

УДК 621.77:669.14.018.27

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО КРЕПЕЖА

Филиппов А.А., Пачурин Г.В.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,
Нижний Новгород, e-mail: PachurinGV@mail.ru

В автомобильной, машиностроительной и других отраслях промышленности в качестве высокопрочного крепежа широко используются болтовые соединения класса прочности 8.8 и выше. Высокопрочный крепеж является наиболее массовым видом деталей машин. В работе рассмотрены требования к материалам высокопрочного крепежа и основные действующие и перспективные методы их получения. Показано, что горячекатаный прокат, который поступает на метизные заводы с металлургических комбинатов, нельзя без предварительной технологической обработки запускать под изготовление болтов методом холодной высадки. Вследствие того, что такой прокат по точности размера профиля и качеству поверхности не отвечает требованиям калиброванного проката, то его подвергают волочению. Длительная выдержка металла при горячей прокатке на прокатном стане способствует интенсивному образованию окалины, которая не только снижает выход годного, но и усложняет процесс переработки проката. Кроме того, в результате закалки может возникнуть обезуглероживание поверхности, коробление, деформации и трещины, что снижает качество и повышает отбраковку длинномерных болтов. Поэтому является актуальным изучение возможности получения без закалки и отпуска упрочненных до высокого класса прочности длинномерных болтов из калиброванного проката.

Ключевые слова: горячекатаный прокат, волочение, длинномерные болты, закалка, отпуск, структура, пластичность, механические свойства

MAIN AREAS OF PRODUCTION HIGH-STRENGTH FASTENERS

Filippov A.A., Pachurin G.V.

Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod,
e-mail: PachurinGV@mail.ru

In the automotive, engineering and other industries as high-strength fasteners are widely used bolting class 8.8 and higher. High-strength fasteners is the most widespread type of machine parts. The paper discusses the requirements for materials and high-strength fasteners of current and future methods for their preparation. It is shown that the hot-rolled steel, which goes to the hardware plants with smelters, it is impossible without first processing run under production by cold heading bolts. Because this rolling accuracy and size of the profile surface quality does not meet the requirements of rolled calibrated, then it is drawn. Prolonged exposure of the metal in the hot rolling mill to cause intense scaling, which not only reduces the yield, but also complicates the processing of rolled steel. Furthermore, as a result of hardening a surface decarburization may occur, warping, distortion and cracks that improves quality and reduces rejection of long bolts. Therefore, it is relevant to study the possibility of obtaining without quenching and tempering hardened to high strength grade of long bolts calibrated hire.

Keywords: hot-rolled, drawing, lengthy bolts, hardening, tempering, structure, plasticity, mechanical properties

В автомобильной, машиностроительной и других отраслях промышленности в качестве высокопрочного крепежа широко используются болтовые соединения класса прочности 8.8 и выше.

Преимущества использования высокопрочного крепежа:

- выдерживает разрушающее воздействие нагрузки в 2-3 раза выше, по сравнению с классом прочности 4.8;
- удобно применять крепежные изделия меньшего размера при тех же нагрузках;
- сокращается металлоемкость крепежа и соответственно цена снижается на 15-25% [15].

1. Требования к материалам высокопрочного крепежа

Основные требования к применению данного вида крепежа являются наличие высоких разрывных усилий, повышенные статистические и динамические нагрузки.

Высокопрочный крепеж является наиболее массовым видом деталей машин.

Его надежность наряду с конструктивными факторами в значительной мере определяется структурой и свойствами используемых материалов, зависящих от вида и режима их технологической обработки.

По действующей международной классификации к высокопрочному крепежу относятся изделия, у которых временное сопротивление разрыву больше или равно 800 МПа. Исходя из этого параметра, классы прочности для высокопрочного крепежа начинаются для болтов с класса 8.8 и заканчиваются классом прочности 12.9 [23]. Прочностные характеристики болтовых изделий определяются выбором соответствующей марки стали и технологией изготовления. Высокопрочный крепеж изготавливают методом ХОШ чаще всего из сталей марок 35,35Х, 20Г2Р, 30Г1Р, 38ХА, 40Х и других [7, 9, 26].

Начиная с конца 80-х годов XX-го столетия, для изготовления высокопрочного крепежа используют низкоуглеродистую боросодержащую доэвтектоидную сталь 20Г2Р [16, 22, 43]. Данная марка стали имеет видимые преимущества перед другими сталями. Такими преимуществами являются: высокая пластичность и достаточная прокаливаемость.

Но использование в массовом производстве боросодержащих сталей отечественного металлургического производства (ОАО «Северсталь», ОАО «Ижсталь», ОАО «Волгоградский металлургический завод») показало, что прокат имеет нестабильную прокаливаемость по длине и сечению мотка. Из данного горячекатаного проката нельзя гарантировать получение качественных высокопрочных болтов. Это связано с тем, что на прокаливаемость проката стали 20Г2Р оказывает влияние не весь присутствующий в стали, а только «эффективный» (твердорастворимый, не связанный в нитриды) бор [10,12]. Нарушение этого условия приводит к нестабильности свойств боросодержащих сталей. Как правило, сталь 20Г2Р используется для изготовления болтов класса прочности 8.8 и не более.

Для изготовления болтовых изделий классов прочности 9.8 и 10.9 предлагается использовать боросодержащую сталь 30Г1Р. Этим, по-видимому, объясняется факт невысокой доли потребления проката из боросодержащей стали изготовителями нормалей [15,26], да к тому же качество проката при этом оставляет желать лучшего [50]. Российские производители высокопрочного крепежа вынуждены закупать горячекатаный прокат из боросодержащих сталей за рубежом (например, фирма «Овако» Финляндия), что приводит к удорожанию продукции.

Опыт ряда отечественных заводов позволил сформулировать общие рекомендации по применению унифицированного ряда боросодержащих сталей 12Г1Р, 20Г2Р, 30Г1Р для изделий классов прочности 6.8, 8.8, 9.8 и 10.9 диаметром до 24 мм [6]. Для изготовления болтов больших диаметров на заводах РФ применяют конструкционную легированную сталь 40Х [35]. Цена одной тонны горячекатаного проката стали марки 40Х, как правило, ниже, чем у стали 20Г2Р и 30Г1Р. Разница стоимости одной тонны проката боросодержащей стали импортного производства и одной тонны проката стали 40Х отечественного производства составляет 15-20%.

Ранее было показано [17,27,43,46,49], что удовлетворительной микроструктурой калиброванного проката, предназначенного

для дальнейшей изготовления из него болтов методом холодной высадки, является зернистый перлит.

Однако, болтовые изделия с такой микроструктурой не соответствуют требованиям ГОСТ Р 52627-2006 (ИСО 898-1:1999) и должны быть подвержены объемной закалке и отпуску, чтобы обеспечить необходимые механические характеристики, которые требуются для класса прочности 8.8 и более [42]. В этом случае крепеж приобретает необходимую твердость и прочность. Однако в результате закалки может возникнуть [27] обезуглероживание поверхности, коробление, деформации и трещины, что снижает качество и повышает отбраковку длинномерных болтов. Особенно это касается длинномерных болтов длиной более 70 мм. Для термообработки высокопрочных болтов в соляных ваннах и проходных печах требуется дорогостоящая оснастка и, как правило, последующая сортировка и рихтовка длинномерных болтов.

2. Методы получения высокопрочного крепежа

Горячекатаный прокат, который поступает на метизные заводы с металлургических комбинатов, нельзя без предварительной технологической обработки запускать под изготовление болтов методом холодной высадки. Вследствие того, что такой прокат по точности размера профиля и качеству поверхности не отвечает требованиям калиброванного проката, то его подвергают волочению [3,51]. Все отечественные металлургические заводы изготавливают горячекатаный прокат в основном по геометрическим параметрам согласно ГОСТ 2590-88 «Прокат стальной горячекатаный круглый. Сортамент» обычной точности прокатки «В». Данный стандарт регламентирует отклонение по обычной точности прокатки «В» в пределах +0,3...-0,5 мм от номинального диаметра, овальность проката не должна превышать 50% предельных отклонений по диаметру. Это одна из причин невозможности использования данного проката без предварительной технологической переработки под изготовление болтов.

Другой причиной невозможности использования горячекатаного проката без переработки под ХОШ является структурное состояние и качество его поверхности. Длительная выдержка металла при горячей прокатке на прокатном стане способствует интенсивному образованию окалины, которая не только снижает выход годного, но и усложняет процесс переработки проката. Максимальное влияние на структуру оказывает скорость охлаждения горячекатаного

проката перед его смоткой в компактный бунт. Практически при смотке в бунт условия охлаждения отдельных витков резко различаются. Это различие заключается, прежде всего, в разной скорости охлаждения витков, а это в свою очередь определяет структуру стали.

В настоящее время на ряде металлургических комбинатов, таких как ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» и ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат» прокатные станы оснащены линией двухстадийного охлаждения горячекатаного проката, что исключает закаливание его поверхности. Применение данного вида проката позволяет исключить термообработку при дальнейшем технологическом переделе проката, улучшить его механические свойства [12,28,38]. При этом, по мнению авторов [8,11-13, 49,76], получается горячекатаный прокат с мелкодисперсной псевдосфероидизированной структурой. По прочностным и пластическим характеристикам он не отличается от металлопроката, повергнутого традиционному печному сфероидизирующему отжигу [76].

Криворожский металлургический комбинат «Криворожсталь» производит горячекатаный прокат диаметром от 5,5 до 12,0 мм в бунтах массой 2000 кг со смягчающей сфероидизирующей обработкой. Технология изготовления проката включает ускоренное охлаждение металла перед намоткой в бунт и сфероидизирующий отжиг в проходных роликовых печах с фазовой перекристаллизацией. Разработанные режимы термической обработки горячекатаного проката обеспечивают получение однородной структуры по всей длине бунта. По мнению металлургов «Криворожсталь» для стали 40Х температура окончания ускоренного охлаждения находится в пределах 700-750°C [32].

В развитых индустриальных странах также постоянно идут поиски получения в горячекатаном прокате структуры, оптимальной для волочения, непосредственно после металлургического передела [41]. Основные направления развития производства горячекатаного проката связаны с повышением точности получаемых размеров, получением необходимой структуры и свойств в линии прокатных станов без последующей термообработки проката, уменьшением градиента прокатываемых размеров до 1 мм, а перспективе до 0,1 мм и реализацией свободных программ прокатки для ускорения выполнения заказов [36,55].

Волочение является основным видом деформации при подготовке горячекатаного и калиброванного проката для изготовле-

ния крепежа методом холодной объемной штамповки [1]. При подготовке горячекатаного проката к холодной объемной штамповке (ХОШ) крепежных болтовых изделий применяют различные технологические схемы [6, 31, 45, 48, 52]. Различные схемы пластической и термической обработки проката под дальнейшую холодную высадку метизов показаны у автора [33]. Выбор технологии подготовки поверхности проката является одним из решающих факторов, определяющих условия работы инструмента и его износ, качество и трудоемкость производства болтов.

Одним из недостатков традиционных способов подготовки калиброванного проката при отжиге в колпаковых печах и термоупрочнение болтов в проходных печах с защитной атмосферой или закалочных ваннах, является необходимость выполнения правки и рихтовки данных болтов [9].

Технология подготовки калиброванного проката стали марки 20Г2Р включает операции волочения проката со степенями обжатия ~ 11-13 %, сфероидизирующего отжига и последующего волочения [43].

Упрочненное состояние может быть создано путем холодной пластической деформации, легирования, термической обработкой и др. Сократить производственные затраты при изготовлении высокопрочных длинномерных стержневых болтовых изделий можно путем применения технологических решений, обеспечивающих получение вышеназванных болтов из предварительно упрочненного калиброванного проката за счет деформационного упрочнения. Термоупрочнение проката позволяет максимально снизить производственные расходы за счет обеспечения заданной микроструктуры уже в процессе подготовки горячекатаного проката, однако в этом случае возникает необходимость расширения марочного и размерного сортамента металлопроката с учетом конкретных требований заводоупотребителей [5]. Все это делает оценку энергозатрат, особенно в производственных условиях достаточно сложным. Этим, вероятнее всего, объясняется относительно небольшое количество публикаций по вопросам ресурсосбережения при производстве калиброванного проката.

Наиболее перспективными в данном направлении являются: термоулучшение калиброванного проката перед высадкой [56], патентирование проволоки [53], объемная закалка на двухфазную ферритно-мартенситную и ферритно-бейнитную структуру [18, 21, 57]. Однако применение печного нагрева и термоулучшение горячекатаного проката не позволяет обеспечить высокую

однородность и равномерность механических свойств калиброванного проката для изготовления болтовых изделий [5].

Высокопрочные крепежные изделия, изготовленные из проката, должны быть одновременно высокого качества, прочными, надежными и долговечными [34,44]. Основными показателями механических характеристик для болтов, винтов и шпилек по ГОСТ Р 52627-2006 (ИСО 898-1:1999), влияющими на выбор стали, являются требования по твердости, пределу прочности, относительному сужению и относительному удлинению при разрыве, прочности соединения головки со стержнем. Вышеназванный стандарт не содержит так называемых «рекомендованных технологических процессов изготовления крепежных изделий из нелегированных и легированных сталей и марки сталей», как противоречащих ИСО 898-1, а также препятствующих применению прогрессивных марок сталей и их унификации.

Как правило, необходимые прочностные характеристики достигаются уже после деформирования за счет термической обработки – улучшения [35]. Важное значение имеет достижение твердости крепежного болтового изделия для того или иного класса прочности в зависимости от диаметра изделия.

Во многих фирмах, в том числе на АвтоВАЗе, в ЦНИИЧермете, ОАО «Автономаль» (г. Белебей), проводились научно-исследовательские работы по разработке новых материалов и способов достижения механических свойств высокопрочных изделий за счет деформационного упрочнения проката, позволяющего исключить заключительную термическую обработку высаженных болтовых изделий. Был разработан ряд микролегированных сталей, стали ДФМС [30, 47, 54].

Кафедрой термической обработки металлов НМетАУ разработан способ получения высокопрочных болтов из нелегированных низкоуглеродистых сталей [24], основанный на принципе термомеханической обработки – ТМО [25]. По мнению автора [25], такие болты имеют по сравнению с болтами, изготовленными по заводской технологии, более высокие прочностные характеристики и ударную вязкость. Микроструктура таких болтов характеризуется большой дисперсностью. Получение калиброванным прокатом высоких значений характеристик сопротивления пластической деформации и хрупкому разрушению объясняется созданием при ТМО благоприятной дислокационной субструктуры с низким уровнем микронапряжений

и сравнительно равномерным распределением цементита в виде глобулей по объему матрицы.

Способ, изложенный у авторов [37], имеет ряд преимуществ перед традиционными видами обработки, одно из которых, имеющее важное значение при производстве упрочненного крепежа – сохранение геометрии, так как готовое изделие подвергают только отпуску и исключается закалка. Но авторы [5] утверждают, что при использовании нелегированных низкоуглеродистых сталей для изготовления упрочненного крепежа обеспечивается лишь нижний предел прочности. Это не гарантирует постоянное получение прочностных и пластических характеристик готовых крепежных изделий в рамках существующих стандартов.

На ОАО «Автономаль» применен метод индукционного нагрева калиброванного проката [39,40]. Это, с одной стороны, позволяет получать калиброванный прокат из низкоуглеродистых или микролегированных бором сталей, обеспечивающих комплекс свойств, соответствующих термоупрочненным легированным сталям, что невозможно при печном нагреве, а с другой стороны, обеспечивает высокую однородность структуры и свойств изделия.

Испытан процесс закалки из межкритического интервала температур калиброванного проката сталей марок 10, 20 и 38ХА с целью получения из него шпилек высокопрочных ($\sigma_b > 800$ МПа). Испытания показали, что шпильки стали марок 10 и 20, полученные из калиброванного проката данным способом, имеют недостаточный запас пластичности. Только при температуре отпуска 200°C шпильки, полученные из калиброванного проката, деформированного и закаленного в межкритическом интервале температур, получили повышенные пластические свойства без существенного снижения прочностных характеристик [4,21,31]. Шпильки стали марки 38ХА, полученные данным способом, также имеют недостаточный запас пластичности. Низкотемпературный отпуск шпилек, полученных из калиброванного проката стали 38ХА, деформированного и закаленного в межкритическом интервале температур, привел к снижению предельной разрушающей нагрузки [5].

ЦНИИЧермет совместно с заводом «Автономаль» предложил использовать для изготовления высокопрочных изделий двухфазную феррито-мартенситную сталь 06ХГР [2,19], применение которой обеспечивает требуемый уровень прочности только за счет деформационного упрочнения в процессе изготовления деталей (ХОШ)

[20]. Калиброванную проволоку данной марки стали нагревали в проходной патентовочной печи до 760-790 °С [14]. После выхода из печи и подстуживания проволоки до 660-720 °С в ней уменьшалась концентрация растворенных в феррите примесей внедрения, а последующая закалка в воду обеспечивала получение ферритно-мартенситной структуры. В процессе холодной деформации на 17-24% при волочении проката под технологический размер заготовки значения σ_v повышались на 120-200 МПа, что существенно выше упрочнения, присутствующего у углеродистым сталям.

Высаженные шпильки подвергались низкотемпературному отпуску при 170-200 °С. Это привело к небольшому разупрочнению (на 20-40 МПа) при существенном повышении вязкости. Калиброванный прокат, изготовленный из двухфазных феррито-мартенситных сталей, обеспечивает необходимую надежность при изготовлении болтов классом прочности 8.8 после поверхностного пластического упрочнения.

Выводы

Высокопрочный крепеж обладает рядом неоспоримых преимуществ: выдерживает разрушающее воздействие нагрузки в 2-3 раза выше, по сравнению с классом прочности 4.8; удобно применять крепежные изделия меньшего размера при тех же нагрузках; уменьшается металлоемкость крепежа и соответственно цена снижается на 15-25%

Горячекатаный прокат, поступающий на метизные заводы с металлургических комбинатов, нельзя без предварительной технологической обработки запускать под изготовление болтов методом холодной высадки. Вследствие того, что такой прокат по точности размера профиля и качеству поверхности не отвечает требованиям калиброванного проката, то его подвергают волочению.

Другой причиной невозможности использования горячекатаного проката без переработки под ХОШ является структурное состояние и качество его поверхности. Длительная выдержка металла при горячей прокатке на прокатном стане способствует интенсивному образованию окалины, которая не только снижает выход годного, но и усложняет процесс переработки проката.

В результате закалки может возникнуть обезуглероживание поверхности, коробление, деформации и трещины, что снижает качество и повышает отбраковку длинномерных болтов. Для термообработки высокопрочных болтов в соляных ваннах и проходных печах требуется дорогостоящая

оснастка и, как правило, последующая сортировка и рихтовка длинномерных болтов.

Требуется исследования вопросы получения без закалки и отпуска упрочненных до высокого класса прочности длинномерных болтов из калиброванного проката с параметрами, отвечающими требованиям стандарта, а также изучения комплексного влияния степени обжатия на механические свойства проката до и после его патентирования.

Список литературы

1. Абрамов А.Н. Технология подготовки поверхности сталей для волочения (калибрования) заготовок под холодную высадку крепежных деталей // КШП.ОМД. 2003. №9. С. 18-31.
2. Амиров М.Г., Жукова Е.Н., Ефимов А.А., Филимонов А.М. Технические и эксплуатационные характеристики двухфазных ферритно-мартенситных сталей для холодной высадки крепежных изделий // Кузнечно-штамповое производство. 1985. №9. С. 30-31.
3. Биллигман И.В. Высадка и другие методы объемной штамповки. – М.: Машиздат, 1960. – 159 с.
4. Бобылев М.В., Гринберг В.Е., Закиров Д.М., Лавриненко Ю.А. Подготовка структуры при термообработке сталей, применяемых для высадки высокопрочных крепежных изделий // Сталь. 1996. №11. С. 54-60.
5. Бобылев М.В., Закиров Д.М., Лавриненко Ю.А., Майстренко В.В. Разработка технологии изготовления высокопрочных крепежных изделий из сталей 10 и 20 // Кузнечно-штамповочное производство. №5. 1999. С. 36-40.
6. Бобылев М.В., Лавриненко Ю.А., Сардаев Н.И., Кочергин А.С. Управление качеством боросодержащих сталей для деталей автомобилей // Кузнечно-штамповочное производство. 1999. №35. С. 36-40.
7. Бобылев М.В., Столяров В.П., Закиров Д.М. Современные подходы к производству высокопрочного крепежа // Металлоснабжение и сбыт. 2000, май-июнь. С. 27-28.
8. Бобылев М.В. Управление качеством боросодержащих сталей для производства крепежных изделий // Металловедение и термическая обработка металлов. №11. 2001. С. 34-36.
9. Бобылев М.В., Столяров В.П. Современные подходы к производству высокопрочного автокрепежа // Метизы. №0(01). 2002. С. 45-47.
10. Бобылев М.В. Перспективы использования боросодержащих сталей для производства прогрессивных видов высокопрочных крепежных деталей автомобиля // Национальная металлургия. №4. 2003. С.68-73.
11. 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.
12. Бобылев М.В., Королева Е.Г., Штанников П.А. Перспективные экономнолегированные боросодержащие стали для производства высокопрочных крепежных деталей // Металловедение и термическая обработка металлов. 2005. №5. С.51-55.
13. 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.
14. Борцов А.Н., Фонштейн Н.М. Влияние холодной деформации и низкого отпуска на прочностные и ударные характеристики низколегированных сталей в различных структурных состояниях / ФХММ. 1984. №2. С. 56-61.

15. Бунатян Г.В. Крепежные изделия. Перспективы – в консолидации // *Метизы*. 2010. № 01(22). С. 12-15.
16. 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.
17. Быкадоров А.Т., Скуднов В.А. Металл для холодной высадки крепежных изделий // *Кузнечно-штамповочное производство*. №9. 1985. С.32-34.
18. Голованенко С.А., Фонштейн Н.М., Ефимов А.А. и др. О применении малоуглеродистых ферритно-мартенситных сталей для холодной высадки крепежных изделий // *Сталь*. 1982. №6. С. 56-71.
19. Голованенко С.А., Фонштейн Н.М., Ефимов А.А. О применении малоуглеродистых сталей для холодной высадки крепежных изделий // *Сталь*. 1982. №6. С. 68-70.
20. Голованенко С.А., Фонштейн Н.М. Структура и свойства высокопрочных низколегированных двухфазных ферритно-мартенситных сталей для холодной штамповки и высадки. В книге: Проблемы современной металлургии. – М.: Металлургия, 1983. С. 139-147.
21. Голованенко С.А., Фонштейн Н.М. Двухфазные низколегированные стали. – М.: Металлургия, 1986. – 230 с.
22. Головин В.А. Актуальные проблемы холодной и полугорячей объемной штамповки // *Кузнечно-штамповое производство*. 1985. №8. С.34-35.
23. ГОСТ Р 52643-2006 «Болты и гайки высокопрочные и шайбы для металлических конструкций. Общие технические условия».
24. Гуль Ю.П., Москаленко Л.И., Колпак В.П. и др. Способ изготовления крепежных резьбовых изделий из низкоуглеродистых сталей. А.С. СССР №1301855, Б.И. №13, 1987. – 186 с.
25. Гуль Ю.П. Теоретические и технологические основы термомеханической обработки / *Металлургия и коксохимия*: Респ. межвед. техн. сб. Киев, «Техніка». 1987. вып. 92. С.7-13.
26. Гуль Ю.П., Колпак В.П. Изготовление высокопрочных крепежных изделий по технологии термомеханической обработки (ТМТО) – альтернатива использованию легированных и боросодержащих сталей // *Метизы*. 2007. № 2(15). С.56-58.
27. Гуляев А.И. *Металловедение*. – М.: Металлургия, 1977. – 648 с.
28. Евтеев А.Е., Горбанев А.А., Колосов Б.Н., Юнаков А.М. Совершенствование технологии производства катанки и режимов работы стана 150 // *Труды второго конгресса прокатчиков*. 1998. С.286-289.
29. Жукова Е.Н., Ефимов А.А., Ткач А.Н. и др. Исследование циклической и статической трещиностойкости двухфазных ферритно-мартенситных сталей для холодной высадки / В книге: Новые конструкционные стали и сплавы и методы их упрочнения. – М.: МДНТП, 1984. С.86-91.
30. Закиров Б.М., Лавриненко Ю.А., Бобылев М.В. Получение высокопрочных крепежных изделий из низкоуглеродистой стали, предварительно закаленной из межкритического интервала / Сб. тезисов докладов «Материалы в автомобилестроении». – Тольятти, 1998. С. 45-46.
31. Закиров Д.М., Лавриненко Ю.А., Шолом В.Ю., Абрамов А., Галиахметов Т.Ш. Экологическая чистая технология подготовки подката для холодной объемной штамповки крепежных деталей // *Кузнечно-штамповочное производство*. 2001. №12. С. 26-30.
32. 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.
33. Кутяйкин В.Г. Измерение параметров структуры и дефектности металлических материалов в технологических процессах пластической и термической обработки. – Н.Новгород: ВГИПА, 2005. –231с.
34. Лавриненко В.Ю., Гартвиц А.А. Исследование влияния предварительной деформации металла на силу деформирования при холодной высадке крепежных деталей // *Метизы*. 2007. №3. С. 54-55.
35. Лавриненко Ю. А. Критерий выбора материала для высокопрочных крепежных изделий // *Метизы*. 2008. №3(19). С. 34-36.
36. Матвеев Б.П. Методы повышения качества сорта и катанки // *Производство проката*. №1. 2001. С. 40-47.
37. Москаленко Л.И., Рыбалко В.М. Высокопрочные болты из низкоуглеродистых сталей // *Металлургия и коксохимия*: Респ. Межвед. Науч.- техн. сб. – Киев: Техніка, 1987, вып. 92. – С. 36-39.
38. Одесский П.Д., Тишаев С.И., Бахтеева Н.Д. Упрочнение в потоке станов низкоуглеродистых сталей // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2000. №9. С. 36-38.
39. Патент РФ 2070581, С21 D 9/60, 1/32. Установка для термообработки калиброванной стали.
40. Патент РФ 2070582, С21 D 9/60, 1/32. Установка для термообработки калиброванной стали.
41. Парусов В.В., Прокофьев В.Н., Долженков И.И., Сорокин М.И., Марченко В.Э. и Нестерова Н.П. Усовершенствование технологии игольчатой проволоки // *Сталь*. 1980. №12. С. 190-192.
42. Пачурин Г.В., Филиппов А.А. Экономичная технология подготовки стали 40Х к холодной высадке крепежных изделий // *Вестник машиностроения*, 2008. № 7. С. 53-56.
43. Пудов Е.А. Пути улучшения качества проката 20Г2Р для холодной объемной штамповки // *Производство проката*. №3. 2001. С.17-19.
44. РД 37.002.0465-85. Холодная объемная штамповка специальных крепежных и фасонных деталей. Технологические процессы и инструмент. – Горький, 1986. – 81с.
45. Скуднов В.А. Предельные пластические деформации металлов / В.А. Скуднов. – М.: Металлургия, 1989. – 176 с.
46. *Сталь для холодной высадки и ее подготовка к высадке // Метизное производство*. Вып.1. – М.: 1983.
47. Тихонов А.К., Лавриненко Ю.А., Пелагин Ю.М., Урусов Ю.А. Низколегированные боросодержащие стали для высокопрочного крепежа / Сб. докладов Международной конференции «Надежность и качество в промышленности, энергетике и на транспорте». – Самара, 1999. С. 155-158.
48. Трусов В.А., Мичурин Б.В., Пятав В.В., Кузнецов В.А., Жадан В.Т., Федорищев Д.А. Исследование влияния способов холодной деформации на показатели качества высокоточных профилей. – М.: Труды второго конгресса прокатчиков. 1098. С. 473-478.
49. Филиппов А.А., Пачурин Г.В., Гушин А.Н., Пачурин В.Г. Повышение качества поверхности стального проката под калибровку перед высадкой крепежных изделий // *Заготовительное производство*. №3. 2007. С. 51-53.
50. Филиппов А.А., Пачурин Г.В. Подготовка калиброванного проката стали 40Х под холодную высадку высокопрочных длинномерных болтов / В кн.: Деформация и разрушение материалов и наноматериалов / *Материалы IV междунар. конф.* – М.: ИМЕТ РАН, 2011. С. 260-262.
51. Хейфец И.Л., Быкадоров А.Т. Подготовка стали 35Х к холодной высадке. Кузнечно-штамповочное производство. №9. 1975. С. 13-14.
52. Хейфец И.Л., Рахманова М.П. и В.А. Скуднов В.А. Подготовка стали для холодной высадки крепежных изделий сложной формы // *Сталь*. 1980. №5. С. 413-415.
53. Kanisawa H., Mori T., Okuno Y. Development of wire rod with low flow stress for non-heat-treated fasteners // *Wire Journal International / June 1990*. V.23. №4. P. 32-38.
54. Ferdinand Kersten, Jef Sluys, NEDSCROEF-HERENTALS. Fasteners applications in the automobile industrie / Seminar, BELZAN. – 1998.
55. Hoguch Y. et all // *Nippon Steel Techn. Rept.* 1999. N 80. P. 79-83.
56. Moebius H.E., Soraya S. «Mariform», Wire and wire rods for economical production, in Proceeding of 52nd Annual Convention of the Wire Association International Inc. P. 31-34.
57. Pierson G. Dual Phase Steel for non – heat-treatment high tensile bolts//*Wire Journal International*. June 1990. V. 25. №6. P. 53-57.