

М.А. ГРИГОРЯН

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ПРАВКИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

Установлены преимущества АРМ, обеспечивающего уменьшение удельного расхода ролика и энергоемкость процесса. Колебание АР обеспечивает уменьшение износа ролика и силовых характеристик процесса. Моделированием ударных систем алмазное зерно - абразивное зерно выведены теоретические выражения для определения силы правки.

**Ключевые слова:** алмазный ролик, температура, расход, производительность, ударная сила.

Повышение производительности процесса правки шлифовальных кругов (ШК) является первостепенной задачей эффективного его осуществления. С этой точки зрения большой интерес представляет применение правящих инструментов со специальной конструкцией и специальными способами правки.

**Алмазные правящие ролики с мелкими отверстиями (АРМ).** Процесс правки ШК алмазными роликами (АР) сопровождается высокой температурой, которая вызывает на алмазных зернах тепловые явления и вследствие этого износ самих зерен и АР. Основным источником температур правки являются зона непосредственного резания алмазным зерном и зона трения между АР и ШК. Следовательно, для эффективного использования алмазных зерен ролика и повышения производительности процесса правки необходимо снижение температуры в зоне правки, что, в свою очередь, приводит к созданию благоприятных условий работы ролика и повышению режимов резания. При правке АР каждое его зерно в зоне контакта нагревается и при выходе из него под влиянием смазывающей охлаждающей жидкости (СОЖ) и окружающей среды сильно охлаждается, т.е. подвергается тепловому удару, создавая условия для появления и развития в них микротрещин. Такой режим работы алмазного зерна приводит к преждевременному его разрушению и, следовательно, к увеличению удельного расхода АР.

С целью повышения износостойкости предложен АР с мелкими отверстиями диаметром  $\sim 1,5$  мм, выходящими непосредственно в его рабочую поверхность. Площадь этих отверстий составляет 10...15% общей рабочей площади ролика. Такие ролики можно получить как гальваническим методом, так и методом порошковой металлургии -прессованием и спеканием при высоких температурах. Корпус ролика изготавливается цельным или сборным, в зависимости от его

конструкции. На рабочей поверхности корпуса до нанесения алмазосносного слоя обрабатывают (сверлением) отверстия. На рис. 1 показана одна из конструкций ролика углового профиля, предназначенная для профилирования червячных зубошлифовальных кругов. Ролик состоит из металлического корпуса 1, на котором с помощью винтов прикреплена крышка 2, через которую во внутреннюю полость ролика подается СОЖ. При вращении ролика СОЖ с большой скоростью выбрасывается через отверстие 3 непосредственно в зону правки, заполняя межзеренное пространство ролика. На рис.2 показана схема устройства для подачи СОЖ через отверстия ролика в зону резания. От гидронасоса через полую оправку 1 и радиальные отверстия оправки жидкость попадает во внутреннюю полость 2 ролика, из которой под действием центробежных сил проходит через мелкие радиальные отверстия на периферию ролика. Корпус ролика после износа алмазосносного слоя можно использовать многократно. Для этого его рабочая поверхность подвергается анодному травлению с целью удаления остатков связующего материала и алмаза, а профиль контролируется и в случае необходимости корректируется.

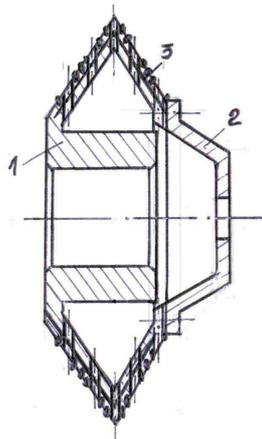


Рис. 1. Алмазный угловой ролик с отверстиями для подвода СОЖ: 1- корпус, 2 – крышка, 3 - отверстие

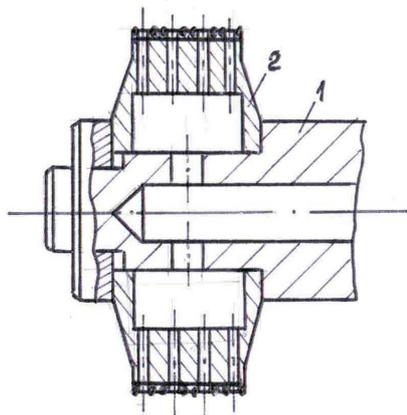


Рис. 2. Схема устройства для подачи СОЖ через отверстия ролика в зону резания: 1 – оправка, 2 – ролик алмазный

С целью выявления преимуществ АРМ исследован процесс правки червячных зубошлифовальных кругов 24А СМ2 7 К5 и ЛО 12 СМ2 К5. При этом использованы АРМ из алмазов марки АС15 зернистостью 250/200 на металлической связке М2-02. Исследования показали, что мощность, расходуемая на правку, снижается по сравнению с мощностью правки обычным роликом (рис.3). Это объясняется тем, что подача СОЖ под высокой скоростью на поверхность ролика и наличие ее непосредственно в зоне резания создает такие условия, при которых соприкосновение ШК и отходов правки с металлической связкой ролика отсутствует, что уменьшает трение между ними, т.е облегчает процесс проведения правки.

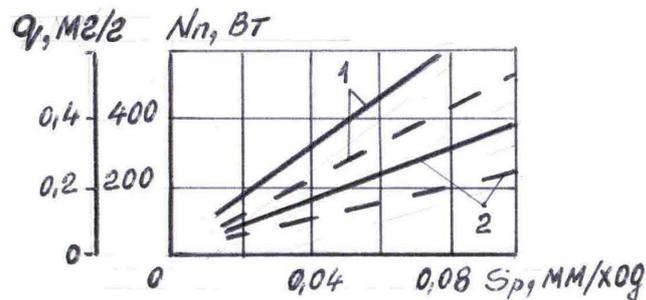


Рис. 3. Зависимость мощности  $N_n$  правки и удельного расхода  $q$  от радиальной подачи  $S_p$  ролика при правке круга 24A12CM27K5  $m = 3 \cdot 10^{-3}$  м АР АС15 250/200 М2-02: 1 - обычный ролик; 2 - ролик с отверстиями ( $N_n$  – штриховые линии,  $q$  – пунктирные линии)

Использование АРМ приводит к увеличению износостойкости по сравнению с обычным АР. Как видно, удельный расход обычных АР больше, чем у роликов с отверстиями (рис.3), что объясняется действием температурных и механических факторов в зоне резания. Так, при правке обычным АР отходы заполняют зазоры между роликом и кругом. Плотный сжатый слой отхода разрушает металлическую связку ролика при их относительном движении, вследствие чего возрастает износ связующего материала, что приводит к уменьшению прочности закрепления зерна, ослаблению и выпадению его из связки. Кроме того, отходы, воздействуя на металлическую связку, способствуют росту работы трения и температуры правки, что отрицательно влияет на стойкость режущих кромок зерен. В итоге расход АР увеличивается. При обычной подаче СОЖ в зону правки воздушный поток, создаваемый вращающимися ШК, препятствует эффективному охлаждению алмазных зерен, следовательно, износ правящего ролика повышается. При правке с АРМ, за счет наличия СОЖ непосредственно в зоне резания, защищается металлическая связка от контактирования с ней отходов правки, тем самым увеличивается прочность зерна в связке; уменьшается работа трения и температура правки; происходит активный процесс теплообмена ввиду хорошей теплопроводности алмаза; зерна не нагреваются до высокой температуры в зоне правки и вследствие этого не подвергаются большим тепловым ударам при их выходе из зоны контакта. Перечисленные условия приводят к уменьшению расхода алмазных зерен ролика и дают возможность повысить производительность процесса правки.

Установлено, что АРМ незначительно влияет на микрогеометрию режущей поверхности ШК и шероховатость поверхности шлифованных зубчатых колес, так как эти ролики обеспечивают такую же шероховатость, как и обычные.

**Правка алмазным роликом с колебанием (АРК).** Другим способом повышения стойкости АР может быть сочетание резания с ударным воздействием алмазных зерен на поверхность ШК с колебанием. При этом возбуждается

колебание АР в направлении, перпендикулярном его оси, т.е. в радиальном направлении. Исследования, проведенные на зубошлифовальных станках модели 5В833, показали, что наложение на АР определенных колебаний сказывается положительно на результатах правки. Вибрационная правка ШК 24А 12 СМ2 7 К5 АР АС15 250/200 М2-02 показала, что благодаря периодическому характеру контактирования ролика с кругом условия шламообразования, за счет интенсификации процесса разрушения поверхностного слоя ШК и его вывода из зоны резания вследствие активизации действия СОЖ, улучшаются; в зоне резания происходит процесс предразрушения и быстрого удаления из зоны правки продуктов разрушения, а также выпавших зерен; напряженность процесса правки снижается; отходы слабо контактируют с компонентами ролика и круга. Эти факторы в итоге способствуют снижению мощности правки и силы резания (рис.4) (коэффициент эффективности по мощности составляет 0,75...0,85). Микроскопическое изучение износа отдельных алмазных зерен показало, что при вибрационной правке износ алмазов в 1,3...1,5 раза меньше. Это можно объяснить тем, что алмазное зерно вследствие колебательного движения периодически выходит из ШК, не нагреваясь до высокой температуры в течение каждого входа и частично или полностью охлаждаясь в течение каждого выхода. Удельный расход при вибрационной правке получается меньше, чем при обычной правке (рис.5). Полученный эффект по снижению удельного расхода и температуры можно объяснить улучшением и ускорением по капиллярным каналам проникновения СОЖ в зону резания, что способствует улучшению условия охлаждения ролика, очистке зазора между АР и ШК от продуктов правки, уменьшению трения между трущимися материалами в зоне правки и износа металлической связки, следовательно, и увеличению прочности зерна в связке.

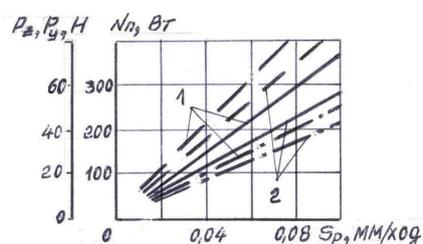


Рис.4. Зависимость мощности  $N_n$  и составляющих сил  $P_z$  и  $P_y$  от радиальной подачи  $S_p$  ролика при правке круга 24А12СМ27К5  $m = 3 \cdot 10^{-3}$  м АР АС15 250/200 М2-02: 1 - обычная правка ; 2 - вибрационная правка ( $N_n$  - штриховые линии,  $P_y$  - пунктирные линии,  $P_z$  - штрихпунктирные линии)

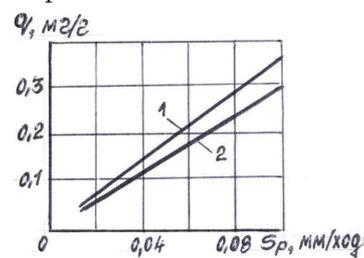


Рис.5. Зависимость удельного расхода  $q$  от радиальной подачи  $S_p$  ролика при правке круга 24А12СМ27К5  $m = 3 \cdot 10^{-3}$  м АР АС15 250/200 М2-02: 1 - обычная правка ; 2 - вибрационная правка

Из-за колебания АР возникают дополнительные источники ударной нагрузки. Соударение каждой пары алмазных и абразивных зерен АР из-за вращательных движений АР и ШК сопровождается дополнительным их

соударением вследствие колебательного движения АР в радиальном направлении, вызывая центральное продольное соударение алмазных и абразивных зерен. При этом каждое алмазное зерно с высокой скоростью воздействует на абразивное зерно, и под действием ударных сил, появляющихся на их граничных поверхностях, происходит процесс разрушения. Ударная сила, мгновенно возникающая на контакте зерен, упруго деформирует контактирующие поверхности и приводит к одновременному появлению напряжений сжатия, которые распространяются в противоположных направлениях от наружных поверхностей зерен вглубь через их АР и ШК. Учитывая, что металлическая связка АР и керамическая связка ШК, удерживающие алмазные и абразивные зерна, имеют значительно низкую жесткость по сравнению с жесткостью самих зерен, а также малую продолжительность действия ударного импульса, влиянием связок можно игнорировать и рассматривать динамические взаимодействия без дополнительных связей [1]. Представляя режущий выступ зерна как тонкую часть ступенчатого стержня, а основное зерно как его толстую часть, а также используя метод Сирса [2], учитывающий как местную деформацию (теория Герца), так и общую (волновая теория Сен-Венана), и известное волновое уравнение плоского удара, составляя систему уравнений в течение первого периода для алмазного  $P_{y1} - 0 = C_p(V_{p1} - V_a)$  и абразивного  $P_{y1} - 0 = -C_k(V_{k1} - V_b)$  зерен и принимая скорость абразивного зерна равной нулю, из приведенных систем уравнений определим скорости перемещения контактной площади в начальный период

$$V_{a1} - V_{b1} = V_y - \frac{C_p + C_k}{C_p C_k} P_1, \quad (1)$$

где  $P_1$  – сила удара;  $C$  – ударная жесткость материала зерна ( $C = F/\gamma a$ ,  $F$ ,  $a$ ,  $\gamma$  – соответственно площадь поперечного сечения режущего выступа зерна, плотность материала зерна и скорость звука в материале зерна);  $V_y$  – скорость удара;  $V_{a1}$ ,  $V_{b1}$  – скорости крайних сечений контактирующих выступов, индексы “р” и “к” соответственно относятся к алмазным и абразивным зернам.

Учитывая, что сила  $P$  удара связана с величиной упругой деформации  $\alpha$  соотношением Герца  $P = K\alpha^{3/2}$  и представляя  $\alpha$  как разницу путей, пройденных крайними сечениями выступов с момента удара ( $\alpha = U_a - U_b$ ), имеем  $d\alpha/dt = d(U_a - U_b)/dt$ . Так как  $d\alpha/dt = (d\alpha/dP)(dP/dt) = \alpha'P'$ , то  $V_{a1} - V_{b1} = \alpha'P'_i$ . Обозначив предельную силу удара через  $P_0$ :  $P_0 = C_p C_k V_y / (C_p + C_k)$ , с учетом того, что для сферических торцев по [2]  $\alpha = P^{2/3} K^{3/2}$  ( $K$  – коэффициент, зависящий от свойств материала зерен и кривизны контактирующих их поверхностей), определяя отсюда  $\alpha'$  и подставляя их в подобную формулу (1), для  $i$ -го прохода получим дифференциальное уравнение для определения силы удара:

$$P'_i + \varphi P_i = \varphi [P_0 + br(P_{i-1} - rP_{i-2} + r^2P_{i-3} - \dots + r^{i-2}P_1)].$$

Решением этого уравнения для второго периода ( $i=2$ ) будет

$$P = P_0 [1 + br - (1 - h + br)e^{-\varphi t_m} - br\varphi t_m e^{-\varphi t_m}],$$

где  $b = 2C_k / (C_p + C_k)$ ;  $r = C_p - C_k / (C_p + C_{pl})$ ;  $h_1 = 1 - e^{-\varphi t_m}$ ;  $\varphi$  – показатель жесткости торца;  $t_m$  – время, соответствующее максимуму силы удара  $t_m = e^{-\varphi T} / b\varphi$  ( $T$  – период собственных колебаний,  $T = 2\ell_p / a_p$ ).

При одинаковой зернистости АР и ШК имеем  $P = P_0 \exp - r^{-\varphi T}$ .

Зная теоретическую величину силы удара на единичное зерно и количество одновременно контактирующих зерен, можно определить силу правки. Представляя  $P$  как радиальную силу микрорезания единичным зерном и зная количество  $n_y$  одновременно контактирующих зерен [3], можно получить теоретическую формулу для определения силы  $P_y$  при правке:  $P_y = P n_y$ .

В качестве примера при правке червячных зубошлифовальных кругов 24АСМ27К5 с модулем  $m=3 \cdot 10^{-3}$  м АР углового профиля АС15250/200 М2-02 (скорость ролика  $V_p = 7$  м/с, скорость круга  $V_k=0,44$ , радиальная подача ролика  $S_p=0,01 \cdot 10^{-3}$  м/ход, скорость удара  $V_y=2$  м/с; физико-механические свойства: алмазных зерен –  $E_p = 90 \cdot 10^{10}$ , Н/м<sup>2</sup>;  $\gamma_p = 3,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_p = 0,42$ ; электрокорундовых зерен –  $E_k = 35 \cdot 10^{10}$ ,  $\gamma_k = 4,1 \cdot 10^3$ ,  $\mu_p = 0,42$ ) расчетное значение максимальной силы удара составляет  $P=0,097$ Н. Так как при этом  $n_y=250$  шт, то составляющая радиальная сила  $P_y$  правки будет  $P_y = 0,097 \cdot 250 = 24,3$  Н.

Результаты полученных расчетных значений  $P$  и  $P_y$  хорошо согласуются с экспериментальными данными, что дает основание применять предлагаемую методику для аналитического определения силовых показателей при алмазно-абразивной обработке.

Таким образом, предлагаемые АРМ и АРК способствуют увеличению износостойкости АР, следовательно, допускают использование более высоких режимов правки и повышение производительности процесса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пановько Я.Г.** Введение в теорию механического удара. – М.: Физматгиз, 1977. – 223 с.
2. **Александров Е.В., Соколовский В.В.** Прикладная теория и расчеты ударных систем. – М.: Наука, 1969. – 201 с.
3. **Григорян М.А.** Некоторые особенности контактирования процесса правки // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2001. – Т.54, № 3. – С. 334-340.

Общественная организация “Хрупкие материалы” Материал поступил в редакцию 15.10.2001.

## Մ.Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

### ՀՂԿԱՔԱՐԵՐԻ ՈՒՂՂՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ԱՐՏԱԴՐՈՂԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Հիմնավորվել են առաջարկված հովացնող հեղուկի մատուցման անցքերով ալմաստե գրտնակի առավելությունները, որոնք ապահովում են գրտնակի տեսակարար ծախսի և գործընթացի էներգատարության փոքրացում: Գրտնակի տատանումներն ապահովում են վերջինիս ծախսի և գործընթացի ուժային բնութագրերի փոքրացում: Ալմաստե հատիկ-հղկանյութե հատիկ հարվածային համակարգի մոդելավորմամբ դուրս է բերվել ուղղման ուժի որոշման տեսական արտահայտություն:

## M.A. GRIGORYAN

### TECHNOLOGICAL APPROACH TO INCREASING THE PRODUCTIVITY OF DRESSING GRINDING WHEEL PROCESS

The advantages of proposed diamond roller with fine holes providing decrease of specific roller consumption and process capacity are set up. Diamond roller oscillation in dressing process minimizes roller wear and process force characteristics. Based on the stroke system modelling of “diamond grain-abrasive grain”, the theoretical expressions are deduced for determining the force.