

9. Бордусов, С.В. Плазменные процессы в производстве изделий электронной техники / С.В. Бордусов, М.И. Босьяков, И.В. Свадковский, А.Ф. Ильющенко, Л.П. Ануфриев, Е. Lugsheider. – В 3-х т. – Т.1. – Мн.: ФУАинформ, 2000. – 424 с.
10. Лукьянов, Г.А. Сверхзвуковые струи плазмы. – Л.: Машиностроение, 1985. – 264 с.
11. Справочник технолога–машиностроителя. В 2-х т. / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.

Материал поступил в редакцию 15.10.09

ONYSKO S.R., SAZONOV M.I., CHVISEVICH V.M., YAKUSHEVICH S. Precipitation carbon pellicle on cutting of a plate and their test

Clause is devoted to experimental researches of process precipitation carbonaceous pellicle with the help plasmatron on cutting carbide of a plate and them stable of test at processing constructional alloy steel.

The authors in detail state the mechanism sputtering on plasmatron with graphite and tungsten by cathodes. The characteristics of parameters of a plasma flow, change of structure and form of a plasma jet are given depending on distance up to a substrate.

Comparative stable of test sputtering of plates at processing steel of the marks 40H, SH15 the dependences of stability of the tool on parameters of a plasma jet have revealed, that allows to nominate optimum conditions sputtering.

Representation the results of researches contain in clause elements of scientific novelty and can be used at the enterprises of metal working.

УДК 621.787.4.048.6

Клубович В.В., Абрамова А.В.

ПОВЕРХНОСТНАЯ ОБРАБОТКА ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Введение. Известно, что эксплуатационные характеристики изделий во многом зависят от качества поверхностного слоя. Так, прочность, износостойкость, коррозионная стойкость, долговечность и надежность определяются состоянием поверхностного слоя, с которого обычно начинается разрушение материала. В связи с этим весьма актуальной становится проблема поиска новых эффективных способов упрочнения поверхностного слоя деталей машин, которые работают в условиях износа и воздействия вибраций. В настоящее время одним из более эффективных способов упрочнения деталей является отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием с наложением ультразвуковых колебаний, которая позволяет значительно уменьшить высоту микронеровностей и создает в поверхностных слоях благоприятную эпюру остаточных сжимающих напряжений. Последняя наиболее эффективна при обработке деталей машин, работающих на истирание, а также восстанавливаемых после их износа для обеспечения дальнейшей функциональной пригодности.

Так, например, коленчатые валы двигателей автомобилей, тракторов и других машин в процессе эксплуатации подвергаются быстрому износу. Поэтому при восстановлении шеек коленчатых валов двигателей применяют в основном два способа: наплавку или металлизацию газодинамическим напылением различными порошковыми материалами. Оба способа предполагают последующую шлифовку и упрочняющую ультразвуковую обработку поверхностных слоев нанесенного покрытия.

Способы и устройства ультразвуковой обработки. Для проведения исследований по упрочнению восстановленной поверхности шейки коленчатых валов в ИТА НАН Беларуси были разработаны способы и устройства для ультразвуковой упрочняюще-чистовой обработки коленчатых валов двигателей автомобилей и тракторов. В литературе [1] известно устройство для упрочнения с ультразвуком наружных цилиндрических поверхностей валов, содержащее ультразвуковой преобразователь, концентратор, расположенный на его торце деформирующий элемент в виде ролика, который установлен под углом к оси детали. Однако это устройство не позволяет обработать всю шейку коленчатого вала вследствие упора концентратора в поверхность щеки. Так как центр пятна контакта ролика с обрабатываемой поверхностью находится на оси волновода, то необработанным остается прилегающий к щекам коленчатого вала участок, минимальная ширина которого равна радиусу торца концентратора. Наряду с этим от ударного воздействия ролика, колеблющегося с ультразвуковой частотой, деформируется край маслоподающего отверстия. Для избе-

жания этого разработали способ и устройство для упрочняюще-чистовой обработки ультразвуковым инструментом шеек валов, содержащее ультразвуковой генератор и опорную плиту, смонтированную на суппорте токарного станка. На плите установлен также ультразвуковой преобразователь с выглаживающим инструментом в виде полусферы, который закреплен на торце концентратора-волновода [2]. Однако такое устройство предназначено только для обработки цилиндрических поверхностей, в том числе шеек коленчатых валов, и не может быть использовано без дополнительных переделок и приспособлений для обработки глубоко расположенных между высокими щеками шеек и галтелей коленчатых валов. Поэтому, с целью расширения технологических возможностей устройства, улучшения качества обработки и увеличения номенклатуры обрабатываемых деталей, нами разработан новый способ и устройства для ультразвуковой обработки таких изделий. Сущность которого состоит в том, что устройство для ультразвуковой упрочняюще-чистовой обработки коленчатых валов содержит направляющие и опорную плиту, имеющую возможность возвратно-поступательного перемещения в направлениях вдоль и перпендикулярно оси вала. На опорной плите установлен ультразвуковой преобразователь с выглаживающим инструментом, содержащим волновод с закрепленной на его конце рабочей частью, выполненной в виде расположенных параллельно двух одинаковых цилиндрических роликов, причем расстояние между осями которых в направлении, параллельном оси вала, больше диаметра маслоподающего отверстия, но меньше половины длины обрабатываемого участка. Плоскость возвратно-поступательного перемещения опорной плиты расположена к оси вала под углом β , величина которого определяется по формуле:

$$\beta = \arctg\left(\frac{l \sin \alpha}{H - h - l \cos \alpha}\right), \quad (1)$$

где l – длина цилиндрического ролика; α – угол между осью цилиндрического ролика и осью вала; H – ширина обрабатываемого участка; h – расстояние между осями цилиндрических роликов в направлении, параллельном оси вала.

С целью увеличения амплитуды колебаний деформирующих элементов к ультразвуковому преобразователю дополнительно присоединяли усилитель амплитуды продольных колебаний, выходной торец которого жестко связан с выглаживающим инструментом. Это позволило концентратор конического типа заменить волноводом цилиндрического типа и, следовательно, вести обработку глубоко расположенных между высокими щеками шеек и галтелей коленча-

Клубович Владимир Владимирович, д.т.н., проф., академик НАН Беларуси, главный научный сотрудник ИТА НАН Беларуси.
Абрамова А.В., научный сотрудник ГНУ «Институт технической акустики», г. Витебск.

тых валов без использования дополнительных переналадок и приспособлений. Таким образом, изменяя амплитуду колебаний инструмента, можно оптимизировать процесс обработки валов с различными физико-механическими и геометрическими параметрами.

Расположение плоскости возвратно-поступательного перемещения опорной плиты под расчетным углом β к оси вала обусловлено необходимостью обработки шейки и галтелей за один проход инструмента. В этом случае обработка шейки производится скольжением по ней боковой поверхности роликов, а обработка галтелей осуществляется торцами роликов. При этом в процессе упрочняюще-чистовой обработки пятна контакта непрерывно смещаются как по поверхности шейки, так и по поверхностям цилиндрических роликов вдоль их образующих, что положительно влияет на качество обработки и эксплуатационные характеристики деформирующих элементов.

На рисунках 1 и 2 приведены принципиальные схемы предложенного устройства и ультразвукового выглаживающего инструмента.

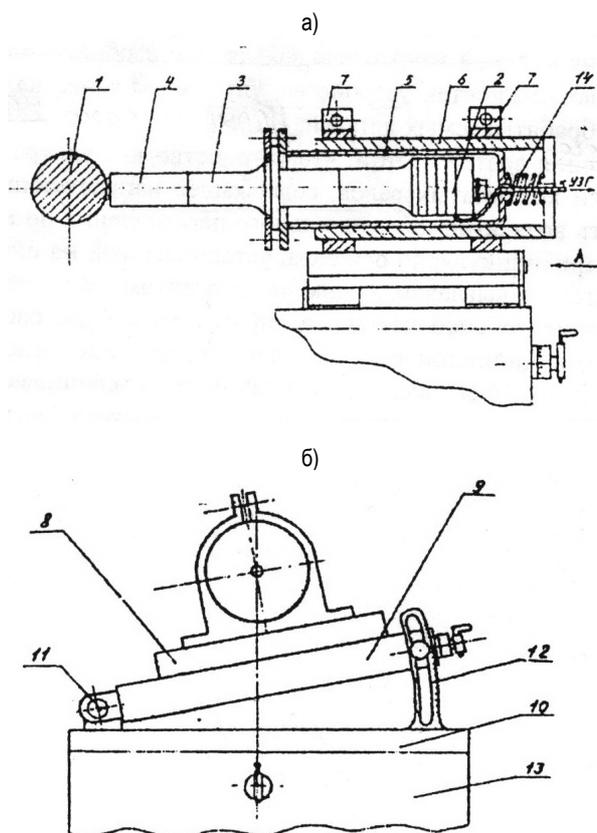


Рис. 1. Устройство для ультразвуковой поверхностной обработки шеек коленчатых валов

Устройство для ультразвуковой упрочняюще-чистовой обработки шеек коленчатого вала 1 содержит ультразвуковой генератор (не показан), последовательно соединенные преобразователь ультразвуковых колебаний 2, трансформатор амплитуды продольных колебаний 3, ультразвуковой выглаживающий инструмент 4, которые образуют замкнутую акустическую систему. Акустическая система посредством фланца крепится к корпусу 5 преобразователя. Корпус подпружинен и расположен внутри стакана 6, который при помощи держателя 7, с возможностью поворота, крепится к верхней опорной плите 8. Верхняя опорная плита имеет возможность возвратно-поступательного перемещения по направлению (вдоль обрабатываемой поверхности, а угол ее подъема относительно нижней плиты 10 устанавливают поворотом вокруг оси 11 по шкале 12 с делениями). Необходимое статическое усилие прижима инструмента к обрабатываемой поверхности обеспечивают подачей нижней плиты по направлению 13 перпендикулярно оси шейки вала за счет сжатия пружины 14.

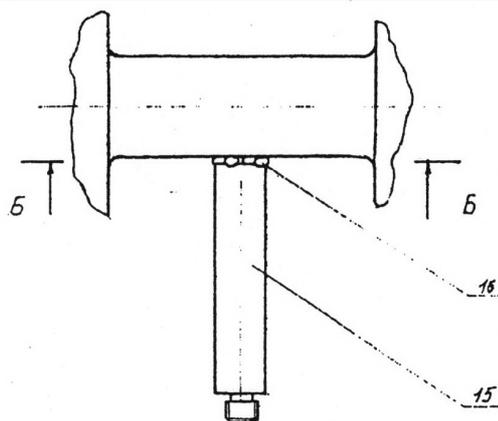


Рис. 2. Ультразвуковой выглаживающий инструмент

Ультразвуковой выглаживающий инструмент 4 содержит волновод 15 и рабочую часть 16 в виде расположенных параллельно двух одинаковых цилиндрических роликов из высокопрочного и износостойкого материала, жестко закрепленных на конце волновода (рис. 2). При этом расстояние между осями роликов в направлении оси шейки вала должно быть равно или больше диаметра маслоподающего отверстия, а их радиус – в пределах $r = 1,5-5,0$ мм, т.е. близким или равным радиусу обрабатываемых галтелей вала.

Поверхностную обработку коленчатых валов с наложением ультразвуковых колебаний осуществляют следующим образом.

Коленчатый вал 1 устанавливают в центрах или в центросместителях токарного станка.

Путем поворота акустической системы, в состав которой входит ультразвуковой выглаживающий инструмент 4, относительно корпуса 5 преобразователя 2 устанавливают определенное значение угла наклона α оси роликов 16 к оси шейки вала в рекомендуемых пределах $45^\circ-90^\circ$. По известным значениям угла α между осью цилиндрического ролика и осью детали, ширины шейки коленчатого вала H , расстояние между осями цилиндрических роликов в направлении, параллельном оси детали h , длине цилиндрического ролика l определяют угол β между плоскостью возвратно-поступательного перемещения опорной плиты 10 и осью детали. Угол β устанавливают по шкале 12 путем поворота опорной плиты относительно нижней плиты 10 вокруг оси 11. Подводят один из цилиндрических роликов рабочей части инструмента 16 до упора в галтель. Перемещением нижней плиты по направляющим 13 сжимают тарированную прижимную пружину 14, которая создаст необходимое статическое усилие в зоне контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью. Затем с одновременным включением вращения вала и подачи ультразвуковых колебаний на инструмент производят механическую подачу расположенной на наклонной плоскости верхней опорной плиты по направляющим 9 вдоль шейки вала до упора в противоположную галтель. Выключают станок и отводят инструмент. Цикл упрочняюще-чистовой обработки шейки и галтелей коленчатого вала окончен.

Использование предлагаемого устройства обеспечивает по сравнению с известными другими следующие преимущества: значительно увеличивается срок службы инструмента, так как в процессе обработки пятно контакта смещается вдоль образующей линии цилиндрических роликов по всей их длине; машинное время обработки валов с галтелями (например, шатунных и коренных шеек и галтелей коленчатых валов автотракторных двигателей) на финишной операции уменьшается благодаря обработке галтелей и шейки за один проход инструмента без дополнительных устройств и переналадок; улучшается качество обработки галтелей и шеек валов за счет задания инструменту оптимальной амплитуды колебаний путем выбора трансформатора амплитуды продольных колебаний с заданным коэффициентом усиления.

С целью определения оптимальных по износостойкости параметров обработки шеек коленчатых валов были проведены экспериментальные исследования на машине трения СМЦ-2.

Испытывали образцы из шлифованного клеенчатого вала в ремонтный размер без упрочнения и образцы из вала напыленного и упрочненного с наложением ультразвуковых колебаний по схеме (см. рис. 1), причем все образцы имели диаметр 66 мм.

Анализ работы пары трения вал – вкладыш двигателя внутреннего сгорания трактора Беларусь позволяет сделать вывод, что наибольший износ в ней наблюдается в момент пуска двигателя, когда отсутствует масло в системе смазки. Максимальное предельное давление в зоне контакта и нагрузка на подшипник скольжения составляла 10 Н и была постоянной для всех испытываемых образцов. Скорость скольжения составила 4,1 м/с (примерно такие же скорости скольжения вала относительно вкладыша имеют место при пуске двигателя).

Экспериментальные исследования показали, что наибольший износ имеют неупрочненный, прошлифованный в ремонтный размер вал и сопряженный с ним вкладыш; наименьший – вал, наплавленный и упрочненный с помощью описанного устройства по схеме рис. 1. Так, например, прошлифованный в ремонтный размер вал без упрочнения имеет шероховатость $Ra = 0,8$ мкм, а упрочненный с наложением ультразвуковых колебаний (амплитуда инструмента составила 10 мкм) вал имел шероховатость $Ra = 0,2-0,3$ мкм.

Таким образом, с точки зрения технологичности, наилучшей износостойкостью обладают образцы, наплавленные и подвергнутые ультразвуковой упрочняющей обработке до шероховатости $Ra = 0,2$ мкм.

Для поверхностной обработки изделий сложной геометрической формы, например пружин, в ИТА разработаны способы ленточного шлифования и полирования с наложением продольных и крутильных ультразвуковых колебаний. Использование ультразвуковых колебаний значительно облегчает процесс шлифования и полирования. Снижается температура обработки, улучшается ее качество, повышается стойкость инструмента и др. Колебания даже малой интенсивности в зоне резания снижают силы резания и повышают производительность. Так, например, при обработке различных металлов с наложением ультразвуковых колебаний с амплитудой 20-25мм объемный сьем металла увеличивается по сравнению с обычным шлифованием на стали 45 и латуни в 3-4 раза.

Ленточное шлифование получило широкое применение в промышленности. Однако этот метод обладает некоторыми недостатками (основным является наличие в приповерхностном слое обработанной детали растягивающих напряжений), которые приводят к снижению усталостной прочности деталей.

В связи с этим авторами предложен способ шлифования и полирования выпуклых поверхностей ряда изделий образивной лентой, скользящей по поверхности, прижатие к которой осуществляется за счет разности сил натяжения в ведомой и ведущей ветвях ленты. Для определения оптимальных параметров процесса шлифования предложена методика расчета коэффициента трения образивной ленты по обрабатываемой поверхности на примере спиральных цилиндрических пружин.

С целью повышения производительности качества обработки спиральных пружин, обеспечения равномерного съема материала по всему периметру нормального сечения витка пружины, предложен способ ленточного шлифования и полирования, когда пружину охватывают шлифовальной лентой, придавая ленте форму кольцевой петли, а изделию – вращение вокруг продольной оси (рис. 3). При подведении ультразвуковых колебаний к пружине вследствие сложной ее формы на поверхности последней возникают колебания трех видов: продольные, изгибные и крутильные. Поскольку длина волны каждого вида колебаний различна, то все точки поверхности пружины испытывают сложные колебания, следовательно, появляется возможность равномерной обработки всей поверхности спиральной цилиндрической пружины. Угол охвата шлифовальной лентой периметра нормального сечения витка пружины выбирают равным $361...370^\circ$, пружину растягивают до достижения расстояния между точками ее

крепления, кратного длине полуволны ультразвуковых колебаний. Такой угол охвата лентой периметра сечения витка в пределах $361...370^\circ$ компенсирует меньший сьем материала в местах входа ленты в контакт с обрабатываемой поверхностью и выхода из него. Это повышает качество обработанной поверхности изделия за счет равномерного съема материала и уменьшения некруглости.

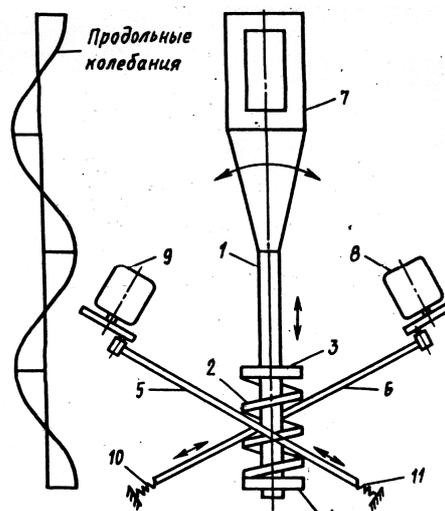


Рис. 3. Способ обработки винтовых цилиндрических пружин

При растяжении пружины на расстояние между точками крепления, кратном длине полуволны ультразвуковых колебаний оба конца пружины оказываются закрепленными в пучности колебаний, что обеспечивает оптимальное использование ультразвукового воздействия. Растяжение пружины не должно превышать предела упругих деформаций. Изменение длины χ пружины в направлении оси должно быть не более:

$$\chi \leq \frac{a\sigma_T}{KG}, \quad (2)$$

где a – величина, характеризующая геометрические параметры пружины (диаметр пружины, диаметр прутка); σ_T – предел текучести материала пружины; K – коэффициент запаса прочности; G – модуль сдвига.

Так как в процессе обработки кроме сил резания на пружину воздействуют знакопеременные высокочастотные колебания, то коэффициент запаса прочности необходимо увеличить в 1,5 раза по сравнению с нормативным K .

Обработка поверхности пружины осуществляется следующим образом. На волноводе 1 (рис. 3) закрепляют пружину так, что концы ее 3 и 4 находятся в пучности смещений. На пружине устанавливают абразивные ленты 5 и 6 так, чтобы они охватывали сечение витка пружины петлей. К пружине подводят ультразвуковые колебания от магнитострикционного преобразователя 7. Лентам 5 и 6 с помощью электродвигателей 8 и 9 сообщают движения резания. Пружинами 10 и 11 регулируют усилия натяжения лент. Для компенсации моментов сил трения на витке пружины зоны обработки располагаются диаметрально противоположно, а движение лент 5 и 6 осуществляется в противофазе.

Описанным способом обработке подвергали спиральные цилиндрические пружины из стали 65Г следующих размеров: внешний диаметр 30 мм, шаг – 8 мм и диаметр сечения витка – 4 мм. Линейная скорость движения абразивной ленты в ходе экспериментов оставалась неизменной и равнялась 6,2 м/с, а зернистость порошка составляла 100 мкм. Анализ результатов исследований показал, что минимальное значение силы натяжения ленты наблюдается в месте входа ее в контакт с обрабатываемой пружиной, и максимальное значение силы натяжения ($T=5$ Н) наблюдается при выходе ленты из контакта с обрабатываемой поверхностью. Таким образом, возрастание силы натяжения по длине дуги контакта приводит к тому,

что сила прижатия ленты к обрабатываемой поверхности также возрастает от минимального значения в момент входа ленты в контакт до максимального в момент выхода ее из контакта с обрабатываемой поверхностью. Такое изменение силы прижатия ленты приводит к тому, что увеличение съема металла будет происходить в сторону возрастания силы натяжения, т.е. сьем металла по сечению витка пружины будет неравномерным. Устраняется указанный недостаток тем, что обработку производят одновременно двумя лентами, движущимися навстречу друг другу. В этом случае сьем металла по периметру сечения витка пружины будет равномерным.

Обработка пружины предложенным нами способом приводит к повышению производительности процесса в 1,5 раза, качество обработки повышается за счет уменьшения некруглости в 2–3 раза, шероховатость поверхности Ra снижается до значения 0,05...0,1 мкм, а также в результате снижения коэффициента трения при шлифовании с наложением ультразвука продолжительность работы увеличивается в 2–3 раза по сравнению с обработкой без наложения ультразвука.

Заключение. Предложен способ поверхностного упрочнения изделий сложной геометрической формы с применением ультразвуковых колебаний, разработано устройство, позволяющее оптимизировать процесс обработки деталей сложной геометрической формы и в частности коленчатые валы.

Наилучшей износостойкостью обладают образцы, обработанные ультразвуком до шероховатости $Ra=0,2$ мкм.

Разработанный способ шлифования и полирование деталей с выпуклой формой, например пружин, позволяет повысить производительность процесса в 1,5 раза, качество обработки изделий и продолжительность их работы в 2–3 раза.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. А.с. ССР 1426764, МПК В 08В 3/12, 1984.
2. Муханов, И.И. Импульсная упрочняюще-чистовая обработка деталей машин ультразвуковым инструментом. – М.: Машиностроение, 1978. – С. 15–17, 31.
3. Патент № 7285, РБ, 2005.

Материал поступил в редакцию 15.10.09

KLUBOVICH V.V., ABRAMOVA A.V. Superficial processing of products of the complex geometrical form with application of ultrasonic fluctuations

The ways of ultrasonic surface treatment of items with complex geometry for engine shafts in an internal combustion engine, as well as surface grinding and polishing for a spiral spring coil with the application of ultrasonic vibrations have been investigated.

УДК 678.05

Барсуков В.Г., Грахольская Е.В., Волк О.С.

ВЛИЯНИЕ УГЛА ПРИ ВЕРШИНЕ ГРЕБНЯ ВИТКА НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ШНЕКА ЭКСТРУДЕРА

Введение. Современный этап промышленного развития характеризуется расширением номенклатуры полимерных и композиционных материалов, перерабатываемых с использованием методов экструзии, а также вовлечением в переработку растительного сырья в виде измельченных волокнистых частиц и семян [1–3]. Одновременно ведутся исследования и разработки, направленные на создание новых видов экструзионных машин и оборудования, в том числе экструдеров на базе двухпорных шнеков с усиленным сердечником (рис. 1) [4, 5].

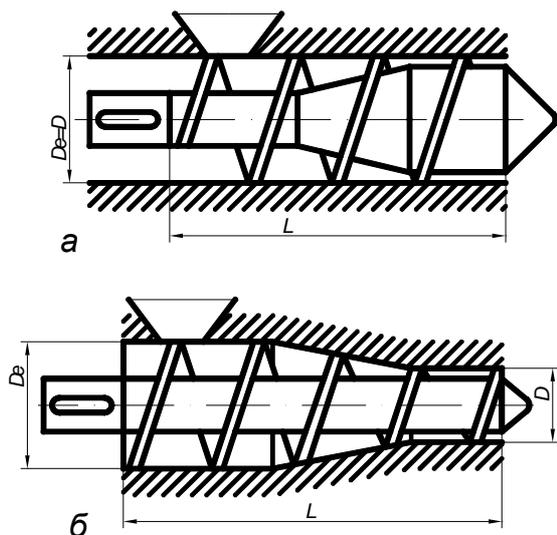


Рис. 1. Конструктивные схемы исполнения шнеков экструдеров: а – традиционный, б – с усиленным сердечником. D_e – диаметр шнека в зоне загрузки; D – диаметр шнека в зоне выхода материала; L – длина нарезной части шнека

Однако многие вопросы, связанные с обеспечением работоспособности таких устройств, не изучены, методики расчета параметров винтовой нарезки в должной мере не разработаны. Имеющиеся в литературе рекомендации созданы применительно к типовым конструкциям шнеков на основе многочисленных дорогостоящих экспериментов по изучению влияния конструктивных параметров шнека на процессы переработки традиционных полимерных материалов. Так, только фирмами Дюпон и Майлафер было изготовлено и испытано свыше 600 шнеков различной конструкции [6]. Обобщением экспериментов стали эмпирические и полуэмпирические формулы для расчета параметров типовых шнеков, приводимые в литературе [6–8]. Вопрос возможности переноса этих данных на конструкции шнеков для других групп материалов с существенно отличающимися технологическими свойствами остается открытым. Лишь немногие из испытанных шнеков зарекомендовали себя с положительной стороны [3], что является следствием недостаточной теоретической разработанности данной проблемы. Более или менее полно разработана теория для зон вязкотекучего состояния расплава. [3, 8]. Для зон питания и сжатия, в которых преимущественно создается рабочее давление, имеются теоретические решения, основанные на законе трения Кулона, применимость которого к области действия высоких давлений и температур не подтверждена. Более того, в ряде работ [9, 12] показана существенная зависимость коэффициента трения полимерных (и не только) материалов от давления и обоснована необходимость применения нелинейных моделей фрикционного контакта перерабатываемого материала с деталями формообразующего инструмента и оснастки. Применительно к экструзионным машинам такие исследования и разработки выполнены только для шнеков с прямоугольным сечением винтового канала [1, 10].

Влияние формы и размеров гребня витка на работоспособность шнеков мало изучено, что и послужило основанием для проведения исследований, представленных в настоящей работе.

Барсуков В.Г., Грахольская Е.В., Волк О.С., Гродненский государственный университет имени Янки Купалы. Беларусь, ГрГУ, 230023 г. Гродно, ул. Э. Ожешко, 22.