

УДК 621.774.38: 621.181.021:669.14

Опрышко Л.В., Ветлянская А.Д., Давыдова Ю.В.

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВА
НА ЖАРОПРОЧНЫЕ СВОЙСТВА КОТЕЛЬНЫХ
ТОЛСТОСТЕННЫХ ГОРЯЧЕПРЕССОВАННЫХ ТРУБ,
ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ НЕДЕФОРМИРОВАННОЙ
НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ**

Досліджені характеристики жароміцності металу котельних товстостінних гарячепресованих труб, виготовлених з різними коефіцієнтами витяжки з недеформованої безперервнолітої заготовки різного рівня якості. Показаний взаємозв'язок тривалої міцності та тривалої пластичності з особливостями структурного стану металу цих труб, успадкованого від початкової заготовки і формованого в процесі пресування і термічної обробки труб.

Исследованы характеристики жаропрочности металла котельных толстостенных горячепрессованных труб, изготовленных с различными коэффициентами вытяжки из недеформированной непрерывнолитой заготовки разного уровня качества. Показана взаимосвязь длительной прочности и длительной пластичности с особенностями структурного состояния металла этих труб, наследуемого от исходной заготовки и формируемого в процессе прессования и термической обработки труб.

Heat resistance characteristics of metal of thick-walled hot extruded boiler tubes produced at various elongation coefficients from non-deformed continuously cast billets of various quality degrees were investigated. Interrelation of long-term strength and long-term ductility with the features of the structural state of metal of such tubes inherited from the starting billet and formed in the process of extrusion and heat treatment of the tubes was shown.

Введение

Для производства горячедеформированных труб из углеродистой стали по ТУ 14-3-460 «Трубы стальные бесшовные для паровых котлов и трубопроводов», наряду с катаной или кованой заготовкой, полученной из слитка стационарной или непрерывной разливки с регламентируемым нормативной документацией коэффициентом вытяжки или уковом, используют недеформированную непрерывнолитую заготовку.

Такая технология внедрена на ОАО «Волжский трубный завод» (ОАО «ВТЗ»), для которого ГП «НИТИ», с учетом имеющегося на этом предприятии современного оборудования (прессовых линий и электрометаллургического комплекса с УНРС), разработало принципиально новую энергосберегающую технологию изготовления котель-

ных труб способом горячего прессования непосредственно из недеформированной непрерывнолитой заготовки [1, 2].

ОАО «ВТЗ» может изготавливать по новой технологии согласно требований ТУ 14-3-460 промышленные партии котельных горячепрессованных труб из стали 20 диаметром до 219 мм и толщиной стенки до 20 мм.

Для получения разрешения Котлонадзора на применение таких труб в объектах теплоэнергетики на критические и сверхкритические параметры пара и соответственно включения их в требования ТУ 14-3-460 потребовалось проведение исследований жаропрочных свойств толстостенных труб.

Материалом для исследований послужили котельные горячепрессованные трубы размерами 168×22, 168×26, 168×30 и 219×26 мм из стали 20, изготовленные с различными коэффициентами вытяжки (9,5; 8,3; 7,4 и 6,1 соответственно) на прессовой линии усилием 55 МН ОАО «ВТЗ». Для производства этих труб использовали недеформированную непрерывнолитую заготовку по ТУ 14-1-5319 «Заготовка непрерывнолитая для котельных труб» диаметром 350 мм различных плавок: пл. 291401 (трубы 168×22 мм), пл. 29779 (трубы 168×26 и 168×30 мм) и пл. 261644 (трубы 219×26 мм). Химический состав металла заготовок всех 3-х плавок по содержанию углерода и основных легирующих элементов был практически идентичен и удовлетворял требованиям ТУ 14-1-5319. Исследования жаропрочных свойств металла труб диаметром 168 мм с различными толщинами стенок проводили после нормализации, а труб размером 219×26 мм – после горячего прессования и нормализации. Качество металла труб всех исследованных размеров и состояний по кратковременным механическим свойствам при комнатной и повышенной температурах, технологическим свойствам и структуре (полосчатости и ориентации по видманштетту) отвечало всем требованиям ТУ 14-3-460. Испытания на длительную прочность проводили на цилиндрических образцах диаметром рабочей части 10 мм при температуре 450°C и напряжениях 140-250 Н/мм². Максимальное время до разрушения образцов от труб всех исследованных размеров и состояний (вариантов) составило 24-27 тыс. часов при напряжении 140 Н/мм². Суммарное время до разрушения образцов от трубы одного варианта составило 80-150 тыс. часов.

По данным жаропрочных испытаний построены кривые и методом экстраполяции определены пределы длительной прочности за 100 тыс. часов металла всех исследованных труб (табл. 1).

Таблица 1

Значения предела длительной прочности металла труб

Размер труб, D×S, мм	Состояние металла труб	Предел длительной прочности за 100 тыс. часов, $\sigma_{д.п.}^{10^5}$, Н/мм ²
168×22	после нормализации	100,0
168×26	после нормализации	108,0
168×30	после нормализации	76,0
219×26	после горячего прессования	108,0
	после нормализации	106,0
Норма по ТУ 14-3-460		78,0
С учетом допустимого ТУ 14-3-460 20% -ного снижения		62,0

Полученные результаты свидетельствуют о соответствии длительной прочности труб всех вариантов требованиям ТУ 14-3-460. Значение предела длительной прочности металла практически всех исследованных труб превышает норму, а для труб размером 168×30 мм находится в интервале допустимого техническими условиями 20% -ного снижения от нормы.

Металл труб размером 219×26 мм, изготовленных с низким коэффициентом вытяжки ($\mu = 6,1$), в различных состояниях (горячепрессованном и нормализованном), наряду с высокой длительной прочностью, отличается высокой длительной пластичностью (относительным удлинением) – 27,9-38,9 %. Нормализация незначительно снизила длительную прочность этих труб, повысив средний уровень длительной пластичности.

Длительная пластичность нормализованных с отдельного нагрева труб диаметром 168 мм более низкая, особенно с толщиной стенки 22 мм и изменяется в широком диапазоне: 8,0-29,1 %.

Металлографические исследования разрушенных образцов с разным уровнем длительной пластичности показали наличие в металле образцов с более низкими значениями этого показателя неоднородной структуры с видманштеттом и неравномерным (аномальным) распределением структурных составляющих (рис. 1-3). Наиболее ярко эта особенность выражена в трубах размером 168×22 мм.

Микроструктура разрушенных образцов от труб размером 219×26 мм как в горячепрессованном, так и нормализованном состояниях характеризуется однородностью и равномерным распределением структурных составляющих (рис. 4).

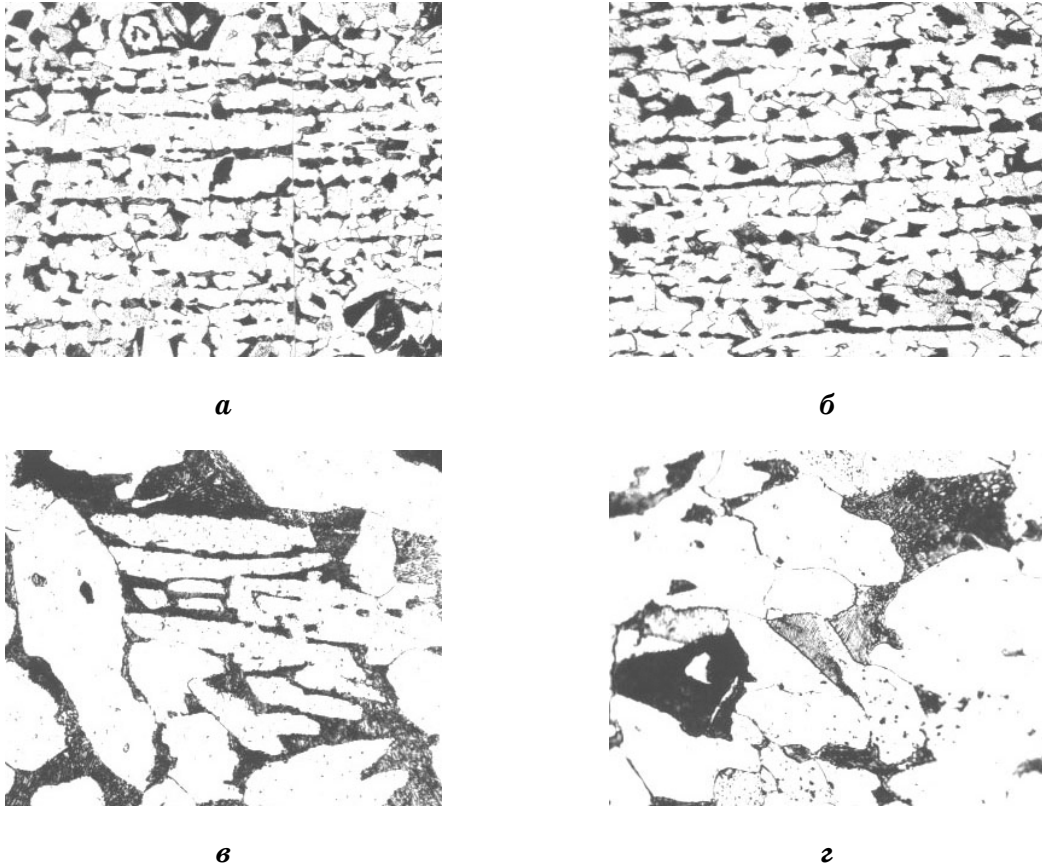


Рисунок 1 – Микроструктура металла разрушенных образцов от труб размером 168×22 мм с низкой (а, в) и высокой (б, г) длительной пластичностью. Травление в 5 %-ном растворе HNO₃: а, в - $\delta = 11,0$ %; б, г - $\delta = 23,7$ %; а, б - $\times 100$; в, г - $\times 500$

Исследованиями ГП «НИТИ», выполненными ранее, выявлена зависимость структуры и свойств, в том числе жаропрочных, металла горячепрессованных труб, полученных из недеформированной непрерывнолитой заготовки углеродистой стали, от коэффициента вытяжки при прессовании [4, 5].

Установлено, что с уменьшением коэффициента вытяжки увеличивается неоднородность структуры горячепрессованных труб, что приводит к большему разбросу данных по длительной пластичности и снижению длительной прочности металла труб. Показано, что такая закономерность в большей степени проявляется в трубах, полученных из заготовки, имеющей развитую зону трансформации с дендритной ликвацией. Выявлено, что структурная неоднородность металла труб наследуется от непрерывнолитой заготовки с грубой макро- и микроструктурой и при прессовании с коэффициентом вытяжки менее 10,0 полностью не устраняется.

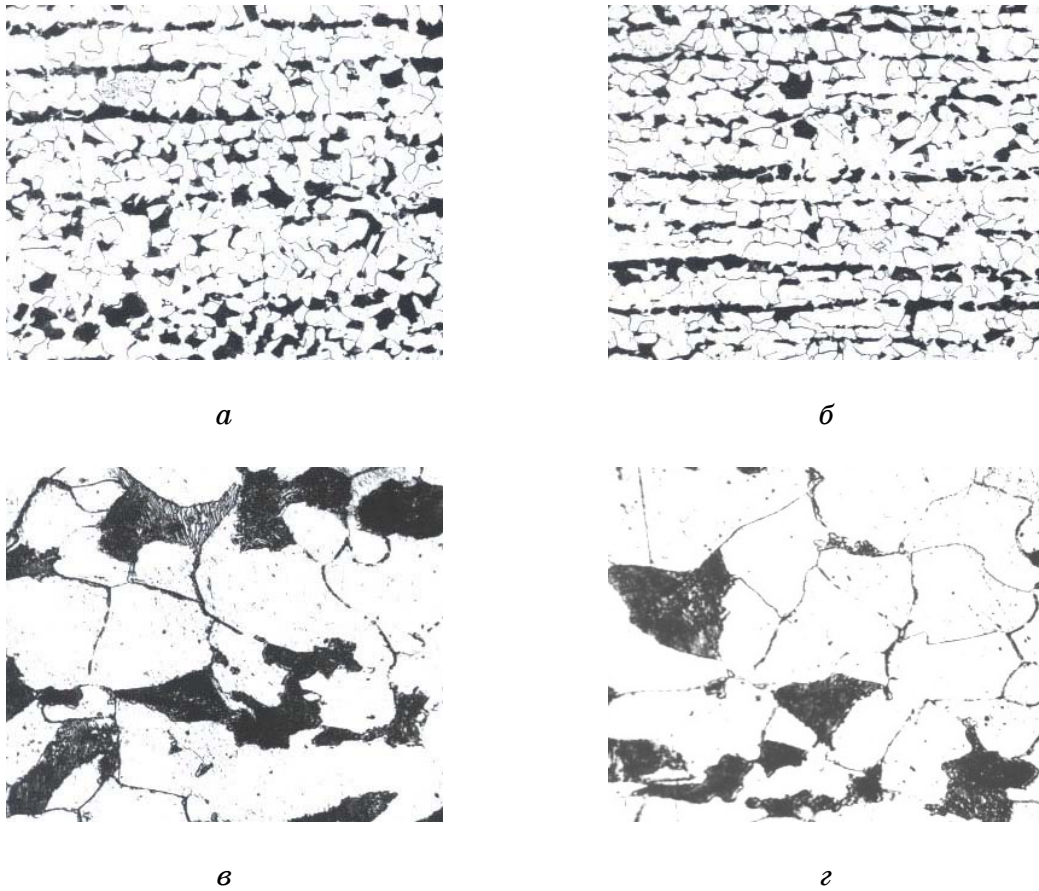


Рисунок 2 – Микроструктура металла разрушенных образцов от труб размером 168×26 мм с низкой (а, в) и высокой (б, г) длительной пластичностью. Травление в 5 %-ном растворе HNO₃: а, в - $\delta = 8,8$ %; б, г - $\delta = 29,1$ %; а, б - $\times 100$; в, г - $\times 500$

При проведении данных исследований наилучшие результаты получены на металле труб размером 219×26 мм, изготовленных с меньшим коэффициентом вытяжки. Между тем, металл труб размером 168×22 мм, полученных с наиболее высоким коэффициентом вытяжки, при удовлетворительном уровне длительной прочности отличается значительным разбросом значений длительной пластичности.

Такое противоречие свидетельствует о более низком качестве исходной трубной заготовки, из которой были получены трубы размером 168×22 мм (наличие в ней грубой зоны транскристаллизации с ярко выраженной дендритной ликвацией). Наследуемая от заготовки структурная неоднородность металла этих труб полностью не устранилась в процессе прессования и последующей нормализации с отдельного нагрева.

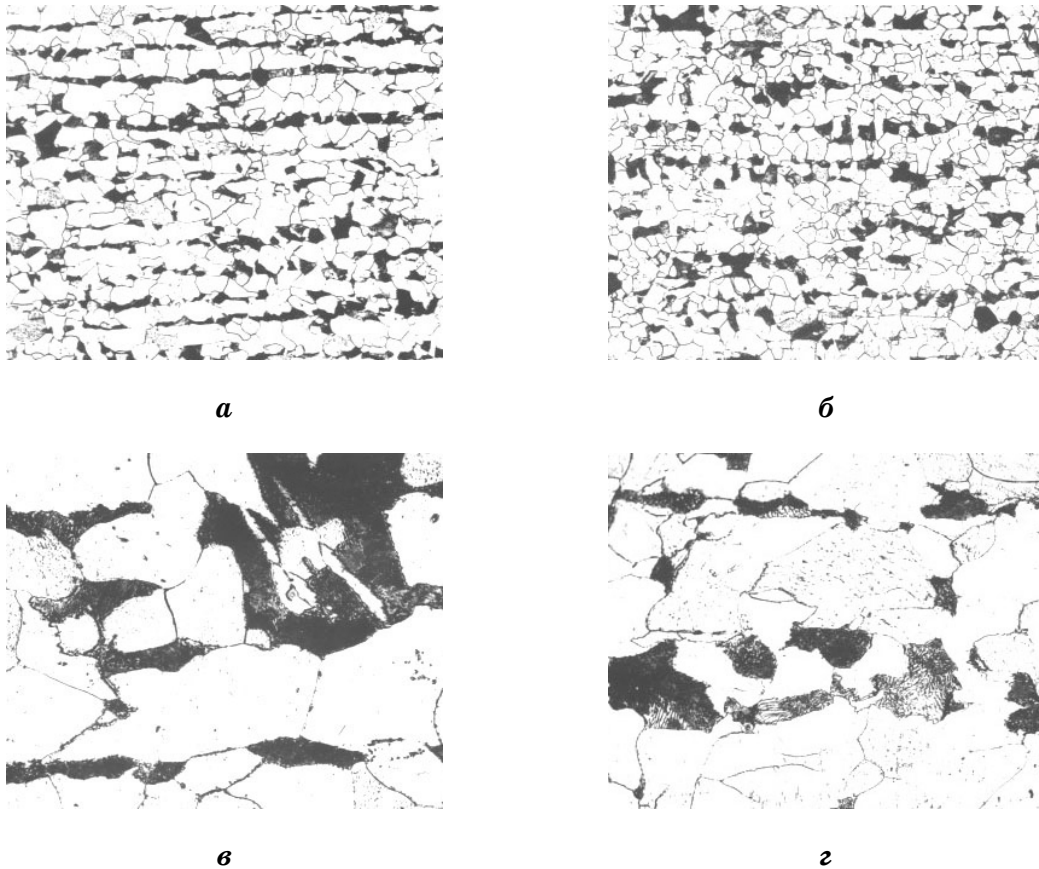


Рисунок 3 – Микроструктура металла разрушенных образцов от труб размером 168×30 мм с низкой (а, в) и высокой (б, г) длительной пластичностью. Травление в 5 %-ном растворе HNO_3 : а, в - $\delta = 8,7$ %; б, г - $\delta = 23,5$ %; а, б - $\times 100$; в, г - $\times 500$

Заготовка, из которой были изготовлены трубы остальных исследованных типоразмеров, более качественная с точки зрения кристаллического строения. Особенно это касается труб размером 219×26 мм, для производства которых была использована заготовка с развитой зоной равноосных кристаллов и ограниченной зоной транскристаллизации, более дисперсным и однородным строением.

Использование для производства котельных горячепрессованных труб недеформированной непрерывнолитой заготовки разного уровня качества с точки зрения кристаллического строения, не нормируемого нормативной документацией – ТУ 14-1-5319 (с различным соотношением размеров структурных зон и их дисперсностью, с разной степенью дендритной ликвации), приводит к получению неоднозначных результатов испытаний на длительную прочность труб. Прежде всего это касается длительной пластичности металла труб, играющей важную роль при их эксплуатации.

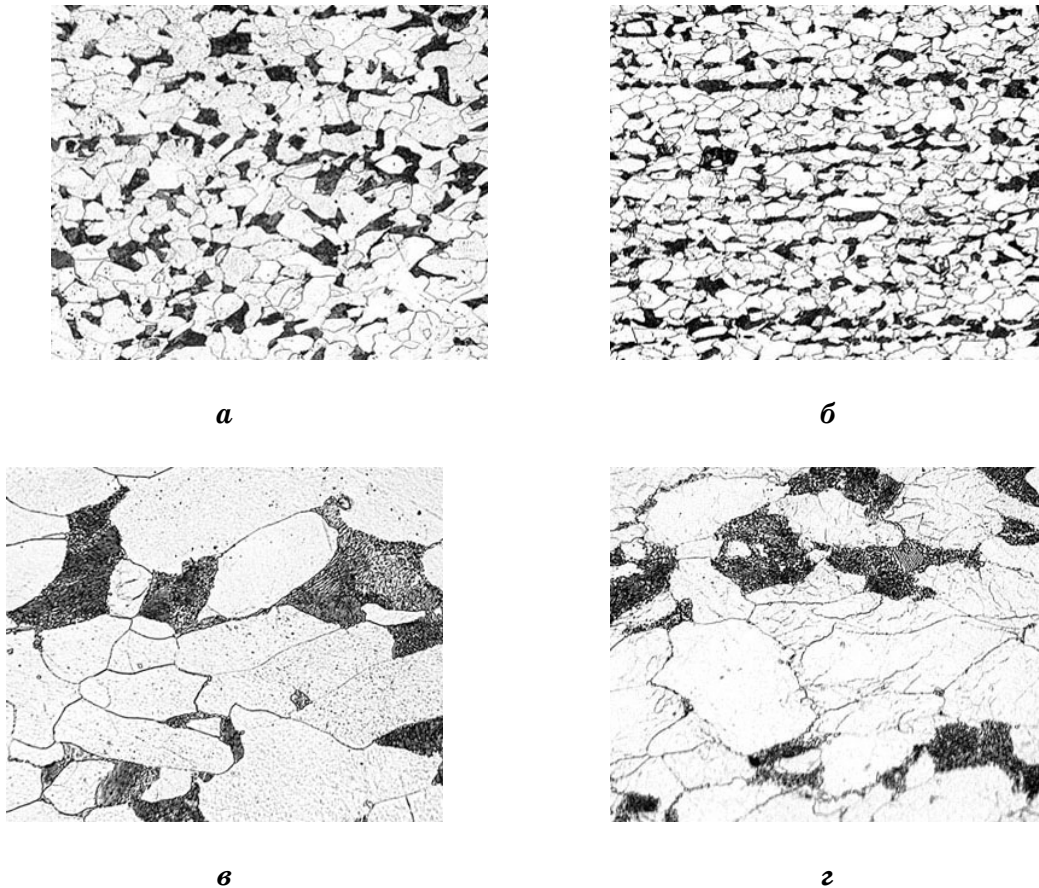


Рисунок 4 – Микроструктура металла разрушенных образцов от труб размером 219×26 мм с высокой длительной пластичностью. Травление в 5 %-ном растворе HNO_3 : а, в - $\delta = 32,0$ % (после горячего прессования); б, г - $\delta = 38,9$ % (после нормализации); а, б - $\times 100$; в, г - $\times 500$

При сопоставлении результатов жаропрочных испытаний труб, изготовленных с различными коэффициентами вытяжки из заготовки одной и той же плавки (трубы 168×26 мм, $\mu = 8,3$; 168×30 мм, $\mu = 7,4$), выявленные ранее закономерности подтверждаются. Более низким уровнем длительной прочности (в интервале допустимого ТУ 14-3-460 20%-ного снижения от нормы) характеризуется металл труб размером 168×30 мм.

Для регламентации технологии изготовления таких труб (параметров прессования и режимов термической обработки) и включения их в сортамент ТУ 14-3-460 необходимо проведение жаропрочных испытаний толстостенных труб более широкого диапазона типоразмеров.

ВЫВОДЫ

Установлена возможность получения котельных горячепрессованных труб с толщиной стенки более 20 мм из недеформированной непрерывнолитой заготовки стали 20 с уровнем длительной прочности, удовлетворяющим требованиям ТУ 14-3-460.

Выявлена взаимосвязь длительной прочности и длительной пластичности металла толстостенных котельных горячепрессованных труб из углеродистой стали, изготавливаемых из недеформированной непрерывнолитой заготовки, с особенностями их структурного состояния, наследуемого от исходной заготовки.

Установлено, что для получения стабильных и высоких показателей жаропрочности металла труб с толщиной стенки более 20 мм необходимо использовать непрерывнолитую заготовку с ограниченной зоной столбчатых и развитой зоной равноосных кристаллов с менее выраженной дендритной ликвацией.

Показана необходимость проведения дальнейших исследований жаропрочных свойств металла котельных горячепрессованных труб с толщиной стенки более 20 мм, изготавливаемых из недеформированной непрерывнолитой заготовки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ланская А.К. Жаропрочные стали. - М.: Металлургия, 1969. – 247 с.
2. Использование непрерывнолитых заготовок при производстве котельных труб / В.В. Кириченко, Л.В. Опышко и др. // Сталь. – 1999. - № 12. – С. 40-42.
3. Опышко Л.В., Ващило Т.П., Кобус А.А. Внедрение непрерывнолитого металла в промышленное производство котельных труб на ОАО «Производственное объединение «Волжский трубный завод» // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2001. - № 1. – С. 56-60.
4. Опышко Л.В., Вахрушева В.С. Влияние технологических факторов на структуру и эксплуатационные свойства котельных горячепрессованных труб, изготовленных из недеформированной непрерывнолитой заготовки углеродистой стали // Вісник Придніпровської Державної Академії будівництва та архітектури. – 2006. - № 3 – С. 7-15.
5. Опышко Л.В., Лубе И.И. Особенности структурообразования металла котельных горячепрессованных труб из недеформированной непрерывнолитой заготовки углеродистой стали // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. - № 6. – С. 57-60.