

**С.М. Жучков**, **Е.В. Барышев**, **А.П. Лохматов**,  
**И.В. Сикачина**, **К.Ю. Ключников**, **Ю.С. Галенко**, **Л.П. Барышева**

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, Днепропетровск

## **ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ МЕТАЛЛА К ХОЛОДНОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ПРОФИЛИ ПРОСТЫХ И СЛОЖНЫХ СЕЧЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ**



Отработана технология газозвдушного патентирования проволочной заготовки на созданном экспериментальном технологическом участке подготовки металла к холодной деформации. Технология дает возможность получать микроструктуру проволочной заготовки с заданными механическими свойствами, аналогичными микроструктуре и свойствам той же заготовки после традиционного патентирования в расплаве соли или свинца. Идентичность микроструктуры и свойств проволочной заготовки после газозвдушного и традиционного патентирования обуславливает одинаковый характер изменения свойств в процессе холодной пластической деформации.

*Ключевые слова:* участок подготовки металла, газозвдушное патентирование, холодная деформация, профили простых и сложных сечений.

Участок подготовки металла к холодной деформации профилей в условиях неспециализированного производства оборудован в отделении стендовых установок Отдела физико-технических проблем прокатки сортового и специального проката Института черной металлургии (ИЧМ) им. З.И. Некрасова НАН Украины в соответствии с проектом ГП «Украинский Государственный Институт по проектированию металлургических заводов» (ГП «Укрспромез») [1]. Создание этого участка основано на использовании нетрадиционных решений и подходов к разработке технологических схем производства холоднодеформированного проката, разработанных в ИЧМ при выполнении ряда фундаментальных исследований [2–5].

Участок подготовки металла к холодной деформации включает комплекс взаимосвязанных агрегатов, установленных в единой технологической линии (рис. 1). Он состоит из установленных по ходу технологического процесса размоточного устройства 1; средства нагрева металла, выполненного в виде электроконтактного нагревателя 2, вместо газовых или электрических муфелей сопротивления; блока газозвдушного охлаждения 3 и блока термостатирования металла 4, примыкающего к блоку газозвдушного охлаждения, вместо традиционных ванн с расплавами свинца или солей; устройства водозвдушного охлаждения 5 вместо водяной ванны; устройства механического удаления окалины 6 вместо комплекса кислотного травления; устройства для нанесения подмазочного слоя на поверхность металла 7; намоточного устройства 8.

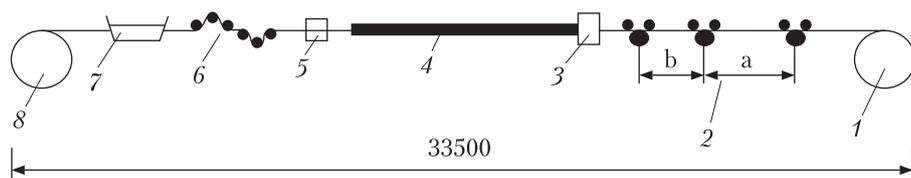


Рис. 1. Схема размещения агрегатов экспериментального участка подготовки металла к холодной деформации

Рабочие органы комплекса указанных агрегатов, установленных в единой технологической линии, образуют технологическую ось процесса.

Работа на участке осуществляется следующим образом.

Моток заготовки (проволоки или катанки) диаметром 2,5÷8,0 мм из высокоуглеродистой стали, предназначенной к последующей холодной деформации в высокоточные профили для машиностроения, устанавливают на размоточное устройство. Передний конец заготовки последовательно заправляют в рабочие органы всех перечисленных выше агрегатов, составляющих технологическую линию. Перемещение заготовки вдоль технологической оси процесса обеспечивается посредством намоточного устройства.

Нагревают заготовку до температуры 950–1050 °С с помощью электроконтактного нагревателя, собранного по двухплечевой схеме. При нагреве до указанных температур вследствие рекристаллизации в металле происходят структурные изменения. Образуется структура аустенита. После этого нагретую заготовку охлаждают в блоке газовой дегазации посредством высокоскоростных воздушных потоков. Режим газовой дегазации (скорость охлаждения, температура поверхности металла и пр.) устанавливают, исходя из требований к готовой холоднодеформированной продукции по структуре, комплексу механических свойств и служебных характеристик, определяемых ее назначением.

Охлажденная в блоке газовой дегазации (на первой стадии охлаждения) высокоскоростными воздушными потоками до температуры 450–600 °С заготовка поступает

в блок термостатирования металла. В блоке термостатирования в зависимости от назначенного режима обработки, определяемого маркой стали обрабатываемой заготовки и ее назначением, осуществляют изотермическую выдержку металла, его замедленное охлаждение или подогрев. Окончательное охлаждение заготовки осуществляют в устройстве водовоздушного охлаждения, установленном после блока термостатирования. В зависимости от диаметра обрабатываемой заготовки, марки стали и ее назначения используют цилиндрические рабочие камеры с разными внутренними диаметрами и длиной. Охлажденная заготовка поступает в устройство механического удаления окалины знакопеременным изгибом. Амплитуда знакопеременного изгиба заготовки может изменяться в пределах 50–500 мм. Изменение амплитуды необходимо для надежного бездефектного удаления окалины с поверхности заготовки диаметром 2,5÷8,0 мм, т.е. всего размерного сортамента, обрабатываемого на созданной технологической линии. При этом малые величины амплитуды знакопеременного изгиба используются при обработке больших профилеразмеров заготовки, большие амплитуды — при обработке заготовки малых диаметров.

Очищенная от окалины заготовка поступает в устройство для нанесения подслоя смазки на ее поверхность. Для обеспечения надежного нанесения подслоя смазки на поверхность заготовки всего размерного сортамента это устройство выполнено с возможностью регулирования длины его рабочей зоны в пределах 150–890 мм. Обработку больших профилеразмеров заготовки осуществляют при

максимальной длине рабочей зоны устройства. С уменьшением профилиразмера заготовки уменьшают длину рабочей зоны устройства.

Обработанную на технологической линии подготовки металла к холодной деформации заготовку сматывают в мотки или на катушки с помощью намоточного устройства. Полученная заготовка с заданной структурой металла, сформированная в процессе термической обработки (без окалины на ее поверхности) с нанесенным подмазочным слоем, подготовлена к последующему холодному деформированию.

Таким образом, предложенные нетрадиционные технические решения обеспечивают многовариантную подготовку металла к последующему холодному деформированию. В процесс подготовки включено формирование требуемой структуры и механических свойств, эффективное бескислотное удаление окалины с поверхности металла, нанесение, при необходимости, подмазочного слоя на поверхность металла и пр. Предусмотрено также уменьшение затрат времени, материальных и энергетических ресурсов на осуществление этой подготовки. В целом это позволяет получить требуемый результат — повысить качество подготовки металла к последующему холодному деформированию и, как следствие, повысить качество холоднодеформированных профилей, получаемых из этого металла, без ухудшения экологической ситуации на технологическом участке, особенно в условиях неспециализированного производства.

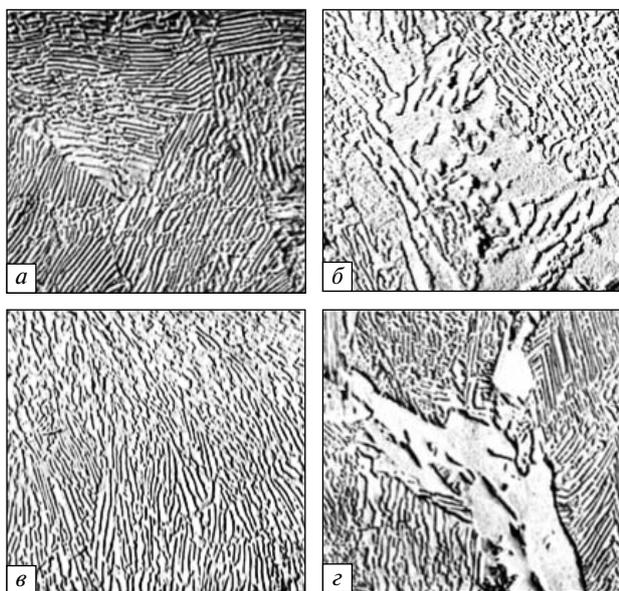
Результаты предварительных исследований, проведенных при опробовании экспериментального технологического участка, показали, что формирующиеся микроструктура и свойства проволоочной заготовки, подвергнутой охлаждению высокоскоростным воздушным потоком по технологии газозвушного патентирования, аналогичны микроструктуре и свойствам, формируемым после охлаждения в расплаве селитры (свинца). Однако основным критерием оценки качества заготовки после патентирования следует считать способность

ее к холодной пластической деформации, определяющей конечный комплекс свойств.

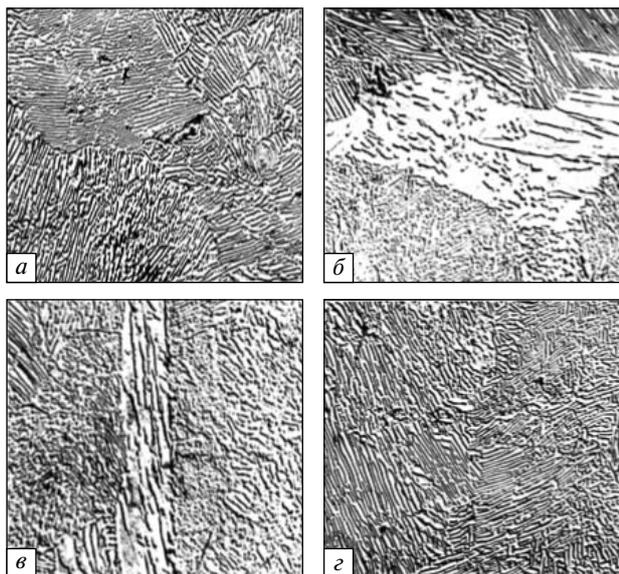
Поэтому целью дальнейших исследований явилось установление влияния холодной пластической деформации на свойства катанки-проволоки из углеродистой стали после газозвушного патентирования и опытно-промышленная отработка этого процесса при производстве фасонной ленты, предназначенной для изготовления стальных поршневых колец на ОАО «Одесский завод поршневых колец» (ОЗПК).

Газозвушному патентированию подвергали катанку диаметром 5,5 мм из стали 70. В качестве охлаждающей среды использовали воздушный поток со скоростью истечения 90–100 м/сек. Температура нагрева перед охлаждением в блоке газозвушного патентирования составляла  $950 \pm 5$  °С. Заготовка после газозвушного патентирования должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к аналогичной заготовке после традиционного патентирования с применением расплава свинца ( $\sigma_6 = 1077–1127$  МПа и  $\delta_5$  не менее 10 %).

Обработанную проволоку подвергали механическим испытаниям на разрыв. Образцы отбирались через каждые 2 м по длине мотка. Испытания показали высокую стабильность свойств катанки-проволоки после газозвушного патентирования. Разброс временного сопротивления разрыву (предел прочности), как правило, не превышал 30 МПа, а единичные выпадения не выходили за пределы 50 МПа, что полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к патентованной катанке-проволоке. Средние значения предела прочности, относительного удлинения, микротвердости проволоочной заготовки соответственно составили 1093 МПа, 17,8 % и  $343 H_{\mu}^{200}$ . Для сравнения влияния холодной пластической деформации на свойства металла после газозвушного и традиционного патентирования в лабораторных условиях осуществили обработку образцов той же заготовки в расплаве свинца с температурой 535 °С. В результате этой обработки был достигнут



**Рис. 2.** Микроструктура образцов из стали 70, образующаяся после патентирования с использованием в качестве охлаждающей среды высокоскоростного воздушного потока



**Рис. 3.** Микроструктура образцов из стали 70, образующаяся после патентирования с использованием в качестве охлаждающей среды расплава свинца

уровень механических свойств, близкий к уровню механических свойств заготовки, подвергнутой газозвушному патентированию. При этом

средние значения предела прочности, относительного удлинения и микротвердости составили соответственно 1124 МПа, 13,4 % и  $361 H_{\mu}^{200}$ .

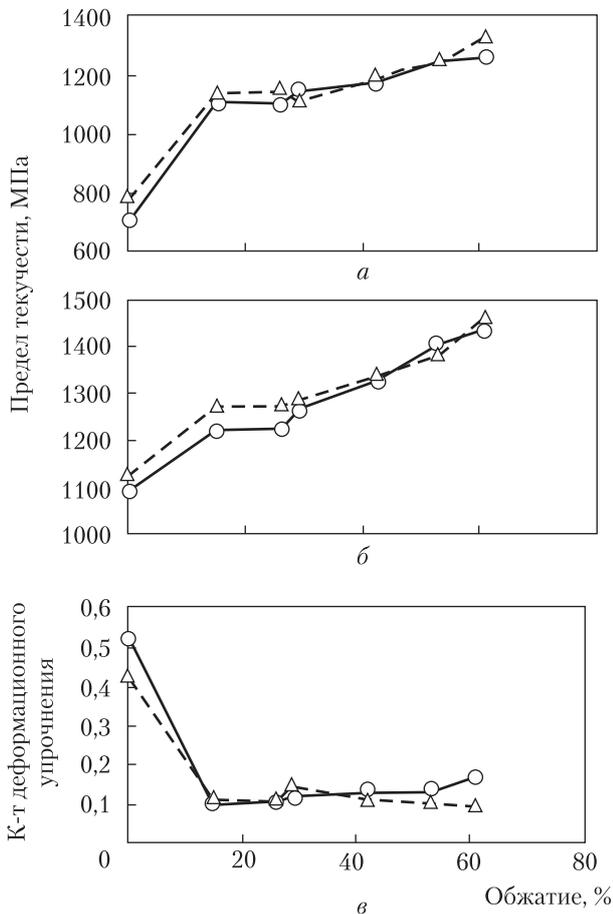
Изучение микроструктуры образцов перед их волочением показало, что структуры металла после патентирования с использованием в качестве охлаждающей среды высокоскоростного воздушного потока и расплава свинца принципиально не отличаются. Проведенные электронно-микроскопические исследования показали, что формирующаяся микроструктура в обоих случаях представляет собой преимущественно мелкодисперсный перлит (сорбит) (рис. 2, а, в; рис. 3, а, в). Величина среднего межпластиночного расстояния для образцов из стали, охлажденной высокоскоростным воздушным потоком, составила 0,075 мкм, а для образцов из стали, охлажденной в расплаве свинца, — 0,063 мкм. Вместе с тем в структуре исследованных образцов наблюдалось образование верхнего бейнита (рис. 2, б, з; рис. 3, б, з). Следует отметить, что представленная на рис. 2, з микроструктура верхнего бейнита идентична микроструктуре, классифицируемой авторами работы [6] как сорбит с избыточным ферритом. Однако выделяющиеся карбиды внутри ферритной составляющей этих микроструктур свидетельствуют о том, что это не избыточный (доэвтектоидный) феррит, а один из типов верхнего бейнита [7].

Прочностные свойства и параметры деформационного упрочнения определяли из анализа кривых растяжения образцов после волочения в лабораторных условиях с использованием испытательной машины JF. Скорость деформации волочением при этом составляла приблизительно  $10^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Волочение патентированной заготовки-проволоки проводили до диаметра 3,2 мм с частными обжатиями ( $Q$ ) 16, 26, 29, 42, 53 и 61 %.

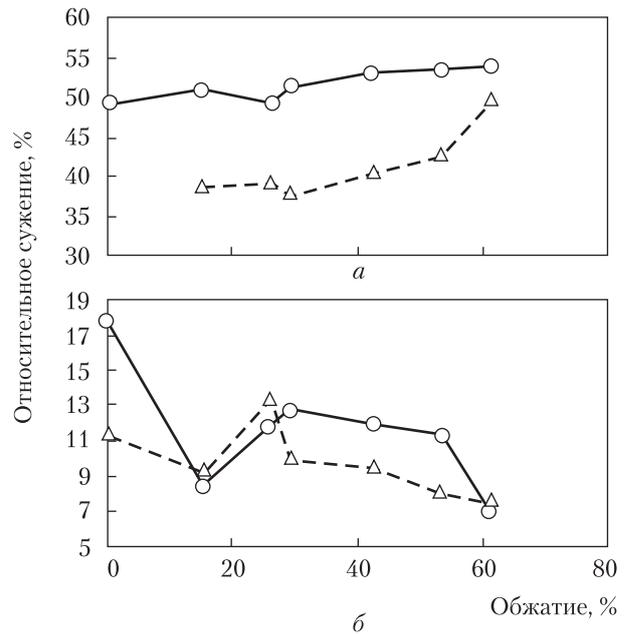
Исследования влияния степени холодной пластической деформации волочением на значения условного предела текучести ( $\sigma_{0,2}$ ), предела прочности и коэффициента деформационного упрочнения показали принципиально одинаковый характер изменения этих свойств

патентированной заготовки, охлажденной воздушным потоком и в расплаве свинца (рис. 4).

Из рис. 4, а, б видно, что обжатие до 16 % приводит к интенсивному упрочнению, которое, по имеющимся сведениям [5], сопровождается частичным образованием ячеистой структуры, увеличением плотности дислокаций в стенках ячеек и снижением коэффициента деформационного упрочнения (рис. 4, в). Обжатие от 16 до 30 % приводит к образованию полностью сформированной ячеистой структуры [6], сопровождающемуся отсутствием изменения предела текучести и предела прочности (4, а, б). Последующее увеличение деформации до 61 % приводит к исчезновению имеющейся ис-



**Рис. 4.** Влияние величины обжатий на свойства стали 70, охлажденной воздушным потоком (О) и в расплаве свинца (Δ)



**Рис. 5.** Влияние величины обжатий на пластические свойства стали 70, охлажденной воздушным потоком (О) и в расплаве свинца (Δ)

ходно разницы в величине предела прочности и предела текучести. Вместе с тем анализ изменения пластических характеристик образцов, охлажденных воздушным потоком и в расплаве свинца, показал различное изменение значений относительного сужения (рис. 5, а) и относительного удлинения (рис. 5, б) в процессе холодной пластической деформации. Из приведенных на рис. 5 соответствующих зависимостей видно некоторое повышение значений относительного сужения и относительного удлинения как исходной заготовки, подвергнутой воздушному охлаждению, так и после ее деформации по сравнению с заготовкой, охлажденной в расплаве свинца. С увеличением степени деформации значения относительного сужения и относительного удлинения заготовки после охлаждения воздушным потоком и в расплаве свинца становятся практически одинаковыми.

Для определения качества проволочной заготовки после газозвушного патентирования были проведены также испытания на скручивание. Определение числа скручиваний прово-

дилось по ГОСТ 1545 на расчетной длине 80 мм с помощью испытательной машины К-5.

Число скручиваний исходной проволоочной заготовки составило: 7 — для образцов после охлаждения воздушным потоком и 8 — для образцов после охлаждения в расплаве свинца. После холодной пластической деформации с обжатием 26, 42 и 61 % число скручиваний составило: 8, 8,5 и 10 — для образцов после охлаждения воздушным потоком и 7, 9,5 и 10 — для образцов после охлаждения в расплаве свинца соответственно.

Промышленная переработка заготовки-проволоки после газозвушного патентирования осуществлялась на дочернем предприятии Одесского завода поршневых колец (ООО «Кольцо»), производящем стальную ленту для этого завода.

Катанка диаметром 5,5 мм после газозвушного патентирования подвергалась волочению. Волочение осуществляли в два прохода на волочильном стане UDZSA 2500/6 по маршруту 5,50 → 4,70 → 3,95 мм ( $Q = 40\%$ ) при скорости волочения 180 и 209 м/мин соответственно. Волочение проходило стабильно, без обрывов, захват смазки был нормальный. После волочения проволока диаметром 3,95 мм подвергалась плющению прокаткой-волочением в четырехроlikовой клетки-волоке на чистой размер 2,17 × 4,10 мм. Полученная стальная лента имела предел прочности 1510–1560 МПа, твердость 37–38 HRC<sub>3</sub> и выдерживала 4–6 переменных гибов на ребро, что соответствует ТУ У.00235878.003–98 на стальную ленту специального профиля, предназначенную для изготовления поршневых колец двигателей внутреннего сгорания.

### ВЫВОДЫ

1. Технология газозвушного патентирования, отработанная на созданном экспериментальном технологическом участке для подготовки стальных заготовок к холодной деформации, обеспечивает получение микроструктуры и механических свойств проволоочной заготовки, аналогичных микроструктуре и ме-

ханическим свойствам той же заготовки после традиционного патентирования заготовок в расплаве солей или свинца.

2. Идентичность микроструктуры и свойств проволоочной заготовки после газозвушного и традиционного патентирования приводит к одинаковому характеру изменения свойств в процессе холодной пластической деформации.

3. Технология газозвушного патентирования обеспечивает достижение требуемых ТУ У.00235878.003–98 прочностных и пластических свойств холоднотянутой стальной ленты, используемой ОАО ОЗПК для изготовления поршневых колец двигателей внутреннего сгорания.

При этом наиболее высокий выход годных изделий на ОЗПК (90–100) % из стали 70 обеспечивался при микроструктуре патентированной заготовки, состоящей из (70–85) % сорбита патентирования, (0–30) % зернистого бейнита и/или (0–25) % нижнего бейнита. Присутствие в структуре до 5 % феррита и/или до 5 % мелкопластинчатого перлита не ухудшает свойств заготовки. Следует все же отметить, что появление в микроструктуре заготовки мартенсита и бесструктурного мартенсита-гарденита уже в количестве 1–3 % каждого приводит к резкому снижению выхода годных изделий при навивке спиралей и потому недопустимо.

Полученные характеристики микроструктуры рекомендованы для включения в перечень оценочных показателей при приемо-сдаточном контроле термообработанной на экспериментальном участке заготовки перед ее холодной деформацией и включены в технические условия «Дріт сталевий термічно оброблений» ТУ У 27.3 – 23365425 – 638:2008.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Создание* энергосберегающего и экологически чистого участка подготовки металла для холодной деформации в профили простых и сложных сечений / С.М. Жучков, Е.В. Барышев, А.П. Лохматов, В.А. Луценко, К.Ю. Клочников // Наука та інновації. — 2009. — Т. 5, № 6. — С. 36–46.
2. *Жучков С.М., Голованов Ю.Н., Барышев Е.В. и др.* Комплексная технология производства высокоточных

- профилей для изготовления высокостойких поршневых колец двигателей внутреннего сгорания / Збірник наукових праць «Металургійна наука — підприємствам Придніпров'я», 2-й випуск, Дніпропетровськ «Системні технології». — 2005. — С. 30—37.
3. Жучков С.М., Лохматов А.П., Ключников К.Ю., Кармазина Ю.В. Анализ напряженно-деформированного состояния металла при волочении круглой заготовки в свободно вращающихся валках с гладкой бочкой // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. — 2008. — № 1. — С. 106—111.
  4. Марциниев Б.Ф., Горбанев А.А., Борисенко А.Ю. и др. Формирование структуры и свойств катанки при охлаждении высокоскоростным воздушным потоком // Металлургическая и горнорудная промышленность. — 2001. — № 6. — С. 66—70.
  5. Луценко В.А., Парусов Э.В., Тищенко В.А. и др. Современные научные и технологические аспекты производства высокоэффективных видов катанки различного назначения // Металлургическая и горнорудная промышленность. — 2005. — № 1. — С. 58—73.
  6. Гридиев В.Н., Гаврилюк В.П., Мешков Ю.Я. Прочность и пластичность холоднодеформированной стали. — К.: Наук. думка, 1974. — 232 с.
  7. Электронная микроскопия в металловедении. Справ. изд. / А.В. Смирнова, Г.А. Кокорин, С.М. Полоская и др. — М.: Металлургия, 1985. — 192 с.

*С.М. Жучков, Е.В. Барішев,  
О.П. Лохматов, І.В. Сікачина, К.Ю. Ключников,  
Ю.С. Галенко, Л.П. Барішева*

ВІДПРАЦЬОВУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ  
ПІДГОТОВКИ МЕТАЛУ  
ДО ХОЛОДНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ В ПРОФІЛІ  
ПРОСТИХ І СКЛАДНИХ ПЕРЕРІЗІВ ЗА УМОВ  
НЕСПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ВИРОБНИЦТВ.

Відпрацьовано технологію газоповітряного патентування дротової заготовки на створеній експерименталь-

ній технологічній ділянці підготовки металу до холодної деформації. Технологія дає можливість отримувати мікроструктуру дротової заготовки із заданими механічними властивостями, аналогічними мікроструктурі й властивостям тієї ж заготовки після традиційного патентування в розплаві солі або свинцю. Ідентичність мікроструктури й властивостей дротової заготовки після газоповітряного й традиційного патентування обумовлює однаковий характер зміни властивостей у процесі холодної пластичної деформації.

*Ключові слова:* ділянка підготовки металу, газоповітряне патентування, холодна деформація, профілі простих і складних перерізів.

*S. Zuchkov, E. Barishev, A. Lohmatov, I. Sikachina,  
K. Klyuchnikov, Y. Galenko, L. Barisheva*

FULFILLMENT OF THE TECHNOLOGY  
OF METAL PREPARATION FOR COLD  
DEFORMATION IN STRUCTURES  
OF SIMPLE AND COMPLEX SECTIONS  
AT THE NON SPECIALIZED MANUFACTURES

The technology of wire preparation gas-air patenting on the created experimental technological site of metal preparation for cold deformation is fulfilled. It allows receiving wire preparation microstructure with given mechanical properties, similar to microstructure and properties of the same preparation after traditional patenting in salt or Pb melt. The identity of microstructure and properties of wire preparation after gas-air and traditional patenting results in identical character of properties change during cold plastic deformation.

*Key words:* metal preparation site, gas-air patenting, cold deformation, structures of simple and complex sections.

Надійшла до редакції 26.02.09