

УДК 621.9

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ
ДЕМПФИРУЮЩЕГО РЕЗЦА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ
ГИДРОЦИЛИНДРОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ БУРОВЫХ УСТАНОВОК**

Е. А. Кудряшов, Е. В. Павлов, И. М. Смирнов

*Юго-Западный государственный университет,
E-mail: krahmall@yandex.ru, ул. 50 лет Октября, 94, 305040, г. Курск, Россия*

Приводятся результаты исследования технологии изготовления прилегающих поверхностей деталей клапана для создания необходимой герметичности гидроцилиндров высокого давления буровых установок. В условиях эффективного демпфирования вибраций, возникающих в процессе точения, доказана работоспособность новых конструкций инструментов из сверхтвёрдого материала композита 10 для точения контактирующих деталей из стали и пластмассы. Достигнут технический результат, обеспечивающий повышение качества изготовления и эксплуатации машин пневмоударного бурения.

Буровые установки, гидроцилиндры, инструмент, композит 10, точение, комбинированная поверхность, прерывистое резание, герметичность, точность, шероховатость, надёжность

На машиностроительных предприятиях Курской области продолжительное время осуществляется выпуск широкого ряда передвижных универсальных буровых установок для работы в области геологоразведки, сейсморазведки, инженерных изысканий, строительных работ, а также для бурения гидрогеологических скважин. Установки работают как в средней полосе России, так и в экстремальных условиях Крайнего Севера и песчаных пустынь.

В ходе эксплуатации буровых установок возникла проблема обеспечения герметичности в гидроцилиндрах высокого давления. На первом этапе ее решения выявлено, что максимальные утечки возникают в местах сопряжения клапана, штока гидроцилиндра и направляющей втулки.

Известно, что трение и износ уплотнительного узла зависят от шероховатости поверхностей деталей, по которым скользят уплотнительные элементы. Увеличение высоты микронеровностей уплотняемой поверхности сопровождается ростом сил трения, причем с повышением давления эти силы возрастают. Кроме того, силы трения зависят от формы и однородности микрорельефа. Увеличение радиусов закруглений вершин микронеровностей значительно уменьшает силы трения и износ уплотнений. Для подвижных сопряжений со знакопеременным давлением жидкости на уплотнительный элемент поверхности канавки и в особенности ее дно должны обрабатываться с шероховатостью $R < 1.25$ мкм.

Экспериментально установлено, что при обработке точением контактирующих поверхностей из разнородных конструкционных материалов (сталь 12ХН3А и полиамид ПАБ-210/310) резцом из композита 10 герметичность в зоне их контакта повышается в 1.5–1.7 раза по сравнению с существующей технологией абразивной обработки [1–4].

На втором этапе промышленных испытаний обнаружилось, что при соотношении материалов “металл – полиамид” (80 – 20 %) в обрабатываемой поверхности и при дальнейшем увеличении процентного содержания полиамида возникают трудности технологического характера. Увеличение прерывистости резания обрабатываемой поверхности вызывает на режущих кромках композита микровыкрашивания, сколы, налипания диспергированной стружки полиамида, ухудшение шероховатости выше допустимых границ технологического критерия (показатель шероховатости $R_a < 1.25$ мкм при износе режущего элемента по задней поверхности $h_3 < 0.4$ мм).

В целях устранения негативных последствий прерывистого резания проведены работы по созданию новых конструкций инструмента и технологий, повышающих устойчивость процесса резания и качество обработки поверхностей, состоящих из разнородных конструкционных материалов [5 – 10]. Суть предложенных решений заключается в выполнении трех требований конструктивного и технологического характера:

- режущие кромки композита 10 должны быть ориентированы относительно прерывистой обрабатываемой поверхности так, чтобы первоначальная встреча режущего элемента с деталью происходила не вершиной, а наиболее отдаленной частью передней поверхности резца;
- передняя поверхность резца должна иметь циклоидальный профиль, позволяющий перераспределить потоки элементной стружки и снизить динамическое воздействие на хрупкий режущий элемент из композита 10;
- конструкция токарного резца должна иметь устройство гашения колебаний — виброгаситель [11, 12].

Рассмотрим конструкции резцов, снижающих уровни вибрации, которые связаны с ударными нагрузками, возникающими при обработке прерывистых поверхностей деталей [13 – 15].

Принципиальное отличие новой конструкции инструмента (рис. 1) от аналогов заключается в том, что выборка в корпусе инструмента выполнена равномерно по периметру державки 3 на длине L . Конец державки 3 с выборкой размещен в металлическом стакане 4 с одинаковыми зазорами t по его основанию и стенкам. Зазоры заполнены материалом с высоким демпфированием. Державка 3 установлена без возможности контакта со стаканом 4. Величина силы резания служит для оценки обрабатываемости резанием, так как чем сложнее конструкция обрабатываемой поверхности детали и труднее ее материал поддается обработке, тем выше сила резания (рис. 2).

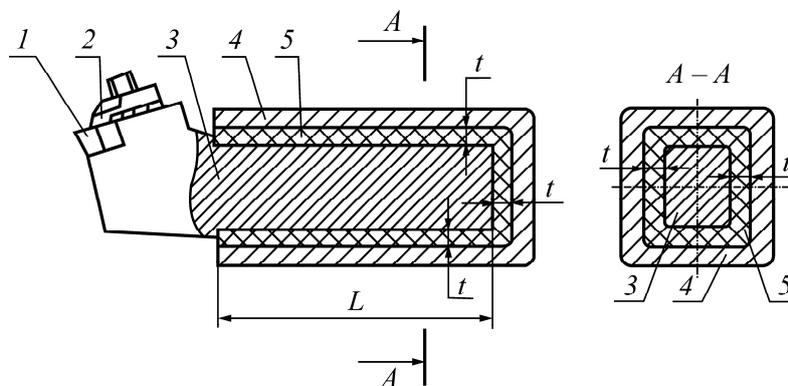


Рис. 1. Демпфирующий резец: 1 — режущий элемент; 2 — механический прижим; 3 — державка резца; 4 — металлический стакан; 5 — демпфирующий материал

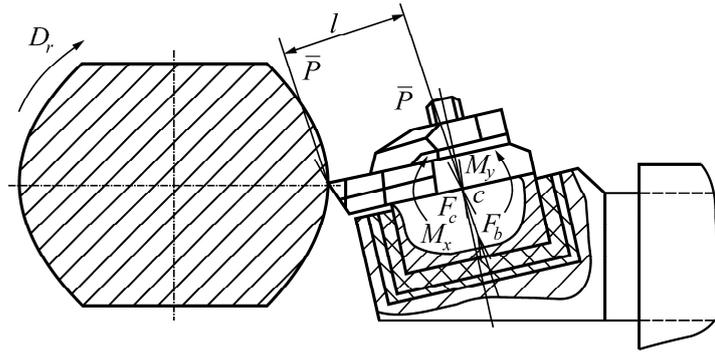


Рис. 2. Схема действия сил на державку резца: l — настроечный размер; \bar{P} — усилие на режущую кромку инструмента; M_x, M_y — моменты центра масс; F_c, F_b — составляющие силы резания; D_r — направление вращения; c — центр масс

Динамические и вибрационные нагрузки влияют на состояние обработанной поверхности. Частоту колебаний резца можно выразить формулой $\Omega = n\Theta$ (n — частота колебаний державки резца; Θ — порядок возбуждения).

Расчет виброгашения содержит определение собственных частот с учетом принципа малых виртуальных перемещений. Положение центра тяжести объекта в пространстве обусловлено тремя перемещениями вдоль осей координат O_x, O_y, O_z и тремя поворотами $\zeta_x, \zeta_y, \zeta_z$ вокруг этих же осей.

Исходя из условия динамического равновесия, уравнения движения центра масс имеют вид:

$$\begin{aligned} P_x &= \zeta_x \omega^2, & M_x &= m\rho_x^2 \varphi_x \omega^2, \\ P_y &= \zeta_y \omega^2, & M_y &= m\rho_y^2 \varphi_y \omega^2, \\ P_z &= \zeta_z \omega^2, & M_z &= m\rho_z^2 \varphi_z \omega^2, \end{aligned} \quad (1)$$

где $P_x, P_y, P_z, M_x, M_y, M_z$ — наибольшие амплитудные значения упругих сил и их моментов; $\zeta_x, \zeta_y, \zeta_z, \varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$ — наибольшие амплитудные значения перемещений центра масс резца в направлении осей координат; ω — круговая частота; $\rho_x^2 = I_x/m, \rho_y^2 = I_y/m, \rho_z^2 = I_z/m$ — квадраты радиусов моментов инерции, m — масса резца.

Соотношения между координатами центра тяжести и перемещениями точки режущей кромки записываются уравнениями по трем осям координат:

$$\begin{aligned} S_{ix} &= \zeta_x - z_i \varphi_y + y_i \varphi_z, \\ S_{iy} &= \zeta_y - x_i \varphi_z + z_i \varphi_x, \\ S_{iz} &= \zeta_z - y_i \varphi_x + x_i \varphi_y, \end{aligned}$$

где S_{ix}, S_{iy}, S_{iz} — компоненты полных перемещений; x_i, y_i, z_i — координаты i -й точки режущей кромки.

Уравнение потенциальной энергии системы с n точками режущей кромки:

$$\begin{aligned} \Pi_n &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (k_{ix} S_{ix}^2 + k_{iy} S_{iy}^2 + k_{iz} S_{iz}^2) = \\ &= \frac{1}{2} \sum_i (k_{ix} (\zeta_x - z_i \varphi_i + y_i \varphi_z)^2 + k_{iy} (\zeta_y - x_i \varphi_z + z_i \varphi_x)^2 + k_{iz} (\zeta_z - y_i \varphi_x + z_i \varphi_y)^2), \end{aligned} \quad (2)$$

где k_{ix}, k_{iy}, k_{iz} — упругие жесткости i -го элемента в направлении осей O_x, O_y, O_z .

Значения упругих сил P_x, P_y, P_z и моментов сил M_x, M_y, M_z относительно пространственных осей координат можно представить в виде частных производных от потенциальной энергии системы по обобщенной координате:

$$\frac{\partial \Pi_n}{\partial q_i}, \quad q_i = \zeta_x, \zeta_y, \zeta_z, \varphi_x, \varphi_y, \varphi_z.$$

Дифференцируя уравнение (2) и подставляя найденные значения упругих сил P_x, P_y, P_z и моментов сил M_x, M_y, M_z в (1), получим шесть уравнений движения точек режущей кромки на упругих опорных элементах.

Частоты собственных поступательных колебаний системы вдоль осей координат O_x, O_y, O_z соответственно:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^n k_{ix}}, \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^n k_{iy}}, \quad \omega_3 = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^n k_{iz}}. \quad (3)$$

Собственные частоты вращательных крутильных колебаний относительно осей O_x, O_y, O_z определяются из условий:

$$\begin{aligned} \omega_4 &= \frac{1}{\rho_x} \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^n (k_{iy} z_i^2 + k_{iz} y_i^2)}, \\ \omega_5 &= \frac{1}{\rho_y} \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^n (k_{iz} x_i^2 + k_{ix} z_i^2)}, \\ \omega_6 &= \frac{1}{\rho_z} \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^n (k_{ix} y_i^2 + k_{iy} x_i^2)}. \end{aligned} \quad (4)$$

Коэффициенты жесткости виброгасителей по осям O_x, O_y, O_z получены из уравнений:

$$\sum_{i=1}^n k_{ix} = nk_x, \quad \sum_{i=1}^n k_{iy} = nk_y, \quad \sum_{i=1}^n k_{iz} = nk_z. \quad (5)$$

Руководствуясь результатами проведенных исследований процесса резания комбинированных поверхностей и сопровождающих его явлений, предложен ряд конструкций инструментов, способных в условиях вибрационного точения осуществлять эффективное демпфирование вибраций и тем самым сохранять стойкость и работоспособность материала режущих элементов. На АО «Авиаавтоматика им. В. В. Тарасова» (г. Курск) изготовлена опытная партия демпфирующих резцов и проведены испытания, которые показали адекватность теоретического исследования практическим испытаниям.

Испытания показали, что наибольшая эффективность виброизоляции наблюдается в том случае, когда отношение собственной частоты ω меньше частоты возбуждения Ω в 2 раза. Чем больше отношение Ω/ω , тем больше эффект виброизоляции и гашения вибраций.

ВЫВОДЫ

Предлагаемая конструкция инструмента позволяет:

1. Повысить качество обработки эффективным демпфированием возникающих в процессе резания вибраций за счет того, что оправка с жестко фиксированной на ней узлом крепления режущей пластины размещена во вставке из материала с высоким демпфированием без возможности контактирования режущей пластины и узла ее крепления со стаканом и державкой.

2. Повысить устойчивость процесса резания, так как вставка из материала с высоким демпфированием виброизолирует ударные нагрузки в направлении как от детали и режущей пластины к державке и резцедержателю, так и в обратном — от резцедержателя и державки к режущей пластине и детали.

3. Подбором жесткости материала вставки с высоким демпфированием минимизировать внешние нагрузки на державку и деформации выступающего ее конца без дополнительных конструкторских разработок.

4. Снизить материалоемкость резца за счет уменьшения расхода материала с высоким демпфированием для изготовления вставки, поскольку она заполняет лишь зазоры между державкой и стаканом.

Таким образом, универсальные демпфирующие резцы позволяют достичь технического результата по повышению качества обработки и надежности устойчивого процесса резания конструктивно сложных поверхностей базовых деталей машин пневмударного бурения. Новизна принятых решений подтверждена патентами на изобретения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Kudryashov E. A., Pavlov E. V., Lunin D. Yu.** Validated methods of parts machining for nonleaking hydraulic cylinders in drilling installations, *Science of Mining Machines*, 2012, Vol. 48, No. 5. — P. 870–873.
2. **Кудряшов Е. А.** Технология лезвийной обработки деталей повышенной конструктивной сложности // *Фундаментальные и прикладные проблемы технологии машиностроения. Технология-2003: материалы Междунар. науч.-техн. конф.* — Орел: ОрГТУ, 2003. — С. 209–213.
3. **Кудряшов Е. А.** Обработка деталей из разнородных конструкционных материалов инструментом из композитов // *Станки и инструмент. СТИН.* — 2008. — № 12. — С. 26–28.
4. **Кудряшов Е. А., Емельянов С. Г., Локтионова О. Г.** Обработка пакетов из разнородных материалов инструментом из композитов // *Труды Арсеньевского технологического института (филиала) ДВГТУ.* — Арсеньев: АртИ ДВГТУ, 2009. — Вып. 2. — С. 12–17.
5. **Смирнов И. М.** Повышение эффективности процессов механической обработки конструктивно сложных деталей машин. — М.: Триумф, 2012. — 224 с.
6. **Кудряшов Е. А., Смирнов И. М.** Классификация конструктивно сложных поверхностей деталей как подготовительный этап проектирования технологии механической обработки // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* — 2015. — № 2 (310). — С. 89–94.
7. **Кудряшов Е. А., Смирнов И. М.** Поиск оптимальных решений при проектировании процессов механической обработки // *Системы. Методы. Технологии.* — 2014. — № 3 (23). — С. 94–98.
8. **Кудряшов Е. А., Смирнов И. М., Яцун Е. И.** Выбор инструментального обеспечения процессов чистовой обработки конструктивно сложных поверхностей деталей // *Научно-технические проблемы машиностроения.* — 2014. — № 12 (42). — С. 10–14.
9. **Яцун Е. И., Малыхин В. В., Новиков С. Г.** Виброакустическая диагностика состояния режущего инструмента и микронеровностей обработанной поверхности // *Справочник. Инженерный журнал.* — 2014. — № 4. — С. 31–35.
10. **Кудряшов Е. А., Яцун Е. И., Павлов Е. В., Ремнев А. И.** Методология формирования режущей части энергосберегающих комбинированных инструментов // *Труды XVIII Междунар. науч.-техн. конф. “Машиностроение и техносфера XXI в.”.* — 2011. — Т. 3. — С. 231–234.
11. **Яцун Е. И., Малыхин В. В., Новиков С. Г.** Повышение эксплуатационных характеристик демпфирующих резцов // *Изв. ЮЗГУ. № 2. Серия Техника и технологии.* — 2012. — С. 43–46.
12. **Кудряшов Е. А., Малыхин В. В., Яцун Е. И., Павлов Е. В., Новиков С. Г.** Повышение устойчивости процесса точения демпфирующим резцом // *Изв. ЮЗГУ.* — 2011. — № 3 (36). — С. 122–125.
13. **Пат. 2457077 РФ**, МПК В 23 В 27/00. Демпфирующий резец / Павлов Е. В., Яцун Е. И. — № 2011106621/02; заявл. 22.02.2011; опубл. 27.02.2012, Бюл. № 21. — 7 с.
14. **Пат. 2457078 РФ**, МПК В 23 В 27/00. Универсальный демпфирующий резец / Кудряшов Е. А., Павлов Е. В. — № 2010145193/02; заявл. 03.11.2010; опубл. 27.07.2012, Бюл. № 21. — 8 с.
15. **Пат. 2479385 РФ**, МПК В 23 В 27/00. Демпфирующий резец с регулируемой жесткостью / Кудряшов Е. А., Яцун Е. И. — № 2011141683/02; заявл. 13.10.2011; опубл. 20.04.2013, Бюл. № 11. — 9 с.

Поступила в редакцию 20/III 2017