

УДК 621.77:669.14.018.27

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И СТРУКТУРЫ СТАЛИ НА КАЧЕСТВО ПРОКАТА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БОЛТОВ

Пачурин Г.В., Филиппов А.А., Кузьмин Н.А.

ФГБОУ ВПО Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, Нижний Новгород, Россия, email: PachurinGV@mail.ru, http://www.famous-scientists.ru/1238

Марка стали, химический состав и другие свойства калиброванного проката, предназначенного для изготовления качественных болтов методом холодной объемной штамповки регламентируются стандартом. Оптимальный химический состав и другие свойства сталей в стандарте установлены на основе обобщения опыта по их выплавке и применению в производстве крепежных изделий и анализа влияния отдельных элементов (углерода, кремния, серы, фосфора, никеля, алюминия, бора и других) на способность металла к холодной объемной штамповке. При этом учтено также влияние газов: кислорода, азота, водорода и других элементов на деформируемость стали в холодном состоянии. Важным условием повышения технологичности производства калиброванного проката для дальнейшего изготовления из него упрочненных болтов является наличие однородной структуры и требуемого уровня механических характеристик по сечению мотков металла. Макроструктура стали должна быть однородной, без усадочных рыхлостей, расслоений, неметаллических включений, не иметь пор, пузырей, трещин, ликвационной зоны, флокенов и других дефектов, видимых невооруженным глазом на поперечных темплетях после травления. В работе выполнен подробный анализ литературных данных по вопросу влияния химического состава и структуры на качество стального проката под холодную высадку болтовых изделий.

**Ключевые слова:** калиброванный прокат, химический состав стали, холодная объемная штамповка, болтовые изделия, структура, механические свойства

## EFFECT OF CHEMICAL COMPOSITION AND STRUCTURE OF STEEL MILL ON QUALITY FOR MANUFACTURING AND BOLTS

Pachurin G.V., Filippov A.A., Kuzmin N.A.

FGBOU VPO Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia, email: PachurinGV@mail.ru, http://www.famous-scientists.ru/1238

Steel grade, chemical composition and other properties of the calibrated hire intended for the manufacture of high-quality bolts by cold forging regulated standard. The optimum chemical composition and other properties of the steels in the standard established based on experience in their generalization smelting and use in the manufacture of fasteners, and analyzing the effect of individual elements (carbon, silicon, sulfur, phosphorus, nickel, aluminum, boron, etc.) the ability of the metal to cold forging. When this is taken into account the influence of gases oxygen, nitrogen, hydrogen and other elements on the deformability of the steel in the cold state. An important condition for improving manufacturability calibrated hire for further manufacture of it is the presence hardened bolts homogeneous structure and the required level of mechanical properties over the cross section of the metal coils. Macrostructure steel should be uniform, without shrinkage looseness, bundles, non-metallic inclusions, pores, bubbles, cracks, liquation zone, flakes and other defects visible to the naked eye on the cross-templet after etching. In the paper, a detailed analysis of published data on the effect of chemical composition and structure of the quality of rolled steel by cold heading screw products.

**Keywords:** calibrated rolled, the chemical composition of the steel, cold forging, bolt products, structure, mechanical properties

### Введение

Обширная номенклатура разнообразных деталей, к которым не предъявляются повышенные требования по прочности и износостойкости, изготавливаются, как правило, из сталей с химическим составом и механическими свойствами по ГОСТ 1050-88 «Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия», ГОСТ 4543-71 «Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия» и ГОСТ 380-94 «Сталь углеродистая обыкновенного качества». Вышеназванные

нормативные документы не регламентируют ряд требований к поверхности и осадке проката, необходимых для волочения и дальнейшей холодной объемной штамповке. Это может привести к браку по деформационным трещинам.

При промышленном производстве болтовых изделий, факторы, определяющие качество продукции, условно можно разделить на две группы: внешний фактор – качество поступающего сортового металлопроката и внутренние факторы – технология подготовки калиброванного проката, технология изготовления стержневых изделий, состояние технологического оборудования

и инструмента, и квалификация обслуживающего персонала. В данной работе рассматриваются факторы второй группы.

### 1. Влияние химического состава на механические свойства проката

Марка стали, химический состав и другие свойства калиброванного проката, предназначенного для изготовления длинномерных болтов методом холодной объемной штамповки (ХОШ), регламентируются в основном согласно ГОСТ 10702-78 «Сталь качественная конструкционная углеродистая и легированная для холодной выдавливания и высадки». Оптимальный химический состав и другие свойства сталей в этом стандарте установлены на основе обобщения опыта по их выплавке и применению в производстве крепежных изделий и анализа влияния отдельных элементов (углерода, кремния, серы, фосфора, никеля, алюминия, бора и других) на способность металла к холодной объемной штамповке. При этом

учтено также влияние газов: кислорода, азота, водорода и других элементов на деформируемость стали в холодном состоянии.

Это подробно освещено в литературе [13,14,21,28]. ГОСТ Р 52627-2006 (ИСО 898-1:1999), регламентирует основные показатели механических свойств для болтов, винтов и шпилек, а это влияет на выбор марки стали. Согласно вышеназванному стандарту, в калиброванном прокате, предназначенном для высадки болтов методом ХОШ, контролируется содержание углерода, фосфора, серы и бора для всех классов прочности.

Основным химическим элементом, определяющим поведение стали при волочении проката, является углерод. Увеличение содержания углерода в стали на 0,1% приводит к повышению временного сопротивления разрыву на 60-80 МПа [28,29].

Связь между содержанием углерода и изменением механических свойств горячекатаной углеродистой стали показана на рис.1 [2].

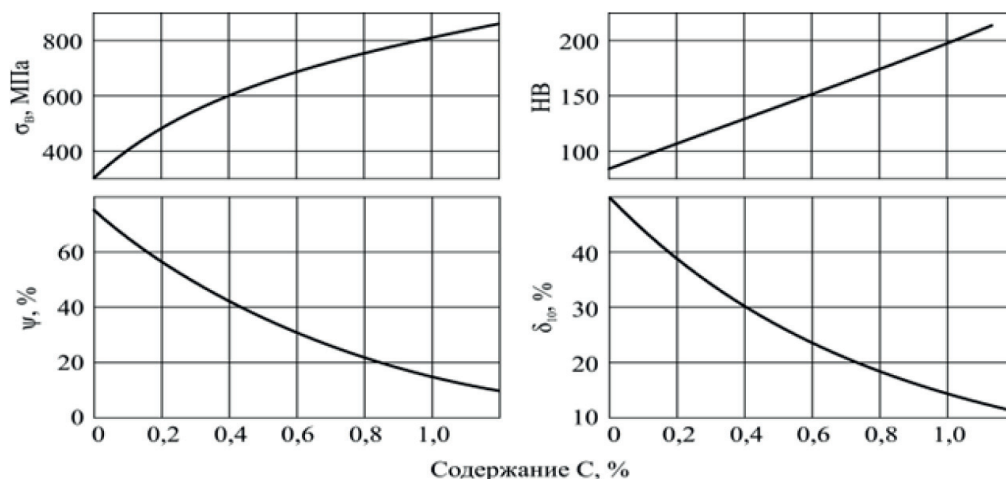


Рис. 1. Влияние содержания углерода на механические свойства углеродистой стали в зависимости от содержания углерода

В калиброванном прокате, предназначенном для изготовления высокопрочных длинномерных болтов методом холодной объемной штамповки, из-за высокого сопротивления деформации не рекомендуется принимать содержание углерода свыше 0,45-0,5 % [28]. Значительное влияние на деформируемость проката оказывают легирующие элементы (кремний, марганец, алюминий, молибден, никель, ванадий, вольфрам, хром), а также примеси (азот, сера, фосфор, медь, кислород, водород).

Кремний является раскислителем стали. Растворяясь в феррите, он способствует повышению прочности, твердости и упругости стали. При содержании его более 0,17-0,20%

в среднеуглеродистых сталях снижается пластичность проката в условиях осадки, поэтому калиброванный прокат с содержанием кремния 0,17-0,37% во избежание образования трещин, можно использовать для изготовления болтов с небольшой степенью деформации (не более 30-40%). В прокате, который используется для холодной высадки, согласно ГОСТ 10702-78, содержание кремния должно быть не более 0,17-0,20%, иначе может происходить образование трещин, разогрев зоны деформации, увеличение удельного усилия на 12-18%. Содержание кремния в прокате низкоуглеродистых сталей, используемых для ХОШ, не должно превышать 0,003 - 0,07% [1].

Марганец в конструкционных сталях содержится в пределах 0,2-0,7%. Растворяясь в феррите и цементите, марганец упрочняет конструкционную сталь и устраняет вредное действие серы, образуя сульфид марганца. Кроме того, он раскисляет сталь, повышает её упругие свойства и прокаливаемость, пластичность стали незначительно, но уменьшается.

Хром – элемент, эффективно влияющий на изменение механических характеристик стали. Растворяясь в феррите и образуя прочные карбиды, а также оказывая заметное влияние на дисперсность получаемой структуры и коагуляцию структурных составляющих, он повышает твердость стали, пределы прочности и текучести, не снижая пластических характеристик. Однако увеличение количества присутствующих карбидов хрома, хотя и повышает твердость, но сравнительно мало. Хром как примесь уменьшает эффект старения, но повышает сопротивление деформации. Повышение содержания хрома на 0,1% в прокате стали 40Х увеличивает ее предел прочности на 20 МПа. Влияние хрома на снижение деформируемости при содержании углерода меньше 0,3% незначительно. Вследствие увеличения дисперсности структуры легирование стали хромом способствует некоторому повышению пластических характеристик (относительного сужения и относительного удлинения). При добавке хрома возникает дополнительная зона большей устойчивости аустенита при 470 - 570°C. При этом, сравнительно низка устойчивость аустенита в области высоких температур (600-700°C). Хром, увеличивая время до начала распада аустенита, облегчает изотермическую обработку, а уменьшая время полного распада аустенита при тех же температурах, и сокращает её время. Увеличивая способность аустенита к переохлаждению, хром повышает прокаливаемость стали тем больше, чем выше его содержание в стали [22].

Сера нерастворима в железе, улучшает обрабатываемость резанием после штамповки. Рекомендуемое содержание серы в прокате не более 0,03-0,04% [9]. Повышение содержания серы существенно снижает механические свойства стали, в частности пластичность, коррозионную стойкость и т.д. При горячем деформировании сталей большое содержание серы ведет к красноломкости.

Особенностью боросодержащих сталей является их достаточная технологическая пластичность, оптимальное соотношение прочностных и пластических характеристик в отожженном и термически упрочненном состоянии [6,7], удовлетворительная

прокаливаемость при значительно меньшем, чем в легированных сталях, содержании легирующих элементов [5] и меньшая, чем в среднеуглеродистых среднелегированных сталях, закаливаемость [8]. Но их использование в массовом производстве сопровождается рядом технологических трудностей [4]. К их числу следует отнести необходимость предотвращения связывания бора в нитриды при выплавке стали, т.к. на характеристики прокаливаемости проката из боросодержащей стали оказывает не весь, а только не связанный в нитриды бор [40].

## 2. Влияние структуры сталей на прочностные и пластические свойства проката

Важным условием повышения технологичности производства калиброванного проката для дальнейшего изготовления из него упрочненных болтов является наличие однородной структуры и требуемого уровня механических характеристик по сечению мотков металла [19].

Структура – основное звено, связывающее технологию материала и его поведение в эксплуатации [23,27]. Горячекатаный и калиброванный прокат должен иметь оптимальную макро- и микроструктуру с целью успешного осуществления дальнейших технологических операций по изготовлению из него болтовых изделий. Макроструктура стали должна быть однородной, без усадочных рыхлостей, расслоений, неметаллических включений, не иметь пор, пузырей, трещин, ликвационной зоны, флокенов и других дефектов, видимых невооруженным глазом на поперечных темплетях после травления [33]. Площадь ликвационной зоны не должна превышать 40% поперечного сечения заготовки, в противном случае на головках болтов могут образовываться трещины, а при накатывании резьбы – расслоения.

Макроструктура легированной стали должна соответствовать ГОСТ 4543-71, а углеродистой – ГОСТ 1050-88. Величина аустенитного зерна в легированной стали должна быть не крупнее номера 5 [17]. Характер микроструктуры проката после волочения и термической обработки, применяющейся для ХОШ, влияет на протекание технологического процесса и качество болтовых изделий. Для обеспечения стойкости рабочих деталей штампов, исключения появления трещин, разрывов горячекатаный прокат в состоянии поставки должен иметь однородную микроструктуру, в которой не допускается полосчатость, структурно-свободный цементит, расположенный по гра-

ницам зерен в виде скоплений или сетки. Микроструктура калиброванного проката стали марок 30, 35, 40, 45, 35X, 38XA и 40X не должна иметь грубопластинчатого перлита, игольчатости и видманштеттовой структуры, поскольку они резко снижают пластичность и ударную вязкость стали [3,25]. К прокату, используемому для холодной высадки, предъявляются дополнительные требования: к поперечному относительному сужению (от 50% и выше), макро и микроструктуре, размеру зерна, глубине обезуглероженного слоя, ограничению содержания кремния в спокойных сталях 35, 40, 45, 35X, 38XA и 40X.

На волочение проката в холодном состоянии сталей с содержанием углерода свыше 0,2% (стали 35, 40, 45), а также легированных конструкционных сталей (35X, 38XA, 40X.), большое влияние оказывает размер и ориентировка зерен и структура стали. При значительном размере зерен структуры калиброванного проката, используемого для ХОШ, возможны скалывание и расслоение головки болтов. При очень мелком зерне возрастает усилие деформации. Для этих сталей при высадке болтовых изделий наиболее благоприятной является структура, определяемая числом зернистого перлита 70-80 [15]. Получение необходимого номера зерна феррита и твердости, является наиболее важной характеристикой поведения калиброванного проката при изготовлении болтовых изделий. Для этого необходимо поддерживать химический состав стали в более узких пределах (особенно по углероду). Следует отметить, что как у малоуглеродистых, так и у высокоуглеродистых сталей, недопустима полосчатость структуры [2]. Обычно в структуре малоуглеродистой стали встречается структурно-свободный цементит, который образуется в горячекатаном прокате при изготовлении на металлургическом комбинате с последующим замедленным охлаждением или при длительном отжиге стали. Расположение структурно-свободного цементита по границам зерен в виде вкраплений или в виде сетки способствует резкому ухудшению пластичности калиброванного проката и появлению трещин на изделиях, а также поперечному расслаиванию головок болтов.

Некоторые авторы [11,12] предполагают, что для холодной высадки необходимо применять только калиброванный прокат с микроструктурой 100% зернистого перлита, так как данная структура способна воспринимать большие пластические сдвиги. Ряд авторов [39] утверждает, что с увеличением в структуре проката пластинчатого

и сорбитообразного перлита наблюдается рост сопротивления пластической деформации и снижение пластичности. В то же время авторы [31] убеждены, что уже наличие зернистого перлита 60% обеспечивает требуемую технологическую пластичность.

По мнению авторов [16,26,30] оптимальной деформируемостью в холодном состоянии обладает калиброванный прокат со структурой зернистого перлита (не менее 80%) балла зерна 5-7 и относительным сужением не менее 50-60%. Есть мнение, что если прокат изготовлен из средне- и высокоуглеродистой и легированной (38XA, 40X, 40XH2MA) стали с микроструктурой менее 80% зернистого перлита, то он не выдерживает осадки даже 1/3 первоначальной высоты. Хотя в производстве болтовых изделий, указанные стали и идентичные им по содержанию C, Cr, Ni, при высадке испытывают деформацию до 75-80% [3]. Известно [32], что ускорение сфероидизации достигается предварительным волочением проката с последующей рекристаллизацией в определенном для каждой стали температурном интервале.

По некоторым данным [10,11] структура, состоящая из 100% зернистого перлита, получается после непродолжительного отжига горячекатаного проката в течение 7-9 часов. Авторы [18,24,32] рассматривают несколько способов получения зернистого перлита в доэвтектоидных сталях:

- нагрев выше критической точки  $A_{c1}$  (надкритический отжиг);
- нагрев ниже критической точки  $A_{c1}$  (субкритический отжиг);
- отжиг после холодной пластической деформации (рекристаллизационный);
- изотермический отжиг;
- маятниковый отжиг;
- термоциклический отжиг.

Есть мнение авторов [17], что для полной сфероидизации перлита в доэвтектоидных сталях требуется выдержка в течение 100 часов, что экономически нецелесообразно.

Вопрос получения болтовых изделий с микроструктурой сорбитообразного перлита проката практически не исследован. При этом следует отметить, что в волочильном производстве широко используется получение высоконагартованной проволоки после операции патентирования и волочения [35,36]. Патентирование позволяет получать в проволоке сорбитообразную перлитную структуру, после чего операцией волочения можно добиться её высоких прочностных и пластических характеристик [37,38].



### Выводы

1. Оптимальный химический состав и другие свойства сталей в этом стандарте установлены на основе обобщения опыта по их выплавке и применению в производстве крепежных изделий и анализа влияния отдельных элементов (углерода, кремния, серы, фосфора, никеля, алюминия, бора и других) на способность металла к холодной объемной штамповке. При этом учтено также влияние газов: кислорода, азота, водорода и других элементов на деформируемость стали в холодном состоянии.

2. Основной причиной образования дефектов на стержневых болтовых изделиях является технологическая переработка проката по всей технологической цепочке. Необходимо использовать для производства крепежных изделий прокат, который способен выдерживать деформации до 75% без разрушения его поверхности и тела.

3. Практически 60% крепежа класса прочности 9.8, 10.9 и выше изготавливают из проката стали 40X. Основным способом получения высокопрочных болтов является высадка из калиброванного проката, имеющего микроструктуру зернистый перлит. Затем болты подвергают закалке и отпуску. Закалка стержневых изделий может способствовать образованию микротрещин и обезуглероженного слоя. Если вопрос подготовки проката для холодной высадки с микроструктурой 80-100% зернистого перлита изучен достаточно глубоко, то использованию проката, имеющего в структуре стали сорбит патентирования, из-за роста сопротивления пластической деформации уделяется недостаточное внимание.

4. Вопрос получения болтовых изделий с микроструктурой сорбитообразного перлита проката практически не исследован, хотя в волочильном производстве широко используется получение высоконагартованной проволоки после операции патентирования и волочения. Патентирование позволяет получать в проволоке сорбитообразную перлитную структуру, после чего операцией волочения можно добиться её высоких прочностных и пластических характеристик.

Рецензенты: 1. Панов Алексей Юрьевич, д.т.н., профессор.

2. Молев Юрий Игоревич, д.т.н., профессор.

### Список литературы

1. Амиров М.Г., Гареев Р.К., Нуркаев И.Б. Оценка технологической деформируемости при ХОШ // Кузнечно-штамповочное производство. 1985. №9. С. 34-38.

2. Амиров М.Г., Лавриненко А.А. Основы технологии автоматизирования холодновысадочного производства. Учебное пособие. – Уфа: УАИ, 1992. - 142 с.

3. Биллигман И.В. Высадка и другие методы объемной штамповки. – М.: Машгиздат, 1960. – 159 с.

4. Бобылев М.В., Е.Г.Королева, Штанников П.А. Перспективные экономолегированные боросодержащие стали для производства высокопрочных крепежных деталей // Металловедение и термическая обработка металлов. 2001. №5. С. 51-55.

5. Бобылев М.В. Управление качеством боросодержащих сталей для производства крепежных изделий // Металловедение и термическая обработка металлов. №11. 2001. С. 34-36.

6. Бобылев М.В. Перспективы использования боросодержащих сталей для производства прогрессивных видов высокопрочных крепежных деталей автомобиля // Национальная металлургия. №4. 2003. С. 68-73.

7. Бобылев М.В. Информационные технологии управления качеством боросодержащих сталей для нужд автомобилестроения, научно-техническое обеспечение деятельности предприятий, институтов и фирм / под ред. Л.В. Кожина - М.: издательство МГТУ, 2003. С. 355-369.

8. Бобылев М.В., Угаров А.А., Гонтарук Е.И., Лехтман А.А. Прогрессивные виды сортового проката для нужд автомобильной промышленности / Сборник докладов международного семинара «Современные достижения в металлургии и технология производства сталей для автомобильной промышленности». - М.: Металлургиздат, 2004. С. 255-264.

9. Богатов А.А., Межирицкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. – М.: Металлургия, 1984. - 143с.

10. Быкадоров А.Т., Хейфец И.Л., Комарова Т.В., Виноградов В.Е. Сфероидизирующий отжиг сортового проката из стали 20Г2Р // Сталь. 1984. №9. С. 65-67.

11. Быкадоров А.Т., Скуднов В.А. Металл для холодной высадки крепежных изделий // Кузнечно-штамповочное производство. №9. 1985. С. 32 -34.

12. Быкадоров А.Т., Пахтунов В.В. Технологические процессы изготовления болтов с фланцами на автоматической линии Государственного завода «Красная Этна» // Кузнечно-штамповое производство. 1985. №9. С. 37-38.

13. Васильев С.П. Производство крепежных изделий. – М.: Металлургия, 1981- 104 с.

14. Владимиров Ю.В., Герасимов В.Я. Технологии основы высадки стержневых изделий. – М. Машиностроение, 1984. - 120 с.

15. Губкин С.И. Пластическая деформация металлов, т.3. - М.: ГНТИ по черной и цветной металлургии, 1970. - 306 с.

16. Гуляев А.И. Металловедение. – М.: Металлургия, 1977. - 648 с.

17. Долженков И.Е., Клименко А.П., Термическая обработка подката для холодной высадки // Металлургическая и горнорудная промышленность. 1983. №4. С. 20-24.

18. Долженков И.К. Долженков И.И. Сфероидизация карбидов в стали. - М.: Металлургия, 1984. - 56 с.

19. Клименко А.П., Карнаух А.И., Величко Л.Ю., Ивченко А.В. Совершенствование технологии производства подката для холодной высадки // Метизы. 2007. №1(14). С. 32-36.

21. Ковка и штамповка. Справочник в 4-х томах. Т.3. Холодная объемная штамповка под редакцией Г.А.Навроцкого. - М.: Машиностроение, 1987. - 384 с.

22. Конторович И.Е. Термическая обработка стали и чугуна: учебное пособие для ВУЗов / И.Е. Конторович. – М.: Металлургиздат, 1950. – 663 с.

23. Кутяйкин В.Г. Метрологические и структурно-физические аспекты деформирования сталей: монография. - М.: АСМС, 2007. - 484с.
24. Парусов В.В., Прокофьев В.Н., Долженков И.И., Сорокин М.И., Марченко В.Э., Нестерова Н.П. Усовершенствование технологии игольчатой проволоки // Сталь. 1980. №12. С. 190-192.
25. Пачурин Г.В., Филиппов А.А., Иняев В.А. Подготовка качественного калиброванного проката под холодную высадку ответственных крепежных изделий // Тяжелое машиностроение. 2008. № 7. С. 24-26.
26. Пудов Е.А. Пути улучшения качества проката 20Г2Р для холодной объемной штамповки // Производство проката. 2001. №3. С.17-19.
27. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. 2-е издание. - М.: Металлургиздат, 1968. - 443 с.
28. Скуднов В.А. Предельные пластические деформации металлов / В.А. Скуднов. - М.: Металлургия, 1989. - 176 с.
29. Соколов А.А., Артюхин В.И. Критерии выбора материалов и технологических параметров для производства проволоки для холодной объемной штамповки // Метизы. 2008. №2(18). С. 50-54.
30. Сталь для холодной высадки и ее подготовка к высадке // Метизное производство. Вып.1. - М.: 1983.
31. Трусов В.А., Жадан В.Т., Урусова О.В., Самарыгина И.В., Кузнецов В.А., Волосков А.Д. Разработка производства подката с ТМО для фасонных профилей высокой точности. - М.: Труды второго конгресса прокатчиков, 1998. С. 515-522.
32. Ускоренное образование зернистого перлита. Перевод № 822333/0. - М.: ВИНТИ, 1970. - 48 с.
33. Филиппов А.А., Пачурин Г.В., Гушин А.Н., Пачурин К.Г. Анализ влияния дефектности заготовок на качество горячекатаного проката для холодной высадки крепежных изделий // Материалы Шестой ежегодной Промышленной конференции с международным участием и блиц-выставки. Славское, Карпаты. 20-24 февраля 2006. С. 200-201.
34. Филиппов А.А., Пачурин К.Г., Гушин А.Н., Пачурин Г.В. Анализ дефектности горячекатаного проката под холодную высадку метизов // Фундаментальные исследования. 2006. №4. С. 38-39.
35. Филиппов А.А., Пачурин К.Г., Гушин А.Н., Пачурин Г.В. Ресурсосберегающая технология подготовки калиброванного проката под высадку крепежных изделий // Современные наукоемкие технологии. 2006. №7. С. 97-98.
36. Филиппов А.А., Пачурин Г.В. Термическая подготовка калиброванного проката стали 40Х к холодной высадке высокопрочных крепежных изделий // Успехи современного естествознания. 2007. №8. С. 96-97.
37. Филиппов А.А., Пачурин Г.В. Выбор температуры изотермической закалки перед калибровкой проката стали 40Х // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2007. №10. С. 33-38. Филиппов А.А., Пачурин К.Г., Пачурин Г.В. К вопросу термической обработки стали 40Х при подготовке калиброванного проката под холодную высадку крепежа // Тяжелое машиностроение. 2008. №12. С. 19-21.
39. Хейфец И.Л., Быкадоров А.Т. Подготовка стали 35Х к холодной высадке // Кузнечно-штамповочное производство. 1975. №9. С. 13-14.
40. Bobylev M.V., Borisov V.T., Petrovski V.A. et al. Quality Control for Boros Bearing Steels Based on Modeling of Nitride Formation During Crystallization // Proceeding of 41st Mechanical working and steel processing / Baltimore, MD, USA, Oktober 24-27, 1999. P. 851-860.