



**ТОЧНОСТЬ И КАЧЕСТВО
НАКАТЫВАЕМЫХ РЕЗЬБ
ГОЛОВКАМИ С ПРОДОЛЬНОЙ
ПОДАЧЕЙ**

**ACCURACY AND QUALITY
OF ROLLING THREADS
WITH LONGITUDINAL
FEED HEADS**

✉¹ **Болдырев Александр Александрович**,
к.т.н., доцент кафедры технологии машино-
строения, Воронежский государственный
технический университет, г. Воронеж,
e-mail: alexboldyrev@yandex.ru

✉¹ **Boldyrev Alexander Aleksandrovich**,
candidate of technical sciences, associate professor of
the department of mechanical engineering technol-
ogy, Voronezh state technical university, Voronezh,
e-mail: alexboldyrev@yandex.com

Григораш Владимир Васильевич,
к.т.н., доцент кафедры металлических и де-
ревянных конструкций, Воронежский госу-
дарственный технический университет,
г. Воронеж.

Grigorash Vladimir Vasilievich,
candidate of technical sciences, associate professor of
the department of metal and wooden structures,
Voronezh state technical university, Voronezh.

Болдырев Александр Иванович,
д.т.н., профессор кафедры технологии маши-
ностроения, Воронежский государственный
технический университет, г. Воронеж.

Boldyrev Alexander Ivanovich,
doctor of technical sciences, professor of the de-
partment of mechanical engineering technology,
Voronezh state technical university, Voronezh.

Падурец Анна Александровна,
магистрант кафедры технологии машиностро-
ения, Воронежский государственный техниче-
ский университет, г. Воронеж.

Padurets Anna Alexandrovna,
master's student of the department of mechanical en-
gineering technology, Voronezh state technical uni-
versity, Voronezh.

Болдырева Дарья Валерьевна,
магистрант кафедры технологии машиностро-
ения, Воронежский государственный техниче-
ский университет, г. Воронеж.

Boldyreva Darya Valerievna,
master's student of the department of mechanical en-
gineering technology, Voronezh state technical uni-
versity, Voronezh.

Аннотация. Статья посвящена изучению во-
просов производительности, точности и каче-
ства поверхностей резьб, накатываемых роли-
ками с кольцевыми витками при подаче вдоль
оси детали. Установлены погрешности, которые
необходимо учитывать путем внесения попра-
вок на размеры профиля и шага накатных роли-
ков, регламентации биений и т.д. Накатывание
изменяет структуру и создает упрочняющий по-
верхностный слой металлу, образующего про-
филь резьбы. Универсальность процесса позво-
ляет данный способ рекомендовать для накатыва-
ния как наружных, так и внутренних резьб.

Annotation. The article is devoted to studying the
issues of productivity, accuracy and quality of
thread surfaces knurled by rollers with annular
turns when fed along the axis of the part. Errors
are established that must be taken into account by
introducing corrections for the profile dimensions
and pitch of the knurling rollers, regulating the
beating, etc. Rolling changes the structure and cre-
ates a hardening surface layer of the metal that
forms the thread profile. The versatility of the pro-
cess allows the method to be recommended for
rolling both external and internal threads.

Ключевые слова: НАРУЖНЫЕ И ВНУТРЕННИЕ РЕЗЬБЫ, НАКАТЫВАНИЕ РЕЗЬБ, ТОЧНОСТЬ РЕЗЬБЫ, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗЬБЫ.

Keywords: EXTERNAL AND INTERNAL THREADS, THREAD ROLLING, THREAD ACCURACY, PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE THREAD SURFACE.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

В связи с решением задачи повышения производительности труда и автоматизации производства [1] стали широко внедряться в технологии изготовления деталей машин процессы обработки металлов холодным пластическим деформированием [2-7].

При изготовлении резьб такие методы обработки применяются достаточно давно. Наиболее распространено накатывание резьб плоскими плашками и двумя круглыми роликами с радиальной подачей [8]. В действующее производство внедрен и ряд других способов накатывания: выпуклой и вогнутой плашками, вместо плоских плашек, специальными роликами некруглой формы или разного диаметра и т.п. Все такие процессы обычно применяются для получения наружных резьб ограниченной длины [9].

Для широкого распространения высокопроизводительных и экономичных методов при изготовлении большой номенклатуры деталей с резьбой любой длины необходимо применять накатывание с продольной подачей. Продольная подача при накатывании может осуществляться как при параллельном, так и при перекрещивающемся расположении осей накатных роликов и заготовки. Накатывание с продольной подачей весьма актуально для изготовления резьб в условиях мелкосерийного производства.

Анализ технологических возможностей накатывания резьб с продольной подачей показывает следующее.

При накатывании с радиальной подачей «челночное» перемещение заготовки является одной из основных причин, вызывающих неполадки процесса и поломку станков. Однако на этих станках, применяя накатные ролики соответствующей конструкции можно получать резьбы неограниченной длины при осевой подаче заготовки в одном направлении [10].

Величина продольной подачи за один оборот заготовки при накатывании с сохранением параллельных осей накатных роликов и заготовки составляет лишь часть шага резьбы.

Если установить накатные ролики по отношению к оси накатываемой заготовки под углом подъема витков резьбы, а профильные витки на роликах выполнить кольцевыми, то при вращении роликов их витки, обкатывающие заготовку, будут перемещаться по винтовой линии, образуя резьбу требуемого шага [11].

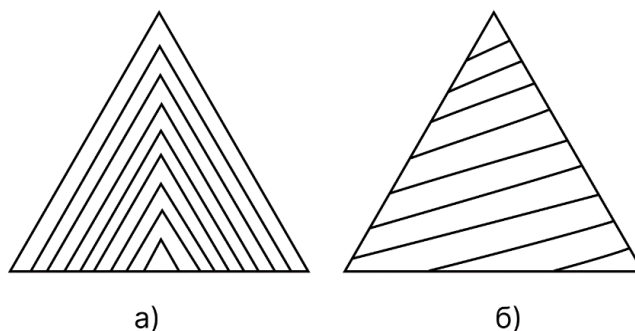
Так как на каждый оборот заготовки подача вдоль оси будет равна шагу резьбы, то производительность накатывания возрастает в 5-7 раз. При таком способе накатки резьбы различных диаметров одного и того же шага можно накатывать, не сменяя инструмента, причем в большинстве случаев точность резьбы получается в пределах 7 качества, а производительность по сравнению с нарезанием резьбы резьбонарезными головками оказывается в 2-3 раза большей [12].

Для получения наружных резьб этим способом применяются двух- или трехроликовые станки с наклонными шпинделями (для создания угла скрещивания осей) Наибольшая практическая ценность данного способа накатывания резьб заключается в том, что его можно осуществить как на специальных накатных станках, так и имеющихся в механических цехах предприятий универсальных станках – токарных, револьверных, сверлильных, модернизированных болто- и резьбонарезных, а также на автоматах и полуавтоматах, в специальных станках и в автоматических линиях. Для этого их необходимо только оснастить роликовыми резьбонакатными головками вращающегося или стационарного (не вращающегося) типа [13].

Необходимо отметить, что накатывание наружных и внутренних резьб роликовыми головками с продольной подачей можно широко использовать при построении технологических процессов по принципу концентрации операций в сочетании с самыми различными операциями или переходами обработки резанием.

2 Материалы и методы

Выполнение требуемой точности накатываемых резьб должно учитывать то, что в головках для накатывания резьб наклон осей роликов обеспечивает вращение их в плоскости угла подъема накатываемой резьбы. Ролики комплекта устанавливаются в головке с осевым сдвигом относительно друг друга на одну треть шага накатываемой резьбы [14]. Рабочий профиль накатного ролика имеет формообразующую (два-четыре витка на роликах головок и шесть-восемь – на роликах накатных станков) и калибрующую части (не менее четырех витков). Для шагов от 1 мм и выше в целях снижения усилия накатывания и получения большей точности шага рекомендуется применять накатные ролики с витками полного профиля на формообразующей части. Схема работы таких роликов показана на рис. 1, а. Для мелких шагов (менее 0,8 мм) в отдельных случаях можно допустить применение более простых роликов с плоскорезанными формообразующими витками, работающими по схеме, приведенной на рис. 1, б. При небольшом шаге резьбы и точности не выше 7Н/8г (Болт/Гайка) недостатки схемы (рис. 1, б) выражены не столь резко, как при шагах резьбы 1-2 мм и более, а шлифование мелкого профиля вызывает некоторые трудности. Поэтому можно допустить изготовление формообразующей части роликов с мелким шагом путем круглого шлифования на конус вместо резьбошлифования, которое требуется для работы роликов по схеме, приведенной на рис. 1, а.



а – при полном профиле формирующих витков (получен на резьбошлифовальном станке);
б – при плоскорезанном профиле (получен на круглошлифовальном станке)

Рисунок 1 – Схемы распределения припуска под накатывание при различных конструкциях формообразующей части роликов

Наличие угла скрещивания обуславливает появление специфических погрешностей в размерах среднего диаметра нескольких последних витков накатываемой резьбы, к ним относится невозможность получения резьбы с профилем, идеально прямолинейным в осевом сечении. Такая погрешность является следствием неточности самого метода формообразования, при котором винтовая поверхность резьбы образуется инструментом с кольцевыми витками, имеющими постоянный угол наклона. Практически эта погрешность незначительна, в особенности для резьб с шагом до 3 мм. Гораздо большее значение имеет погрешность по среднему диаметру. При перекрещивающихся осях накатного ролика и заготовки только один (копирующий) виток калибрующей части ролика (на ось симметрии которого проецируется точка скрещивания осей) профилирует резьбу в диаметральной плоскости. Другие калибрующие витки ролика обкатываются вокруг заготовки по несколько отличным диаметрам. Таким образом, на конечном отрезке резьбы средняя линия профиля представляет собой не прямую

линию, а участок однополостной гиперболы. Через последние несколько ниток накатываемой резьбы копирующий виток вообще пройти не может, если не считать случая накатывания резьбы «на проход» на гладких заготовках [12].

Увеличенный средний диаметр резьбы можно рассчитывать по следующей зависимости:

$$d_{\text{ср}}^* = d_{\text{ср}} \left(1 + \frac{B^2 \tan^2 \beta}{d_{\text{ср}}^2} \right),$$

где $d_{\text{ср}}$ – средний диаметр резьбы мм; B – длина линии контакта, мм; β – угол скрещивания осей накатного ролика и заготовки.

Расчетом установлено, что погрешность может достигать 37 мкм при диаметре резьбы 10 мм и угле подъема $3^\circ 30'$. Если рассчитанное таким образом увеличение среднего диаметра последних витков резьбы лежит в пределах допуска, то рассматриваемую погрешность можно использовать в целях повышения надежности затяжки (например, резьбы шпилек), не прибегая к достижению более высоких качеств точности резьбы.

При накатывании резьб роликами с кольцевыми витками необходимо (за исключением накатывания резьбы «на проход» при применении роликовых станков) оценивать эту погрешность, т.к. она значительно возрастает при углах подъема резьбы свыше $3-4^\circ$. Если погрешность превышает допустимое значение, то повысить точность резьбы можно двумя путями [15]:

- применять специальные ролики, кольцевые витки которых расположены на гиперболическом среднем диаметре, и тем самым компенсировать рассматриваемую погрешность;
- перейти на накатывание синхронно вращающимися роликами, установленными параллельно оси и имеющими не кольцевые, а винтовые витки.

В первом случае существенно усложняется конструкция ролика, во втором – резко падает производительность накатки до 4-5 раз.

При скрещивании осей, вынесенном назад за пределы ролика, участок с неполным профилем в конце резьбы увеличивается. Поэтому положение этого скрещивания следует оговаривать в чертежах допуском порядка $\pm 0,3$ мм.

На основании измерения пробной партии необходимо вносить в размеры инструмента поправки на шаг резьбы и угол профиля (отдельно на правую и на левую половину).

Отклонение угла установки роликов от расчетного значения влияет на величину искажения шага и на знак погрешности [16]. Изменяя разность в углах, можно перейти от растяжки шага к укорочению его. Так, при накатывании резьб на деталях из стали 40Х (ГОСТ 4543-2016) при соблюдении правильного угла установки роликов можно получать увеличение (растяжку) шага в пределах 5 мкм для двух соседних витков, а отклонение указанного угла ($+ 20^\circ$) приводит к укорочению шага при накатывании в среднем на 5 мкм. Рассеивание погрешностей установочного размера роликов при многократном закрывании головки находилось в пределах 23 мкм (среднее квадратичное отклонение размера было около 5 мкм).

В результате исследования действия этих и ряда других факторов установлено, что профиль накатанной резьбы формируется не просто как отпечаток рабочего профиля инструмента, а получает погрешности, которые необходимо учитывать путем внесения поправок в размеры профиля и шага накатных роликов, регламентации биений т.д.

На АО «Конструкторское бюро химавтоматики» (г. Воронеж) были выполнены экспериментальные исследования накатывания резьбы М16 на скоростях 19 м/мин и 38 м/мин. Жесткость резьбонакатной головки раскрывающегося типа составляла 47 кН/мм. Средний диаметр резьбы измерялся по методу трех проволок, остальные элементы профиля измерялись по стандартной методике на большом инструментальном микроскопе БМИ.

3 Результаты исследований

Установлено, что допуск на диаметр при накатывании с продольной подачей является одним из главных факторов, обуславливающих точность резьбы по среднему диаметру. Результаты измерения заготовок и накатных деталей (партиями по 50 штук) показали, что благодаря возможности свободного течения металла вдоль оси при накатывании с продольной подачей обеспечивается более выгодное соотношение между точностью заготовок и точностью полученной резьбы, чем при других способах накатывания. При получении резьбы М16 степени точности 8g с плоскими плашками диаметры заготовок колеблются в пределах 0,1 мм; накатывание с продольной подачей на таких заготовках позволило получать резьбы степени точности 6g по ГОСТ 16093-2004.

Из экспериментальных данных видно, что повышение скоростей накатывания роликовыми головками является эффективным средством повышения не только производительности и точности процесса, но также и стойкости инструмента. Так, при повышении скорости накатывания на изделиях из стали 40Х резьбы М16×2 с 25 до 38 м/мин сила накатывания уменьшается с 14,3 кН до 12,3 кН, что благоприятно сказывается на стойкости накатных роликов.

В применявшихся при экспериментах накатных роликах номинальный шаг резьбы поддерживался с допуском ± 3 мкм. На резьбе растяжка шага доходила (для сталей марок 45 и 40Х) до 20-28 мкм на длине 10 шагов; средняя величина растяжки шага составляла 5 мкм для соседних витков и 10 мкм на длине 10 шагов. Следовательно, эту величину можно учесть при изготовлении роликов в виде поправки на шаг. Для других накатываемых материалов вычитаемая поправка шага роликов может отличаться от полученной при данных экспериментах.

Рассеивание значений половин угла профиля полученной резьбы для правой и левой половин неодинаково. Так для той половины профиля, на которую действует приложенная осевая сила подачи, получено рассеивание величин угла в пределах $1^{\circ}30'$ (в большинстве случаев 1°), а для противоположной половины угла профиля рассеивание не превышало $50'$. Это объясняется нестабильностью приложенной осевой силы. Для повышения точности угла профиля следует применять установку головок на легких выдвижных скалках и отказываться от тяжелых суппортов, которые перемещаются от руки после того, как формирующие витки роликов захватили заготовку. Вертикальные суппорты следует уравнивать.

Левую сторону угла профиля рабочей части накатных роликов следует выполнять на $20'$ меньше половины номинального угла профиля резьбы, а величину правой половины угла профиля ролика увеличивать на $40-60'$.

Хотя в экспериментальные комплекты роликов указанные поправки на значения половин угла профиля не вносились (так как их значения не были еще известны) при проверке резьбовыми кольцами ПР и НЕ степени точности 6g оказались годными все партии деталей, для которых диаметры заготовок были выдержаны с допуском, равным половине допуска на средний диаметр резьбы.

Биение зажимного патрона или перекося оси заготовки при зажиме вызывает соответствующую погрешность в положении резьбовой шейки относительно базы детали (эксцентricность резьбы). Однако, если при нарезании резьбы перекося оси приводит к одностороннему срезанию профиля, то при накатывании с подачей вдоль оси резьба получает полный профиль. Для достижения соосности следует при накатывании головками устанавливать детали в центрах при соответствующей модернизации станка, например, токарного [17]. Овальность заготовок после накатывания головкой резко исправляется. Так, при накатывании заготовок с овальностью 0,08-0,1 мм получена резьба, у которой овальность среднего диаметра была в основном 0,02-0,04 мм (рис. 2).

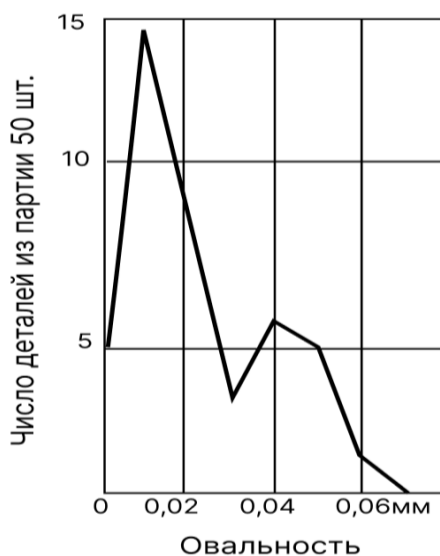


Рисунок 2 – Распределение погрешностей резьбы (овальность по среднему диаметру) для партии деталей с наружной резьбой М16×2, накатанной головкой

В связи с тем, что прочность резьбовых деталей и, в особенности, их циклическая прочность в значительной степени зависит от шероховатости поверхности, твердости и структуры поверхностных слоев. Изучение этих характеристик для накатываемых резьб, несомненно, представляет собой одну из актуальных задач.

По шероховатости поверхности резьбы детали не отличаются от получаемых при накатывании двумя роликами с радиальной подачей. Для углеродистых, хромистых и других сталей изменение скорости накатывания в указанных выше пределах не влияло на шероховатость профиля.

Особый интерес, однако, представляют вопросы, связанные не с изучением шероховатости, а с состоянием поверхностного слоя и структуры профиля, поскольку эти факторы оказывают основное влияние на эксплуатационные свойства полученной резьбы.

Накатывание вызывает значительное изменение структуры металла, образующего профиль резьбы. Оно выражается сильным деформированием зерен металла и вытягиванием их в направлении контура профиля резьбы. В результате поверхностный слой накатанной резьбы обладает свойствами, резко отличными от свойств исходного металла.

Микротвердость профиля резьбы в диаметральной сечении накатанных деталей измерялись с интервалами 0,05-0,1 мм в трех основных направлениях до получения повторяющихся цифр твердости, характеризующих исходное состояние металла. Наибольшее упрочнение (до 60 %) наблюдалось во впадинах профиля, а по вершинам и боковым сторонам оно сравнительно невелико. Для впадины первого витка резьбы упрочнение меньше, чем для последующих витков, вследствие интенсивного течения этой части припуска в сторону свободного торца.

Таким образом, накатывание с продольной подачей характеризуется в основном упрочнением впадин при отсутствии значительного (по сравнению с получаемым при радиальной подаче) наклепа боковых сторон профиля. Впадина профиля резьбы является концентратором напряжений и ее упрочнение приводит к повышению циклической прочности [18]. Но повышение циклической прочности накатанных резьб, имеющих определенную оптимальную глубину наклепа и степень упрочнения, характерно только для работы резьбового соединения при нормальных температурах. В условиях повышенных температур, например, при 700 °С, наличие наклепа приводит к противоположному эффекту.

4 Обсуждение и заключение

Основным преимуществом накатывания резьб роликами с кольцевыми витками при подаче вдоль оси детали является не только высокая производительность, но и универсальность процесса с точки зрения применяемого оборудования, инструмента, а также и видов деталей, на которых может быть накатана резьба. К числу этих деталей относятся и детали, имеющую большую длину, непрямолинейную ось или же сложную форму, затрудняющую или исключаящую возможность установки их на обычных станках для накатывания резьбы двумя или тремя роликами.

В целом можно заключить, что точность наружных резьб треугольного профиля при накатывании головками стабильно находится в пределах степени точности 6g. Эксперимент показал возможность получения этих резьб степени точности 4h, что подтверждено заводской практикой.

При оптимальных скоростях накатывания и неизменных других условиях [19] произвольное регулирование режима формообразования и калибрования исключается, в связи с чем отпадает вероятность получения дефектной структуры в слоях, образующих профиль резьбы.

Список литературы

- 1 Лоос, Д.С. Автоматизация технологических процессов как основное направление в повышении производительности труда / Д.С. Лоос. // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2020. – Т. 1. – С. 520 – 522.
- 2 Отений, Я.Н. Технологическое обеспечение качества деталей машин поверхностным пластическим деформированием: монография / Я.Н. Отений. – Волгоград: Политехник, 2005. – 224 с.
- 3 Болдырев, А.И. Электрохимикомеханическая обработка: монография / А.И. Болдырев. – Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2012. – 243 с.
- 4 Бобровский, Н.М. Инновационные технологии механической обработки деталей машин поверхностно-пластическим деформированием; учебное пособие / Н.М. Бобровский, И.Н. Бобровский. – Тольятти: ТГУ, 2013. – 80 с.
- 5 Технология финишной упрочняющей пневмодинамической обработки нежестких деталей: монография / А.П. Минаков [и др.]. – Могилев: Белорусско-Российский ун-т, 2016. – 294 с.
- 6 Зайдес, С.А. Новые способы поверхностного пластического деформирования при изготовлении деталей машин / С.А. Зайдес // Вестник МГТУ им. Г.Н. Носова – 2018. – Т. 16. – № 2. – С. 129 – 139.
- 7 Современные технологии формообразования: учебное пособие / В.А. Лебедев, А.И. Болдырев, М.А. Тамаркин, Ю.П. Анкудимов. – Москва: НИЦ ИНФРА-М, 2019. – 320 с.
- 8 Киричек, А.В. Резьбонакатывание: Библиотека технолога / А.В. Киричек, А.Н. Афонин. – Москва: Машиностроение, 2009. – 312 с.
- 9 Исаевич, Л.А. Анализ существующих способов получения пластическим деформированием периодических выступов и впадин на поверхности изделий / Л.А. Исаевич, Д.М. Иваницкий, Г.В. Костенко // Вестник Белорусского НТУ. – 2008. – № 2. – С. 209 – 218.
- 10 Тимирязев, В.А. Технология накатывания резьб большой длины / В.А. Тимирязев, М.З. Хостикоев, Ф.Н. Чертов // Известия МГТУ «МАМИ». – 2011. – № 2(12). – С. 177 – 180.
- 11 Хостикоев, М.З. Технология накатывания винтовых поверхностей на валах / М.З. Хостикоев, В.А. Темников, О.А. Телегина // Современные технологии в горном машиностроении: сборник научных трудов семинара. – Москва: МГТУ, 2011. – С. 80-83.
- 12 Афонин, А.Н. Повышение эффективности накатывания резьб: специальность 02.05.07 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»; автореферат на соискание ученой степени доктора технических наук / Афонин Андрей Николаевич; науч. конс. А.В. Киричек; Орловский государственный технический университет. – Орел, 2010. – 32 с.
- 13 Гречишников, В.А. Резьбообразующий инструмент: учебное пособие / В.А. Гречишников [и др.]. – Пенза: ПТИ, 1999. – 405 с.
- 14 Paul, E. A schematic of the three die cylindrical thread rolling process/ Based on an image from Degarmo / E. Paul, J.T. Black, R.A. Kohser. // Materials and Processes in Manufacturing. – 2003. – № 9. – P. 757 – 765.
- 15 Железков, С.О. Повышение эффективности процесса накатки крупной резьбы на основе совершенствования технологии и конструкции инструмента: специальность 05.16.05 «Обработка металлов давлением»; автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук / Железков

Сергей Олегович; науч. рук. А.Б. Моллер; Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. – Магнитогорск, 2011. – 18 с.

16 Saidova, M. The Main Problems with Thread Rolling that Affect the Quality of the Product / M. Saidova, A. Achilov // Academic International Conference on Multidisciplinary Studies and Education. – 2022. № 1(6). – P. 4-6.

17 Миропольский, Ю.А. Технология и оборудование для накатывания резьб и профилей: обзор / Ю.А. Миропольский, А.Н. Насонов. – Москва: НИИМаш, 1971. – 176 с.

18 Макаров, В.Ф. Повышение надежности и качества изделий на основе снижения влияния локальных концентраторов напряжений в обрабатываемых деталях / В.Ф. Макаров, С.П. Никитин, Н.В. Песин, А.С. Горбунов. // Надежность и качество: труды XXII международного симпозиума. – Пенза: ИПУ РАН, 2017. – С. 133-138.

19 Rajabovich, B.N. Study of the Influence of Rolling Modes and Regimes on the Physical and Mechanical Properties of the Thread / B.N. Rajabovich, U.N. Fayzilloevich, O.A. Adiljonovich // Eurasian Journal of Research Development and Innovation. – 2022. – № 13. – P. 23-27.

References

1 Loos, D.S. Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh processov kak osnovnoe napravlenie v povyshenii proizvoditelnosti truda / D.S. Loos. – Tekst: neposredstvennyy // Aktualnye problem aviatsii i kosmonavtiki. – 2020. – T. 1. – S. 520 – 522.

2 Otenij, Ya.N. Tekhnologicheskoe obespechenie kachestva detale mashin poverhnostnym plasticheskim deformirovaniem: monografiya / Ya.N. Otenij. – Volgograd: Politehnik, 2005. – 224 s.

3 Boldyrev, A.I. Elektrohimiomekhanicheskaya obrabotka: monografiya / A.I. Boldyrev. – Voronezh: IPC VGU, 2012. – 243 s.

4 Bobrovskij, N.M. Innovatsionnye tekhnologii mekhanicheskoy obrabotki detalej mashin poverhnostno-plasticheskim deformirovaniem; uchebnoe posobie / N.M. Bobrovskij, I.N. Bobrovskij. – Tolyatti: TGU, 2013. – 80 s.

5 Tekhnologiya finishnoj uprochnyayushchej pnevmodinamicheskoy obrabotki nezhestkih detalej: monografiya / A.P. Minakov [i dr.]. – Mogilev: Belorussko-Rossiiskij un-t, 2016. – 294 s.

6 Zajdes, S.A. Novye sposoby poverhnostnogo plasticheskogo deformirovaniya pri izgotovlenii detalej mashin / S.A. Zajdes. // Vestnik MGTU im. G.N. Nosova – 2018. – T. 16. – № 2. – S. 129 – 139.

7 Sovremennye tekhnologii formoobrazovaniya: uchebnoe posobie / V.A. Lebedev, A.I. Boldyrev, M.A. Tamarkin, Yu.P. Ankudimov. – Moskva: NIC INFRA-M, 2019. – 320 s. Tekst: neposredstvennyy.

8 Kirichek, A.V. Rezbonakatyvanie: Biblioteka tekhnologa / A.V. Kirichek, A.N. Afonin. – Moskva: Mashinostroenie, 2009. – 312 s.

9 Isaevich, L.A. Analiz sushchestvuyushchih sposobov polucheniya plasticheskim deformirovaniem periodicheskikh vystupov i vpadin na poverhnosti izdelij / L.A. Isaevich, D.M. Ivanickij, G.V. Kostenko. – Tekst: neposredstvennyy // Vestnik Belorusskogo NTU. – 2008. – № 2. – S. 209 – 218.

10 Timiryazev, V.A. Tekhnologiya nakatyvaniya rezb bolshoj liny / V.A. Timiryazev, M.Z. Hostikoev, F.N. Chertov. // Izvestiya MGTU «MAMI». – 2011. – № 2(12). – S. 177 – 180.

11 Hostikoev, M.Z. Tekhnologiya nakatyvaniya vintovyh poverhnostej na valah / M.Z. Hostikoev, V.A. Temnikov, O.A. Telegina. // Sovremennye tekhnologii v gornom mashinostroenii: sbornik nauchnyh trudov seminar. – Moskva: MGGU, 2011. – S. 80-83.

12 Afonin, A.N. Povyshenie effektivnosti nakatyvaniya rezb: specialnost; 02.05.07 «Tekhnologiya i oborudovanie mekhanicheskoy i fiziko-tekhnicheskoy obrabotki»; avtoreferat na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Afonin Andrej Nikolaevich; nauch. kons. A.V. Kirichek; Orlovskij gosudarstvennyy tekhnicheskij universitet. – Orel, 2010. – 32 s.

13 Grechishnikov, V.A. Rezboobrazuyushchij instrument: uchebnoe posobie / V.A. Grechishnikov [i dr.]. – Penza: PTI, 1999. – 405 s.

14 Paul, E. A schematic of the three die cylindrical thread rolling process/ Based on an image from Degarmo / E. Paul, J.T. Black, R.A. Kohser // Materials and Processes in Manufacturing. – 2003. – № 9. – P. 757 – 765.

15 Zhelezkov, S.O. Povyshenie effektivnosti processa nakatki krupnojrezby na osnove sovershenstvovaniya tekhnologii i konstrukcii instrumenta: specialnost; 05.16.05 «Obrabotka metallov davleniem»; avtoreferat na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Zhelezkov Sergej Olegovich; nauch. ruk. A.B. Moller; Magnitogorskij gosudarstvennyy tekhnicheskij universitet im. G.I. Nosova. – Magnitogorsk, 2011. – 18 s.

16 Saidova, M. The Main Problems with Thread Rolling that Affect the Quality of the Product / M. Saidova, A. Achilov. // Academic International Conference on Multy-Disciplinary Studies and Education. – 2022. – № 1(6). – P. 4-6.

17 Miropolskij, Yu.A. Tekhnologiya i oborudovanie dlya nakatyvaniya rezb i profilej: obzor / Yu.A. Miropolskij, A.N. Nasonov. – Moskva: NIIMash, 1971. – 176 s.

18 Makarov, V.F. Povyshenie nadezhnosti I kachestva izdelij na osnove snizheniya vliyaniya lokalnyh koncentratorov napryazhenij v obrabatyvaemyh detalyah / V.F. Makarov, S.P. Nikitin, N.V. Pesin, A.S. Gorbunov // Nadezhnost i kachestvo: trudy XXII mezhdunarodnogo simpoziuma. – Penza: IPU RAN, 2017. – S. 133-138.

19 Rajabovich, B.N. Study of the Influence of Rolling Modes and Regimes on the Physical and Mechanical Properties of the Thread / B.N. Rajabovich, U.N. Fayzilloevich, O.A. Adiljonovich. – Tekst: neposredstvennyj // Eurasian Journal of Research Development and Innovation. – 2022. – № 13. – P. 23-27.

© Болдырев А. А., Григораш В. В., Болдырев А.И.,

Падурец А. А. Болдырева Д. В., 2025