеству требованиям заказчика.

Для решения задачи по разработке технологии производства высокоточных профилей ленточного типа мелких сечений наибольший интерес представляют способы холодной деформации (прокатка, волочение в монолитных волоках и прокатка-волочение). Это обусловлено наименьшими требуемыми капитальными затратами на реализацию данной технологии, особенно при использовании в качестве заготовки массовых видов проката.

Преимуществами процесса непрерывной холодной прокатки (плющения) являются возможность корректировать уширение металла регулированием межклетевого натяжения. К недостаткам этого способа относятся большая металлоемкость оборудования; ограничение обжатия за проход, неконтролируемое уширением металла в областях, примыкающих к разьему валков [3]. Последний фактор вызывает опасность трещинообразования при плющении ленты с большим отношением ширины к толщине [4].

Главное преимущество процесса волочения в монолитных волоках – высокая точность получаемых размеров готового профиля. К недостаткам следует отнести значительное и неравномерно распределенное по периметру канала волоки трение между стенками этого канала и обрабатываемым металлом, что может приводить к искажению профиля; низкая стойкость волок; большие энергетические затраты; значительная трудоемкость процесса [1]. Таким образом, данный способ нецелесообразно применять для производства ленточных профилей мелких сечений из круглой заготовки.

Наиболее перспективным для производства профилей ленточного типа является процесс прокатки-волочения, который вобрал в себя преимущества как прокатки, так и волочения. В частности, данный способ характеризуется высокой износостойкостью деформирующего инструмента (стойкость стальных роликов в 2–3 раза выше, чем монолитных волок, изготовленных из твердого сплава), меньшая энергоемкость; более высокое качество поверхности и точность производимой продукции.

Основной недостаток способа прокатки-волочения - наличие тягового усилия, которое ограничивает сортамент изготавливаемых профилей по компактности их поперечного сечения, которая для профилей ленточного типа характеризуется отношением ширины к толщине. При производстве стальной ленты из заготовки круглого сечения из-за наличия растягивающих напряжений по кромкам, возникающих в результате неравномерности деформации по высоте профиля даже при плющении в приводных валках, металл на этих кромках может разрушаться. Добавление тягового напряжения, имеющего место в процессе прокатки-волочения, приводит к увеличению этих же напряжений. Поэтому, в сложившейся практике профили ленточного типа с отношением ширины к толщине больше двух прокаткой-волочением из круглой заготовки до недавнего времени не производили [5]. Вместе с тем, при параметрах процесса, не приводящих к достижению растягивающими напряжениями критических значений [6] процесс прокатки-волочения осуществляется устойчиво.

Целью настоящего исследования является разработка технологии производства профилей ленточного типа из заготовок круглого сечения методом прокатки-волочения с применением разгонных калибров для увеличения соотношения ширины лент и диаметра заготовки. При этом наиболее важной задачей является разработка системы калибров, обеспечивающих максимальное уширение металла, что позволит уменьшить диаметр заготовки и повысить экономическую эффективность разрабатываемого процесса.

Ранее выполненные исследования показали, что для производства профилей ленточного типа прокаткой-волочением в качестве исходной заготовки следует применять калиброванную круглую проволоку [7–9]. При выполнении предварительных исследований нами установлено, что необходимой технологической операцией перед деформацией заготовки в разгонном калибре является ее обжатие в гладких роликах. Задача в разгонный калибр заготовки круглого сечения с большой степенью вероятности может приводить к смещению ее по отношению к оси калибра и формированию несимметричного профиля, что не позволяет обеспечить требуемую точность продукции.

Следующим этапом аналитических исследований являлось определение рациональных размеров сечения заготовки перед разгонным калибром и рациональных параметров калибровки разгонного калибра с использованием математической модели процесса получения профилей ленточного типа из заготовок круглого сечения [10, 11]. Эти параметры определялись с учетом того, чтобы напряжения в металле при деформации не достигали критических значений [12].

Анализ формоизменения при деформации в разгонном калибре показал, что уширение металла, получаемое при использовании предварительно сплюснутых заготовок с разным отношением ширины к толщине, получается практически одинаковым. Однако уширение при последующей деформации в роликах с гладкой бочкой заготовки, полученной в разгонном калибре из плоской заготовки с отношением  $b/h < 2$ , примерно в 2,5 раза выше, чем при использовании ленты с отношением  $b/h > 2$ . Следовательно, использование плоской заготовки с отношением  $b/h < 2$  является более рациональным при ее деформации в разгонном калибре.

Анализ напряженно-деформированного состояния металла при деформации плоской заготовки в разгонном калибре показал, что наиболее значимыми технологическими параметрами процесса являются степень деформации по шейке профиля ( $h_0/h_{1u}$ ), угол наклона гребня ( $\angle_{ep}$ ) и радиус закругления гребня ( $R_{ep}$ ). Аналитические исследования по влиянию этих технологических параметров на изменение показателя  $\sigma_{max}/\sigma_m$  позволили разработать схему определения характеристик заготовки и параметров процесса прокатки-волочения профилей ленточного типа с применением разгонных калибров.

Полученные результаты использованы при разработке технологии и калибровки инструмента для производства лент сечением  $0,5 \times 12,0$  мм, предназначенных, в частности, для изготовления порошковой проволоки. Разработанная схема калибровки профиля ленточного типа сечением  $0,5 \times 12,0$  мм из исходной круглой заготовки диаметром 6,0 мм представлена на рис. 1. На рис. 2 показаны ролики с калибрами.

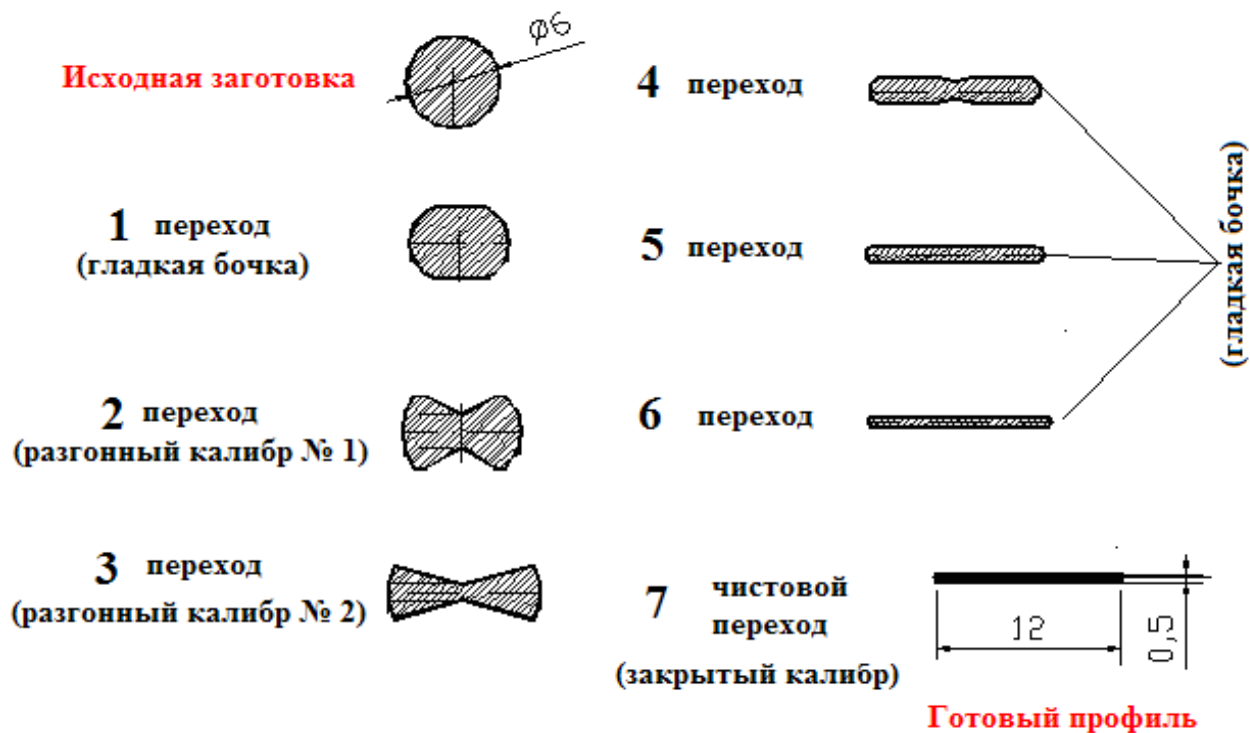


Рис. 1. Разработанная калибровка получения ленты сечением  $0,5 \times 12,0$  мм из круглой заготовки диаметром 6,0 мм

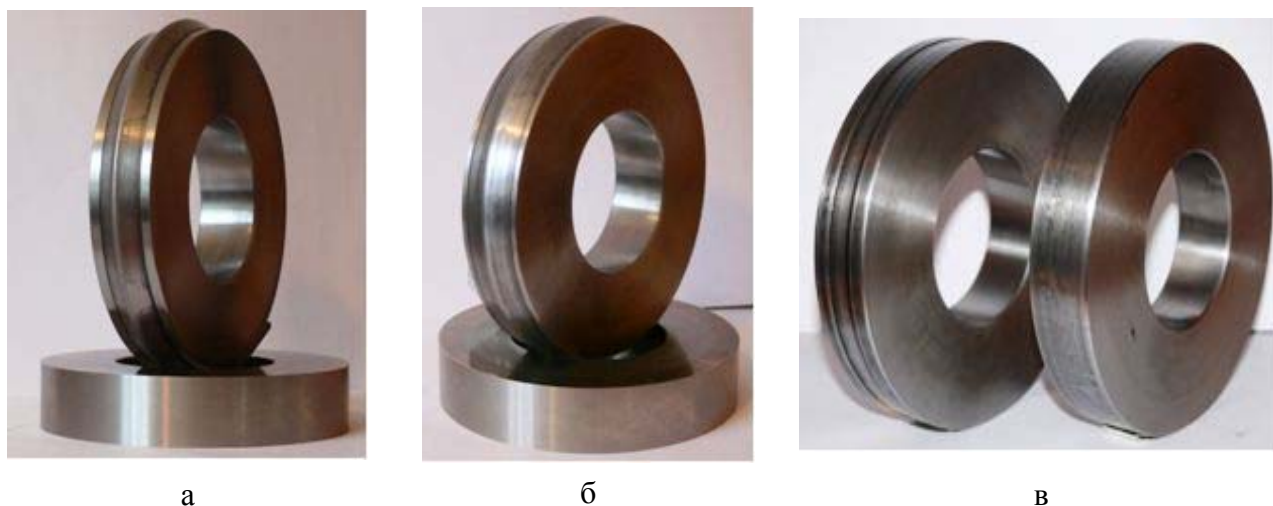


Рис. 2. Рабочие ролики разработанных разгонных калибров и чистового калибра:  
а – разгонный калибр № 1; б – разгонный калибр № 2; в – ролики чистового перехода

Разработанная калибровка предусматривает получение ленты за семь переходов. Первый переход представляет собой процесс плющения исходной круглой заготовки диаметром 6,0 мм с целью получения раската с отношением ширины к толщине меньше двух ( $b/h < 2$ ). Второй переход представляет собой деформацию плоской заготовки в разгонном калибре

с углом наклона гребня  $30^\circ$  (разгонный калибр № 1, рис. 2, а). Деформация в третьем переходе представляет собой развитие второго перехода, разница состоит в том, что применяются ролики с углом наклона гребня  $15^\circ$  (разгонный калибр № 2, рис. 2, б). Деформация в четвертом, пятом и шестом переходах осуществляется в роликах с гладкой бочкой. Седьмой переход представляет собой деформацию в чистовом закрытом калибре (рис. 2, в).

Разработанная технология производства ленты сечением  $0,5 \times 12,0$  мм из проволоки диаметром 6,0 мм опробована на предприятии ДП «ОЗПК-Днепр». Марка стали Св-08А. Химический состав стали и механические свойства заготовки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав стали и механические свойства заготовки

Содержание химических элементов, % (масс.)					Механические свойства		
С	Mn	Si	S	P	$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ , %
0,09	0,42	0,028	0,023	0,010	474	518	20

Основная техническая проблема при реализации процесса прокатки-волочения состояла в удержании полосы в линии протяжки при использовании разгонных калибров. При смещении металла с оси протяжки формировался несимметричный профиль, что не позволяло обеспечить производство ленты с заданной точностью геометрических размеров.

В связи с этим, для удержания полосы в разгонном калибре было принято решение о совмещении процесса плющения (1-й переход) и процесса деформации в разгонном калибре № 1 (второй переход) с уменьшенным внедрением гребней. За счет деформации в первой роликовой волоке (процесс плющения) создается противонапряжение перед разгонным калибром, которое способствует нормальному протеканию процесса деформации в последнем с образованием симметричного профиля. Для создания противонапряжения при дополнительном проходе в разгонном калибре № 1 и калибре № 2 применили устройство рихтовки. Величину противонапряжения, необходимую для нормального протекания процесса деформации в разгонных калибрах, определяли экспериментально.

На рис. 3 показан общий вид профилей после разгонных калибров и готовой ленты.

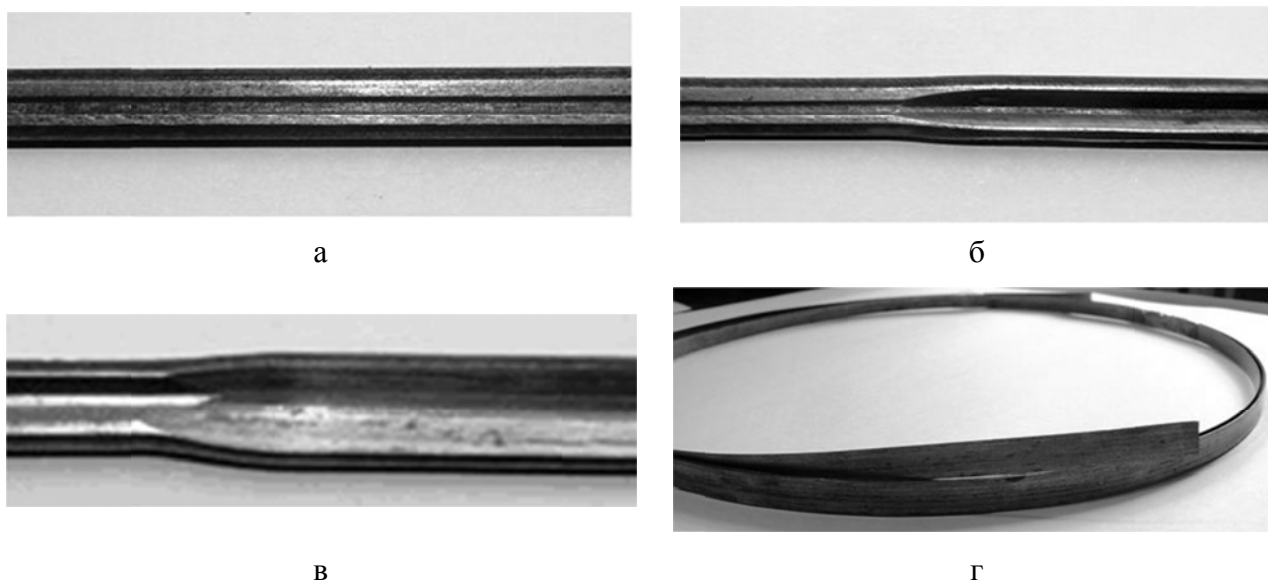


Рис. 3. Общий вид профилей:

а – после совмещенных переходов «плющение-калибр № 1»; б – при дополнительном переходе в калибре № 1; в – при переходе в калибре № 2; г – образец готовой ленты

На рис. 4 представлены графики изменения относительного обжатия и коэффициента уширения по переходам скорректированной калибровки получения профиля ленточного типа сечением  $0,5 \times 12,0$  мм из исходной круглой заготовки диаметром 6,0 мм.

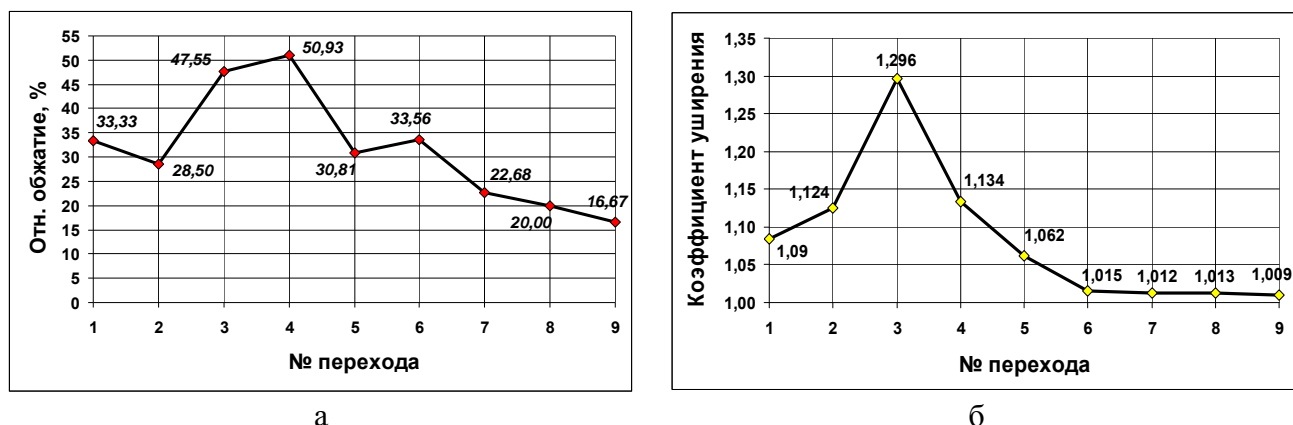


Рис. 4. Изменение относительного обжатия (а) и коэффициента уширения (б) по переходам скорректированной калибровки получения профиля сечением  $0,5 \times 12,0$  мм

При проведении опытного опробования разработанной технологии полосу профилем  $0,5 \times 12,0$  мм из проволоки диаметром 6 мм удалось получить без применения промежуточной термической обработки. Механические свойства ленты в нагартованном состоянии составили:  $\sigma_T = 828$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\sigma_B = 835$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\delta_4 = 3,5$  %. Таким образом, запас пластичности металла практически был исчерпан.

Точность полученных размеров ленты, в целом, соответствует требуемым. Так, согласно ГОСТ 503 отклонение от ширины лент данного размера должно составлять +3 мм для катаной и -0,3 мм для резаной. Фактическая разноширинность полученной ленты составила 0,2 мм. Отклонение толщины ленты согласно ГОСТ 503 не должно превышать 0...-0,05 мм, а согласно техническим условиям на ленту для порошковой проволоки – от  $\pm 0,025$  до  $\pm 0,05$  мм. Фактическая разнотолщинность полученной ленты составила 0,04 мм.

Отжиг ленты проводили по следующему режиму – нагрев до 690 °С, выдержка в течение 6 ч при этой температуре, ступенчатое охлаждение (до 500 °С – замедленно с печью, а затем – на воздухе). Механические свойства ленты после отжига составили:  $\sigma_T = 270$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\sigma_B = 380$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\delta_4 = 45$  %. Таким образом, свойства ленты соответствуют требуемым для категории ОМ (особо мягкая), хотя временное сопротивление разрыву находится на верхнем уровне. Следует отметить, что ГОСТ 503 допускает для лент категории ОМ превышение значения временного сопротивления на 30 Н/мм<sup>2</sup> (до 410 Н/мм<sup>2</sup>) при выполнении всех остальных норм.

## ВЫВОДЫ

Разработаны основные подходы к проектированию параметров нового процесса получения ленточных профилей из заготовок круглого сечения методом прокатки-волочения с использованием разгонных калибров, что позволяет увеличить отношение ширины ленты к диаметру исходной заготовки. В зависимости от толщины, ширины ленты и требований к механическим свойствам определяется диаметр заготовки, рациональный химический состав стали, необходимое количество промежуточных термообработок, параметры калибровки роликов, образующих разгонные калибры, и их количество, общее количество переходов.

Разработанная технология опробована в условиях ДП «ОЗПК-Днепр» при производстве ленты сечением  $0,5 \times 12$  мм из проволоки диаметром 6 мм. Подтверждена правильность предложенных подходов к разработке технологии производства профилей ленточного типа из заготовок круглого сечения способом прокатки-волочения с применением разгонных калибров.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калибрование фасонных профилей / В. Н. Аргунов, М. З. Ерманюк, А. И. Петров, М. В. Харитонович. – М. : *Металлургия*, 1989. – 208 с.
2. Зюзин В. И. Станы для производства специальных фасонных профилей за рубежом. Обзорная информация / В. И. Зюзин. – М. : *НИИинформтяжмаш*, 1970. – 62 с.
3. Авидон Д. А. Основные принципы разработки технологии изготовления фасонной проволоки / Д. А. Авидон // *Бюл. Ин-та «Черметинформация»*. – 1992. – № 6. – С. 33–37.
4. Песин А. М. Плющение стальной ленты / А. М. Песин, В. М. Салганик, К. Ю. Куранов. – *Магнитогорск : МГТУ*, 2004. – 157 с.
5. Гулько В. И. Производство профилей и проволоки в роликовых волоках / В. И. Гулько, В. А. Войцеховский, А. К. Григорьев. – *Ижевск : Удмуртия*, 1989. – 132 с.
6. Аналитическое и экспериментальное определение силовых характеристик процесса прокатки-волоочения / В. И. Гулько, В. М. Лушиков, В. А. Войцеховский [и др.] // *Машины, автоматы и прокатное производство : сб. науч. тр. / Московское Высшее Техническое Училище им. Н. Э. Баумана*. – М. : *МВТУ*, 1973 – Вып. 4. – С. 176.
7. Разработка основных подходов к проектированию параметров процесса плющения стальных лент широкого размерного сортамента прокаткой-волоочением / С. М. Жучков, К. Ю. Ключников, А. П. Лохматов [и др.] // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии : сб. науч. тр. / Институт Черной Металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины*. – *Днепропетровск : ИЧМ*, 2009. – Вып. 19. – С. 182–193.
8. Задачи исследования процесса получения высокоточных профилей методом волоочения в роликовых волоках / С. М. Жучков, А. П. Лохматов, К. Ю. Ключников, И. В. Сикачина // *Бюллетень ОАО «Черметинформация». Черная металлургия*. – 2006. – № 3. – С. 34–36.
9. Жучков С. М. Комплексная технология производства высокоточных профилей для изготовления высокостойких поршневых колец двигателей внутреннего сгорания / С. М. Жучков, Ю. Н. Голованов, Е. В. Барышев [и др.] // *«Металургійна наука – підприємствам Придніпров'я»: зб. наук праць*. – *Дніпропетровськ : Системні технології*, 2005. – Вып. 2. – С. 30–37.
10. Жучков С. М. Разработка метода исследования напряженно-деформированного состояния металла при волочении ленточных профилей в роликовых волоках / С. М. Жучков, А. П. Лохматов, К. Ю. Ключников // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: зб. наук. праць*. – *Краматорськ : ДДМА*, 2007. – С. 41–45.
11. Ключников К. Ю. Анализ основных положений математического моделирования процесса плющения круглой заготовки / К. Ю. Ключников, С. В. Ершов, А. П. Лохматов // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии : сб. науч. тр. ИЧМ. / Институт Черной Металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины*. – *Днепропетровск : ИЧМ*, 2005. – Вып. 11. – С. 118–130.
12. Исследование возможности применения математической модели напряженно-деформированного состояния металла в процессе прокатки-волоочения профилей ленточного типа при использовании разгонных калибров / С. А. Воробей, В. Г. Раздобреев, К. Ю. Ключников [и др.] // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр.* – *Краматорск : ДГМА*, 2010. – № 4 (25). – С. 52–56.

Ключников К. Ю. – мл. науч. сотрудник ИЧМ им. З. И. Некрасова НАН Украины;

Лохматов А. П. – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник ИЧМ им. З. И. Некрасова НАН Украины;

Воробей С. А. – д-р техн. наук, зав. отделом, ст. науч. сотрудник ИЧМ им. З. И. Некрасова НАН Украины;

Сикачина И. В. – вед. инж. ИЧМ им. З. И. Некрасова НАН Украины;

Раздобреев В. Г. – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник ИЧМ им. З. И. Некрасова НАН Украины.

ИЧМ им. З. И. Некрасова НАН Украины – Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова Национальной академии наук Украины, г. Днепропетровск.

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

Статья поступила в редакцию 10.10.2012 г.