

Лубенская Л. М.

Молчанов Д. В.

**Восточноукраинский  
национальный  
университет имени  
Владимира Даля**

УДК 621.9.048

## ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ В U-ОБРАЗНОМ КОЛЕБЛЮЩЕМСЯ КОНТЕЙНЕРЕ

*Розглянута поведінка різних деталей у процесі обробки. Досліджений вплив технологічних параметрів процесу на обробку великогабаритної деталі. Дані рекомендації з модернізації технологічного обладнання й намічені подальші напрямки досліджень.*

*The behavior of various details in the course of processing is considered. Influence of technological parameters of process on processing of a large-sized detail is investigated. Recommendations about modernization of the process equipment are made and the further directions of researches are planned.*

«...при определении максимально допустимого размера деталей было установлено, что он не должен превышать 1/3 ширины контейнера. Детали больших габаритов резко ухудшают циркуляцию среды».

Шаинский М. Е.

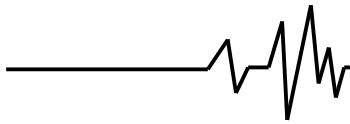
Многие исследователи процесса вибрационной обработки в свободных абразивах, с целью разработки типового технологического процесса, ставили перед собой задачу предварительно классифицировать детали по определенным признакам. Существуют классификации, в которых учитывались масса, габариты, материал обрабатываемых изделий, их

различные конструктивные признаки и т.д. Однако, именно классификация, предложенная М. Е. Шаинским [1], представляет наибольший интерес.

Автор разделяет все детали, подвергаемые вибрационной обработке, на три группы: мелкие, средние и крупные. Схематично это можно представить следующим образом (рис. 1):



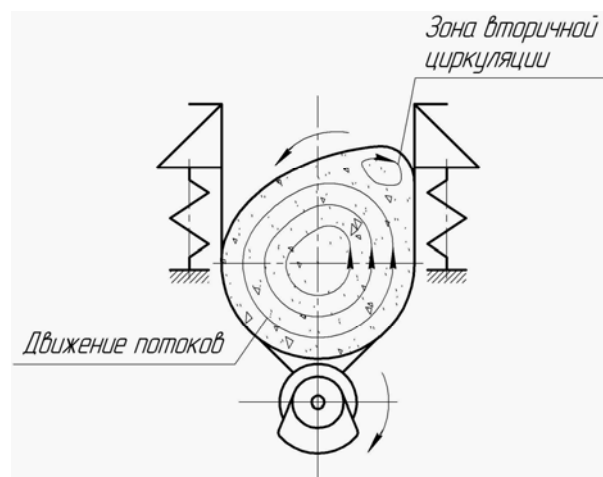
Рис. 1. Классификация деталей



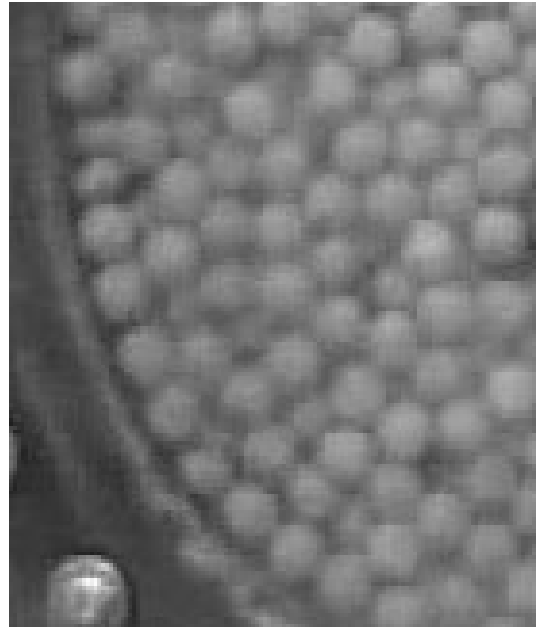
При этом автор считает, что под мелкими деталями следует понимать детали, масса которых  $M_1/M_2 < 30$ , где  $M_1$  и  $M_2$  масса детали и масса единичной гранулы соответственно, а  $L = L_{\min}/5$ , где  $L$  – размер единичной гранулы,  $L_{\min}$  – наименьший линейный размер детали.

Надо сразу же отметить, что первая зависимость была обоснована необходимостью создания разности скоростей движения детали и единичной гранулы (о чем будет еще говориться ниже). Но в этой зависимости практически ничего не изменится, если эти величины поменять местами (т.е. величина относительной скорости останется неизменной), а, следовательно, величина съема останется прежней. Как известно, при вибрационной обработке детали и гранулы совершают не только осциллирующее движение, но и общее циркуляционное всей массы загрузки, а в ней послойное вокруг центра вращения (рис. 2, 3), следовательно, обработка деталей, находящихся в  $N$ -м слое, будет производиться гранулами, находящимися в соседних слоях ( $N-1$  и  $N+1$ ). Таким образом, нельзя говорить о том, что в случае равенства масс деталей и гранул обработка не производится. Одновременно подтверждением этого является то, что сами гранулы изнашиваются в процессе обработки.

О второй зависимости вообще трудно что-либо сказать, т.к. ее обоснование не приведено, но можно предположить, что этим соотношением определялась возможность контакта обрабатываемой поверхности детали с поверхностью гранулы.



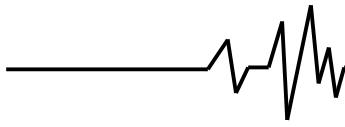
**Рис. 2. Схема послойного движения элементов загрузки в вибрирующем контейнере**



**Рис. 3. Фрагмент движения элементов рабочей среды (кадр видеосъемки через прозрачную стенку)**

Таким образом, при оценке «мелкости» детали наблюдается некая расплывчатость в определениях, как, впрочем, и при введении определения «крупных» деталей. Как сказано в эпиграфе, – «Детали больших габаритов резко ухудшают циркуляцию среды» [1], однако последующие работы как в стране, так и за рубежом показали, что при переходе к работе на более высокочастотном режиме, чем ранее это осуществлялось, такая проблема отсутствует. Кроме этого, сегодня существует и широкий размерный ряд станков от 0,2 л до 2000 л [2], поэтому, что для одного станка крупная деталь, то на другом оборудовании она вписывается в размерный ряд, для которого существует типовая технология. Переход к большему по объему контейнеру (с увеличением его ширины), где однозначно может размещаться большее количество деталей, не всегда объективен, т.к. обработка в центре контейнера (из-за пассивной зоны) малоэффективна [3, 4], а, следовательно, напрашивается удлиненный контейнер с прежними размерами поперечного сечения.

Остановимся более подробно на рассмотрении вопроса обработки тел вращения и, в первую очередь, деталей сферической формы. Наиболее часто при создании деталей машин и приборов применяются поверхности вращения (валы, ось, фланцы, крышки и т.д.). Эти поверхности легко обрабатываются на обычных токарных, токарно-копировальных станках либо станках с



ЧПУ. В то же время следует отметить, что применение сфероидов различного типа, в частности сферы, находит все большее распространение, но трудности, возникающие при получении такой поверхности на металлорежущих станках с последующей финишной обработкой, являются сдерживающим фактором её применения. Традиционные методы обработки таких деталей требуют большего количества штучного времени обработки, специального оборудования и высококвалифицированных кадров, что в значительной мере повышает себестоимость продукции.

Обработку поверхностей такого профиля без существенных трудностей производят на оборудовании со свободной кинематической связью на зачистных, упрочняющих, шлифовальных и полировальных операциях, где точность размеров и геометрических форм деталей укладывается в границы поля допуска предшествующей операции [5].

В НИЛ «ОСА» ВНУ им.В.Даля поступили на обработку детали (рис.4) – клапаны шаровых кранов (рис. 4, табл. 1), которые принадлежат к шести типоразмерам из стандартного ряда, нормируемого по проходному диаметру ( $d_{пр}$ ): 15, 25, 32, 65, 80, 150 мм.

Данная деталь выполнена из жаропрочной коррозионно-стойкой стали 12X18H10T ГОСТ 7350-77 (в международной классификации: 1.4878 – Европа (EN), X12CrNiTi18-9 – Германия (DIN), 321H – США (AISI)).

Сталь 12X18H10T аустенитного класса, применяется для деталей, работающих при температуре до 600°C. Основное применение – сварные аппараты и сосуды, работающие в разбавленных растворах азотной, уксусной, фосфорной кислот, растворах щелочей и солей, и другие детали, работающие под давлением при температуре от -196 до +600°C, а при наличии агрессивных сред – до +350°C.

Химический состав материала 12X18H10T:

Химический элемент	%
Углерод (C), не более	0,12
Кремний (Si), не более	0,8
Марганец (Mn), не более	2,0
Никель (Ni)	9-12
Сера (S), не более	0,02
Фосфор (P), не более	0,035
Хром (Cr)	17-19
Медь (Cu), не более	0,3
Титан (Ti)	0,6-0,8
остальное Fe	

Физические свойства материала 12X18H10T, при температуре 20°C:

– модуль упругости первого рода  $E = 1,98 \cdot 10^5$  МПа.

– плотность  $\rho = 7920$  кг/м<sup>3</sup>.

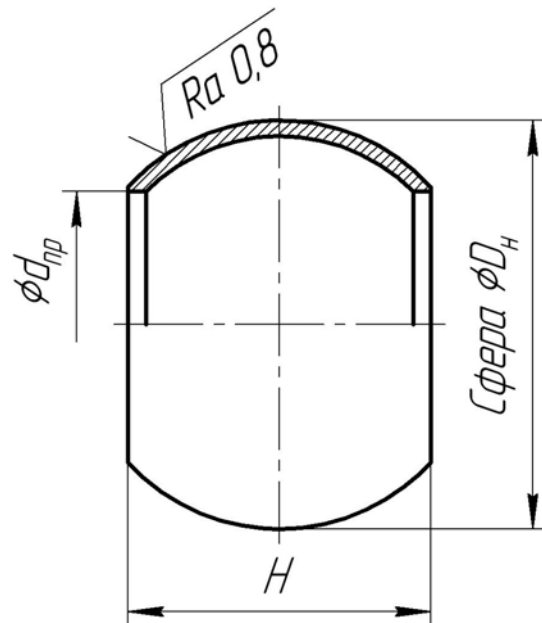
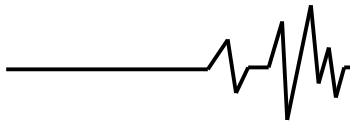


Рис. 4. Клапаны шаровых кранов

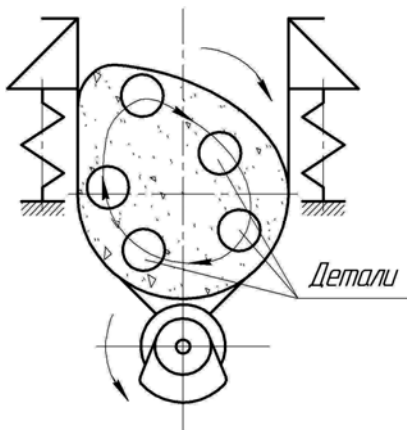
В данную группу при обработке на станке УВИ-25 (с размерами поперечного сечения 240x350 мм) входят как детали, для которых существует типовая технология ( $d_{пр} = 12, 25, 30, 50$  мм), так и крупногабаритные детали для данного технологического оборудования ( $d_{пр} = 65, 80$ ).



**Таблица 1**  
**Характеристика обрабатываемых клапанов**

Проходной диаметр, $d_{пр}$ , мм	Наружный диаметр, $D_n$ , мм	Ширина, $H$ , мм	Масса, $m$ , г
15	23	16	12,123
25	49	39	110,725
32	56	44	165,846
65	110	88	880
80	115	85	992
150	200	155	7631

Первые детали, как уже указывалось выше, относятся к «классическому» типоразмеру деталей, обрабатываемых на данном технологическом оборудовании «в навал». В процессе обработки наблюдалось устойчивое циркуляционное перемещение массы загрузки, детали двигались вдоль стенок контейнера, не уходя в центр, находясь постоянно в зонах максимальной передачи силового импульса, что обеспечивало эффективность их обработки (рис. 5).

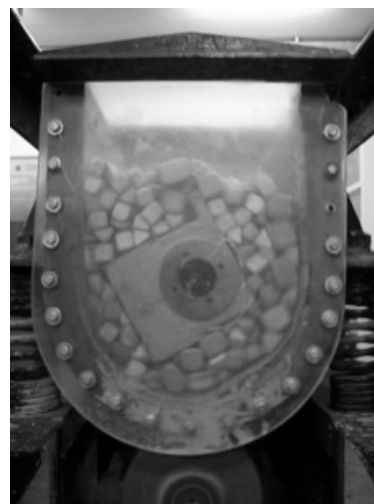
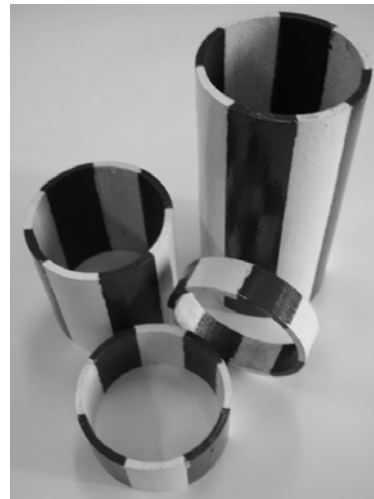


**Рис. 5. Перемещение деталей в процессе обработки**

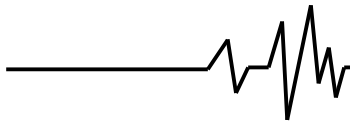
Оставшиеся детали, по классификации [1], являются крупногабаритными, т.к. их размер превышает 1/3 высоты либо ширины контейнера. Однако, как показали экспериментальные исследования, они устойчиво и стабильно обрабатываются без каких-либо изменений в скорости циркуляционного движения рабочей среды.

Также в НИЛ «ОСА» ВНУ им. В.Даля проводились многочисленные исследования по определению условий обрабатываемости деталей, габариты которых более 1/3 высоты и/или ширины поперечного сечения контейнера. Исследования проводились на станке УВИ-25. Объем контейнера станка –

25 л, ширина поперечного сечения контейнера – 240 мм, поперечный габарит деталей от 100 мм до 200 мм, продольный габарит деталей был равен или превышал поперечный. В качестве образцов при исследованиях использовались клапаны шаровых кранов, изделия из трубы и различные корпуса приспособлений и редукторов.



**Рис. 6. Образцы и детали-представители**



В результате экспериментальных исследований было установлено, что все эти детали вращаются вокруг своей оси с определенной угловой скоростью от 1 до 30 об/мин. Помимо собственного вращения, детали в процессе обработки совершали круговое относительное перемещение в центре вращения рабочей среды. Такое движение для деталей данного типа сохранялось при обработке на всех режимах обработки (амплитуда менялась от 0 до 4 мм, частота 50, 53, 63, 67 Гц). Необходимо обратить внимание, что деталь была самостоятельно сориентирована рабочей средой в центр контейнера в процессе обработки, т.е. заняла наименее энергоемкое положение.

Следовательно, предположение авторов [1, 2, 3], описанное выше, что крупногабаритная деталь будет нарушать циркуляцию рабочей среды, замедлять ее или полностью уничтожать, при обработке крупногабаритных деталей оказалось неверным для данной конструкции станка. В ходе экспериментальных исследований были определены значения циркуляционной скорости рабочей среды при изменении частоты и амплитуды колебаний контейнера (табл. 2 и рис. 8).

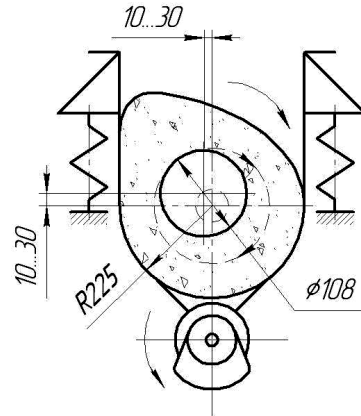


Рис. 7. Перемещение детали во время обработки

Таблица 2  
Значение циркуляционной скорости рабочей среды (об/мин) при изменении частоты (Гц) и амплитуды (мм)

Частота \ Амплитуда	50	53,33	61,67	66,67
0	1,07	1,2	3,7	5
1	1,25	1,41	5,8	8,2
2	2,73	3,9	16,7	20
3	8,57	10,3	20	25,3
4	12	15,4	23,2	30

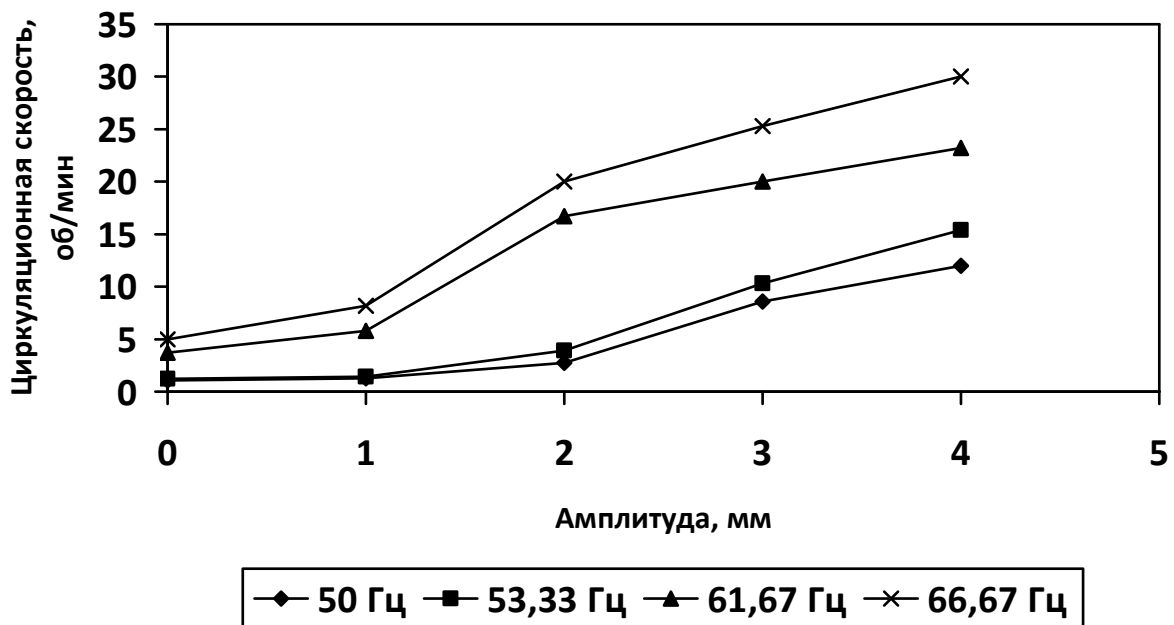
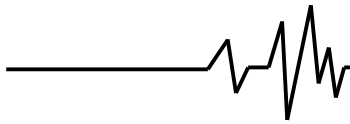


Рис. 8. График изменения циркуляционной скорости при различных значениях частоты вращения и амплитуды колебаний

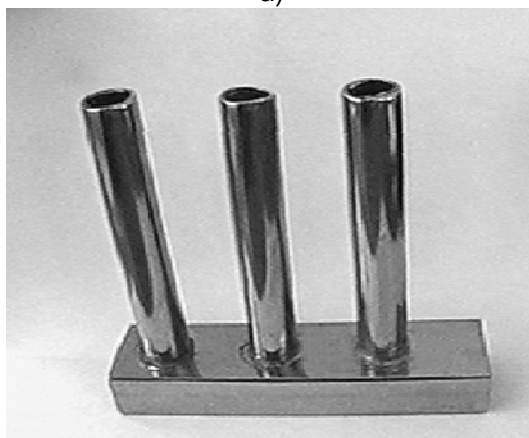


Как известно, интенсивность силового взаимодействия между элементами загрузки при удалении от дна и стенок контейнера к его центру уменьшается, а, следовательно, как уже неоднократно указывалось, в центре контейнера находится пассивная зона, в которой рабочая среда совершает холостой ход, и тем самым напрашивается вывод о необходимости ее ликвидации. На это указывалось в работе [4]. О необходимости правильного подбора размеров поперечного сечения контейнера писал Шаинский М.Е. [1]. Попытка ликвидации холостой зоны осуществлялась и в работах [6, 7].

В работах [6, 7] отработывался технологический процесс для изделия «радиатор», пространственная конструкция которого представляет несколько соединенных между собой «средних» деталей (рис. 9). Проведенные авторами исследования позволяют утверждать, что существует возможность обработки крупных изделий. Для исключения влияния центральной зоны в нее вводился дефлектор (барабан), выступающий в роли экрана-вставки, исключаящей пассивную зону.



а)



б)

**Рис. 9. Деталь типа «радиатор» (а), фрагмент детали (б)**

В нашем случае деталь, самоориентируясь, занимала место в центре контейнера (в выше приведенных случаях это место занимал «барабан»), т.е. место с худшими возможностями для обработки. Для повышения производительности обработки таких деталей возникает необходимость в приближении силового импульса к ее поверхности. Т.е. возникает задача уменьшения поперечного сечения контейнера с одновременным его удлинением для обработки одного и того же количества деталей.

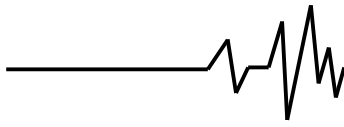
При проведенных экспериментальных исследованиях была определена минимальная толщина слоя гранул, необходимого для перемещения деталей с учетом самоорганизации движения элементов загрузки и предотвращения повреждения поверхности при обработке. Данная толщина составляла три гранулы (ближе деталь не приближалась к стенкам и дну контейнера), хотя автор работы [8] говорит о достаточности только одной, но у него обработка производилась на приспособлении, а в работе [2] идет речь о 6-ти, но обработка производилась на низких частотах и достаточно больших амплитудах. У торцевых стенок контейнера в нашем эксперименте формировался слой гранул толщиной также не менее трех гранул, обеспечивающий равномерную обработку рассматриваемой заготовки (при исследовании деталь помещалась вплотную к прозрачной стенке, через которую и производилась видеосъемка, и затем в течение 3-4 оборотов рабочей среды деталь отодвигалась от нее на 3 гранулы и сохраняла это положение до конца обработки).

Отсюда напрашивается вывод, что приближение размеров контейнера к размерам детали будет выступать положительным фактором для повышения интенсивности ее обработки.

Рассмотрим результаты расчетов вибрационного станка для обработки детали: клапан шарового крана с проходным диаметром  $d_{пр} = \text{Ø}80$  мм ( $D_n = \text{Ø}115$  мм,  $L = 85$  мм).

Штучное время, необходимое для обработки наружной поверхности данной детали, например, на сфершлифовальном станке ЛЗ-192АС, составляет 10 мин. При этом шероховатость поверхности детали до обработки  $Ra=3,2$  мкм, после обработки  $Ra=0,8$  мкм.

Проведенные лабораторные исследования показали, что время, необходимое для достижения данного значения шероховатости поверхности при виброобработке на станке



УВИ-25 (при использовании в качестве рабочей среды гранул АН-2 ТУ 2-036-159-80 (грануляция 15...25 мм)), составляет 40 мин. Считаем, что для сохранения рабочего цикла штучное время для обработки одной заготовки должно составлять не более 10 мин. Следовательно, на вибрационном станке необходимо обрабатывать одновременно 4 заготовки. Во избежание повреждения обрабатываемых деталей вследствие взаимного соударения каждая заготовка должна обрабатываться в отдельном отсеке контейнера станка

Применяя классическую методику расчета вибрационного оборудования, были рассчитаны два вибрационных станка: «традиционный» и «малообъемный».

Ширина и длина «традиционного» контейнера на 1/3 превышала габарит детали. В итоге был получен контейнер объемом 227 л (рабочий объем контейнера из условия загрузки 75% – 170 л) (рис. 9). Масса загрузки рабочей среды – 450 кг. Суммарная масса контейнера и массы загрузки составляла более 590 кг. Необходимая мощность привода станка – 6,1 кВт.

Ширина и длина «малообъемного» контейнера была выбрана с учетом необходимых 3-х гранул с каждой стороны детали. Это контейнер объемом 80 л, рабочий объем (из условия загрузки 75%) – 60 л (рис. 10). Масса загрузки рабочей среды – 150 кг. Суммарная масса контейнера и массы загрузки составляет 220 кг. Необходимая мощность привода станка – 2,23 кВт (расчет производился по методике А.П. Бабичева [9]).

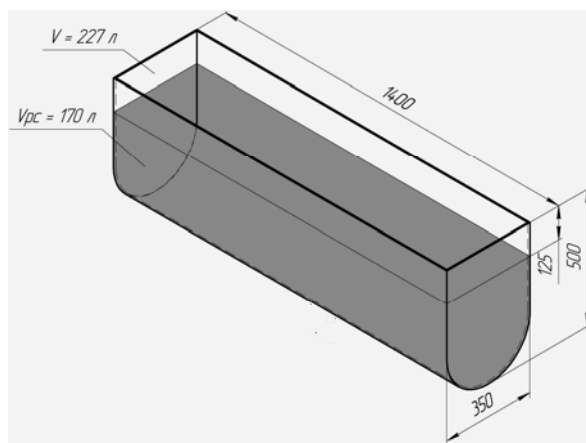


Рис. 9. Традиционный контейнер

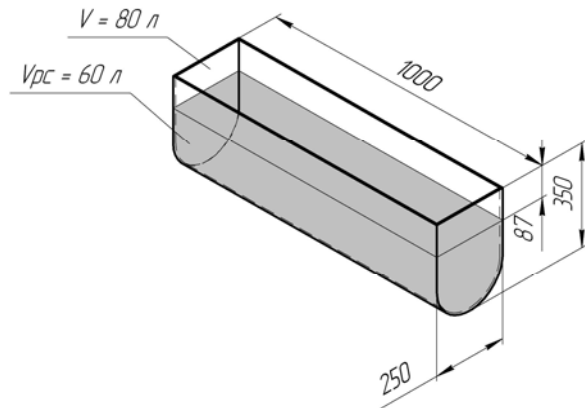


Рис. 10. «Малообъемный» контейнер

То есть следует, что при более высокой производительности процесса обработки потребляемая мощность уменьшается в 2.5 раза.

Переход к данному типу контейнеров позволил усовершенствовать вибростанок ВМСИ-50 и внедрить технологический процесс обработки клапанов шарового крана на предприятии «Маршал» (г. Луганск).

Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Предположение авторов об ухудшении обрабатываемости изделий, габарит которых превышает 1/3 высоты или ширины контейнера, не применимо к современным типам оборудования.

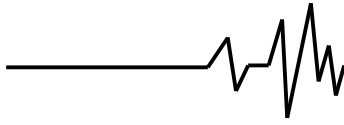
2. Проведенные исследования показали возможность и эффективность обработки тел вращения с различной формой образующей в малообъемных контейнерах с получением необходимой шероховатости и повышением интенсивности обработки.

3. Возможность приблизить размеры контейнера к габаритам детали позволяет увеличивать силу взаимодействия рабочей среды и обрабатываемых деталей и сократить габариты, металло- и энергоемкость оборудования, что немаловажно в условиях рыночной экономики. В нашем примере металлоемкость снижена в 2 раза, а необходимая мощность привода в 2,5 раза.

### Литература

1. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих контейнерах / Карташов И. Н. и др. – К.: Вища школа, 1975. – 188 с.

2. Бабичев А. П. Основы вибрационной технологии / А. П. Бабичев, И. А. Бабичев. – Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 1999. – 622 с.



3. Берник П. С. Вибрационные технологические машины с пространственными колебаниями рабочих органов / П. С. Берник, Л. В. Ярошенко. – Винница, 1998. – 116 с.

4. Субач А. П. Динамика процессов и машин объемной вибрационной и центробежной обработки насыпных деталей / А. П. Субач, А. Я. Лац. – Рига: Зинатне, 1991. – 400 с.

5. Кулаков Ю. М. Отделочно-зачистная обработка деталей / Ю. М. Кулаков, В. А. Хрульков. – М.: Машиностроение, 1979. – 216 с.

6. Калмыков М. А. Повышение эффективности процесса вибрационной обработки крупногабаритных изделий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Калмыков Михаил Александрович; Национальный технический ун-т «Харьковский политехнический ин-т». – Х., 2006. – 20с.

7. Мицьк А. В. Повышение эффективности обработки крупногабаритных плоских изделий активацией движения рабочей среды в колеблющихся U-образных контейнерах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Мицьк Андрей Владимирович; Национальный технический ун-т «Харьковский политехнический ин-т». – Х., 2008. – 20с.

8. Пшеничный И. Н. Расширение технологических возможностей обработки деталей в вибрирующих контейнерах: дис ... канд. тех. наук. – Луганск, 2005. – 265 с.

9. Бабичев А. П. Конструирование и эксплуатация вибрационных станков для обработки деталей / А. П. Бабичев, Л. К. Зеленцов, Ю. М. Самодумский. Издательство Ростовского университета, 1981. – 160 с.