

УДК 621.9.048.4

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ, СООБЩАЕМЫХ НАКАТНОМУ РОЛИКУ В ПРОЦЕССЕ ШАРЖИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ, НА УСЛОВИЯ ПОПАДАНИЯ АБРАЗИВНОГО ЗЕРНА В ЗОНУ ОБРАБОТКИ

д-р техн. наук, проф. М.Г. КИСЕЛЕВ, канд. техн. наук, доц. А.В. ДРОЗДОВ, В.Л. ГАБЕЦ  
(Белорусский национальный технический университет, Минск)

*Проводится теоретическое изучение характера поведения шаржируемого абразивного зерна при его взаимодействии с накатным роликом. В результате получены зависимости для определения диапазона угла подъема зерна, при которых выполняется гарантированное его поступление в зону шаржирования. Показано, что подача ультразвуковых колебаний на накатной ролик расширяет указанный диапазон и позволяет достичь оптимальных для внедрения зерна углов его поворота.*

Цель операции шаржирования заключается в придании рабочей поверхности обрабатываемого инструмента режущей способности путем внедрения и закрепления в ней частиц абразивного материала. Для эффективного протекания этого процесса в первую очередь необходимо обеспечить такие условия взаимодействия деформирующего инструмента (вращающейся шайбы или накатного ролика) с шаржируемой поверхностью, при которых обеспечивается гарантированное попадание абразивных (алмазных) зерен в зону обработки для их последующего внедрения в материал шаржируемой поверхности.

Исследованию этих условий посвящена работа [1], в которой авторы, аппроксимировав форму абразивного зерна многогранником, определили зону его устойчивости применительно к шаржированию поверхности плоской шайбой и накатным роликом. На основании результатов теоретических исследований авторами установлено, что применение в качестве деформирующего инструмента накатного ролика позволяет в два раза повысить зону устойчивости абразивного зерна в процессе шаржирования по сравнению с его втиранием плоской поверхностью. Для обеспечения условий надежного попадания абразивных зерен в зону шаржирования авторами [1] предложено выполнять операцию при сообщении деформирующему инструменту низкочастотных колебаний, направленных перпендикулярно обрабатываемой поверхности. Дальнейшее развитие этого способа шаржирования связано с применением энергии ультразвука путем сообщения деформирующему инструменту (накатному ролику) высокочастотных колебаний, действующих в различном направлении относительно обрабатываемой поверхности [2]. Несмотря на экспериментально доказанную высокую эффективность применения ультразвука с целью повышения качества шаржирования поверхностей, без должного внимания оказались вопросы, связанные с оценкой его влияния на условия попадания абразивных зерен в зону обработки. В этой связи целью данной работы явилось теоретическое исследование влияния ультразвуковых колебаний, сообщаемых накатному ролику в процессе шаржирования поверхности на условия попадания абразивного зерна в зону обработки с учетом его начального взаимодействия с поверхностью деформирующего инструмента.

На рисунке 1 представлена расчетная схема, предложенная в работе [1], где  $\beta$  – угол трения между основанием и абразивным зерном (град.);  $\gamma$  – угол (град.) между меньшей стороной зерна и направлением действия силы  $T$ ;  $\alpha$  – угол поворота абразивного зерна относительно шаржируемой поверхности (град.);  $V$  – скорость движения зерна;  $D_p$ ,  $F$ ,  $Q$ ,  $N$ ,  $P$  – силы, действующие на зерно в случае его шаржирования накатным роликом.

Здесь абразивное зерно своими вершинами контактирует с поверхностями деформирующего инструмента (ролика) и обрабатываемого основания. Заметим, что такое положение зерна соответствует стадии, когда оно уже заклинилось между ними. На практике такому маловероятному расположению зерна предшествует начальная стадия его взаимодействия с контактирующими поверхностями, в ходе которой происходит его переориентация, определяющая в конечном итоге условия заклинивания абразивного зерна и его попадания в зону активного шаржирования.

На рисунке 2, а схематично показано наиболее вероятное расположение абразивного зерна на поверхности движущегося со скоростью  $V_0$  основания 3 на стадии его сближения с поверхностью накатного ролика 1. В данном случае зерно моделируется жестким прямоугольным параллелепипедом с отноше-

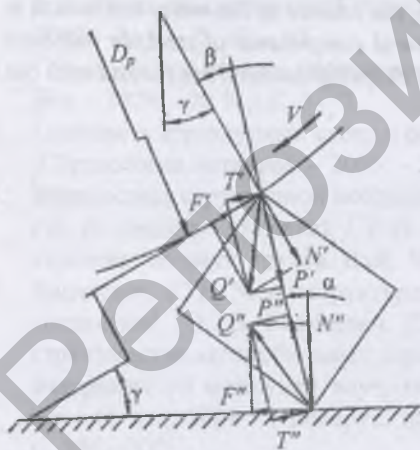


Рис. 1. Схема, отражающая положение зерна и действие на него сил со стороны накатного ролика и шаржируемой поверхности, приведенная в работе [1]

нием его высоты  $a$  к длине 1:3, что соответствует наиболее характерному отношению линейных размеров алмазных зерен. При шаржировании вращение накатного ролика со скоростью  $\omega_p$  обеспечивается за счет сил трения сцепления, действующих между его поверхностью и поверхностью движущегося основания (шаржируемой поверхностью).

Рассмотрим случай, когда взаимодействие абразивного зерна с контактирующими поверхностями происходит в традиционных условиях, т.е. без сообщения накатному ролику ультразвуковых колебаний. По мере приближения последнего происходит его начальный контакт с ближайшей вершиной зерна. При этом за счет сил трения, действующих между ними, возникает вращающий момент, вызывающий поворот зерна вокруг этой вершины и одновременно его подъем на угол  $\alpha$  относительно шаржируемой поверхности, как показано на рисунке 2, б. В этом положении возможно несколько вариантов последующего движения абразивного зерна. Так, если сила трения зерна о поверхность основания незначительна, происходит сдвигание частицы от поверхности накатного ролика (см. рис. 2, б). В случае, когда эти силы имеют значительную величину, становится возможным накатывание ролика на абразивную частицу и его отрыв от шаржируемой поверхности, как показано на рисунке 2, в, при этом создаются наиболее благоприятные условия для внедрения (шаржирования) абразивного зерна в поверхность основания. Поэтому его дальнейшее поведение будем рассматривать исходя из такого варианта начального взаимодействия абразивного зерна с контактирующими поверхностями.

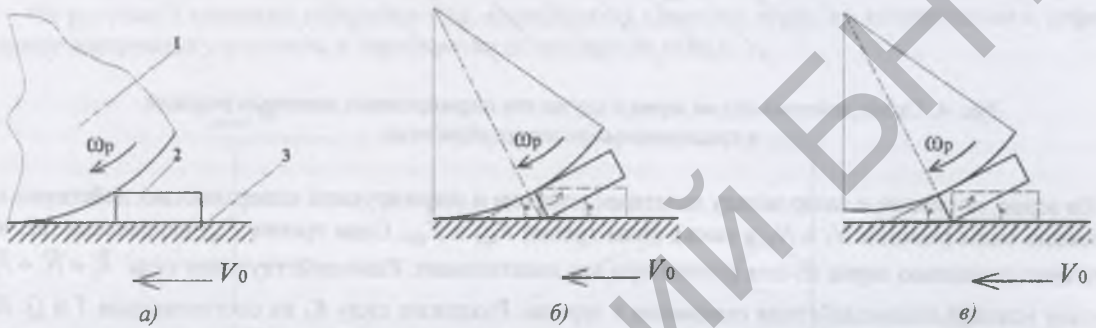


Рис. 2. Наиболее вероятное расположение зерна относительно накатного ролика в процессе шаржирования:

1 – накатной ролик; 2 – абразивное зерно; 3 – шаржируемое основание;  
а – до начала его взаимодействия с деформирующим инструментом;

б – в момент его взаимодействия с деформирующим инструментом, когда зерно отодвигается от накатного ролика;  
в – в момент его взаимодействия с деформирующим инструментом, когда зерно попадает в зону шаржирования

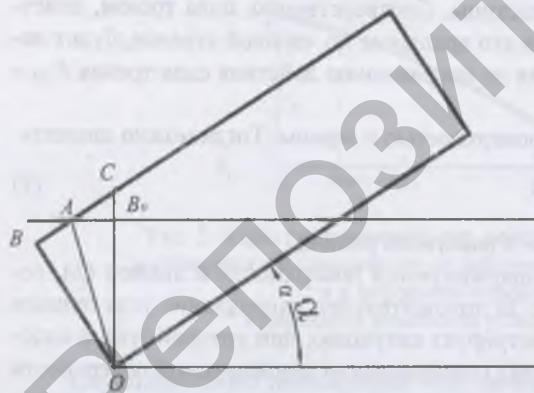


Рис. 3. Схема, поясняющая изменение точки приложения сил, действующих на зерно со стороны накатного ролика

Так, после поворота зерно будет опираться своей вершиной о поверхность основания и поджиматься накатным роликом. В данном случае наиболее вероятным участком внедрения зерна в шаржируемую поверхность будет вершина прямоугольника, контактирующая с ней. При этом важно подчеркнуть тот факт, что точка контакта зерна с накатным роликом переместится из точки  $B_0$  начального контакта ролика с зерном в случае его горизонтального положения, в точку  $A$  при его повороте на угол  $\alpha$  (рис. 3). Это сопровождается смещением точки приложения сил, действующих на зерно со стороны деформирующего инструмента от вершины прямоугольника вдоль его длинной стороны. Расстояние  $AB$ , на которое переместится точка приложения сил, можно найти, пользуясь схемой, приведенной на рисунке 3, из которого видно, что  $\angle BOB_0 = \angle CAB_0 = \alpha$ . Тогда из  $\Delta CBO$  и  $\Delta B_0AC$  следует, что

$$BA = BC - AC = BO \cdot \operatorname{tg} \alpha - \left[ \frac{BO / \cos \alpha - B_0O}{\sin \alpha} \right] = BO \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} - \left[ \frac{BO - B_0O \cdot \cos \alpha}{\sin \alpha \cos \alpha} \right] = \frac{BO \cdot \sin^2 \alpha - BO + B_0O \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha},$$

где  $\alpha$  – угол поворота абразивного зерна относительно шаржируемой поверхности, град.

Учитывая, что  $BO = B_0O = a$ , окончательно получим

$$BA = a \cdot \left( \frac{\sin^2 \alpha - 1 + \cos \alpha}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} \right). \tag{1}$$

Из (1) видно, что величина смещения точки приложения силы, действующей на зерно со стороны накатного ролика, зависит от размера зерна, а также от угла его подъема  $\alpha$ .

На рисунке 4 показана схема сил, действующих на зерно при его взаимодействии с накатным роликом.

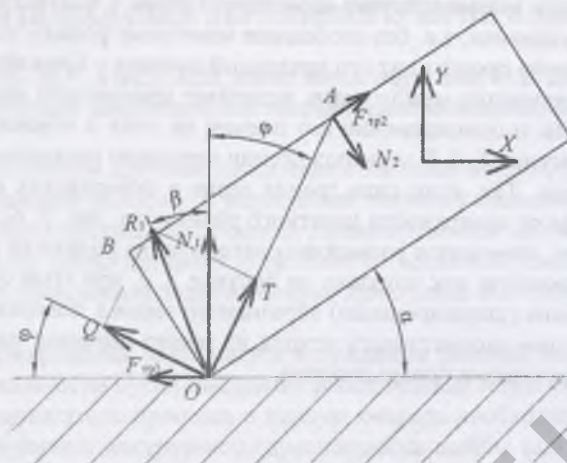


Рис. 4. Схема действия сил на зерно в случае его шаржирования накатным роликом в традиционных условиях обработки

На зерно, попавшее в зазор между накатным роликом и шаржируемой поверхностью, действуют соответственно силы реакции  $N_2$  и  $N_1$ , а также силы трения  $F_{тр2}$  и  $F_{тр1}$ . Сила трения  $F_{тр1}$  направлена так, что препятствует смещению зерна из-под ролика при его накатывании. Равнодействующая сила  $\bar{R}_1 = \bar{N}_1 + \bar{F}_{тр1}$  определяет условия взаимодействия основания с зерном. Разложим силу  $R_1$  на составляющие  $T$  и  $Q$ . Направленная вдоль линии, соединяющей точки приложения сил, составляющая  $T$  определяет усилие сжатия зерна, а перпендикулярная ей сила  $Q$  определяет характер и величину усилия внедрения зерна в шаржируемую поверхность.

Кроме того, в случае отрыва деформирующего инструмента от шаржируемой поверхности его дальнейшее вращение по часовой стрелке (см. рис. 2, в) обеспечивается за счет силы трения контактирующих поверхностей накатного ролика и шаржируемой частицы. Соответственно, сила трения, действующая со стороны зерна на накатной ролик и вызывающая его вращение по часовой стрелке, будет направлена вправо, а равная ей по величине и противоположная по направлению действия сила трения  $F_{тр2}$  – влево (см. рис. 4).

Обозначим через  $\beta$  угол трения между шаржируемой поверхностью и зерном. Тогда можно записать

$$\beta = \arctg(\mu_1), \quad (2)$$

где  $\mu_1$  – коэффициент трения зерна о поверхность основания и накатного ролика.

Через  $\varphi$  обозначим угол между перпендикуляром к шаржируемой поверхности и линией  $OA$ , соединяющей точки приложения сил, действующих на зерно. За положительное направление угла примем его поворот против часовой стрелки. Тогда рисунок 4 иллюстрирует ситуацию, при которой угол  $\varphi$  находится в области своих отрицательных значений. При этом сила  $Q$  направлена от шаржируемой поверхности и внедрения частицы не происходит. По мере увеличения угла  $\varphi$  изменяется и угол наклона силы  $Q$  относительно поверхности основания. При  $\varphi = 0$  сила  $Q$  направлена параллельно основанию, а при положительных значениях  $\varphi$  происходит внедрение частицы, так как сила  $Q$  направлена вглубь поверхности заготовки. При этом по мере возрастания угла  $\varphi$  происходит увеличение силы  $Q$ , так как  $Q = R_1 \cdot \sin(\beta - |\varphi|)$  при  $\varphi > 0$  и  $Q = R_1 \cdot \sin(\beta + |\varphi|)$  при  $\varphi < 0$ .

Определим значение угла  $\alpha$ , при котором зерно будет гарантированно находиться в покое при взаимодействии его с накатным роликом с учетом действия сил, приведенных на рисунке 4. Для этого составим систему уравнений сил, действующих на зерно, при этом силой тяжести вследствие его малой массы пренебрегаем:

$$\begin{cases} \text{ось } Ox: -F_{тр1} + N_2 \cdot \sin \alpha + F_{тр2} \cdot \cos \alpha = 0; \\ \text{ось } Oy: N_1 - N_2 \cdot \cos \alpha + F_{тр2} \sin \alpha = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Учитывая, что

$$F_{\text{пр1}} = N_1 \mu_1 \text{ и } F_{\text{пр2}} = N_2 \mu_2,$$

где  $\mu_1$  и  $\mu_2$  – коэффициенты трения зерна о поверхность основания и накатного ролика.

Решая систему уравнений относительно  $N_1$ , получим:

$$\begin{cases} N_1 = N_2 (\cos \alpha - \mu_2 \sin \alpha); \\ N_1 = N_2 \cdot \frac{(\sin \alpha + \mu_2 \cos \alpha)}{\mu_1}, \end{cases} \quad (4)$$

а решив (4), можно определить величину угла  $\alpha_{\text{крит}}$ , обеспечивающего неподвижность зерна в зазоре:

$$\alpha_{\text{крит}} = \arctg \left( \frac{\mu_1 - \mu_2}{1 + \mu_1 \cdot \mu_2} \right). \quad (5)$$

В случае  $\mu_1 = 0,5$ ,  $\mu_2 = 0,3$  угол  $\alpha_{\text{крит}} = 9,86^\circ$ .

На рисунке 5 показано изменение сил, стремящихся сдвинуть зерно по направлению к деформирующему инструменту и от него, в зависимости от изменения угла  $\alpha$ .

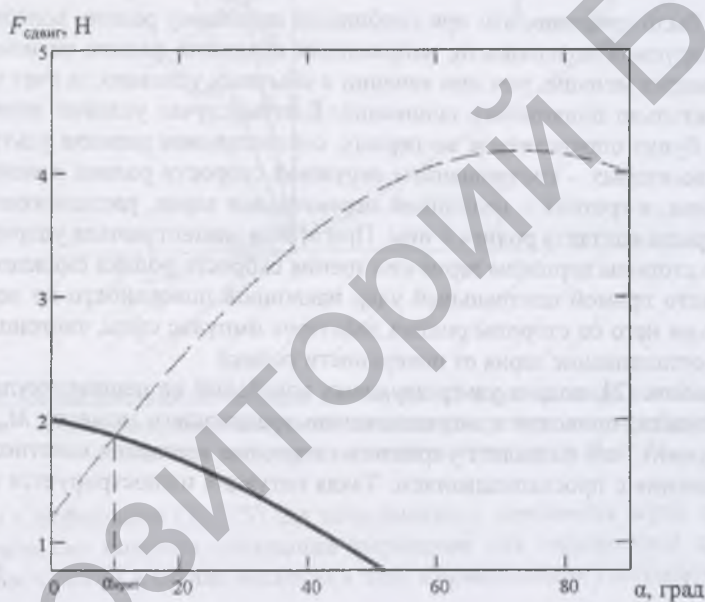


Рис. 5. Характер изменения сил, действующих на зерно в горизонтальном направлении и стремящихся сдвинуть его от деформирующего инструмента (штриховая тонкая линия) и к деформирующему инструменту (сплошная линия) в диапазоне изменения угла  $\alpha$  от 0 до  $90^\circ$  ( $\mu_1 = 0,5$ ,  $\mu_2 = 0,3$ ,  $N_2 = 4$  Н)

Как видно, точка пересечения этих кривых дает значение критического угла  $\alpha_{\text{крит}}$ . Отсюда следует, что зерно будет гарантированно находиться под деформирующим инструментом при изменении угла  $\alpha$  в диапазоне от 0 до  $\alpha_{\text{крит}}$ .

Учитывая, что дальнейшему повороту зерна при контакте препятствует поверхность накатного ролика, максимальный угол, на который оно может быть повернуто с учетом геометрических размеров деформирующего инструмента, можно записать следующим образом:

$$\alpha_{\text{geom}} = \arccos \left( \frac{R - a}{R} \right), \quad (6)$$

где  $R$  – радиус накатного ролика;  $a$  – размер меньшей стороны зерна.

Преобразуя (6), можно определить максимальный размер зерна ( $a_{\text{max}}$ ), при котором оно гарантированно попадает под деформирующий инструмент:

$$a_{\text{max}} = R(1 - \cos \alpha_{\text{крит}}). \quad (7)$$

Теперь проанализируем влияние ультразвуковых колебаний, сообщаемых накатному ролику в процессе шаржирования, на условия попадания абразивного зерна в зону обработки. При этом заметим, что возможны несколько схем реализации шаржирования телом качения с применением ультразвуковых колебаний [2] (рис. 6).

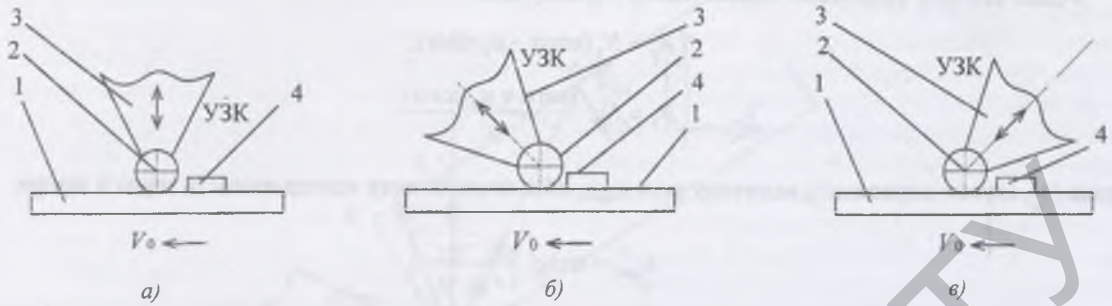


Рис. 6. Варианты сообщения ультразвуковых колебаний накатному ролику в процессе шаржирования:

а – перпендикулярно обрабатываемой поверхности: 1 – шаржируемый образец; 2 – накатной ролик; 3 – концентратор ультразвукового преобразователя; 4 – шаржируемое зерно;

б – схема встречного введения ультразвуковых колебаний; в – схема попутного введения ультразвуковых колебаний

Так, в работе [3] было показано, что при сообщении накатному ролику колебаний, действующих перпендикулярно шаржируемой поверхности, направление вращения ролика не изменяется, но его окружная скорость оказывается меньше, чем при качении в обычных условиях за счет увеличения степени проскальзывания относительно подвижного основания. В этом случае условия попадания абразивного зерна в зону обработки будут определяться, во-первых, соотношением размаха ультразвуковых колебаний к размеру зерна, а во-вторых – соотношением окружной скорости ролика в момент контакта с зерном и скорости основания, в-третьих – величиной перемещения зерна, расположенного на подвижном основании, за время разрыва контакта ролика с ним. При этом в момент начала ударного взаимодействия за счет действующих со стороны вершины зерна сил трения скорость ролика снижается практически до нуля, поэтому имеет место прямой центральный удар наклонной поверхности по вершине абразивного зерна, в результате чего на него со стороны ролика действует импульс силы, тангенциальная составляющая которого вызывает отталкивание зерна от поверхности ролика.

Как показано в работе [2], подача ультразвуковых колебаний не перпендикулярно, а под углом к обрабатываемой поверхности, приводит к возникновению вращающего момента  $M_{\text{вр}}$ , действующего на деформирующий инструмент, что позволяет управлять скоростью вращения накатного ролика, реализуя тем самым движение качения с проскальзыванием. Такая ситуация иллюстрируется схемами, приведенными на рисунке 7.

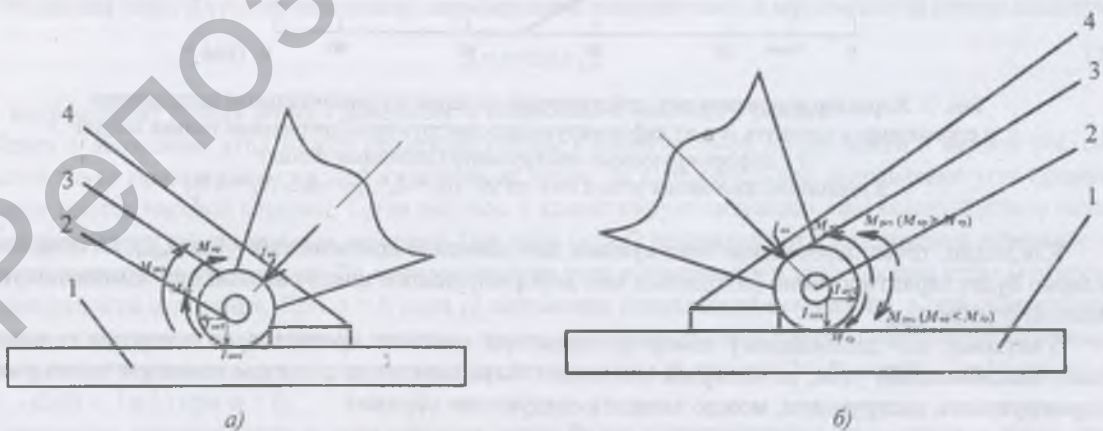


Рис. 7. Схемы действия ударного импульса, вызванного подачей ультразвуковых колебаний под углом к шаржируемой поверхности:

а – схема введения УЗК попутно; б – схема введения УЗК встречно;

1 – шаржируемый образец; 2 – зона ударного взаимодействия ультразвукового концентратора с деформирующим инструментом; 3 – деформирующий инструмент; 4 – шаржируемое зерно

Как видно, при разложении импульса ударной силы  $I_{\text{ак}}$  на нормальную  $I_{\text{акн}}$  и тангенциальную  $I_{\text{акт}}$  составляющие возникают два вращающих момента, действующих на ролик:  $M_{\text{тр}}$  – момент сил трения

деформирующего инструмента с поверхностью образца, обусловленный действием нормальной составляющей  $I_{акт}$ ,  $M_{вр}$  – вращающий момент, связанный с действием тангенциальной составляющей  $I_{акт}$ .

При попутном введении ультразвуковых колебаний (рис. 7, а) результирующий момент  $M_{рез}$  будет равен сумме  $M_{тр}$  и  $M_{вр}$  и направлен по часовой стрелке, в то время как при встречном введении УЗК (рис. 7, б) направление действия моментов  $M_{тр}$  и  $M_{вр}$  противоположное, что приводит к возможности вращения ролика как по часовой стрелке, так и против. Конкретное направление действия  $M_{рез}$  определяется соотношением нормальной  $I_{акт}$  и тангенциальной  $I_{акт}$  составляющих, т.е. амплитудой ультразвуковых колебаний, углом их введения, а также величиной коэффициента трения скольжения деформирующего инструмента относительно шаржируемой поверхности.

Таким образом, сообщение ультразвуковых колебаний деформирующему инструменту позволяет изменить направление действия силы  $F_{тр2}$  (см. рис. 4) за счет принудительного сообщения вращательного момента накатному ролику. Так, попутное введение ультразвуковых колебаний, а также встречное введение при условии  $M_{тр} > M_{вр}$  позволяют направить силу  $F_{тр2}$  вниз, как показано на рисунке 8.

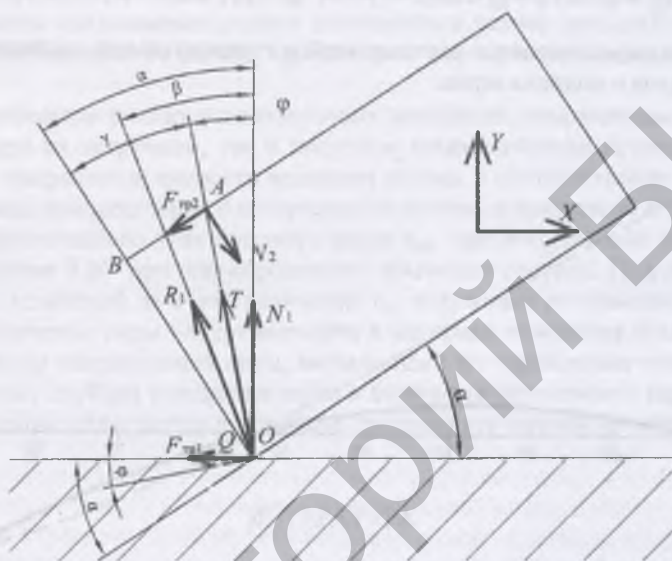


Рис. 8. Схема действия сил на зерно для случая его шаржирования накатным роликом с использованием попутного введения ультразвуковых колебаний, а также при встречном введении в случае когда  $M_{вр} < M_{тр}$

По аналогии с формулами (3)...(5) для неподвижного положения зерна при данном направлении действующих на него сил получим следующее выражение для определения  $\alpha_{крит ак}$ , обеспечивающего неподвижность зерна в зазоре в случае введения в зону шаржирования ультразвуковых колебаний:

$$\alpha_{крит ак} = \arctg \left( \frac{\mu_1 + \mu_2}{1 - \mu_1 \cdot \mu_2} \right) \quad (8)$$

Тогда при  $\mu_1 = 0,5$ ,  $\mu_2 = 0,3$  угол  $\alpha_{крит ак} = 43,26^\circ$ .

Таким образом, за счет сообщения ролику ультразвуковых колебаний, направленных под углом к шаржируемой поверхности, можно существенно (с 9 до  $43^\circ$ ) расширить диапазон значений угла  $\alpha$  подъема зерна, при которых оно будет гарантированно попадать в зону шаржирования.

Из рисунка видно, что подача ультразвуковых колебаний при оговоренных выше условиях значительно (с 9 до  $43^\circ$ ) расширяет диапазон.

Как было указано выше, сила  $Q$  определяет характер взаимодействия зерна с шаржируемой поверхностью. В условиях, когда угол  $\phi$  принимает положительные значения (т.е. когда сила  $T$  находится левее силы  $N_1$ ) сила  $Q$  направлена вглубь шаржируемой поверхности. Обозначим через  $\gamma$  угол между меньшей стороной прямоугольника и направлением действия силы  $T$  (см. рис. 8), при этом  $\text{tg} \gamma = \frac{AB}{BO} = \frac{a}{BO}$ .

С учетом формулы (1) можно записать

$$\gamma = \arctg \left( \frac{\sin^2 \alpha - 1 + \cos \alpha}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} \right) \quad (9)$$

Тогда силы, действующие на зерно, можно выразить следующим образом (см. рис. 8):

$$R_1 = \sqrt{(N_1^2 + F_{\text{тр}}^2)} = \sqrt{(N_1^2 + \mu_1^2 \cdot N_1^2)} = N_1 \sqrt{(1 + \mu_1^2)}; \quad (10)$$

$$Q = R_1 \cdot \sin(\beta + \gamma - \alpha) = N_1 \sqrt{(1 + \mu_1^2)} \cdot \sin(\beta + \gamma - \alpha).$$

Разложим силу  $Q$  на горизонтальную  $Q_r$  и вертикальную  $Q_b$ , составляющие. При этом сила  $Q_b$  будет определять усилие внедрения зерна в поверхность основания, а сила  $Q_r$  его стремление скользить по поверхности, т.е. определять величину царапины, оставляемой зерном на заготовке. Из рисунка 8 видно, что

$$Q_b = Q \cdot \sin \varphi = Q \cdot \sin(\alpha - \gamma) = N_1 \cdot \sqrt{1 + \mu_1^2} \cdot \sin(\beta + \gamma - \alpha) \cdot \sin(\alpha - \gamma); \quad (11)$$

$$Q_r = Q \cdot \cos \varphi = Q \cdot \cos(\alpha - \gamma) = N_1 \cdot \sqrt{1 + \mu_1^2} \cdot \sin(\beta + \gamma - \alpha) \cdot \cos(\alpha - \gamma).$$

На рисунке 9 показано изменение вертикальной и горизонтальной составляющих силы  $Q$  в зависимости от изменения угла  $\alpha$  подъема зерна.

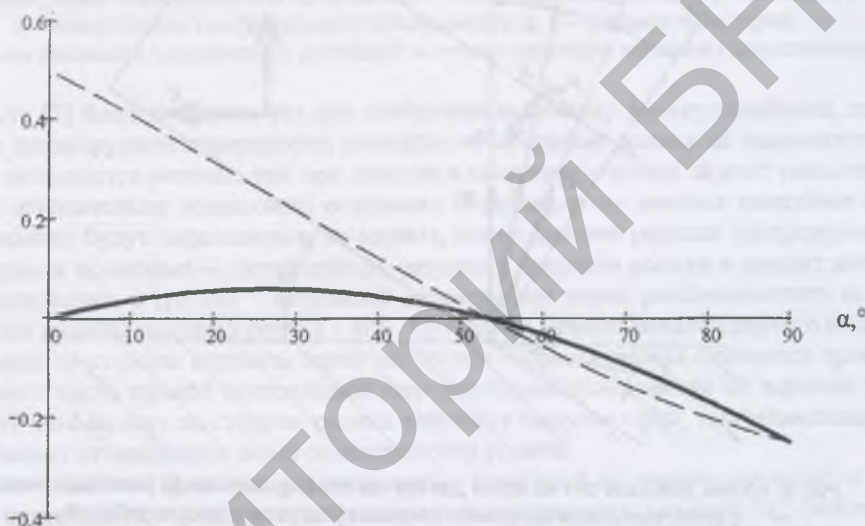


Рис. 9. Характер изменения относительных составляющих сил  $Q$ , обеспечивающих взаимодействие зерна с шаржируемой поверхностью:  $Q_r / N_1$  (штриховая линия);  $Q_b / N_1$  (сплошная толстая линия) в диапазоне изменения угла  $\alpha$  от 0 до 90° ( $\mu_1 = 0,5$ ,  $\mu_2 = 0,3$ ) при введении в зону шаржирования ультразвуковых колебаний

Из анализа этих зависимостей видно, что с увеличением угла  $\alpha$  подъема зерна сначала происходит возрастание вертикальной составляющей силы  $Q_b$ , достигающей своего максимального значения при значении  $\alpha = 26,88^\circ$ , а диапазон изменения угла  $\alpha$ , при котором  $Q_b$  превышает 0,8 своего максимального значения, составляет от 14,6 до 38,2°. При этом необходимо отметить, что значение силы  $Q_r$  снижается во всем диапазоне изменения угла.

Данное обстоятельство свидетельствует о том, что повышение угла  $\alpha$  до 40° позволяет успешнее внедрять зерна в поверхность основания, так как глубина их внедрения, обуславливаемая действием силы  $Q_b$ , имеющей повышенные значения, увеличивается, а длина царапины, оставляемой зерном на поверхности, уменьшается, так как происходит снижение силы  $Q_r$ . Как было показано выше, при традиционном шаржировании не удастся достигнуть диапазона изменения угла  $\alpha$ , обеспечивающего значительную глубину внедрения, а взаимодействие зерна с поверхностью основания будет характеризоваться их взаимным скольжением и царапанием (за счет большого значения силы  $Q_r$ ). Использование же ультразвуковых колебаний позволяет расширить диапазон изменения угла  $\alpha$  подъема зерна, достигая при этом оптимальных для его внедрения значений.

**Заключение.** На основании модельного представления алмазного зерна в виде жесткого прямоугольного параллелепипеда с отношением его высоты к длине 1 : 3 предложена схема его начального контактного взаимодействия с поверхностями накатного ролика и движущегося основания, отражающая характер последующего поведения абразивного зерна в процессе его попадания в зону шаржирования.

В момент начального контакта поверхности ролика с ближайшей вершиной зерна за счет сил трения, действующих между ними, возникает вращающий момент, вызывающий поворот зерна вокруг этой

вершины на некоторый угол  $\alpha$  относительно шаржируемой поверхности. При этом если сила трения сцепления  $F_{сц}$  зерна с поверхностью основания меньше силы трения скольжения  $F_{ск}$ , имеет место отталкивание (сдвигание) зерна от поверхности накатного ролика, а если  $F_{сц} > F_{ск}$ , то происходит накатывание ролика на абразивное зерно, т.е. обеспечиваются условия для его попадания в зону шаржирования. Процесс накатывания ролика на абразивное зерно сопровождается смещением точки приложения сил, действующих на него со стороны деформирующего инструмента, в направлении от вершины прямоугольника вдоль его длинной стороны. Исходя из этого получена формула, позволяющая рассчитать величину этого смещения в зависимости от размера зерна и угла его поворота  $\alpha$ .

На основании анализа действующих на зерно сил получена зависимость, позволяющая рассчитать критическое значение угла его поворота  $\alpha_{кр}$ , при котором будет обеспечена его неподвижность при взаимодействии с накатным роликом и основанием при шаржировании в обычных условиях. Установлено, что значение  $\alpha_{кр}$  зависит от коэффициентов трения скольжения зерна с поверхностью основания  $\mu_1$  и поверхности ролика  $\mu_2$ . Так, согласно выполненным расчетам при  $\mu_1 = 0,5$  и  $\mu_2 = 0,3$  значение  $\alpha_{кр} = 9,86^\circ$ .

Исходя из анализа геометрических условий подъема зерна при взаимодействии с накатным роликом получена зависимость, связывающая радиус последнего и размер меньшей стороны зерна, позволяющая определить максимальный ее размер, при котором оно гарантированно попадает под деформирующий инструмент.

Показано, что сообщение ролику ультразвуковых колебаний, направленных под углом к поверхности основания, как при их встречном, так и полутном взаимодействии приводит к периодическому изменению величины и направления скорости вращения ролика, а соответственно и сил трения скольжения, действующих в зонах контакта зерна с поверхностью ролика и основания. В результате, как показали расчеты, значение критического угла поворота зерна  $\alpha_{кр}$ , при котором оно остается неподвижным, возрастает до  $43,26^\circ$ , против  $9,86^\circ$  при шаржировании в обычных условиях. Под действием сообщаемых ролику ультразвуковых колебаний за счет увеличения  $\alpha_{кр}$  возрастает по сравнению с обычными условиями шаржирования значение силы внедрения зерна в материал основания и одновременно снижается величина тангенциально направленной силы, вызывающей его скольжение относительно основания, благодаря чему возрастает глубина внедрения зерна и снижается вероятность царапания им материала основания, т.е. существенно облегчается протекание процесса его шаржирования алмазными (абразивными) частицами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сагарда, А.А. Анализ схем шаржирования / А.А. Сагарда, В.В. Маковецкий // Сверхтвердые материалы. – 1982. – № 4. – С. 59 – 66.
2. Влияние ультразвуковых колебаний, сообщаемых накатному ролику под углом, на условия его контактного взаимодействия с подвижным основанием / М.Г. Киселев [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 3. – С. 96 – 109.
3. Влияние ультразвукового воздействия на условия контактного взаимодействия накатного ролика с обрабатываемой поверхностью / М.Г. Киселев [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2009. – № 2. – С. 63 – 71.

Поступила 24.05.2011

#### THEORETICAL ESTIMATION OF INFLUENCE OF ULTRASONIC FLUCTUATIONS, TRANSFERED TO THE ROLLER DURING SURFACE OVERACTING ON CONDITIONS OF ABRASIVE GRAIN HIT IN THE PROCESSING ZONE

M. KISELEV, A. DROZDOV, V. GABETS

*In the article a theoretical studying character of an charging abrasive grain behavior at its interaction with a roller is carried out. Dependences for definition of a grain rise corner range at which its guaranteed receipt in a charging zone are received. It is shown, that submission of ultrasonic fluctuations on a roller expands the specified range and allows to run up to optimum for grain introduction turn corners.*