

УДК 621.9.048.6.04

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИКИ МЕТОДА ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ И УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ В КОЛЕБЛЮЩИХСЯ РЕЗЕРВУАРАХ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

Мицьк В. Я., доцент, к.т.н

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля

91034, Украина, г. Луганск, кв. Молодёжный, 20а

E-mail: an_mitsyk@mail.ru

Розглянута кінематика руху оброблюваних деталей та робочого середовища в «U»-подібному резервуарі, оснащеному прямолінійним дефлектором. Виявлені особливості оздоблювально-зачищувальної та зміцнювальної обробки у зустрічних потоках середовища, які відповідають процесам мікрорізання та упругопластичного деформування.

Ключові слова: оздоблювально-зачищувальна обробка, зміцнювальна обробка, мікрорізання, упругопластичне деформування

The kinematics of motion of the worked parts and the medium in U-shaped reservoir, equipped with the rectangular deflector, was examined. The characteristic properties of finishing-grinding and strengthening treatment in anti-moved flows of the medium, conforming to the micromachining processes and elasto-plastic deforming, were revealed.

Key words: finishing-grinding treatment, strengthening treatment, micromachining processes, elasto-plastic deforming

Введение. Отделочно-зачистная и упрочняющая обработка в колеблющихся резервуарах характеризуется сочетанием процессов микрорезания и упругопластического деформирования поверхности обрабатываемых деталей.

Анализ предыдущих исследований. Для понимания особенностей метода рассмотрим механизм процессов виброобработки в течение периода колебания резервуара по эллипсообразной траектории. При циркуляционном движении содержимого резервуара гранулы рабочей среды массой m_{cp} , перемещаясь со скоростью V_{cp} , встречают подлежащую обработке деталь массой M_{∂} (рис. 1).

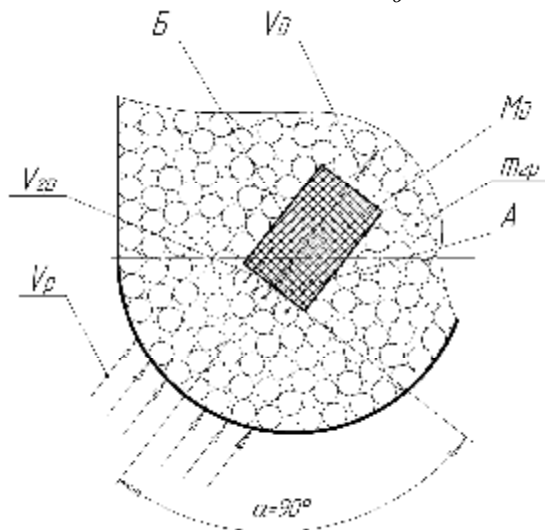


Рисунок 1 – Встреча детали и гранулами среды под прямым углом

В момент встречи деталь может находиться в состоянии относительного покоя, совершать встречное или попутное движение со скоростью V_{∂} .

В различных точках траектории движения резервуара в течение периода колебания векторы скоростей V_{cp} и V_{∂} находятся под различным углом друг к другу. Это происходит вследствие того, что, обладая большей массой и, следовательно, большей инертностью, деталь отстаёт в своём движении от движения гранул. При этом разность векторов скоростей $V_{cp} - V_{\partial}$ представляет собой относительную скорость V_{omn} , с которой осуществляется взаимодействие гранул и деталей вызывающее процесс микрорезания [1].

В зависимости от формы детали, её положения во внутреннем пространстве резервуара и направления движения в потоках рабочей среды угол встречи детали с гранулами может изменяться от 0 до 90 градусов.

Активность процесса упругопластического деформирования при виброобработке наблюдается в случае встречи гранул среды с обрабатываемой поверхностью под углом 90 градусов. Рабочая поверхность резервуара сообщает гранулам движение со скоростью V_{cp} . При этом гранулы, уплотняясь, наносят по поверхности А детали удар под углом 90 градусов. Усреднённые значения силы F_{cp} , действующей на деталь за время удара представляется зависимостью $F_{cp} = \frac{M_{\partial} \cdot V_{omn} (1+k)}{t}$, где k - коэффициент восстановления, зависящий от упругих свойств материала детали и гранул среды; t -

время удара. Зависимость является справедливой, так как масса резервуара и уплотнённых слоёв гранул, находящихся между рабочей поверхностью резервуара и поверхностью *A* детали, велики по сравнению с массой детали.

Величина съёма металла, т.е. эффективность процесса микрорезания, при направлении удара гранул по поверхности детали под углом 90 градусов минимальна, так как гранулы рабочей среды не столько снимают микростружку, сколько сминают обрабатываемую поверхность, оставляя на ней вмятины и микроразбоины. Съём металла с поверхности *B* детали также минимален, т.к. гранулы среды проскальзывают вдоль неё при небольшом усилии взаимодействия, которое определяется только статическим давлением вышележащих слоёв гранул среды и деталей. Такое давление значительно меньше величины сил, возникающих у поверхности *A* детали.

Другие условия виброобработки, т.е. активность процесса микрорезания, имеют место при угле встречи гранул с поверхностью детали, отличным от 90 градусов (рис. 2). В этом случае удар по поверхности *A* смягчается. Поверхность *B*, ранее не испытывавшая ударов гранул, также получает косой удар. Гранулы во время этого удара проскальзывают по обеим поверхностям *A* и *B* детали, снимая с неё стружку. Наибольшее разрушение обрабатываемых поверхностей будет происходить в ослабленных местах, а именно на углах и рёбрах. Максимальному разрушению подвергается поверхность *D* ребра детали.

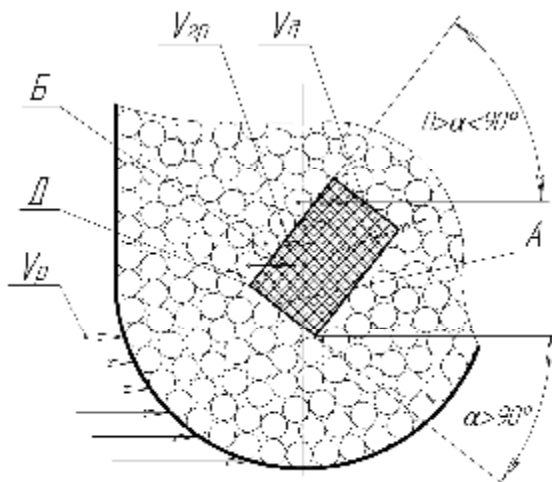


Рисунок 2 – Встреча детали и гранулами среды под острым углом

С увеличением массы гранулы возрастает её кинетическая энергия, а, следовательно, и усилие, вызывающее разрушение поверхностных слоёв металла. С уменьшением размера гранул изменяется демпфирование среды, повышение степени которого можно компенсировать увеличением амплитуды колебаний резервуара или применением гранул с большим удельным весом [2].

Скорость микрорезания V_m при виброобработке

определяется зависимостью: $V_m = V_{2p} + (\pm V_0)$, из которой видно, что V_m достигает наибольшей величины при движении гранул и деталей навстречу друг другу. При обработке в «U» - образных резервуарах такое встречное движение деталей и гранул может возникнуть не более одного раза за период или даже несколько периодов колебания. Длительность встречного движения гранул и деталей не превышает 1/8 периода колебание резервуара [3].

Цель работы. Проанализировать механику процесса и выявить основные параметры, позволяющие оценить эффективность оборудования отделочно-зачистной и упрочняющей обработки.

Материалы и результаты исследований. Дальнейшее повышение активности процессов микрорезания и упругопластического деформирования при виброобработке связано с развитием воздействующих на среду рабочих поверхностей резервуара. Известно, что в циркуляционном движении содержимого «U» - образного резервуара, оснащённого дополнительной, охватываемой средой, рабочей поверхностью, представленной прямолинейным дефлектором, жёстко связанным с резервуаром и расположенным на оси его симметрии, возникает стабильное встречное движение восходящих и нисходящих потоков рабочей среды и деталей [4, 5].

Наибольшей скоростью перемещения обладают граничные слои среды, непосредственно контактирующие с рабочими поверхностями резервуара и дефлектора. Граничный слой в своём движении увлекает за собой слои среды, расположенные в глубине резервуара, но скорость их движения меньше скорости граничного слоя. Из эпюр скоростей в слое шириной *b* видно, что при переходе от рабочей поверхности *B* резервуара к поверхности *D* дефлектора скорости в потоках среды постепенно уменьшаются, достигают нуля и при переходе через граничную линию вновь увеличиваются до той же величины, но в противоположном направлении (рис. 3).

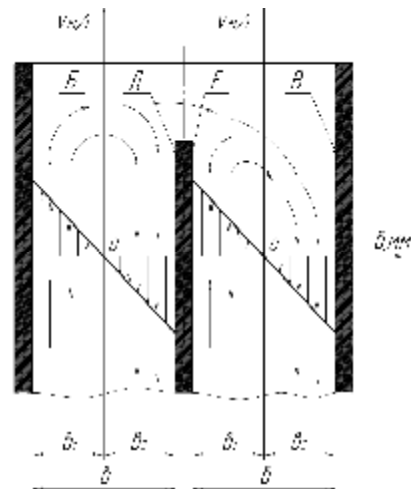


Рисунок 3 – Эпюры скоростей движения среды в резервуаре с дефлектором

Из рассмотрения эпюр скоростей движения среды очевидно, что между потоками в слоях шириной b_1 и b_2 существует нейтральный слой, движение гранул в котором носит неопределённый характер, т.е. в какой-то момент времени гранулы могут перемещаться с потоками в слое b_1 или b_2 , или, оставаясь на месте, могут вращаться относительно центра своих масс.

Для оценки эффективности виброобработки рассмотрим перемещение детали в резервуаре с прямолинейным дефлектором. Равномерная циркуляция встречных потоков среды во всех зонах резервуара зависит от наибольшего размера L_{\max} обрабатываемой детали, который связан с шириной b слоя среды следующим соотношением: $b \approx (1,5 \dots 2,5) L_{\max}$. При выполнении этого условия равномерная обработка детали во встречных потоках, будет обеспечена при наименьших затратах времени.

При анализе возможных положений детали во встречных потоках, скорости слоёв которых различны, можно выделить три основных случая взаимодействия детали с гранулами среды (рис. 4):

- деталь попадает в поток, слоёв которого перемещаются в одном направлении и увлекают её в своём движении;
- деталь попадает в нейтральный слой между двумя встречными потоками, которые оказывают на неё одновременное воздействие;
- деталь попадает в нейтральный слой и находится под преимущественным воздействием одного из потоков.

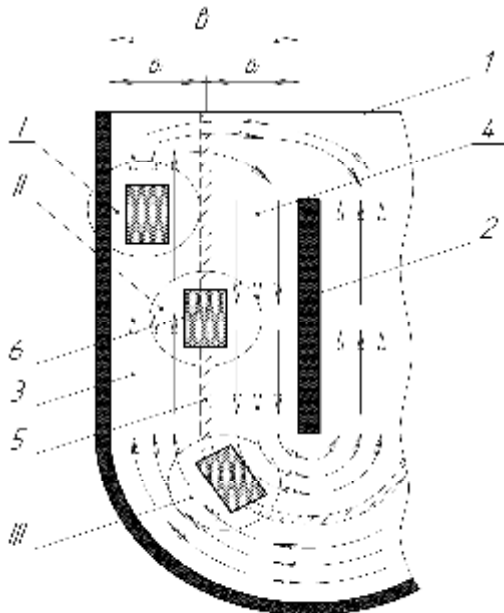


Рисунок 4 – Положения детали во встречнодвижущихся потоках среды: 1 – резервуар; 2 - дефлектор; 3, 4 – восходящие и нисходящие потоки среды; 5 – нейтральный слой; 6 – деталь; I – в слоях среды одного направления; II – в нейтральном слое между потоками; III – в нейтральном слое под преимущественным воздействием одного потока

В первом случае, когда направление перемещения детали совпадает с направлением движения потока, более активному воздействию подвергается та часть детали, которая в данный момент времени расположена ближе к рабочей поверхности резервуара или дефлектора, а скорости движения слоёв, прилегающих к ним, максимальны. Как результат деталь под воздействием активных слоёв непосредственно контактирующих с её поверхностью начинает поворачиваться вокруг своей оси и перемещаться в направлении движения потока. При этом скорость движения детали значительно меньше скорости перемещения граничных слоёв среды, что приводит к увеличению скорости относительного проскальзывания гранул и деталей, а следовательно, к возрастанию активности процесса микрорезания.

Во втором случае, когда деталь расположена в нейтральном слое, на неё с обеих сторон действуют противоположно направленные потоки среды, под воздействием которых она получает вращение относительно своей оси. Относительное проскальзывание гранул и деталей увеличивается, что повышает активность их взаимодействия и приводит к интенсификации обработки в большей степени, чем в первом случае.

В третьем случае деталь попадает в нейтральный слой и находится под преимущественным воздействием одного из потоков, что имеет место при асимметричном её расположении относительно нейтрального слоя. В результате различных послонных скоростей потока деталь совершает одновременно вращательное и поступательное движение. Скорость вращательного движения будет меньше, чем во втором случае, а поступательного – больше, чем в первом, т.е. третий случай занимает промежуточное положение и способствует повышению интенсивности обработки в сравнении с первым.

На основании вышеизложенного можно предположить, что наиболее активный процесс микрорезания с повышенным съёмом металла с детали происходит при её расположении в нейтральном слое, что объясняется большей величиной и большей скоростью относительного проскальзывания гранул и деталей. С целью уточнения этого предположения рассмотрено взаимодействие детали, находящейся в нейтральном слое с гранулами рабочей среды.

В точке 1 (рис. 5, а) траектории движения резервуара под действием поверхности стенки B , скорость движения которой соответствует $(V_p)_{x_1} = V_p$ гранулы потока b_1 , приобретают движения со скоростью $(V_{b_1})_{x_1}$, равной по величине и направлению $(V_p)_{x_1}$. При этом происходит уплотнение гранул слоя у стенки B за счёт её перемещения не величиной A_x - горизонтальной амплитуды колебаний резервуара. Одновременно прямолинейный дефлектор так же перемещается на величину A_{x_1} в

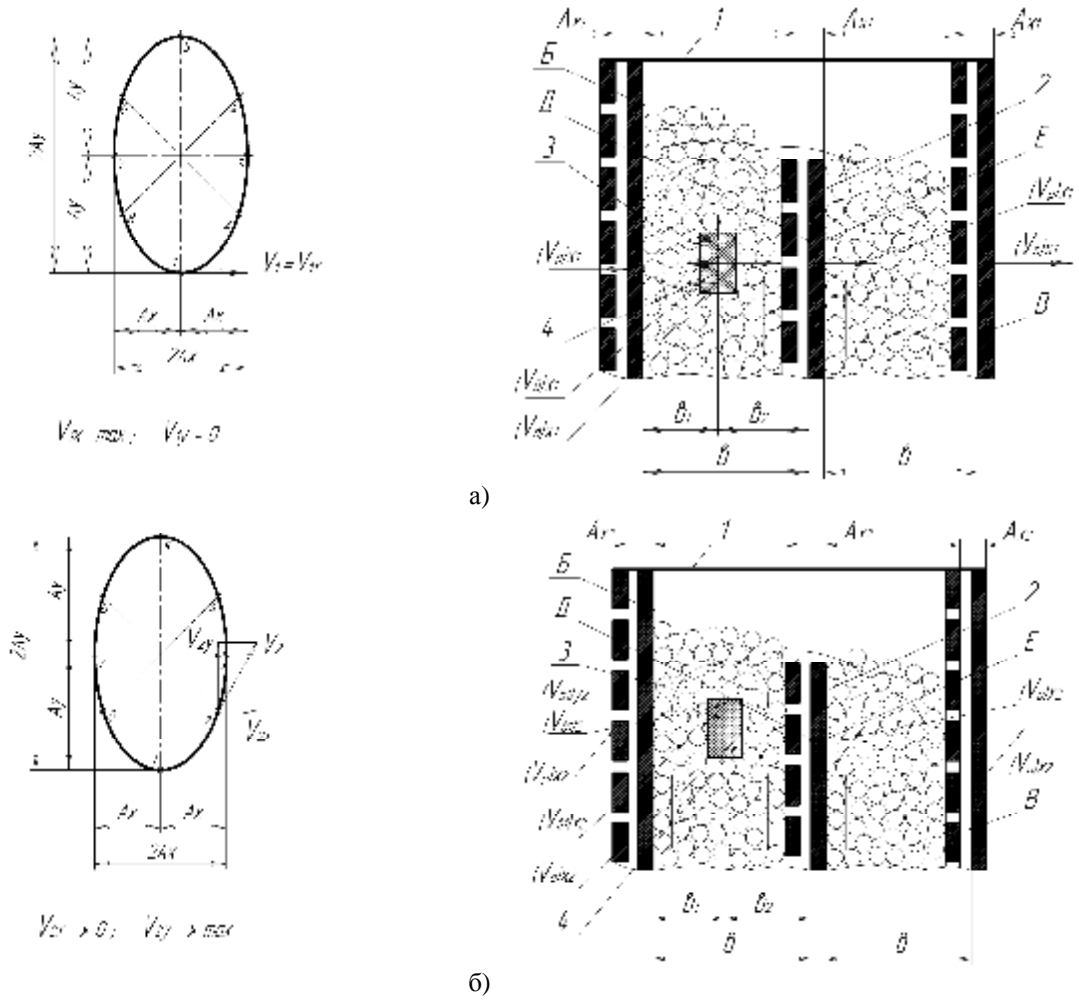


Рисунок 5 – Взаимодействие детали, находящейся в нейтральном слое с гранулами среды: (а), (б) – точки 1, 2 траектории движения резервуара с дефлектором

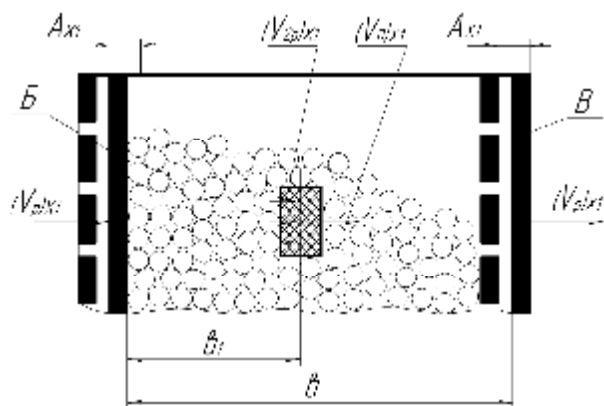


Рисунок 6 – Взаимодействие детали, с гранулами среды в резервуаре без дефлектора (точка 1 траектории движения резервуара)

направлении скорости $(V_p)_{x_1}$, создавая уплотнение гранул в слое у поверхности E . В результате между гранулами потоков b_1 и b_2 , и, соответственно, поверхностями D и B резервуара образуется зазор, равный по величине A_{x_1} .

Гранулы нейтрального слоя, контактирующие с поверхностью обрабатываемой детали, воздейст-

вуют на неё с кинетической энергией $(E_{b_1})_{x_1} = \frac{m_{2p} (V_{b_1})_{x_1}^2}{2}$, где $(V_{b_1})_{x_1}$ - усреднённая скорость движения гранул потока b_1 в точке 1 траектории движения резервуара.

Скорость $(V_{b_1})_{x_1}$ определяется как

$(V_{b1})_{x1} = e(V_p)_{x1}$, где e - коэффициент, учитывающий степень затухания скорости движения гранул потока b_1 по мере их удаления от стенки B резервуара. Величина коэффициента e обратно пропорциональна величине удаления слоя гранул от стенки резервуара, $e < 1$.

Гранулы среды, обладая кинетической энергией, контактируют с поверхностью детали как по нормали, так и в других направлениях. При виброобработке контакт по нормали, сопровождающийся процессом упругопластического деформирования, занимает меньшую часть площади поверхности детали. В основном деталь обтекается гранулами, т.е. контакт происходит в направлениях, отличных от нормали, и характеризуется активностью процесса микрорезания. Основная масса гранул в своём циркуляционном движении проскальзывает относительно поверхности детали. Так как $M_d \gg m_{gp}$, т.е. с учётом инертности детали, скорость $(V_d)_{x1} \ll (V_{b1})_{x1}$. Разность между $(V_{b1})_{x1}$ и

$(V_d)_{x1}$ является скоростью микрорезания в точке 1 траектории движения резервуара.

В точке 2 (рис. 5, б) резервуар перемещается со скоростью $(V_p)_2$, которую можно представить как результирующую двух скоростей: горизонтальной $(V_p)_{x2}$ и вертикальной $(V_p)_{y2}$. Гранулы среды теперь действуют на деталь со скоростями $(V_{b1})_{x2}$ и $(V_{b1})_{y2}$ при этом $(V_d)_{x2} < (V_{b1})_{x2} < (V_{b1})_{x1}$. В данном случае общий характер воздействия гранул на деталь сохраняется. Кроме того, вертикальная составляющая $(V_{b1})_{y2}$ скорости V_{b1} вызывает дополнительное проскальзывание гранул по поверхности детали за счёт создания крутящего момента, поворачивающего деталь относительно центра масс в сторону движения среды. Таким образом, к скорости относительного проскальзывания добавляется скорость вращательного движения.

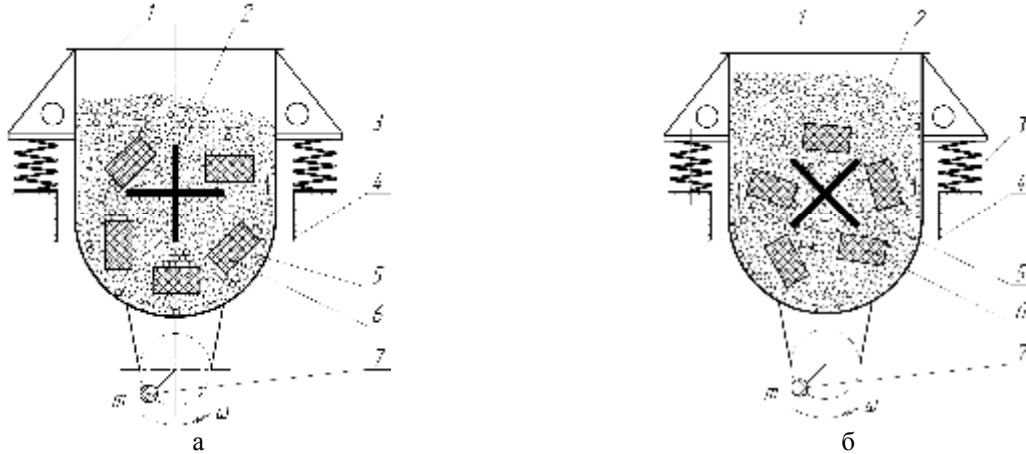


Рисунок 7 – Конструкция виброустановок с прямолинейным дефлектором в резервуаре: 1 – резервуар; 2 - дефлектор; 3 – упругая подвеска; 4 – основание; 5 – рабочая среда; 6 – детали; 7 – вибровозбудитель; (а) – «+» - образным; «X» - образным

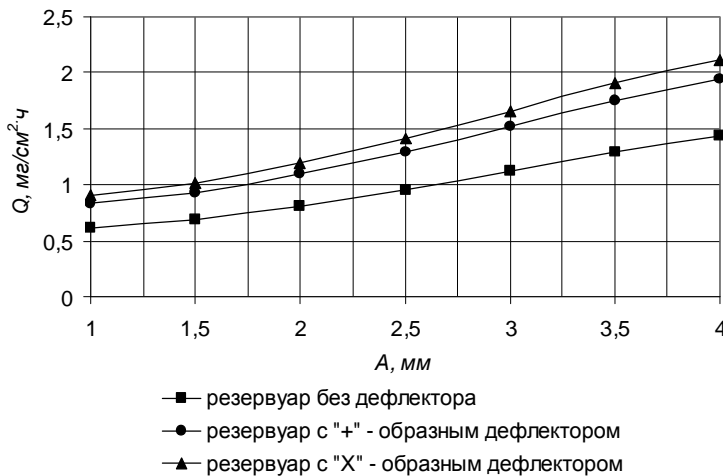


Рисунок 8 – Зависимость съёма металла от амплитуды колебаний резервуара (материал детали Ст 3 ГОСТ 380-94)

Поток b_2 в зоне расположения детали воздействию стенки B не подвергается, т.к. он экранируется самой деталью и уже она получив скорость $(V_d)_2 = (V_{b_1})_2$, действует на гранулы потока b_2 .

В точке 3 траектории движения резервуар движется вертикально вверх. Деталь получает перемещение со скоростью $(V_d)_{x_3}$ в том же направлении и подвергается воздействию гранул, обтекающих её поверхности. В точках 4 и 5 усиливается действие поверхности D дефлектора на среду. Исходя из того, что ширина потоков b_1 и b_2 одинакова и каждый из них значительно меньше ширины слоя b , считаем, что при движении резервуара из точки 3 в точку 5 характер воздействия гранул на деталь сохраняется и аналогичен рассмотренному в точке 3 траектории.

Уместно отметить, что при расположении детали на расстоянии b_1 от стенки B в резервуаре без дефлектора (рис. 6), действие этой стенки на деталь практически отсутствует. Это объясняется тем, что ширина слоя b в таком резервуаре в сравнении с ранее рассмотренным увеличена в два раза. Отсюда разность $b - b_1$ значительно больше, чем в резервуаре с дефлектором и величина коэффициента e приближается к нулю.

В результате, в любой момент времени периода колебаний, в резервуаре без дефлектора количество гранул, активно воздействующих на деталь значительно меньше, чем в резервуаре с дефлектором, где деталь большую часть периода находится в зоне с увеличенной скоростью относительного проскальзывания гранул по обрабатываемым поверхностям. Следовательно наличие дефлектора, создающего встречное движение восходящих и нисходящих потоков b_1 и b_2 способствует активизации процессов микрорезания и упругопластического деформирования поверхности обрабатываемых деталей.

В НИЛ «Обработка свободными абразивами» ВНУ им. В. Даля разрабатывается гамма-конструкций виброобрабатывающего оборудования, реализующего прогрессивные технологии виброобработки во встречнодвижущихся потоках рабочей среды [6]. К виброустановкам, выполняющим операции, связанные с получением высокого съёма металла при невысоких классах чистоты поверхности, таких, как черновое шлифование до $R_a = 2,5$ мкм, шлифование до

$R_a = 2,5 \dots 1,25$ мкм, следует отнести виброустановки, резервуары которых оснащены «+» - образным и «X» - образным прямолинейным дефлектором (рис. 7).

Выводы. Эффективность предлагаемого оборудования может быть оценена величиной съёма металла, удаляемого с единицы площади обрабатываемой поверхности в единицу времени, в зависимости от основного технологического параметра – амплитуды колебаний резервуара. Данные по эффективности новых виброустановок представлены графически (рис. 8) в сравнении с применяемой в современной металлообработке виброустановкой, оснащённой традиционным «U» - образным резервуаром без дополнительных рабочих поверхностей, представленных дефлектором.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

1. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах / И. Н. Карташов, М. Е. Шаинский, В. А. Власов, Б. П. Румянцев, П. С. Банатов, Е. С. Кислица – К.: Высшая школа, 1975. – 188 с.
2. Бабичев А. П., Бабичев И. А. Основы вибрационной технологии. - Ростов-на-Дону: ДГТУ, 1998. – 624 с.
3. Шаинский М. Е., Мицык В. Я. Особенности виброобработки во встречных потоках рабочей среды // ЦНИИ информации. – М.: «Производственно-технический бюллетень», 1978. - №7. - С. 30-32.
4. Мицык В. Я. Классификация резервуаров вибростанков отделочно-зачистной обработки по конструктивно-технологическим признакам // Сборник научных трудов НГУ № 19, том 4. - Днепропетровск: Национальный горный университет, 2004. - С. 43 – 48.
5. Мицык В. Я. Технологические возможности и конструктивные особенности виброустановки со встречнодвижущимися потоками рабочей среды в резервуаре // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Збірник наукових праць ДДМА. – Краматорськ, 2006. - № 19. – С. 146-152.
6. Мицык В. Я. Виброустановки для отделочной и упрочняющей обработки и физико-механические особенности выбора режимов движения их резервуаров // Proc. International Conf. «Strategy of Quality in Industry and Education», June 2005. – Varna (Bulgaria). – P. 182-185.

Статья поступила 15.01.07
Рекомендовано к печати д.т.н., проф.
Драгобецким В.В.