

УДК 621.9.048

А.В. Мицьк, канд. техн. наук, В.А. Федорович, д-р техн. наук
Харьков, Украина

ПРОЦЕСС ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ ВИБРООБРАБОТКИ И ПАРАМЕТРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЕГО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Приведені первинні чинники, які впливають на продуктивність оздоблювально-зачищувальної віброобробки: серед них амплітудно-частотні характеристики руху завантаження резервуару і маси оброблюваних деталей; твердість матеріалу оброблюваних деталей і форма їх поверхні; фізико-технологічні характеристики робочого середовища; застосування хімічно-активних розчинів. Приведена класифікація вібраційних оздоблювально-зачищувальних операцій вживаних в металообробних виробництвах. Дані залежності зйому металу від амплітуди і частоти коливань резервуару, розміру гранул робочого середовища і їх зернистості.

Приведены первостепенные факторы, влияющие на производительность отделочно-зачистной виброобработки: среди них амплитудно-частотные характеристики движения загрузки резервуара и массы обрабатываемых деталей; твердость материала обрабатываемых деталей и форма их поверхности; физико-технологические характеристики рабочей среды; применение химически-активных растворов. Приведена классификация вибрационных отделочно-зачистных операций применяемых в металлообрабатывающих производствах. Даны зависимости съема металла от амплитуды и частоты колебаний резервуара, размера гранул рабочей среды и их зернистости.

The primary factors influencing the productivity and performance of finishing-grinding vibration treatment are presented. Such factors are the amplitude-frequency characteristics of the motion of loading of the reservoir and the mass of the processed parts, material hardness and shape of the surface of the processed parts, physical and technological characteristics of the working medium, the use of chemically-active solutions. A classification of vibratory finishing-grinding operations used in the metalwork is given. The dependence of metal removal on the amplitude and frequency of vibration of the reservoir, the working medium granules size of the and graininess are given.

Введение

В материалах научно-производственного предприятия «Оптимфиниш» (Россия, г. Ростов-на-Дону) отмечается, что виброобработка является наиболее распространенным процессом отделочно-зачистной обработки в мире. К ее очевидным достоинствам – простоте использования, большой производительности, хорошем качестве обработки следует добавить то, что она самым непосредственным образом повышает надежность и долговечность изделий. Кроме того следует уточнить, что по этой причине во всех промышленно развитых странах детали проходят эту стадию, так как виброобработка гарантирует точное базирование деталей и исключает поломку сборочных узлов.

Принимая во внимание, сказанное, учитывая классификацию вибрационных отделочно-зачистных операций (рис. 1) и рассматривая



Рисунок 1 – Классификация вибрационных отделочно-зачистных операций, применяемых в металлообрабатывающих производствах

известные варианты внедрения упомянутого процесса уместно отметить, что его промышленное применение зачастую сводится к выполнению таких простейших операций, как очистка деталей, удаление заусенцев и скругление

острых кромок [1 – 3]. Научные исследования процесса виброобработки, проводившиеся в последние годы отличались различием в методиках, применяемом лабораторном оборудовании и технологическом оснащении, а также предусматривали решение частных задач по выявлению влияния ограниченного количества факторов на конечный технологический результат [4, 5].

Одновременно с этим, проведенные в НИЛ «ОСА» ВНУ им. В. Даля комплексные теоретические и экспериментальные исследования [3, 6 – 10] показали, что производительность виброобработки, уровень которой оказывает непосредственное влияние на расширение технологических возможностей, зависит от множества факторов, среди которых в первую очередь можно выделить следующие:

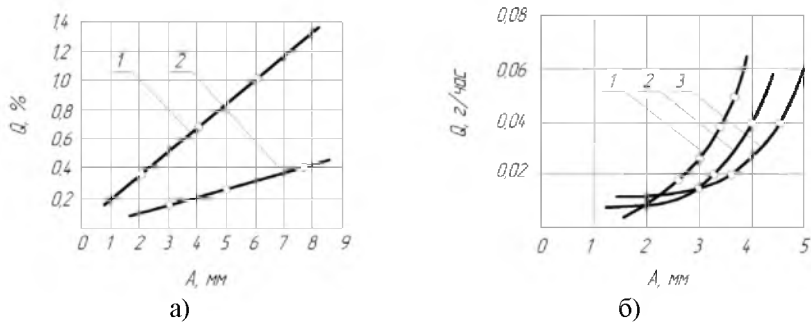
- амплитудно-частотные характеристики движения загрузки резервуара и масса обрабатываемых деталей;
- твердость материала обрабатываемых деталей и форма их поверхности;
- физико-технологические характеристики рабочей среды;
- применение химически-активных растворов.

Амплитудно-частотные характеристики движения загрузки резервуара вибростанка и массы обрабатываемых деталей

При отделочно-зачистной обработке деталей в колеблющихся резервуарах вибростанков во время относительного перемещения и взаимного давления детали и гранулы реализуются процессы микрорезания и упругопластического деформирования, в результате чего обеспечивается достижение требуемого технологического результата. Следовательно, является естественным, что режимные показатели обработки, то есть амплитуда и частота колебаний, а также и траектория движения, оказывают существенное влияние на характер взаимодействия гранул рабочей среды и обрабатываемых деталей.

Механика взаимодействия гранул рабочей среды и обрабатываемых деталей при воздействии низкочастотных колебаний представляет собой динамический процесс и определяется параметрами перемещений, определяемых частотой колебаний и траекторией движений, а также силовых взаимодействий определяемых амплитудой колебаний. Гранулы рабочей среды под действием колебаний, передаваемых ей рабочими поверхностями резервуара, совершают сложные движения по определенным траекториям, то есть происходит замедленная циркуляция среды, включающая колебания отдельных гранул, а также их угловые вращения, возникающие вследствие прямых и в большей степени косых соударений [1, 3, 6].

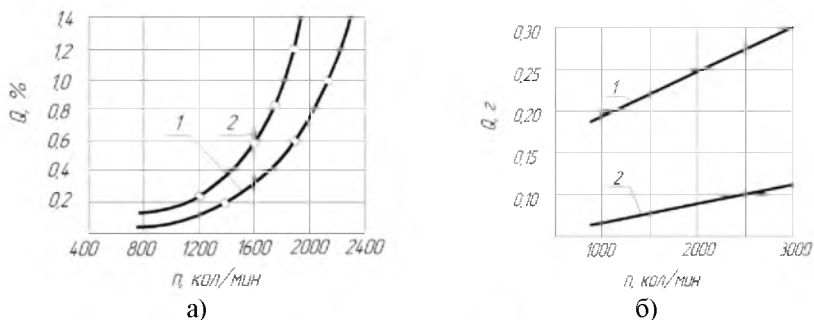
При поиске оптимальных условий проведения операций виброобработки, оцениваемых съемом металла, многие исследователи однозначно, хотя и в соответствии с разными законами, выявили тенденцию повышения съема металла при увеличении амплитуды и частоты колебаний (рис. 2, 3) [11]. В качестве рабочей среды в принятых виброобрабатывающих технологиях традиционно используются различные гранулированные рабочие среды, металлические или полимерные гранулы всевозможной геометрической формы, дробь и т.д. [4]. Обрабатываемые детали представленные широкой номенклатурой металлообрабатывающих производств выполнены из различных металлов и сплавов, имеют различную форму поверхности, размеры и плотность.



1 – Э25СМК, размер гранул 5...15 мм;
 2 – АН-2, размер гранул 5...25 мм

1 – центр тяжести резервуара совпадает с осью вибровозбудителя; 2 – смещен на 70 мм, 3 – смещен на 180 мм

Рисунок 2 – Зависимость съема металла (а, б) от амплитуды колебаний резервуара вибростанка [11]



1 – $A = 3,0$ мм; 2 – $A = 4,0$ мм

1 – сталь 45; 2 – сталь ПХ15

Рисунок 3 – Зависимость съема металла (а, б) от частоты колебаний резервуара вибростанка [11]

Рассмотрим наиболее характерные варианты взаимодействия гранул рабочей среды с поверхностью обрабатываемой детали.

Первый вариант (рис. 4, а), обеспечивает процесс микрорезания. Гранулы рабочей среды и детали в своем совместном циркуляционном движении перемещаются в одном направлении с колебательным движением резервуара, параллельно обрабатываемой поверхности. При этом скорость V_0 относительного движения гранул и деталей будет равна $V_0 = V_1 \pm V_2$, где V_1 – скорость движения детали; V_2 – скорость движения гранул среды.

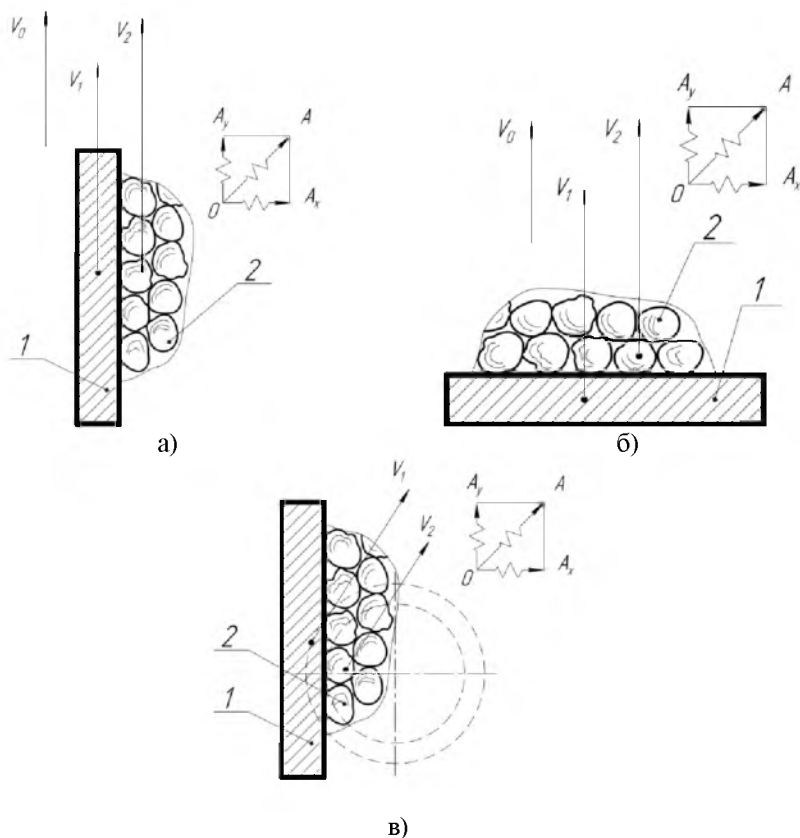


Рисунок 4 – Варианты взаимодействия гранул рабочей среды с поверхностью обрабатываемой детали:

1 – обрабатываемая деталь; 2 – гранулы рабочей среды

Второй вариант (рис. 4, б) обеспечивает протекание процесса упругопластического деформирования. Гранулы рабочей среды и детали перемещаются, как и в первом варианте, но их относительное движение направлено перпендикулярно обрабатываемой поверхности детали. При этом происходит соударение гранул рабочей среды с обрабатываемой поверхностью со скоростью V_c равной $V_c = V_1 + V_2$.

Третий вариант (рис. 4, в) обеспечивает одновременное протекание процессов микрорезания и упругопластического деформирования. Гранулы рабочей среды и детали перемещаются по криволинейной траектории близкой к окружности. При этом их взаимодействие происходит по касательной к траектории перемещения.

Как следует из выражений для скоростей V_0 относительного движения и V_c соударения гранул рабочей среды и деталей скорость V_0 является основным резервным фактором повышения производительности виброобработки. Следует уточнить, что скорость V_0 зависит от абсолютных величин скоростей движения гранул рабочей среды и обрабатываемых деталей, помещенных в колеблющийся резервуар. В свою очередь выделенные скорости находятся в функциональной зависимости от амплитуды и частоты колебаний, а также коэффициента эллипсности траектории движения резервуара и соотношения масс обрабатываемых деталей и гранул рабочей среды. Экспериментально установлено, что чем больше разница в их массах, тем скорость V_0 относительного движения будет больше. При небольшой разнице в массах деталей и гранулах рабочей среды, а следовательно в незначительном отличии их инертности, скорость V_0 будет минимальна, что приводит к снижению производительности. Таким образом, возможна гипотеза о том, что повышение производительности при обработке мелкогабаритных деталей с малой массой может быть достигнуто при увеличении частоты колебаний резервуара.

Из анализа рассмотренных вариантов взаимодействия гранул рабочей среды с поверхностью обрабатываемой детали можно сделать следующие физико-технологические заключения.

При первом варианте удаляемый съем металла имеет минимальную величину, что объясняется невысоким взаимным давлением гранул и деталей, которое обеспечивается только статическим давлением окружающей среды. Вполне понятно, что такая физическая ситуация сопровождается активным микрорезанием и наиболее приемлема для операций виброобработки, связанных с процессами чистового шлифования и полирования, характеризующимися низким съемом металла и высоким классом чистоты поверхности.

При втором варианте удаляемый съем металла значительно возрастает и на обрабатываемой поверхности появляются следы от воздействия зерен абразива, а также вмятины, сколы и вырывы металла, что сопровождается присутствием упругопластического деформирования поверхности. Такая физическая ситуация процесса приемлема для операций удаления окалины, обдирки и черного шлифования, на которых съем металла высокий, а достигаемый класс чистоты поверхности низкий.

Третий вариант взаимодействия носит промежуточный характер, находится в зависимости от коэффициента эллипсности траектории движения резервуара и является наиболее универсальным для операций виброобработки широкой номенклатуры деталей общемашиностроительного применения.

Твердость материала обрабатываемых деталей и форма их поверхности

Твердость материала детали оказывает непосредственное влияние, как на производительность, так и на качество обрабатываемых поверхностей деталей. Чем выше твердость материала, тем меньше глубина внедрения абразивного зерна в поверхность детали. При этом, соответственно, снижается съем металла с обрабатываемой поверхности и одновременно повышается класс ее чистоты.

Форма обрабатываемой поверхности также оказывает влияние на производительность виброобработки. Процесс соударения гранул рабочей среды со сложнопрофильными элементами, образующими в конструкции деталей различного вида ниши, карманы, уступы, не всегда происходит под оптимальными углами, что вызывает снижение съема металла, то есть производительности обработки. Более того, не исключены случаи, когда форма обрабатываемой поверхности такова, что соударения с нею гранул рабочей среды невозможно.

Физико-технологические характеристики рабочей среды

К важнейшим физико-технологическим характеристикам применяемых рабочих сред, влияющих на производительность операций виброобработки, необходимо отнести массу, размеры, форму и твердость гранул. Так, при взаимодействии составляющих загрузки резервуара, когда гранулой наносится прямой удар по обрабатываемой поверхности, его сила пропорциональна массе гранулы. Следовательно, с одной стороны увеличение массы гранул приводит к увеличению съема металла. С другой стороны – значительное увеличение массы гранул вызывает ухудшение качества обработки, а также уменьшение скорости V_0 относительного движения гранул и деталей. При экспериментальном проектировании

технологий виброобработки было установлено, что для грубых очистных операций с большим съемом металла целесообразно использовать рабочие среды с предельно большой массой гранул. В то же время на финишных отделочных операциях с незначительным съемом металла более приемлемы рабочие среды с относительно малой массой гранул.

Очевидно, что геометрические размеры гранул взаимосвязаны с их массой. Поэтому рекомендации по их выбору аналогичны предыдущим. Вместе с тем, размеры гранул выбирают из условия обеспечения доступа к затененным обрабатываемым поверхностям. Кроме того, когда обработка поверхностей нежелательна, тогда размеры гранул выбирают такими, чтобы они не соударялись с этими поверхностями [3].

Форма гранул рабочей среды не оказывает заметного влияния на производительность операций виброобработки. Однако, при затрудненном доступе гранул к обрабатываемым поверхностям появляется технологическая необходимость в подборе рациональной формы (рис. 5) и размеров гранул (рис. 6, а) для достижения требуемого результата обработки.

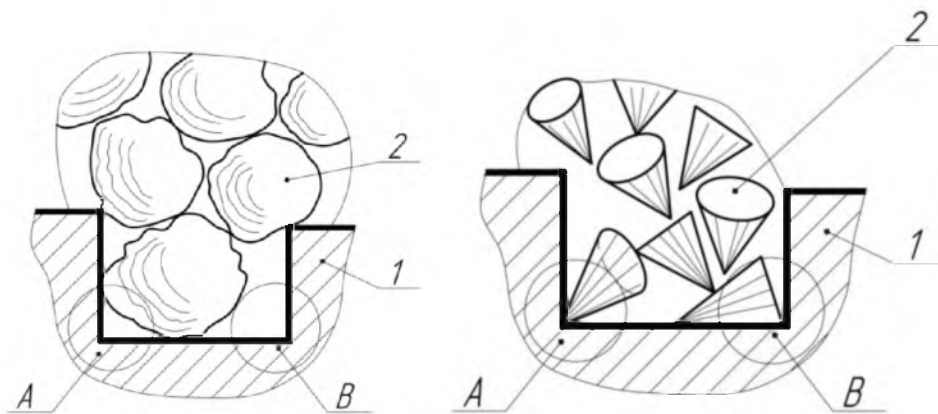


Рисунок 5 – Схема подбора рациональной формы гранул рабочей среды для достижения результата виброобработки: А, В – зоны затрудненного доступа гранул к обрабатываемым поверхностям детали;
1 – участок поверхности детали; 2 – гранулы рабочей среды

Зернистость материала гранул рабочей среды в значительной степени отражается, как на производительности, так и на качестве операций виброобработки (рис. 6, б).

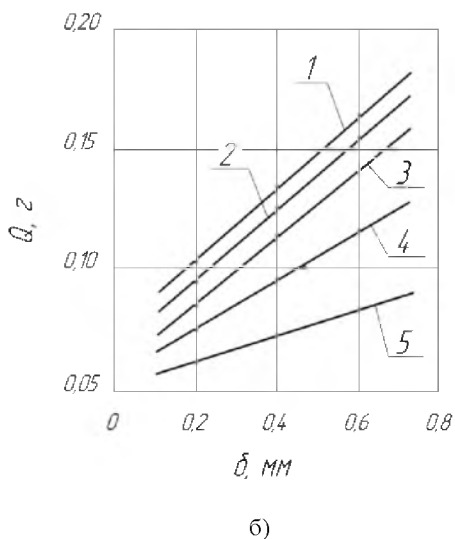
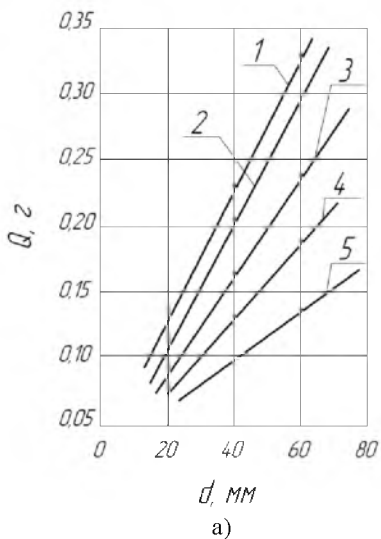


Рисунок 6 – Зависимость сѐма Q металла от размера d материала гранул рабочей среды (а) и их зернистости δ (б):
1 – Ст 3; 2 – сталь 45; 3 – У10А; 4 – СЧ12-28; 5 – КЧ40-2

При использовании крупнозернистого материала гранул, количество зерен, находящихся в контакте с обрабатываемой поверхностью, уменьшается. В этом случае при прочих равных условиях, например, давлении, внедрение зерна в металл происходит на большую глубину и процесс микрорезания более активен. С другой стороны при малой зернистости существенно увеличивается количество контактов гранул с обрабатываемой поверхностью деталей, но внедрение зерен в металл происходит на небольшую глубину. Это способствует «мягкому» процессу микрорезания при ощутимом повышении класса чистоты поверхности.

Твердость материала гранул рабочей среды является одной из основных характеристик, оказывающих значительное влияние на производительность и качество операций виброобработки. В технологиях виброобработки объем загруженной в резервуар рабочей среды, как правило, превышает объем обрабатываемых деталей. Поэтому гранулы в процессе циркуляционного движения соударяются друг с другом чаще, чем с деталями, а это вызывает повышенный износ гранул вследствие их истирания и выкрашивания зерен. Кроме того, появление в рабочей среде продуктов износа ее гранул засоряет поры между зернами и приводит к их абразивному «засаливанию», а также снижению его режущих свойств.

Объемное соотношение гранул рабочей среды и обрабатываемых деталей при их совместной загрузке в резервуар в значительной мере влияет на производительность операций виброобработки. Если количество деталей в резервуаре велико, то гранулы будут контактировать с обрабатываемыми поверхностями только отдельных деталей и процесс виброобработки будет протекать замедленно. Если масса одновременно обрабатываемых деталей меньше массы рабочей среды, то потенциальные возможности технологии виброобработки не будут реализованы в полной мере.

Применение химически-активных растворов

Химически-активные растворы оказывают на процесс виброобработки различное воздействие. В одних случаях компоненты растворов, вступая в реакцию с поверхностным слоем металла детали, меняют его свойства и эти интенсифицируют процесс виброобработки. В других условиях элементы раствора, вступая в химические реакции с металлом образуют на обрабатываемых поверхностях пленки, которые впоследствии легко удаляются колеблющимися гранулами рабочей среды. Иногда химически-активные растворы могут включать в себя добавки, которые способствуют восстановлению режущих свойств гранул рабочей среды, а также удалению отходов обработки. Таким образом во всех случаях применение химически-активных растворов различных количественных и качественных составов приводит к повышению производительности и качества виброобработки.

Выводы

Результаты комплексных исследований, проводимых авторами статьи в НИЛ «ОСА» ВНУ им. В. Даля позволяют решать различные по сложности задачи теоретического и практического характера, связанные с повышением производительности и качества операций виброобработки, как при использовании классических технологий, так и ее разновидностей, полученных комбинированием схем энергетического воздействия на рабочую среду и обрабатываемые детали, помещенные в колеблющийся резервуар, как «внавал», так и с «закреплением» поштучно и партиями на специальных установочных приспособлениях обладающих различными кинематическими свойствами и степенями свободы.

Список использованных источников: 1. Применение вибрационных технологий на операциях отделочно-зачистной обработки деталей (очистка, мойка, удаление облоя и заусенцев, обработка кромок) / А.П. Бабичев, П.Д. Мотренко, Л.К. Гиллеспи и др.; под ред. А.П. Бабичева. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – 289 с. 2. *Бабичев А.П.* Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с. 3. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах: моногр. / И.Н. Карташов, М.Е. Шаинский, В.А. Власов и др. – К.: Вища школа, 1975. – 188 с. 4. *Калмиков М.О.* Инструмент для обработки деталей вальными абразивами / М.О. Калмиков, Т.О. Шумакова, В.Б. Струтинский, Л.М. Лубенська. – Київ - Луганськ: «Ноулідж», 2010. – 214 с. 5. *Носко П.Л.* Застосування вібраційної обробки для підвищення якості виробів / П.Л. Носко, М.О. Калмиков, А.П. Ніколаєнко, Л.М. Лубенська. – Луганськ: «Ноулідж», 2009. – 291 с. 6. *Мицьук В.Я.* Развитие научных основ проектирования технологии и оборудования отделочно-зачистной и упрочняющей виброобработки / В.Я. Мицьук // Вібрації в техніці та технологіях. – 2010. – №2 (58). – С. 141 – 151 7. *Мицьук А.В.* Определение теоретической зависимости сдвига металла от основных параметров технологического процесса виброобработки / А.В. Мицьук // Вібрації в техніці та технологіях. – 2010. – №2 (58). – С. 131 – 137 8. *Берещенко А.А.* Виброхимическая обработка углеродистых и легированных сталей: дис. ... канд. хим. наук: 05.17.03 / Алла Александровна Берещенко. – Киев, 1980. – 132 с. 9. *Мицьук А.В.* Пути интенсификации вибрационной отделочно-зачистной обработки комбинированием схем энергетических воздействий на рабочую среду и детали / А.В. Мицьук, В.А. Федорович // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2011. – № 6 (83). – С. 26 – 34. 10. Развитие вопросов кинематики и динамики процессов отделочно-зачистной обработки в колеблющемся резервуаре / Мицьук А.В., Федорович В.А., Фадеев В.А. // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. науч. техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – Вып. 82. – С. 171 – 182. 11. *Мицьук А.В.* Повышение эффективности обработки крупногабаритных плоскостных изделий активизацией движения рабочей среды в колеблющихся «U» - образных контейнерах: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Андрей Владимирович Мицьук. – Харьков., 2008. – 331 с.

Поступила в редакцию 15.06.2013