

4. Решетов, Д. Н. Детали машин / Д. Н. Решетов. – М. : Машиностроение, 1989. – 496 с.: ил.
5. Левитан, Ю. В. Червячные редукторы : справочник / Ю. В. Левитан, В. П. Обморнов, В. И. Васильев. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1985. – 168 с.: ил.
6. Червячная передача : пат. 7230 Респ. Беларусь, МПК7F 16H 1/16. М. Ф. Пашкевич, С. Н. Рогачевский; заявитель Белорусско-Российский университет. – № а20010662; заявл. 27.07.01; опубл. 30.03.03 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2003. – № 1. – С. 83.
7. Червячная передача: пат. 7334 Респ. Беларусь, МПК7F 16H 1/16. М. Ф. Пашкевич, Н. И. Рогачевский, С. Н. Рогачевский; заявитель Белорусско-Российский университет. – № а20020388; заявл. 06.05.02; опубл. 30.12.03// Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2003. – № 4. – С. 78.
8. Пашкевич, М. Ф. Червячные передачи качения / М. Ф. Пашкевич, Н. И. Рогачевский, С. Н. Рогачевский. – Могилев : ГУ ВПО Белорусско-Российский университет, 2005. – 137 с.: ил.
9. Пашкевич, М. Ф. Червячные передачи качения и их КПД / М. Ф. Пашкевич, Н. И. Рогачевский, С. Н. Рогачевский // Весці АН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2007. – № 3. – С. 45–50.
10. Пашкевич, М. Ф. Геометрический анализ зацеплений в пружинно-винтовых передачах / М. Ф. Пашкевич, Н. И. Рогачевский, С. Н. Рогачевский // Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении : сборник докладов международной НТК «Балттехмаш-2002». – Калининград, 2002. – С. 173–175.
11. Пашкевич, М. Ф. Анализ взаимного расположения рабочих элементов червячной передачи качения со сдвоенным колесом / М. Ф. Пашкевич, Н. И. Рогачевский, С. Н. Рогачевский // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2008. – № 2. – С. 13–20.
12. Пашкевич, М. Ф. Анализ взаимодействия рабочих элементов в пружинно-пальцевых передачах / М. Ф. Пашкевич, Н. И. Рогачевский, С. Н. Рогачевский // Наука – образованию, производству, экономике : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Т. 1 / Под общей редакцией Б. М. Хрусталева, В. Л. Соломаха – Минск : УП «Технопринт», 2003. – С. 31–36.
13. Пашкевич, М. Ф. Основы силового анализа пружинно-пальцевой передачи / М. Ф. Пашкевич, Н. И. Рогачевский, С. Н. Рогачевский // Машиностроение : сб. научн. трудов. – Вып. 19 / Под ред. И. П. Филонова. – Минск : УП «Технопринт», 2003. – С. 520–525.
14. Пашкевич, М. Ф. Повышение технического уровня червячных передач качения / М. Ф. Пашкевич, Н. И. Рогачевский, С. Н. Рогачевский // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2007. – № 2. – С. 40–48.
15. Рогачевский, Н. И. Потери мощности на геометрическое трение в червячных передачах качения / Н. И. Рогачевский, М. Ф. Пашкевич, С. Н. Рогачевский // Известия вузов. Машиностроение. – 2005. – № 2. – С. 14–22.
16. Рогачевский, С. Н. Потери энергии на преодоление сопротивлений инерции в червячных передачах качения / С. Н. Рогачевский, Н. И. Рогачевский, М. Ф. Пашкевич // Детали машин и трибология : междувузовский сб. научн. трудов. – Калининград, 2005. – С. 209–218.
17. Пашкевич, М. Ф. КПД пружинно-пальцевых и винтовых пальцевых передач / М. Ф. Пашкевич, Н. И. Рогачевский, В. М. Пашкевич, С. Н. Рогачевский // Вестник Могилёвского государственного технического университета. – 2004. – №1. – С. 154–159.
18. Пашкевич, М. Ф. КПД и кинематическая точность червячного редуктора качения со сдвоенным колесом / М. Ф. Пашкевич, Н. И. Рогачевский, С. Н. Рогачевский // Вестник Могилёвского государственного технического университета. – 2005. – № 2. – С. 132–136.
19. Пашкевич, М. Ф. Повышение кинематической точности винтовой пальцевой передачи / М. Ф. Пашкевич, Н. И. Рогачевский, С. Н. Рогачевский // Вестник Могилёвского государственного технического университета. – 2003. – № 2. – С. 124–128.
20. Пашкевич, М. Ф. Исследование кинематической точности червячных передач качения / М. Ф. Пашкевич, Н. И. Рогачевский, С. Н. Рогачевский // Современные методы проектирования машин : Республиканский межведомственный сборник научных трудов. – Вып. 2 / Под ред. П. А. Витязя. – Минск : УП «Технопринт», 2004. – С. 165–170.
21. Рогачевский, С. Н. Энергосберегающий привод шлагбаума / С. Н. Рогачевский, Н. И. Рогачевский, А. В. Лупачев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев, 2006. – Ч.1. – С. 95–96.
22. Рогачевский, Н. И. Исследование энергосберегающего привода стрелы шлагбаума с улучшенными характеристиками / Н. И. Рогачевский // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2017. – № 3. – С. 88–98.
23. Рогачевский, Н. И. Энергосберегающая лебедка / Н. И. Рогачевский, В. А. Игнатов, С. Н. Рогачевский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев, 2015. – С. 83–84.
24. Рогачевский, Н. И. Исследование напряженного состояния подшипников червячных передач качения / Н. И. Рогачевский, М. Э. Подымако, С. Н. Рогачевский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев, 2010. – С. 135–136.
25. Перель, Л. Я. Подшипники качения : расчет, проектирование и обслуживание опор : справочник / Л. Я. Перель. – М. : Машиностроение, 1983. – 543 с.: ил.

21.10.2019

#### **ROGACHEVSKY N. I. Study of the bearing ability of worm-transmission bearings**

The analysis of studies of energy-saving worm gears is presented. The operating conditions of bearings directly in gears and with the mediation of rolling elements (fingers) are considered. A computer model of the bearing was developed and implemented taking into account the contact interactions of its elements. The influence of the radial clearance values and the eccentricity of the load application on the bearing capacity of the bearing is estimated. The values of maximum loads on bearings with different values of the radial clearance and the eccentricity of the force application are established.

621.77.06

. .

**Введение.** В настоящее время одной из главных задач машиностроения является снижение трудоемкости изготовления деталей машин. Это достигается за счет переноса большей части работы формообразования на этап заготовительного производства. Важнейшей задачей заготовительного производства является проектирование заготовок, максимально приближающихся по форме и раз-

мерам к готовым изделиям. В современном производстве обработка металлов давлением нашла широкое применение благодаря возможности изготовления широкой номенклатуры выпускаемых изделий, а также высокой степени механизации и автоматизации процесса. С помощью обработки металлов давлением, в частностиковки и штамповки, получают заготовки и детали массой от грамма до сотен

**Низмеев Александр Александрович**, ассистент кафедры технологии и организации машиностроительного производства Донбасского государственного технического университета.

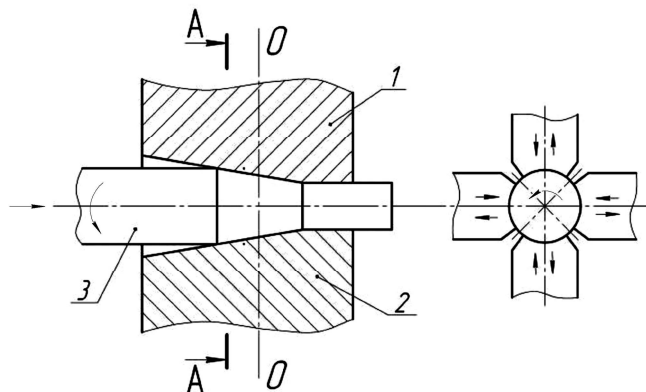
Украина, г. Алчевск, просп. Ленина, 16.

тонн и с размерами от миллиметра до нескольких метров [1]. В процессе пластической деформации заготовки происходит изменение структуры металла, повышаются его механические свойства, что является важным для деталей, работающих при высоких динамических нагрузках (например, валов, осей, ходовых винтов).

Для получения заготовок широкого распространение получили следующие методы обработки металлов давлением: прокат, ковка, штамповка, прессование, волочение и т. д. При снижении серийности выпускаемой продукции снижается рентабельность применения заготовок, получаемых штамповкой, поперечно-винтовым и поперечно-клиновым прокатом ввиду значительного увеличения доли условно-постоянных затрат в структуре себестоимости продукции [2, 3].

Среди методов обработки металлов давлением наиболее перспективным является радиальное обжатие, применение которого позволяет исключить или свести к минимуму объем механической обработки [4]. Принципиальная схема процесса представлена на рисунке 1.

При данном способе обработки заготовка вращается и перемещается в осевом направлении в зону обработки, где происходит последовательное обжатие по периметру радиально подвижными бойками, в результате чего уменьшается площадь поперечного сечения и увеличивается длина исходной заготовки.



1, 2 – бойки; 3 – заготовка; O-O – нейтральное сечение  
**Рисунок 1** – Схема процесса радиального обжатия

**Изложение материала и его результаты.** Радиальное обжатие обеспечивает значительную экономию металла при изготовлении деталей класса валов и втулок, длина которых значительно превышает диаметр. Данным методом возможно изготавливать заготовки в горячем и холодном состоянии из малопластичных и жаропрочных сплавов со сложной конфигурацией внутренней поверхности, детали с отверстиями малых диаметров на большой длине, выполнять сборочные операции, а именно: запрессовка пружин во втулках, посадка втулок, ниппелей и т. д. [5, 6].

Основными особенностями радиального обжатия являются [7]:

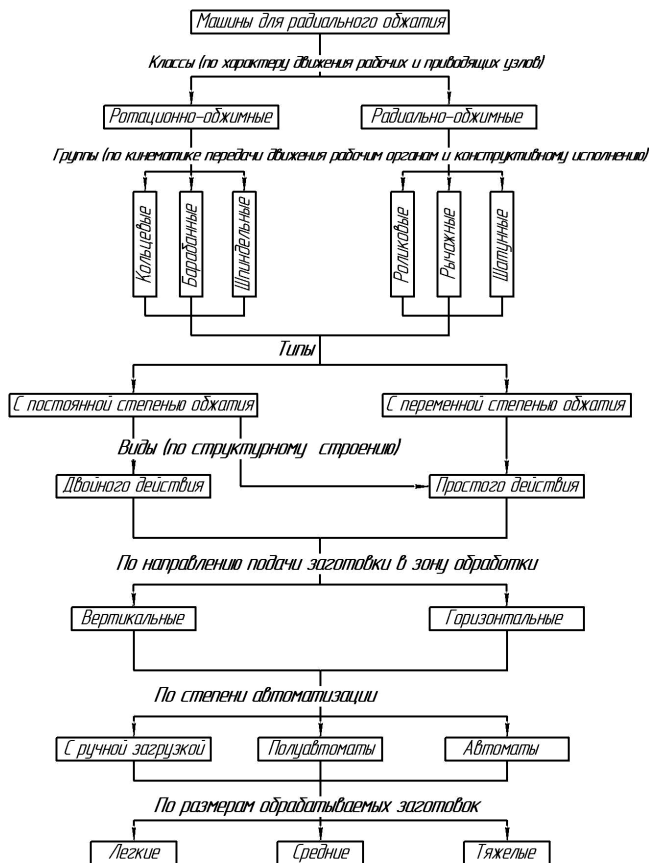
1. Высокое качество поверхности изделия при высокой производительности и незначительном приложении внешних усилий на сравнительно малых участках.
2. Повышение пластических свойств обрабатываемого материала в результате прерывистого приложения нагрузки в процессе обжатия.

К преимуществам радиального обжатия можно отнести сравнительно высокую производительность, удобство механизации и автоматизации процесса, а также возможность получения изделий большой длины с незначительной кривизной [8]. Применение радиального обжатия является целесообразным для таких заготовок, для которых выполнение термообработки в конце технологического процесса затруднено.

По сравнению с ковкой себестоимость заготовок, изготавливаемых радиальным обжатием, для конструкционных сталей ниже на 5%, инструментальных – на 15%, быстрорежущих – на 20%. Стоимость 1 тонны поковок, полученным радиальным обжатием, составляет 70–80% стоимости поковок, полученных другими известными способами [9, с. 422].

Исходя из анализа доступных литературных источников построена схема классификации оборудования для радиального обжа-

тия заготовок (рис. 2). По технологическим возможностям оборудования для обжатия радиально-обжимные машины являются более универсальными благодаря возможности изготавливать на них заготовки не только круглого, но и квадратного, прямоугольного и шестигранного сечения. Конечное поперечное сечение изделия достигается подбором формы и количества бойков, а также регулировкой их положения перед операцией. На данных машинах возможно обжатие сплошных и полых заготовок диаметром до 850 мм.



**Рисунок 2** – Классификация оборудования для радиального обжатия

На ротационно-обжимных машинах можно изготавливать заготовки только круглого сечения в связи с характером движения рабочих узлов, а именно: шпиндель (или приводящий узел) в данных машинах совершают вращения вокруг обрабатываемой заготовки, а бойки совершают движение по радиусу от периферии к центру и обратно. Область применения – изготовление заготовок диаметром от 0,15 мм (сплошного профиля) для 320 мм (полых заготовок).

Выбор оборудования для обжатия осуществляется в зависимости от конфигурации и размеров детали, обрабатываемого материала, режимов обработки и типа производства [5, с. 69]. Основной технической характеристикой обжимных машин является наибольший диаметр обрабатываемой заготовки (прутка и трубы).

Исходя из проведенного анализа данных были сделаны следующие выводы и рекомендации по применению оборудования для радиального обжатия:

1. Для заготовок диаметром менее 40 мм радиальное обжатие экономически более выгодно осуществлять на ротационно-обжимных машинах в связи с их сравнительно низкой стоимостью.
2. Изделия, имеющие несколько перепадов в сечении (например, валы) или удлиненные конические участки изготавливают на машинах с переменной степенью обжатия. Деформирование на один размер (калйбровка, упрочнение и т. д.) целесообразно производить на более простых по конструкции машинах с постоянной степенью обжатия.
3. Более высокое качество поверхности достигается при обжатии на двухбойковых машинах, так как с ростом числа бойков уменьшается поверхность контакта заготовок и инструмента. Для малых заготовок (диаметром менее 5 мм) обработку рационально производить на

двухбойковых машинах в связи с небольшими необходимыми усилиями обжатия [5]. Выбор количества бойков осуществляется в зависимости от необходимого усилия обжатия. Многобойковые машины более пригодны для обжатия заготовок с большими степенями деформации.

4. Механизм обжатия радиально-ковочных машин более надежен в сравнении с ротационно-ковочными. В связи с этим при изготовлении крупных заготовок, для обработки которых требуются большие усилия обжатия, следует ориентироваться на многобойковые (4 и более) радиально-обжимные машины, т. к. небольшие рабочие поверхности бойков не дают чрезмерных нагрузок на звенья обжимного механизма.

5. Для горячего обжатия применение вертикальных машин позволяет проще удалять окалину. В конструкции оборудования, предназначенного для горячего обжатия (в частности горизонтальных машинах), предусматривается возможность охлаждения механизма обжатия с помощью продувания воздуха или прокачивания жидкости через отверстие в шпинделе, при этом удаляется окалина в результате нагрева.

6. Машины с вертикальной подачей заготовок менее приспособлены к встраиванию в автоматические линии ввиду необходимости монтажа специальных устройств ориентации заготовки.

Литературный обзор позволил определить следующие недостатки оборудования для радиального обжатия: повышенный износ исполнительных органов обжимного механизма в результате сил трения между заготовкой и инструментом при значительных степенях деформации, а также значительный уровень шума и вибраций [5, 7]. Снижение сил трения достигается повышением качества изготовления исполнительных поверхностей бойков и применением смазок. Выбор смазки осуществляется в зависимости от температуры деформирования, удельного давления, трудности нанесения и стоимости. Коэффициент трения зависит от характера приложения усилия, режимов обработки, физико-химических свойств обрабатываемого материала, шероховатости поверхности инструмента и заготовки.

Основными источниками шума являются упругие деформации деталей и соударение роликов обжимного механизма. В современных конструкциях машин вводятся конструктивные решения, позволяющие исключить соударение роликов и ползунов. Использование гидропривода в обжимных машинах вместо механического привода снижает уровень шума [5, с. 75].

**Заключение.** Таким образом, в настоящее время модернизация и совершенствование оборудования для обжатия осуществляется в таких направлениях: увеличение производительности, повышение надежности и долговечности работы деталей и узлов в целом, расширение технологических возможностей машин, а также снижение уровня шума.

При снижении серийности выпускаемой продукции более пред-

почтительным является универсальное оборудование, способное обрабатывать сплошные и полые заготовки круглого и граненого сечения с достаточной производительностью [10]. Для данных требований применение радиально-обжимных и барабанных ротационно-обжимных машин является наиболее рациональным.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ковка и штамповка: справочник : в 4 т. – 2-е изд., перераб. и доп. / Под общ. ред. Н. Семенова. – М. : Машиностроение, 2010. – Т. 1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка. – 717 с., ил.
2. Низмеев, А. А. Применение комбинированных заготовок в условиях снижения серийности производства / А. А. Низмеев, С. Ю. Стародубов // 60 лет ДонГТУ. Наука и практика : сборник тезисов докладов Юбилейной международной научно-технической конференции 11 октября 2017 г. – Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2017. – С. 207–208.
3. Низмеев, А. А. Комбинированные заготовки как фактор адаптации производства к снижению серийности выпуска / А. А. Низмеев, С. Ю. Стародубов // Сборник научных работ студентов ДонГТУ. – Вып. 11. – Часть I. – Алчевск : ГОУВПО ЛНР «ДонГТУ», 2018. – С. 265–269.
4. Оценка эффективности радиального обжатия для получения заготовок ходовых винтов / И. Л. Бабичев, С. Н. Кучма, А. А. Низмеев, С. Ю. Стародубов // Сборник научных работ студентов ДонГТУ. – Вып. 10. – Часть I. – Алчевск : ГОУВПО ЛНР «ДонГТУ», 2017. – С. 157–162.
5. Радюченко, Ю. С. Ротационное обжатие / Ю. С. Радюченко. – М. : Машиностроение, 1972. – 176 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя : в 2-х т. – Т. 1 / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – 656 с., ил.
7. Радюченко, Ю. С. Ротационная ковка / Ю. С. Радюченко. – М. : Машгиз, 1962. – 188 с., ил.
8. Ковка и штамповка на специализированном оборудовании / Б. П. Рудаков, А. Н. Силичев, Е. В. Степанов [и др.]; под общ. ред. П. В. Камнева, А. П. Атрошенко. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 96 с., ил.
9. Ковка и штамповка: справочник : в 4 т. – 2-е изд., перераб. и доп. / Под общ. ред. Е. И. Семенова. – М. : Машиностроение, 2010. – Т. 2. Горячая объемная штамповка – 720 с., ил.
10. Гольшев, И. В. Ротационная ковка полых цилиндрических заготовок : автореф. дис. канд. техн. наук / И. В. Гольшев. – Тула : ТГУ, 2008. – 19 с.

03.12.2019

#### **NIZMEYEV A. A. Ways to improve equipment for radial compression**

The article presents a literature review of equipment for radial compression, a classification scheme of crimping machines, the main features of the process of radial compression, recommendations for the use of radial and rotary crimping machines, depending on the type of production, as well as the structural shape and technical requirements for the workpiece. Separately, the main advantages of the radial compression process are noted, the shortcomings of the equipment for compression and possible ways of their modernization are revealed.

620.178.7

• • • • •

**Введение.** Простым и удобным методом анализа контактных явлений при средних скоростях ударного столкновения частиц с деталями машин и механизмов является метод падающего шарика, который применяется обычно для определения доли энергии, поглощаемой

при ударе. В основу метода положено сопоставление скорости отскока шарика после удара со скоростью падения, которые, в свою очередь, вычисляются исходя из высоты падения и высоты отскока [1–4]. Наиболее полно разработаны методики расчета параметров контактного

**Барсуков Владимир Георгиевич**, д. т. н., доцент, заведующий кафедрой технической механики Гродненского государственного университета имени Янки Купалы; e-mail : v.g.barsukov@grsu.by.

**Лежава Андрей Георгиевич**, к. т. н., доцент кафедры машиноведения и технической эксплуатации автомобилей Гродненского государственного университета имени Янки Купалы; e-mail : lataia@tut.by.

Беларусь, г. Гродно, ул. Ожешко, 22.