

УДК 621.88.083.8  
ББК34.441

**Сергей Яковлевич Березин**  
доктор технических наук, профессор,  
Забайкальский государственный университет  
(Чита, Россия), e-mail: berlog\_berezin2011@mail.ru  
**Людмила Сергеевна Романова**  
канд. техн. наук, доцент  
Забайкальский государственный университет  
(Чита, Россия), e-mail: Kurlser@yandex.ru

### Асимметрия выдавливаемых профилей при образовании гладко-резьбовых соединений

Рассмотрены вопросы формирования внутренних резьбовых профилей при ввинчивании шпилек в гладкие отверстия. Установлены причины появления значительной асимметрии профилей, связанные с геометрией деформирующих участков заходного витка шпилек, образованного торцовой фаской. Серией моделирующих экспериментов установлен характер течения металла при деформации и влияние геометрии на степень асимметричности профилей внутренней резьбы.

*Ключевые слова:* резьбовыдавливание, гладко-резьбовые соединения, резьбовой профиль, асимметрия, резьбовые шпильки, деформирующий виток, напряжения, внутренняя резьба, микротвердость, изосклеры, кратер.

**Sergey Yakovlevich Berezin**  
Doctor of Engineering Science, Professor,  
Zabaikalsky State University  
(Chita, Russia), e-mail: berlog\_berezin2011@mail.ru  
**Lyudmila Sergeevna Romanova**  
Candidate of Engineering Science, Associate Professor  
Zabaikalsky State University  
(Chita, Russia), e-mail: Kurlser@yandex.ru

### Asymmetry of Structural Extrusion When Forming Smooth-Threaded Connections

The paper considers the issues of internal thread profile formation when screwing studs in smooth holes. The reasons of emergence of considerable asymmetry of the profiles connected with geometry of deforming sites of a beginning spire of the studs formed by a butt facet are determined. A series of modeling experiments established a character of a metal current under deformation and influence of geometry on asymmetry degree of internal thread profiles.

*Keywords:* tapping thread, smooth-threaded connections, thread profile, asymmetry, thread studs, deformation beginning spire, stresses, internal thread, microhardness, isoskleres, crater.

Первые сведения о резьбовыдавливающих шпильках стали появляться в 60–70 годах прошлого столетия в Германии и в СССР. Одно из первых сообщений было сделано А. Гётлингом в 1968 г. [1]. Он описал возможности завинчивания шпилек диаметром М12 в гладкие отверстия корпусных деталей из алюминиево-медного сплава AlCuSi. Впоследствии Хр. Ингером были также представлены результаты экспериментов по ввинчиванию шпилек М10 в гладкие отверстия алюминиевых корпусов [2].

Советская промышленность и наука очень быстро отреагировали на данную информацию. Тремя годами позже были опубликованы данные об опыте внедрения такой технологии на Уфимском моторостроительном заводе при сборке блоков двигателя автомобиля «Москвич-412» [3]. Применялись шпильки М6...М12 из стали 38ХА. Параллельно эта технология начала внедряться на производственном объединении «Пермские моторы». В Перми над данной проблемой работали

И. Ф. Молохов, В. А. Оконешников [4]. Научное обоснование метода в Башкирии разрабатывалось Н. С. Буткиным, В. С. Гепштейном, Н. Н. Красильниковым на базе Уфимского авиационного института под руководством к. т. н. С. Н. Захарова. В дальнейшем опыт сборки таких соединений с успехом применяли на Алтайском моторном заводе, Днепропетровском агрегатном, Львовском автобусном, ряде мотоциклетных заводов, Читинском машиностроительном и других предприятиях.

В 70-е годы соединения, образованные путем ввинчивания шпилек в гладкие отверстия корпусов из алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов получили название «гладко-резьбовых соединений». Данный термин долго использовался практически в течение 20 последующих лет, однако не получил законной силы, очевидно, потому, что он был технически некорректен. Поэтому в государственных и отраслевых стандартах на шпильки для этой технологии их стали называть «шпильки для деталей с гладкими отверстиями», а термин «гладко-резьбовые соединения» стал своего рода техническим жаргонизмом, который иногда встречается даже в современных источниках [5].

При образовании такого соединения резьба в гнезде выдавливается заходным витком шпилек. По мере завинчивания на требуемую глубину образуется тугое резьбовое соединение с натягом по среднему диаметру. Экономия от применения гладко-резьбовых соединений складывалась от устранения затрат на операцию предварительного резьбонарезания, экономии режущего, мерительного инструмента и т. п. Действительно, операция была достаточно простой и не требовала тщательной подготовки отверстий под шпильки. Их можно было получать, как говорили «из-под сверла», т. к. вполне подходили допуски по 9–12 квалитетам.

Диапазон материалов корпусных деталей, в отверстия которых завинчиваются шпильки, достаточно многообразен. Все определяет класс прочности материала самой шпильки, точнее соотношение пределов прочности материалов резьбовой пары. Наиболее целесообразно соотношение пределов прочности материалов корпуса и шпильки, установленное Н. С. Буткиным, при котором предел прочности шпильки должен превышать аналогичный параметр корпуса в 3,33 раза [6]. Это соответствует возможности ввинчивания шпилек в гнезда корпусов из алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов: АЛ4, АЛ5, АЛ9, АК4, МЛ5, МЛ7, ЦАМ 4-1, ЦАМ 4-3, наиболее распространенные в агрегатостроении, приборо-, моторостроении и других областях производства машин. При использовании упрочненных шпилек возможно образование таких соединений в малоуглеродистых сталях и серых чугунах.

При исследовании процессов резьбообразования в гладко-резьбовых соединениях Н. С. Буткиным и В. М. Лабецким был установлен факт образования асимметрии формируемого профиля. Причиной асимметрии являлась своеобразная схема внедрения деформирующего витка шпилек, особенно той его части, которая образована плоскостью торцевой фаски. Металлографические исследования авторов позволили установить картины течения металла при заполнении впадин охватываемой резьбы. Конфигурация вершин внутренней резьбы зависит от угла фаски заходного витка и чем он более пологий, тем равномернее происходит формирование вершины, и тем симметричнее располагается ее кратер (см. рис. 1).

Однако, несмотря на установленные причины, в печати еще появляются работы, посвященные данной проблеме [5; 7], поэтому для разъяснения сути процессов, происходящих при работе деформирующего витка, авторы представляют результаты собственных исследований, произведенных на специальной установке, моделирующей процесс в укрупненных формах, а также металлографических исследований и измерений микротвердости.

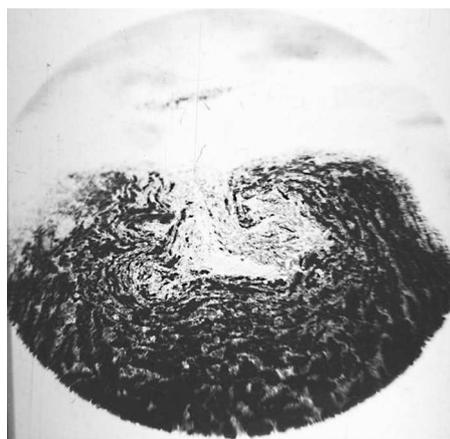
Установка представляет собой специальный пресс в виде крупной резьбовой пары М50х18,0, включающей гайку-матрицу и винт-пуансон (рис. 2). Матрица 1, в которую завинчивается пуансон 2, установлена на основании 3 и зафиксирована сваркой. В матрице сделан секторный вырез, на левой стенке которого обработан фрезой специальный паз 4 для закрепления в нем винтами свинцовых образцов. Винты завинчиваются в отверстия 5 паза матрицы. Свинцовые образцы, приведенные на рис. 3, рис. 4 применялись сдвоенные и одинарные. Они отливались в специальной форме, затем обрабатывались, и далее на их плоскости наносилась координатная сетка для установления траектории течения металла.

На рис. 5 приведена картина искривления линий координатной сетки свинцовых образцов.

Поскольку геометрия деформирующего витка сформирована торцевой фаской шпильки, то линия его главного ребра не следует по общей винтовой линии нарезки и деформирующий виток внедряется не в радиальном направлении, как у раскатника, а работает как плуг, толкая волну металла перед собой (рис. 2в). По мере завинчивания главное ребро теряет остроту, завальцовывается и первый виток уменьшается по высоте. Образуется небольшая конусность по наружному диамет-



Асимметричный кратер на вершине резьбового профиля, выдавленного шпилькой с углом торцевой фаски 45° (сплав АЛ9)1



Симметричный кратер вершины, полученный шпилькой с фаской 20° (сплав АЛ9)

Рис. 1. Влияние углов фаски шпильки на конфигурацию вершин профиля

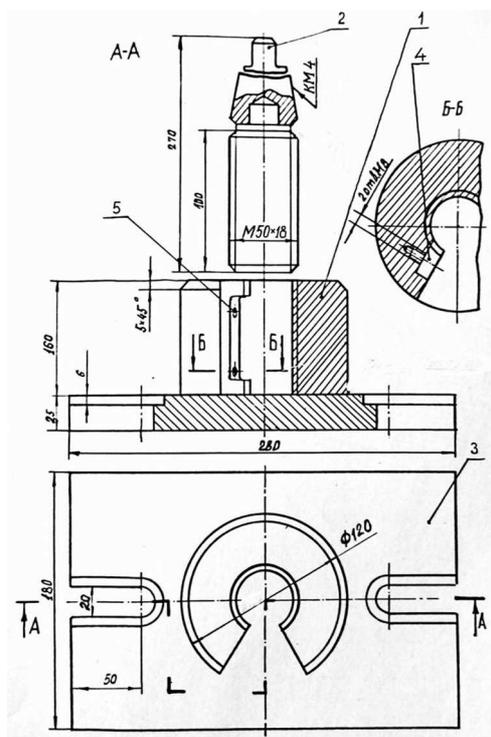


Рис. 2. Пресс для выдавливания профиля резьбы на свинцовых образцах

ру и последующим виткам приходится как бы дорабатывать за первым в условиях значительной упруго-пластической деформации и трения [8].

На рис. 5 видны две важные области формирования внутреннего резьбового профиля: I – область внедрения деформирующей грани заходного витка; II – область между боковыми сторонами витков. В первой действуют наибольшие сжимающие контактные напряжения и в ней сетка линий уплотнена наибольшим образом. Во второй зоне по вертикальной оси видны явные уширения линий сетки. Это свидетельствует о действии наибольших растягивающих напряжениях, увеличивающихся от глубинных областей до вершины витка. В поперечной плоскости действуют сжимающие напряжения и тем самым обеспечивается затекание металла во впадину.

Тыльная сторона заходного витка при завинчивании скользит по линии п-п, не вызывая осо-

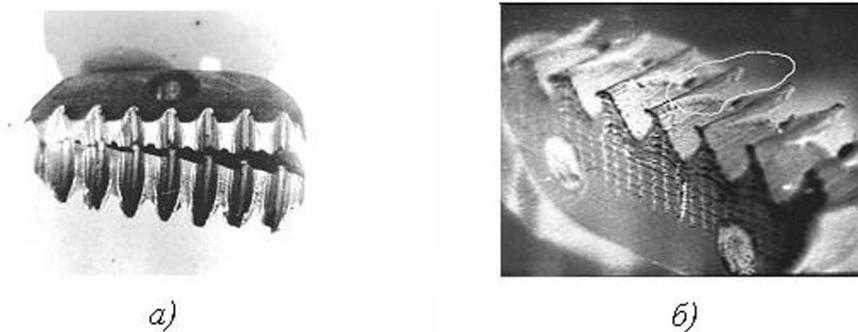


Рис. 3. Свинцовые образцы: а) двойные свинцовые образцы; б) вид координатной сетки; контуром обведена волна выдавливаемого металла

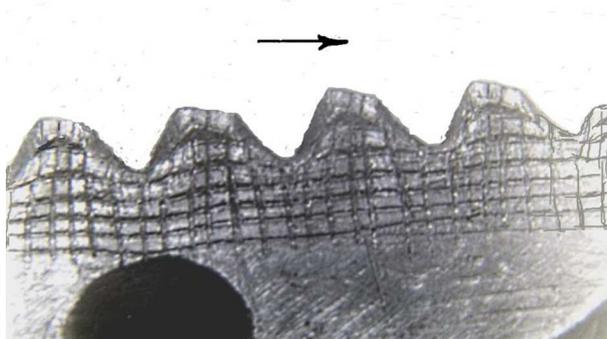


Рис. 4. Деформация координатной сетки при вдавливании деформирующего витка (стрелка показывает направление ввинчивания. Видны уширения линий координатной сетки в зоне растягивающих напряжений)

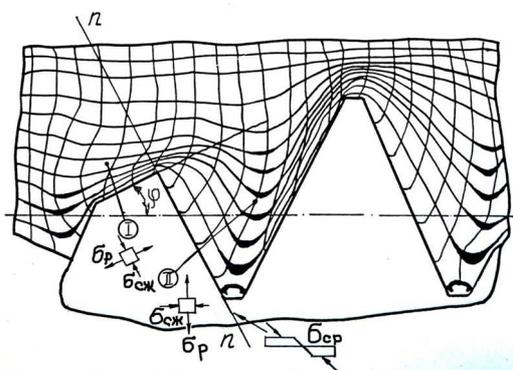


Рис. 5. Картина искривлений координатной сетки свинцовых образцов после внедрения задней части резьбового пуансона ( $\varphi$  – угол торцевой фаски и, соответственно, угол наклона деформирующей грани задней части витка)

бых искривлений прилегающих линий, что свидетельствует о действии на этом участке срезающих напряжений от косо́го резания. Эти напряжения кратно меньше напряжений, действующих в I области.

По мере внедрения заднего витка с углом фаски от 45° и выше, формирование внутреннего профиля проходит несколько этапов. В начале внедрения деформирующего ребра с левой стороны грани образуется небольшой выступ (рис. 6а), который растет по высоте, образуя в сечении треугольник с углом нижней стороны (рис. 6б). На следующем обороте шпильки задний виток вмывает часть выступа в форме треугольника abc и вместе с ним формирует следующий выступ (рис. 6в). При крутом угле фаски выступ не имеет четкой треугольной геометрии, а напоминает волну,

которую катит перед собой заходной виток (рис. 6в), образуя левую сторону кратера, показанного на микрошлифах левого рис. 1 и рис. 5а. Затем эта сторона (волна) завивается в узел, который далее может уплотняться и калиброваться площадкой внутреннего диаметра резьбы шпильки (рис. 7б, в).

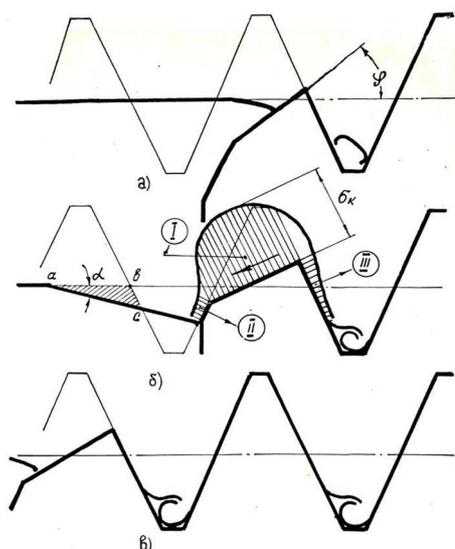


Рис. 6. Этапы внедрения деформирующего витка:  
а) начало внедрения; б) образование напльва (волны); в) внедрение на следующем обороте

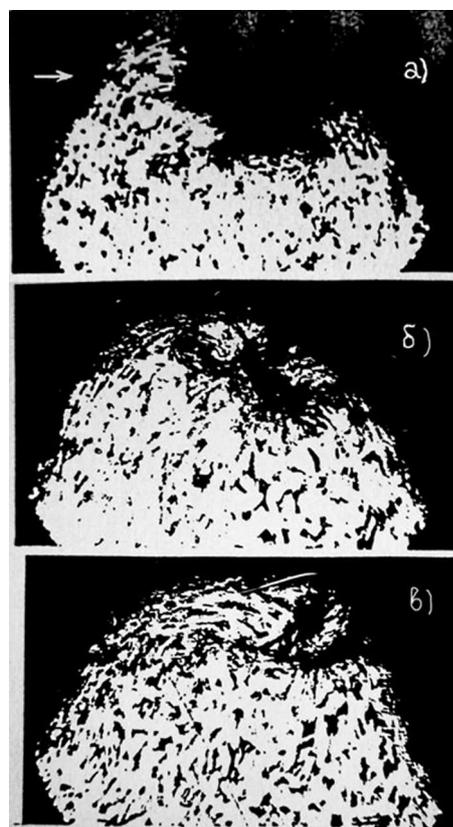


Рис. 7. Фазы формирования асимметричного профиля в стали 20 при угле фаски 45°:  
а) образование кратера;  
б) смыкание стенок кратера и завивка вершины;  
в) уплотнение вершины

На рис. 7 представлены этапы формирования вершин внутреннего профиля резьбы М14х1,5, полученных ввинчиванием закаленных шпилек из стали 38ХА в гладком отверстии образца из стали 20 с небольшой конусностью. Конусность позволила выявить витки, соответствующие указанным на рис. 7 этапам формирования вершины.

Для уменьшения асимметрии и усилий, необходимых для формирования резьбы, некоторые авторы предлагали оптимизировать форму заходного витка шпилек путем шлифовки и выполнять его островершинным. Данный подход достаточно проблематичен, поскольку любая дополнительная обработка стержней или их резьбы ведет к удорожанию производства крепежных деталей и экономически нецелесообразна. Более приемлемым может быть вариант этапной прокатки стержней шпилек на плоскокатных станках. На первом этапе прокатываются фаски, а на втором резьба.

Образование асимметрии проявляется не только в форме витка, но и в степени упрочнения его боковых сторон. На рис. 8, рис. 9 приведены результаты измерения микротвердости материала профиля резьбы из сплава АЛ-10В, полученного путем завинчивания деформирующих шпилек с ультразвуком.

Наибольшую степень упрочнения получает материал в области вершины заходного витка и верхней части его деформирующей грани, т. е. в сечениях I–I и IV–IV.

В меньшей степени упрочняется материал в нижней части формирования напльва (сечение III–III), а в еще более меньшей тыльная сторона витка (сечение II–II). Как видим, также изосклеры имеют заметный наклон в сторону областей, сформированных деформирующей частью витка.

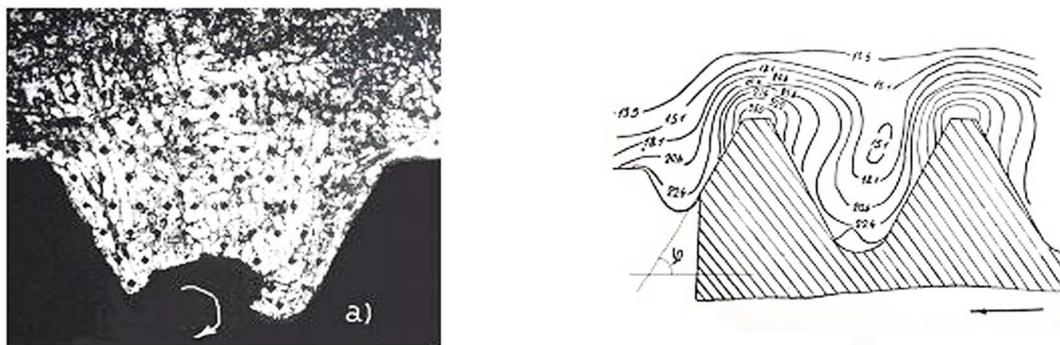


Рис. 8. Результаты замеров микротвердости: а) профиль витка с точками замеров; б) изосклеры распределения микротвердости по профилю

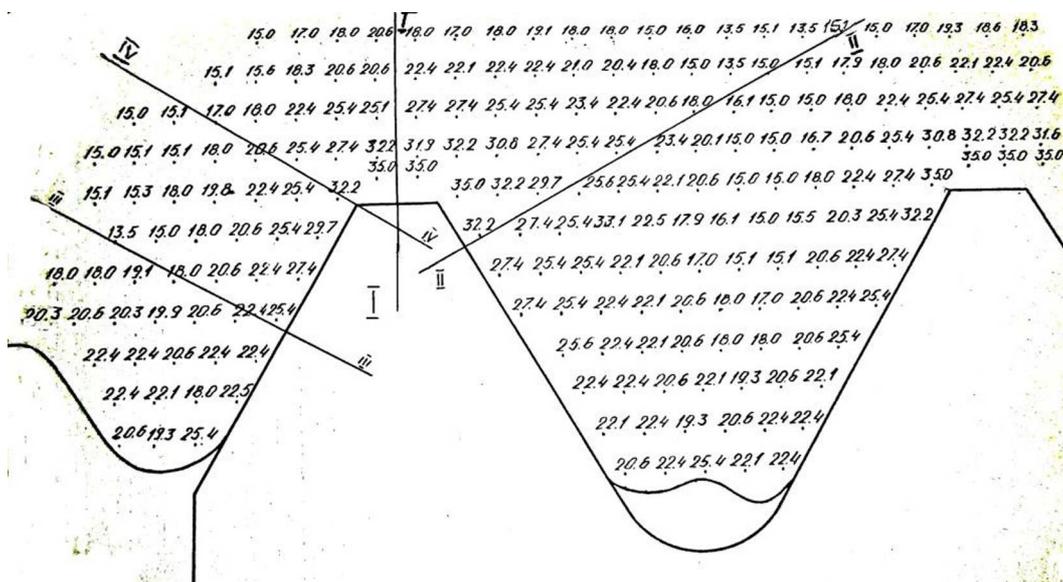


Рис. 9. Плотная сетка замеров и их характерные направления

Упрочнение резьбового профиля положительно сказывается на эксплуатационных характеристиках соединений: статической прочности, стопорящих свойствах, виброустойчивости. Наличие кратеров и асимметрии тоже не снижает этих показателей, однако изучение этих явлений необходимо для понимания сути происходящего процесса деформирования и построения адекватных математических моделей процесса формообразования, максимально приближенных к реальным условиям. Их изучение полезно также и для разработки технологических рекомендаций для производства крепежных деталей, выполняющих резьбообразовательную функцию, ориентированных на получение внутренних резьб высокого качества и высоких эксплуатационных свойств соединений.

### Список литературы

1. Göthling A. Toleranzen und Festigkeit geformt Gewinde // Maschinenbau. 1968. 17. № 4. P. 171–174.
2. Ингер Х. Посадка резьбовых шпилек в цилиндрические отверстия деталей с самонакатыванием резьбы // Технология и оборудование механосборочного производства: Экспрес-информация. М.: ВИНТИ, 1975. № 26. С. 35–28.
3. Красильников Н. И., Иосилевич Г. Б., Гешштейн В. С., Буткин Н. С. Посадка шпилек в алюминиевые картеры двигателей путем самонакатывания резьбы // Автомобильная промышленность. 1971. № 4. С. 36–37.

4. Молохов И. Ф., Оконешников В.А. Ввертывание шпилек в гладкие цилиндрические отверстия // Вестник машиностроения. 1975. № 2. С. 48–50.
5. Данилова Л. Н. Влияние кинематики процесса свинчивания на качество гладко-резьбовых соединений // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. «Сибресурс 2008»: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., 20–21 нояб. 2008 г. / редкол.: Ю. А. Антонов (отв. редактор). Кемерово: ГУ КузГТУ, 2008. С. 248–251.
6. Якушев А. И., Мустаев Р. Х., Мавлютов Р. Р. Повышение прочности и надежности резьбовых соединений. М.: Машиностроение, 1979. 215 с.
7. Юринец Р. В. Обеспечение качества гладко-резьбовых соединений // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. тр. XIII Междунар. науч.-техн. конф. 11–16 сентября 2006 г. в Севастополе. В 5 т. Донецк: ДонНТУ. Т. 5. С. 340–343.
8. Семичевский Г. А., Березин С. Я. Технология сборки гладко-резьбовых соединений: монография. Чита: ЗабГПУ им. Н. Г. Чернышевского, 1998. 100 с.

### *References*

1. Göthling A. Toleranzen und Festigkeit geformt Gewinde // Maschinenbau. 1968. 17. № 4. P. 171–174.
2. Inger Kh. Posadka rezbovykh shpilek v tsilindricheskiye otverstiya detaley s samonakatyvaniyem rezby // Tekhnologiya i oborudovaniye mekhanosborochного производства: Ekspres-informatsiya. М.: VINITI, 1975. № 26. S. 35–28.
3. Krasilnikov N. I., Iosilevich G. B., Gepshteyn V. S., Butkin N. S. Posadka shpilek v alyuminiyevye kartery dvigateley putem samonakatyvaniya rezby. // Avtomobilnaya promyshlennost. 1971. № 4. S. 36–37.
4. Molokhov I. F., Okoneshnikov V. A. Vvertyvaniye shpilek v gladkiye tsilindricheskiye otverstiya // Vestnik mashinostroyeniya. 1975. № 2. S. 48–50.
5. Danilova L. N. Vliyaniye kinematiki protsessa svinchivaniya na kachestvo gladko-rezbovykh soyedineniy. // Prirodnye i intellektualnye resursy Sibiri. «Sibresurs 2008»: Materialy XII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 20–21 noyab. 2008 g. / redkol.: Yu. A. Antonov (otv. redaktor). Kemerovo: GU KuzGTU, 2008. S. 248–251.
6. Yakushev A. I., Mustayev R. Kh., Mavlyutov R. R. Povysheniye prochnosti i nadezhnosti rezbovykh soyedineniy. М.: Mashinostroyeniye, 1979. 215 s.
7. Yurinets R. V. Obespecheniye kachestva gladko-rezbovykh so-edineniy // Mashinostroyeniye i tekhnosfera XXI veka. Sb. trudov XIII Mezhdunar. nauch.-tekhn.konf. 11–16 sentyabrya 2006 g. v Sevastopole. V 5 t. Donetsk: DonNTU. T. 5. S. 340–343.
8. Semichevsky G. A., Berezin S. Ya. Tekhnologiya sborki gladko-rezbovykh soyedineniy: monografiya. Chita: ZabGPU im. N. G. Chernyshevskogo, 1998. 100 s.

*Статья поступила в редакцию 20.04.2013*