

Фесенко Анатолій Володимирович, професор кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів; тел.: (057)-720-66-25, моб. +380675772887; e-mail: anfesenko73@gmail.com

Євсюкова Фатима Магометбіївна, доцент кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів; тел.: (057)-720-66-25, моб. +380979412299; e-mail: evsyukova_fatima@mail.ru

Набока Олена Володимирівна, професор кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів; тел.: (057)-720-66-25, моб. +380509865027; e-mail: namirauza@gmail.com

Колісник Марія Едуардівна, старший викладач кафедри економіки і маркетингу; тел.: (057)-707-65-26, моб. +380669038819; e-mail: rozaeduard@gmail.com

Гончаров Євген Вікторович, доцент кафедри загальної електротехніки; тел.: (057)-707-68-16, моб. +380503033735; e-mail: e.goncharov.v@gmail.com

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61000

РОЗРОБКА ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ЗОВНІШНЬОГО ПЕРЕРИВЧАСТОГО ШЛІФУВАННЯ З АКТИВАЦІЄЮ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧОЇ РІДИНИ (МОР)

Анотація. *Якість поверхневого шару деталей машин, визначальні їх експлуатаційні характеристики у більшості випадків формуються при шліфуванні. Цей процес характеризується високою тепловою напруженістю і великою вірогідністю появи в поверхневих шарах шліфованих деталей дефектів у вигляді пропалень і мікротріщин, що знижують їх експлуатаційні властивості. Одним з шляхів зниження теплової напруженості процесу шліфування і поліпшення якості шліфованих деталей є використання раціональних схем обробки і застосування ефективних складів мастильно-охолоджувальних рідин (МОР). Для реалізації цих умов в роботі розроблений інструментальний модуль збірного шліфувального круга для круглого зовнішнього шліфування, що використовує методи переривчастої обробки, МОР, що забезпечує подання, в зону різання і її активацію в насадках кавітацій. Його конструкція дозволяє поліпшити проникнення МОР в зону контакту шліфувального круга із заготовкою, що призводить до зменшення тепла.*

Ключові слова: *інструментальний модуль, математична модель, переривчасте шліфування, гідродинамічна кавітація, збірний шліфувальний круг, мастильно-охолоджувальна рідина, адаптивне управління, абразивні бруски режими різання.*

Fesenko Anatoly, Professor; of the Department of mechanical engineering and metal-cutting machine tools; +380675772887; e-mail: anfesenko73@gmail.com

Yevsiukova Fatyma, Docent at the Department of mechanical engineering and metal-cutting machine tools; tel.: (057)-720-66-25, +380979412299, e-mail: evsyukova_fatima@mail.ru

Naboka Olena, Professor of the Department of mechanical engineering and metal-cutting machine tools; +380509865027; e-mail: namirauza@gmail.com

Kolisnyk Mariia, senior lecturer at the Department of Economics and Marketing; tel.: (057)-707-65-26, +380669038819, e-mail: rozaeduard@gmail.com

Honcharov Yevhen, Associate Professor of the Department of Applied Electrical Engineering; +380503033735; e-mail: e.goncharov.v@gmail.com

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», st. Kirpychova, 2, Kharkiv, Ukraine, 61002

DEVELOPMENT OF INSTRUMENTAL MODULE FOR OUTWARD IRREGULAR POLISHING WITH ACTIVATING LUBRICATING-COOLING LIQUIDS (LCL)

Abstract. *Quality of superficial layer of details of machines, qualificatory them operating descriptions in most cases are formed at polishing. This process is characterized high thermal tension and large probability of appearance in the superficial layers of the polished details of defects as прожогов and микротрецини, reducing their operating properties. One of ways of decline of thermal tension of process of polishing and improvement of quality of the polished details are the use of rational charts of treatment and application of effective compositions of lubricating-cooling liquids (LCL). For realization of these terms the instrumental module of collapsible diamond-impregnated for the round outward polishing, using the methods of irregular treatment, is in-process worked out, providing a serve LCL in the zone of cutting and her activating in кавитационных attachments. His construction allows to improve penetration LCL in the zone of contact of diamond-impregnated with a purveyance, that results in reduction of теплонапряженности process and improvement of quality of surface at the increase of the*

productivity of treatment. The effect of the irregular polishing is got with admission LCL through abrasive bars and interval between them.

Keywords: *instrumental module, mathematical model, irregular polishing, hydrodynamic кавітація, collapsible diamond-impregnated, lubricating-cooling liquid, adaptive control, abrasive bars are the cutting modes.*

Фесенко Анатолий Владимирович, профессор кафедры технологии машиностроения и металлорежущих станков; тел.: (057)-720-66-25, моб. +380675772887; e-mail: anfesenko73@gmail.com

Евсюкова Фатима Магометбиевна, доцент кафедры технологии машиностроения и металлорежущих станков; тел.: (057)-720-66-25, моб. +380979412299, e-mail: evsyukova_fatima@mail.ru

Набока Елена Владимировна, профессор кафедры технологии машиностроения и металлорежущих станков; тел.: (057)-720-66-25, моб. +380509865027, e-mail: namirauza@gmail.com

Колесник Мария Эдуардовна, старший преподаватель кафедры экономики и маркетинга; тел.: (057)-707-65-26, моб. +380669038819; e-mail: rozaeduard@gmail.com

Гончаров Евгений Викторович, доцент кафедры общей электротехника; тел.: (057)- 707-68-16, моб. +380503033735, e-mail: e.goncharov.v@gmail.com

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 2, Харьков, 61000, Украина

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ НАРУЖНОГО ПРЕРЫВИСТОГО ШЛИФОВАНИЯ С АКТИВАЦИЕЙ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ (СОЖ)

Аннотация. *Качество поверхностного слоя деталей машин, определяющие их эксплуатационные характеристики в большинстве случаев формируются при шлифовании. Этот процесс характеризуется высокой тепловой напряженностью и большой вероятностью появления в поверхностных слоях шлифованных деталей дефектов в виде прожогов и микротрещин, снижающих их эксплуатационные свойства. Одним из путей снижения тепловой напряженности процесса шлифования и улучшения качества шлифованных деталей является использование рациональных схем обработки и применения эффективных составов смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Для реализации этих условий в работе разработан инструментальный модуль сборного шлифовального круга для круглого наружного шлифования, использующий методы прерывистой обработки, обеспечивающий подачу СОЖ в зону резания и её активацию в кавитационных насадках. Его конструкция позволяет улучшить проникновение СОЖ в зону контакта шлифовального круга с заготовкой, что приводит к уменьшению теплонапряженности процесса и улучшению качества поверхности при увеличении производительности обработки. Получен эффект прерывистого шлифования с подводом СОЖ через абразивные бруски и промежуток между ними.*

Ключевые слова: *инструментальный модуль, математическая модель, прерывистое шлифование, гидродинамическая кавитация, сборный шлифовальный круг, смазочно-охлаждающая жидкость, адаптивное управление, абразивные бруски режимы резания.*

Введение. Качество поверхностного слоя деталей машин, определяющие их эксплуатационные характеристики, в большинстве случаев формируются при шлифовании. Этот процесс характеризуется высокой тепловой напряженностью и большой вероятностью появления в поверхностных слоях шлифованных деталей дефектов в виде прожогов и микротрещин, снижающих их эксплуатационные свойства.

Постановка проблемы и ее связь с важными научными и практическими задачами. В процессе резания охлаждающая жидкость производит смазочное, охлаждающее, моющее, диспергирующее и демпфирующее действия. Одним из важных требований к СОЖ является уменьшение теплонапряженности процесса резания, снижения силовых нагрузок и уменьшение трения, что приводит к повышению качества обрабатываемой поверхности детали при соблюдении заданной точности обработки и увеличения стойкости режущего инструмента. С этой целью используются различные способы доставки СОЖ на контактные поверхности и ее активация в зоне резания. Одним из путей снижения тепловой напряженности процесса шлифования и улучшения качества шлифованных деталей является использование рациональных схем обработки и применение эффективных составов смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ).

Реализация этих условий возможна при использовании методов прерывистой обработки, обеспечивающих подачу СОЖ в зону резания и её активацию в кавитационных насадках.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время все большее распространение находят процессы шлифования кругами, имеющими прерывистую поверхность. Известно, что процесс прерывистого шлифования в сравнении со сплошным обеспечивает снижение максимальной температуры примерно на 30-40%, что подтверждается теоретическими расчетами, выполненными [1, 2, 3,4]. Анализ этих исследований при прерывистом шлифовании показал, что в фазу отсутствия контакта круга с обрабатываемой поверхностью охлаждение ее в основном обеспечивается теплопроводностью этой поверхности. При этом высокая интенсивность оттока тепла от поверхности в тело детали обусловлена большим градиентом температуры после контакта с кругом в направлении нормальном к обрабатываемой поверхности. Дополнительный отток тепла от нагретой поверхности обеспечивается за счет конвективного теплообмена с окружающей средой (воздухом или смазочно-охлаждающей жидкостью). Однако охлаждающее действие СОЖ оказывает недостаточное влияние на отбор тепла в фазу отсутствия контакта круга с деталью. Это объясняется не только меньшей интенсивностью теплопередачи конвективным теплообменом по сравнению с теплопроводностью, но и тем, что попадание СОЖ в пространство между выступами прерывистой поверхности круга затруднено. Поток СОЖ в пространство между выступами круга препятствует поток воздуха, увлекаемого кругом, вращающимся с большой скоростью.

Для обеспечения интенсивной подачи СОЖ в пространство между режущими выступами круга делаются попытки подвода СОЖ через круг. Это достигается, например, подачей СОЖ через корпус сборных абразивных сегментов круга в промежутки между выступами. Кроме этого, повышение эффективности возможно при подаче СОЖ непосредственно в зону контакта выступа круга с деталью через поры круга.

При прерывистом шлифовании происходит периодическое прерывание контакта круга с заготовкой, что приводит к уменьшению теплового насыщения поверхностных слоев обрабатываемого материала. Это позволяет повысить качество обработки при одновременном увеличении производительности шлифования. Причем эффект от прерывания контакта круга с заготовкой в ряде случаев выше, чем от оптимизации условий обычного шлифования [5].

Многолетние исследования, так же как и практика использования СОЖ при шлифовании, убедительно доказывают, что действие СОЖ в наибольшей степени проявляется только при условии ее проникновения непосредственно в зону взаимодействия вновь образующихся на заготовке, круге и стружке поверхностей [6].

Анализ механизмов смазывающего, смачивающего и проникающего, охлаждающего, моющего, режущего и пластифицирующего действия СОЖ, позволяет сделать вывод о том, что для повышения эффективности действия СОЖ необходимо повышать ее давление и скорость течения в зонах контакта абразивных зерен и металла заготовки. Под воздействием высоких температур и давлений в зоне резания происходит адгезионное схватывание абразива с обрабатываемым материалом, взаимная диффузия химических элементов, увеличение работы трения связки и абразивных зерен с обрабатываемой заготовкой и, как следствие этого, разупрочнение и разрушение абразивных зерен, а также формирование поверхностного слоя детали с неблагоприятными эксплуатационными характеристиками. Важным моментом для обеспечения эффективного протекания процесса резания является активация СОЖ.

Для детального анализа производственного процесса выполнено моделирование температуры в зоне резания при круглом наружном прерывистом шлифовании с учетом подвода СОЖ при ее активном попадании или отсутствии между абразивными брусками.

На рисунке 1 показаны графики сравнения процесса шлифования при сплошном и прерывистом резании, а также без применения охлаждения и с охлаждением напорной струей жидкости на водной основе. Результаты проведения компьютерного эксперимента показали, что в обычных условиях охлаждающее действие СОЖ позволяет незначительно (примерно до 10%) уменьшить максимальную температуру при прерывистом круглом наружном шлифовании. Интенсифицируя подачу СОЖ через круг или корпус сборного круга, можно прогнозировать возможность уменьшения максимальной температуры шлифуемой поверхности как за счет охлаждающего действия СОЖ, так и за счет ее комплексного физико-химического воздействия.

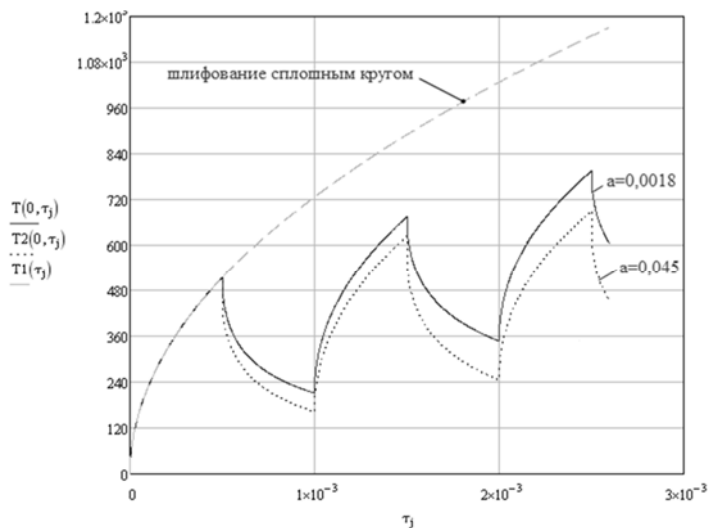


Рис. 1. Сравнение температуры нагрева поверхности заготовки

В работах Е.С. Киселева [8] для интенсификации процессов, происходящих в зоне резания, используется наложение ультразвуковых колебаний при подаче СОЖ через насадки, установленные на торцах шлифовального круга. Это изменяет механизм проникновения СОЖ в зоны шлифования и правки: жидкость выбрасывается из пор круга непосредственно в зону его контакта с заготовкой. При этом отмечается, что функциональные действия СОЖ, как правило, усиливаются и оказывают существенное влияние на производительность и качество поверхностного слоя обработанных деталей.

Обращается внимание на то, что кавитация СОЖ в зоне резания способна коренным образом изменить условия формообразования новых поверхностей. Автор утверждает, что, наложение колебаний способствует ускорению движения СОЖ сквозь сеть капиллярных каналов к зонам контактного взаимодействия инструмента с материалом заготовки. Акустическое распыление СОЖ с помощью энергии ультразвукового поля позволяет создать воздушно-жидкостные аэрозоли, размеры капель жидкости в которых соизмеримы с размерами поперечных сечений образующихся при резании капилляров. Процесс прерывистого шлифования связан с возникновением колебаний, связанных с воздействием на деталь выступов шлифовального круга. В работах ряда авторов предложены методики аналитического решения задач по определению области устойчивой работы круга. Однако нет количественного анализа величины возникающих колебаний глубины шлифования в результате переменной жесткости контакта круга с обрабатываемой поверхностью. Такой анализ имеет важное практическое значение, поскольку колебания системы в значительной степени влияют на шероховатость обработанной поверхности. Необходимо выполнить анализ и найти решения для выбранной схемы обработки. При этом в каждом конкретном условиях применения прерывистого шлифования амплитуды колебаний будут различными в связи с

переменной жесткостью системы станка, массами круга и детали, демпфирующими свойствами системы. Учитывая изложенные выше положения целесообразно использовать схему, сочетающую в себе прерывистый способ шлифования и эффективную подачу СОЖ с её активацией.

Цель данной работы заключается в разработке способа круглого наружного прерывистого шлифования и инструментального модуля, обеспечивающего устойчивую работу круга и эффективную подачу СОЖ в зону резания. Для этих целей создан специальный инструментальный модуль со сменными абразивными брусками, через поры которых СОЖ и поступает в зону резания. По отдельным каналам СОЖ подается между брусками, обеспечивая охлаждение детали. Все каналы подвода СОЖ снабжены насадками с проточными кавитаторами для активации охлаждающей жидкости.

Методы достижения цели. В предлагаемой нами системе используется принцип прерывистого шлифования с подачей СОЖ по радиальным каналам кассеты сборного шлифовального круга [9]. Подвод СОЖ выполняется в промежутки между брусками и через поры абразивных брусков. На выходе каналов установлены насадки, обеспечивающие активацию СОЖ за счет гидродинамической кавитации.



Рис. 2. Подвод СОЖ по каналам шлифовального круга.

Для расчета параметров шлифовального модуля была разработана специальная программа определения геометрических параметров инструмента. Схема для расчета показана на рис. 3.

Пример расчета параметров бруска показан на рис. 4.

При работе с данной программой можно изменять входные параметры и получать изменение остальных связанных в модуле размеров. При анализе динамики шлифования была рассмотрена жесткая схема круглого наружного шлифования, при которой задается глубина резания, а производными являются усилия и деформации в технологической системе. При жесткой схеме шлифования круг подается на определенную глубину $h_{вх}$ механизмом подачи. Учитывая упругие деформации станка под действием радиальной составляющей силы резания P_y , инерционность движущихся масс станка и силы демпфирования, фактическая глубина шлифования $h_{ф}$ будет отличаться на величину смещения круга x_2 и заготовки x_1 относительно друг друга.

Функциональная схема процесса прерывистого шлифования в замкнутой технологической системе, определяется в зависимости от принятой дискретной модели станка. Поскольку в настоящих исследованиях рассматривается изменение глубины

шлифования при достаточно высокочастотном воздействии прерывистой поверхности круга, можно ограничиться двухмассовой моделью станка состоящей из масс m_1 заготовки и m_2 круга на шпинделе. Массу шлифовальной бабки условно принимаем бесконечной, т.е. считаем, что она не будет реагировать радиальными перемещениями на силовые воздействия прерывистого круга в связи с большой инерционностью.

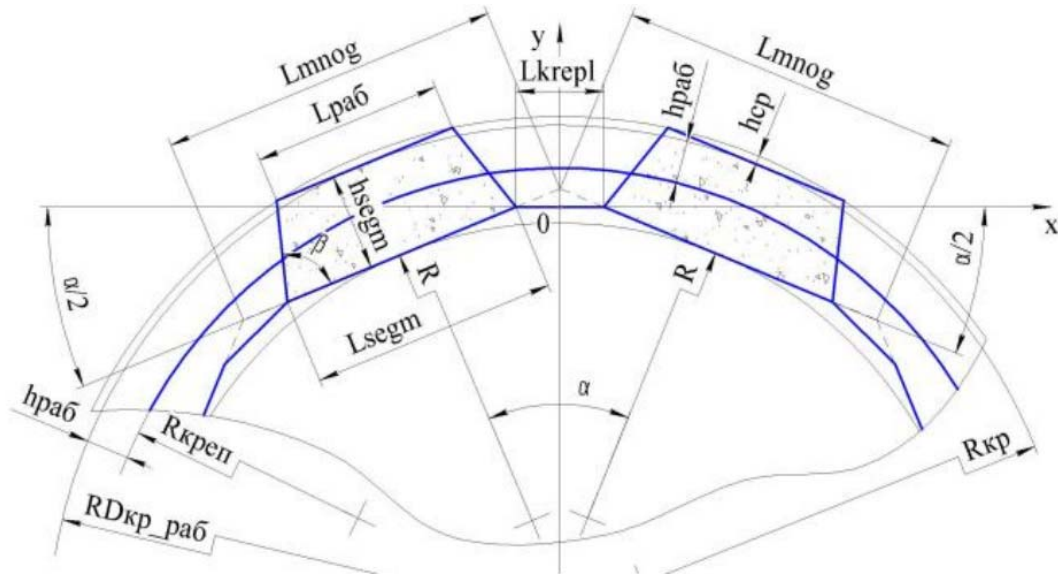


Рис. 3. Расчетная схема определения геометрических параметров инструмента.

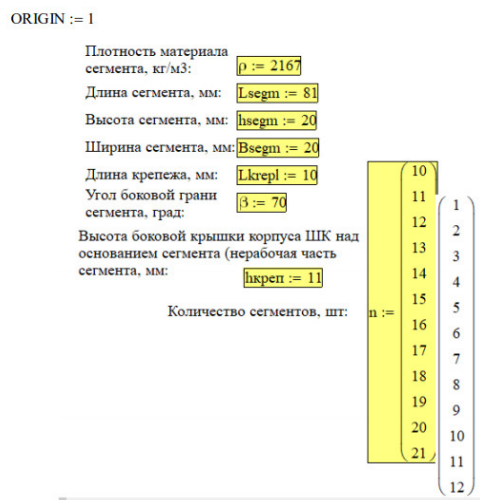


Рис. 4. Пример расчета параметров бруска

Входным сигналом в систему является глубина шлифования h_{ex} , которая принимает какое-то фактическое значение h_{ϕ} , когда поверхности заготовки входит в контакт с выступом, и ноль – когда подходит впадина. Возникающая при шлифовании радиальная составляющая силы резания P_y приводит к деформациям систем шлифовального круга x_2 и заготовки x_1 . Суммарная деформация в зоне контакта круга и заготовки x_3 приводит к изменению фактической глубины шлифования.

Принимая направление координат x_1 и x_2 в противоположные стороны, ведущие к уменьшению глубины шлифования получаем, что сумма $x_3 = x_1 + x_2$ составит общее

изменение глубины шлифования за счет смещения круга и заготовки. Вычитая это смещение x_3 из $h_{вх}$ получим фактическую глубину шлифования $h_{ф}$, которая и определяет величину P_y .

Описанные выше закономерности могут быть представлены в виде функциональной схемы прерывистого шлифования (Рис.5).

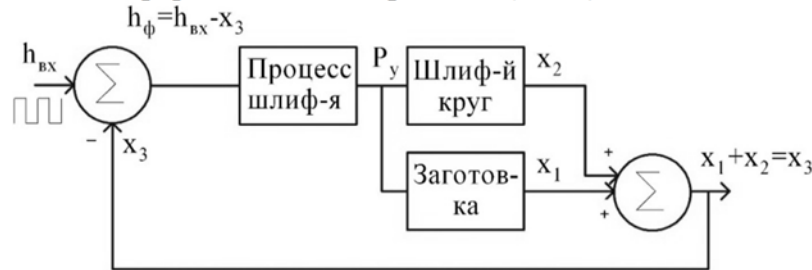


Рис. 5. Функциональная схема процесса прерывистого шлифования

Характерной особенностью прерывистого шлифования является то, что по мере износа круга происходит самоформирование его макропрофиля. На рабочих выступках образуются фронтальные поверхности, расположенные под некоторым углом атаки к плоскости резания [7].

В данной работе принимаем упрощение, которое сводится к тому, что входной сигнал не учитывает износ на передней поверхности выступов. А также, не учитывается нарастание глубины шлифования при входе переднего фронта выступа в контакт с заготовкой и уменьшение при выходе заднего фронта выступа из контакта, .

В процессе шлифования в зависимости от глубины шлифования возникает радиальная составляющая P_y силы шлифования. Согласно [10] P_y вычисляют эмпирической формулой вида:

$$P_y = 2,5 \cdot C_p \cdot V_3^x \cdot h^y \cdot S^z \cdot V_{кр}^\alpha \cdot B^\beta \quad (1)$$

где V_3 - скорость вращения заготовки, м/с; h - глубина, мм; S - подача, м/мин; $V_{кр}$ - скорость вращения круга, м/с; B - высота круга, мм.

Математическая модель входного сигнала в пакете VisSim с исходными данными приведена на рис. 6.

Линеаризуем зависимость (1) разложив ее в ряд Тейлора и отбросив члены высшего порядка малости:

$$P_y \approx (P_y)_0 + \left(\frac{\partial P_y}{\partial h} \right)_0 \cdot \Delta h,$$

где $(P_y)_0$ - значение P_y при условиях шлифования в равновесном установившемся режиме; $\left(\frac{\partial P_y}{\partial h} \right)_0$ - производная P_y по h в равновесном режиме.

Подставим P_y из (1) и получим:

$$\Delta P_y = P_y - (P_y)_0 = 2,5 \cdot C_p \cdot V_3^x \cdot y \cdot h^{y-1} \cdot S^z \cdot V_{кр}^\alpha \cdot B^\beta \cdot \Delta h = C \cdot \Delta h, \quad (2)$$

где $C = 2,5 \cdot C_p \cdot V_s^x \cdot y \cdot h^{y-1} \cdot S^z \cdot V_{kp}^\alpha \cdot B^\beta$.

Величина C - коэффициент пропорциональности между глубиной шлифования и радиальной составляющей силы резания. Размерность C , Н/мм.

По аналогии с жесткостью упругой системы имеющей такую же размерность, коэффициент C называют жесткостью процесса шлифования или жесткостью контакта круга с обрабатываемой поверхностью.

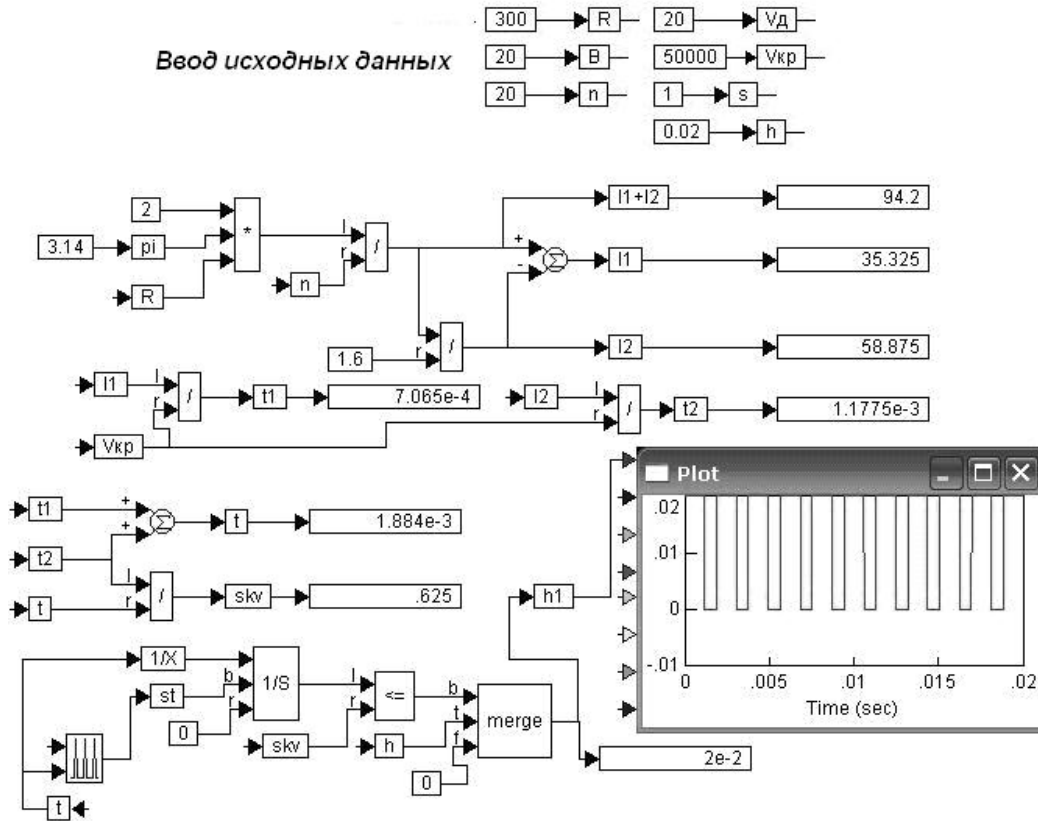


Рис. 6. Моделирование входного сигнала

Упругая система круглошлифовального станка представляет собой параллельное соединение упругих систем шлифовального круга и заготовки. Уравнение, описывающее движение шлифовального круга в радиальном направлении, т.е. по координате x_2 представляет собой равенство сил, действующих на круг в радиальном направлении.

Если положительное направление координаты x_2 направить от заготовки к кругу, то сила резания P_y будет с минусом, а прочие силы инерции $m_2 \cdot \ddot{x}_2$, демпфирования $\lambda_2 \cdot \dot{x}_2$ и упругой связи круга со шпиндельной бабкой $c_2 \cdot x_2$ необходимо взять с минусом, т.е. в противоположном направлении оси x_2 :

$$m_2 \cdot \ddot{x}_2 + \lambda_2 \cdot \dot{x}_2 + c_2 \cdot x_2 = P_y \quad (3)$$

По аналогии получим дифференциальное уравнение движения заготовки в радиальном направлении, направив координаты такого движения x_1 от круга к заготовке:

$$m_1 \cdot \ddot{x}_1 + \lambda_1 \cdot \dot{x}_1 + c_1 \cdot x_1 = P_y \quad (4)$$

Решение уравнений (3) и (4) в пакете VisSim выполняем методом понижения производной. Математическая модель решения приведена на рис. 7. Отклонение глубины шлифования x_3 за счет перемещения круга x_2 и заготовки x_1 под действием силы P_y :

$$x_3 = x_1 + x_2 .$$

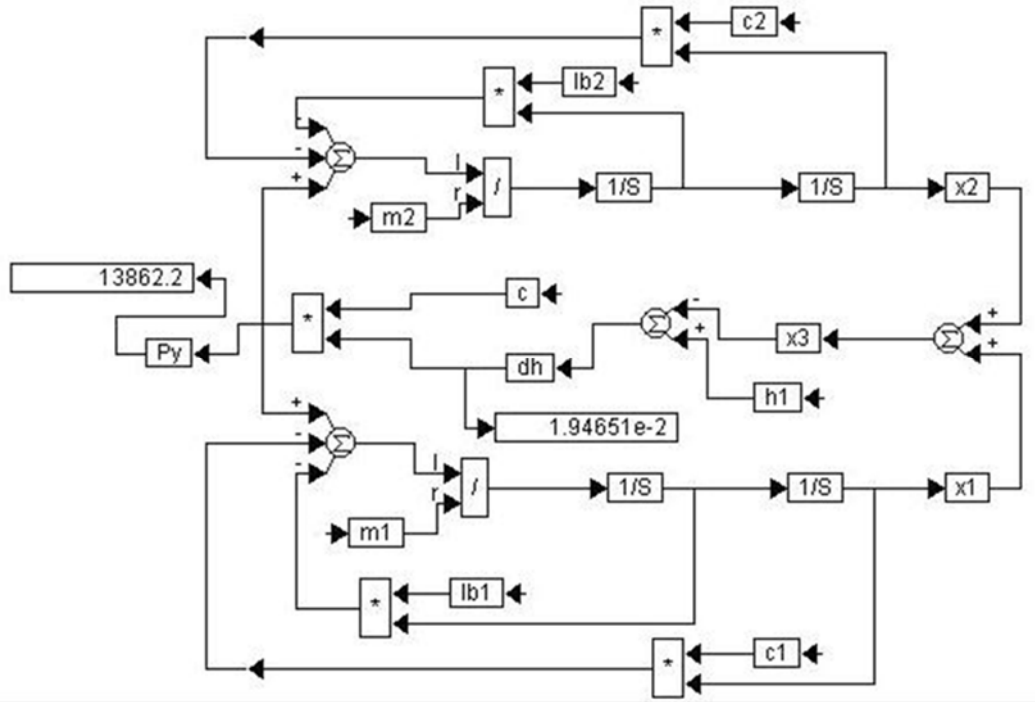


Рис. 7. Математическая модель прерывистого шлифования в замкнутой технологической системе.

Это отклонение x_3 вычитается из h_{ex} и фактическая глубина шлифования h_ϕ умножением на коэффициент C преобразуется в фактическую силу P_y .

Выполнены расчеты процесса прерывистого шлифования в замкнутой технологической системе с использованием выбранной математической модели и выводом на графопостроитель Plot сигналов x_1 , x_2 , x_3 и h_ϕ (рис. 8).

Разработанная математическая модель прерывистого шлифования в замкнутой технологической системе, позволяет проанализировать конструктивные особенности круга и выбрать рациональные режимы резания. Использование данной методика позволяет определить величину амплитуды колебаний фактической глубины резания для конкретных условий обработки и выбрать параметры круга. Для осуществления эффективного охлаждения зоны шлифования СОЖ подается как через бруски, так и в промежутки между брусками. При этом на выходе каналов установлены насадки для создания кавитации в потоке.

Пороговые значения интенсивности потока, при которых возникает кавитация, для шлифования весьма специфичны. Поэтому для определения минимально необходимой мощности в реальных условиях шлифования проводились соответствующие исследования [16].

Увеличение скорости движения СОЖ через поровое пространство круга и соответствующее увеличение ее расхода через зону обработки является результатом

действия ударных волн от захлопывающихся кавитационных полостей, локализованных в сечении поровых каналов. Оптимизация конструктивных параметров насадок, гидродинамических параметров потока, спектра частот колебаний и диапазона амплитуд звукового давления должны обеспечить эффективную кавитацию жидкости.

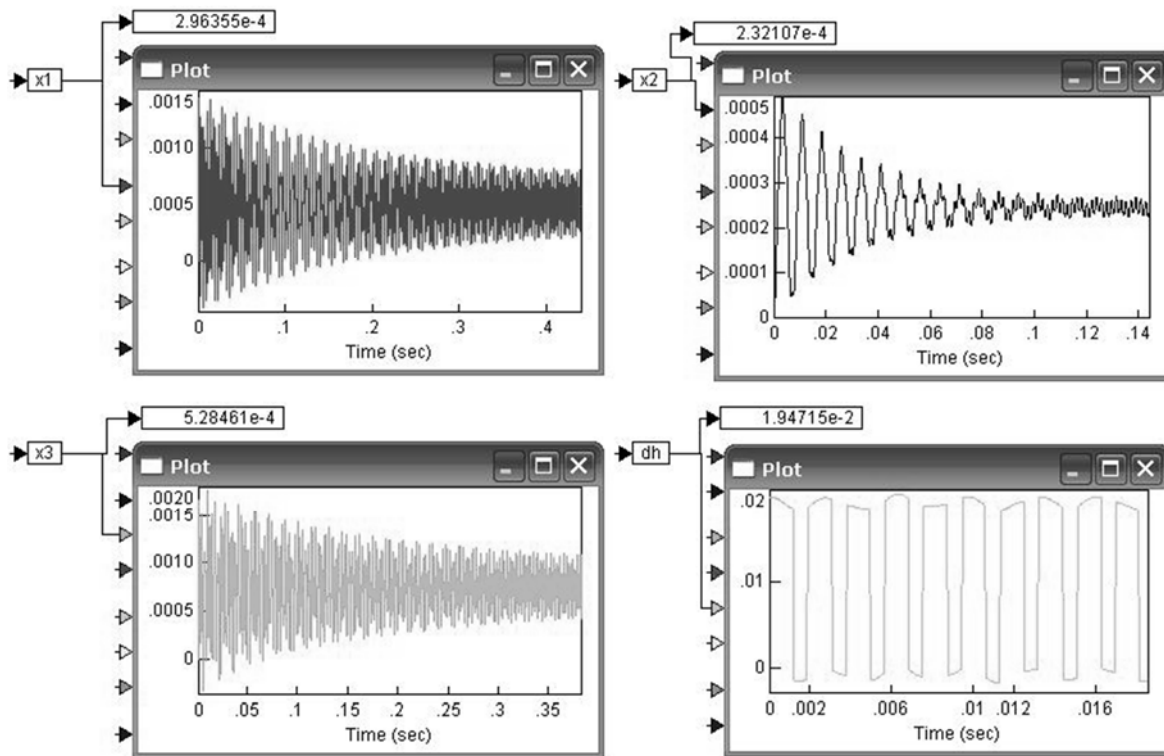


Рис. 8. Результаты моделирования процесса прерывистого шлифования в замкнутой технологической системе.

Из сказанного выше следует, что для повышения производительности и качества шлифования, наряду с другими методами, необходимо осуществлять комплексный подход к использованию СОЖ, включающий в себя выбор рационального состава и обеспечение ее эффективного использования при шлифовании. Это позволяет обеспечивать снижение силовых нагрузок и теплонапряженности процесса.

Выполнение поставленной задачи предлагается решать при помощи инструментального модуля (Рис. 9), включающего в себя корпус, устанавливаемый на шпиндельной бабке станка, сборный шлифовальный круг, установленный на шпинделе, две отдельные системы подвода СОЖ под абразивные бруски и в промежуток между брусками, а также систему с упругими элементами для очистки ШК. Такой модуль может быть установлен на различных круглошлифовальных станках и использован для обработки любых материалов и сплавов.

Сборный шлифовальный круг (рис. 10) состоит из диска (кассеты) 1 с каналами 2 и 3 для подвода СОЖ, установленного на шпинделе станка 4 и закрепленного на нем посредством болта 5 [9]. На периферии диска с помощью прижимных элементов 6 закреплены абразивные сегменты 7. Прижимные элементы 6 содержат отверстия с закрепленными в них кавитаторами 8. Под абразивными сегментами в каналах 3 установлены кавитаторы 9. Прижимные элементы 6 крепятся с помощью левой 10 и правой 11 крышек шлифовального круга.

Для балансировки шлифовального круга в собранном виде предусмотрены грузики 12. Сборный круг размещен в корпусе и закрыт левой 13 и правой 14 крышками

защитного кожуха. Левая крышка неподвижно закреплена винтами 15 на фланце 16 шлифовальной бабки. Использование сменной посадочной втулки позволяет устанавливать корпус на станках, имеющих посадочные элементы аналогичной конструкции.

На внутренней части защитного кожуха закреплены упругие лепестки 17 посредством кольца 18 и винтов 19 и 20. К левой крышке защитного кожуха через стакан 21 с помощью болтов 22 и 23 прикреплены втулки ввода СОЖ 24 и 25. Изоляция каналов подвода СОЖ выполняется с помощью манжет 30 и 31, установлены в стаканах 21 и 27 соответственно. Подвод СОЖ в зону резания осуществляется через две разделенные системы каналов, одна из которых обеспечивает подачу СОЖ к абразивным сегментам, а вторая – между ними. К впадине между абразивными брусками СОЖ подается через втулку 25. Втулка с крыльчаткой 26 обеспечивает предварительный разгон эмульсии. Далее СОЖ попадает в канал 2 диска 1, где дополнительно разгоняется за счет кинетической энергии при вращении шлифовального круга и направляется к его периферии между абразивными сегментами 7. При этом, на выходе с каналов установлены насадки 8, которые за счет эффекта кавитации обеспечивают ее мелкодисперсное перемешивание, интенсификацию химико-физических процессов, происходящих в СОЖ и зоне резания. Проходя участок кавитации СОЖ попадает в пространство между сегментами перед контактом его с заготовкой.

Под абразивный сегмент подача СОЖ выполняется следующим образом.

Через втулку ввода 24 жидкость попадает во втулку 27. Далее через отверстия в крышке 30 и прокладке 31 поступает в канал 3 диска 1, где дополнительно разгоняется за счет кинетической энергии при вращении шлифовального круга и направляется к его периферии под абразивный сегмент 7. При этом на выходе из каналов установлены насадки 9, которые обеспечивают активацию СОЖ в потоке. На рабочую поверхность сегмента СОЖ попадает через поры в абразивном материале.

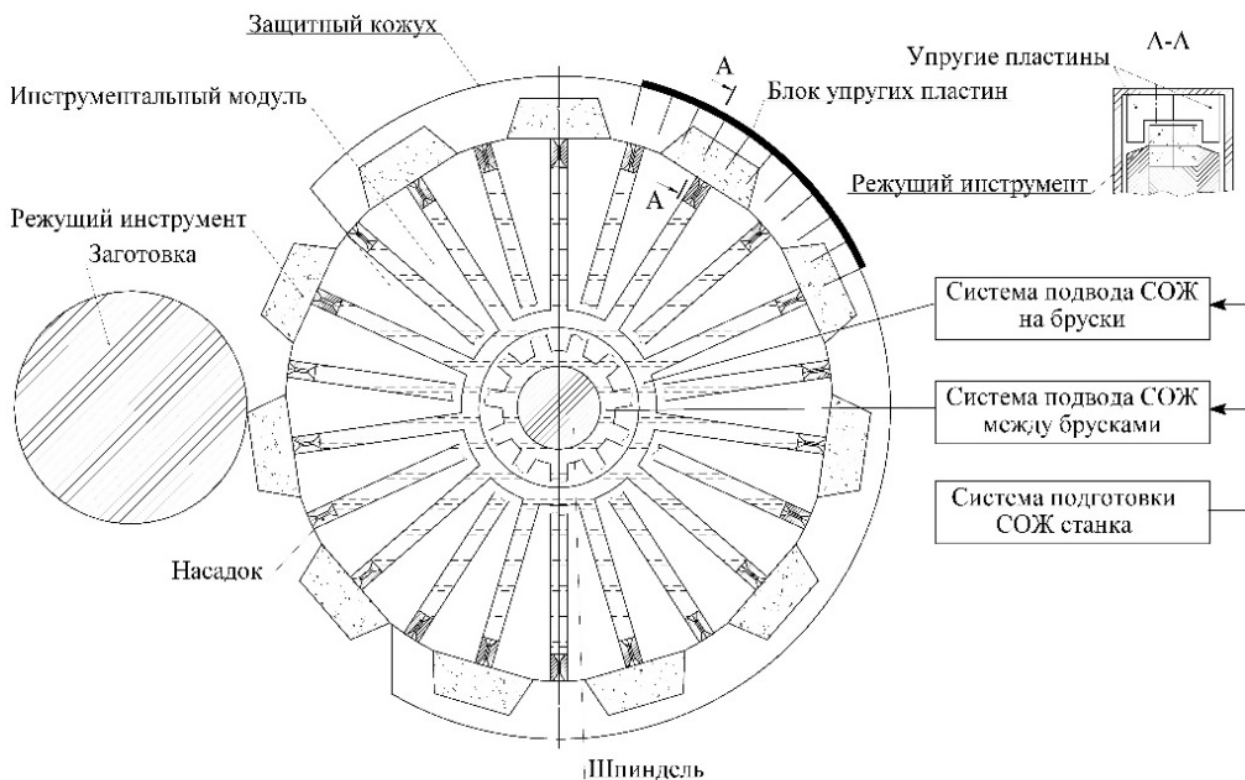


Рис. 9. Инструментальный модуль с элементами охлаждения и активации СОЖ.

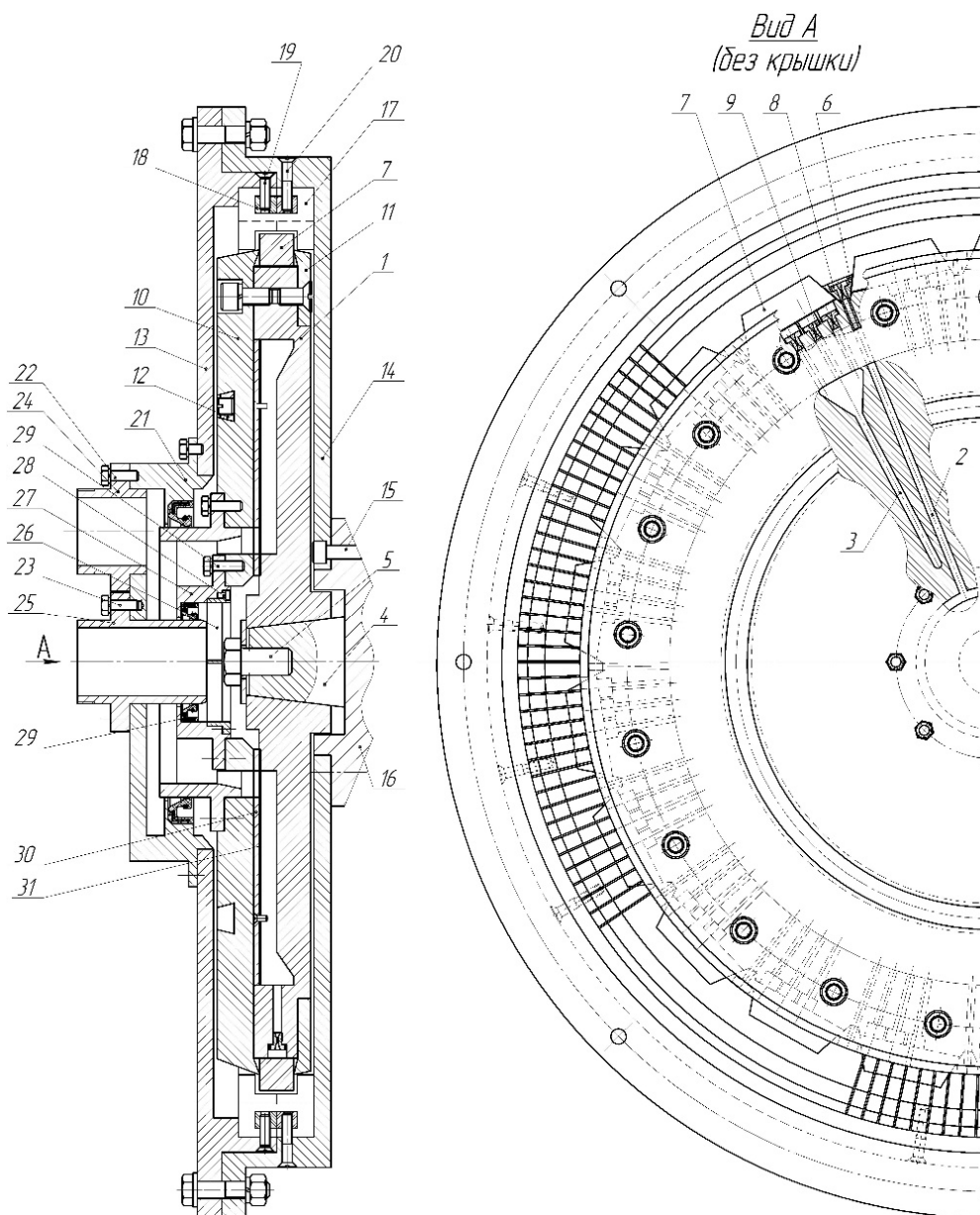


Рис. 10. Модуль сборного шлифовального круга.

Для исследования сегментов на прочность было использовано дополнение к программе SolidWorks 2009 COSMOS. Данное дополнение позволяет моделировать нагрузку на сегмент сил, которые возникают в процессе шлифования.

При моделировании учитывались условия закрепления сегмента в корпусе с помощью вставок. Были заданы координаты точек закрепления и мест воздействия усилий на бруски, как показано на рис. 11.

В результате моделирования были получены эпюры напряжений, перемещений, деформаций и запаса прочности. На рис. 12 показаны результаты моделирования размещения креплений.

Было установлено, что для данной конструкции предельная скорость вращения составляет 135 м/с . при этой скорости может произойти разрыв сегмента.

На рис. 13 показан корпус сборного круга 1 с каналами подвода СОЖ между брусками 2 и под. бруски 3.

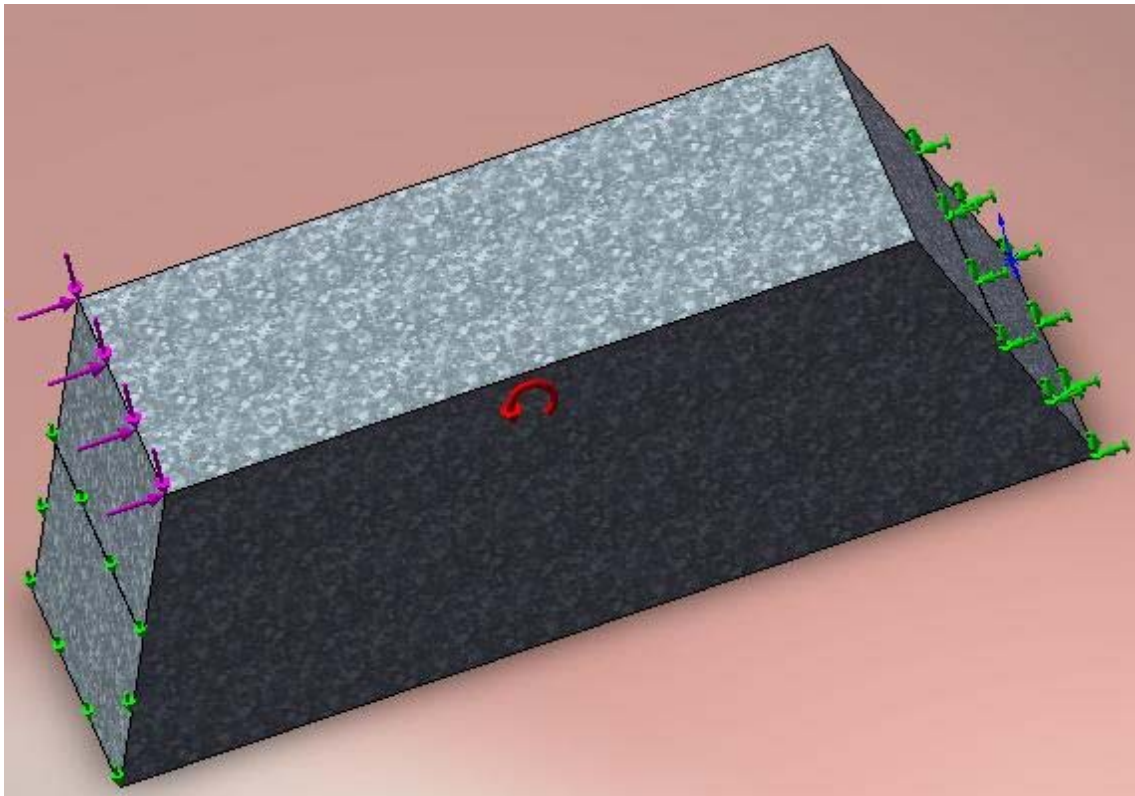


Рис. 11. Размещение креплений

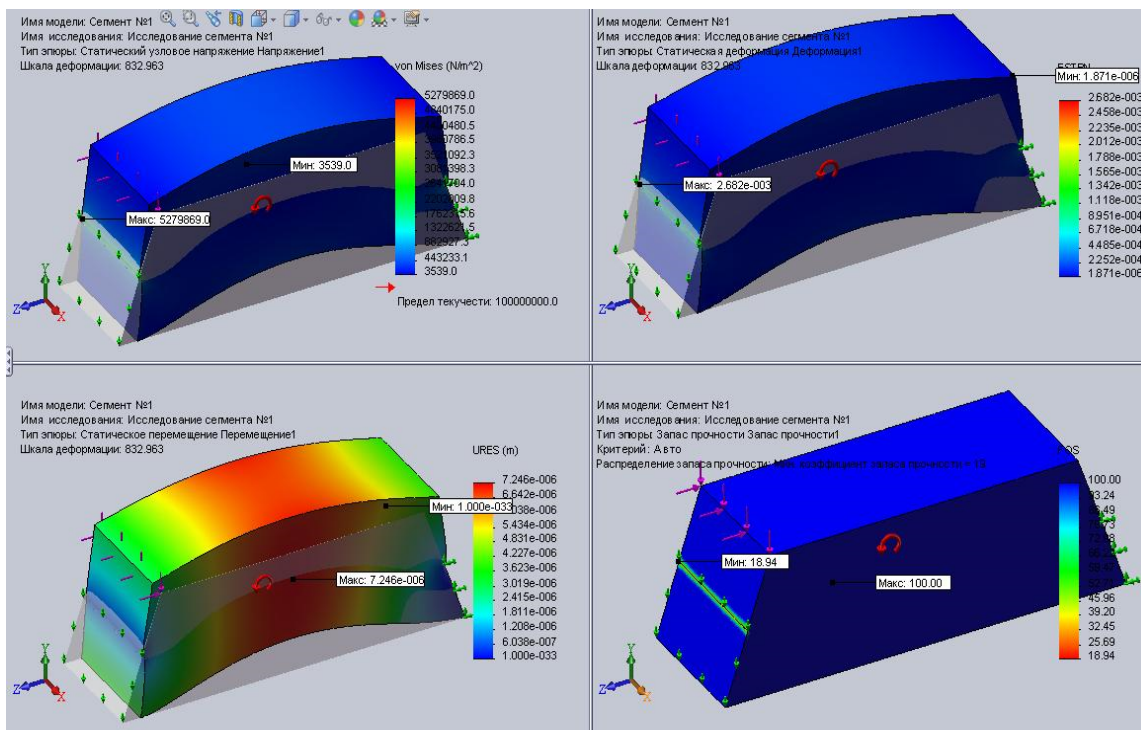


Рис. 12. Моделирование состояния сменного бруска.

Для очистки рабочей поверхности в крышках 13 и 14 установлены упругие элементы 17, которые под воздействием потока совершают механические колебания, создающие эффект акустической кавитации СОЖ.

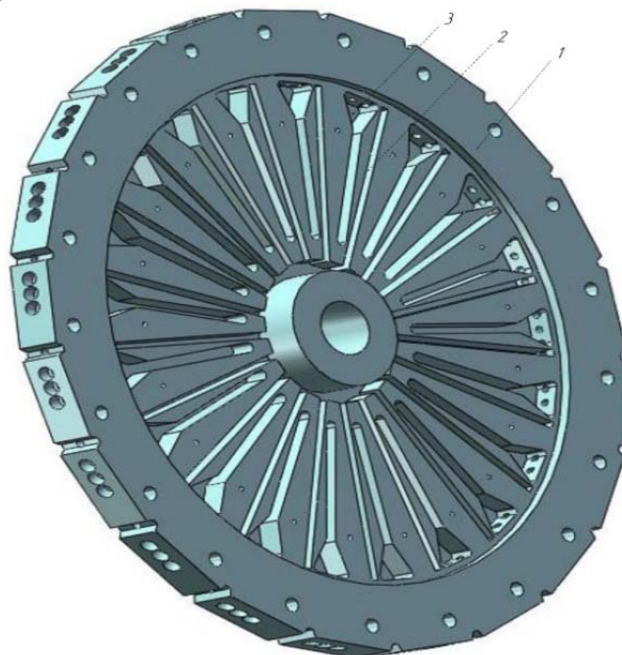


Рис. 13. Каналы сборного круга.

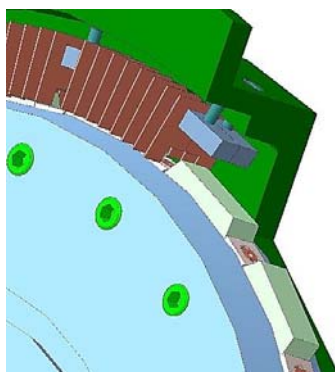


Рис. 14. Установка лепестков очистки круга.

Используемая в модуле комбинированная система подвода СОЖ позволяет гарантированно подавать ее на рабочую поверхность абразивных сегментов. При этом обеспечивается процесс мелкодисперсного перемешивания СОЖ, интенсифицируются химико-физические процессы, происходящие в СОЖ и зоне резания, активно очищается поверхность абразивного сегмента от засаливания, повышаются охлаждающее, смазывающее, смачивающее и другие воздействия, что в целом приводит к повышению производительности, качества обработки и стойкости режущего инструмента [13].

Кроме того, круги такой конструкции позволяют при необходимости регулировать расход СОЖ через каналы, отключать их, подключать по отдельности, подключать оба не останавливая процесс обработки. Насосы, установленные в каждом из каналов, позволяют дополнительно к центробежным эффектам использовать регулировку потока СОЖ по расходу и давлению.

На рис. 15 показана установка кавитаторов в корпусе сборного круга.

На рис. 16 показан общий вид модуля сборного шлифовального круга.

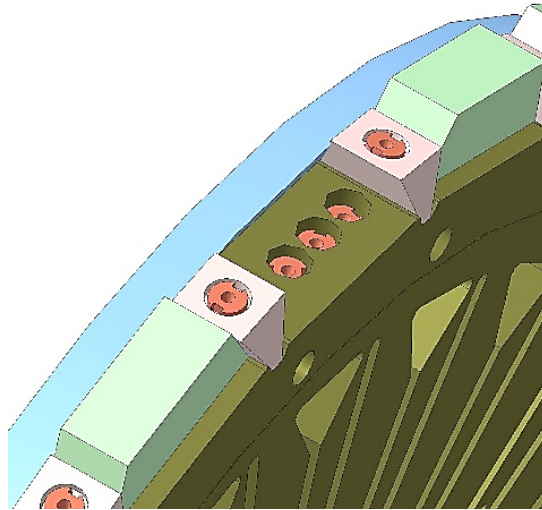


Рис. 15. Установка кавитаторов в корпусе сборного круга.

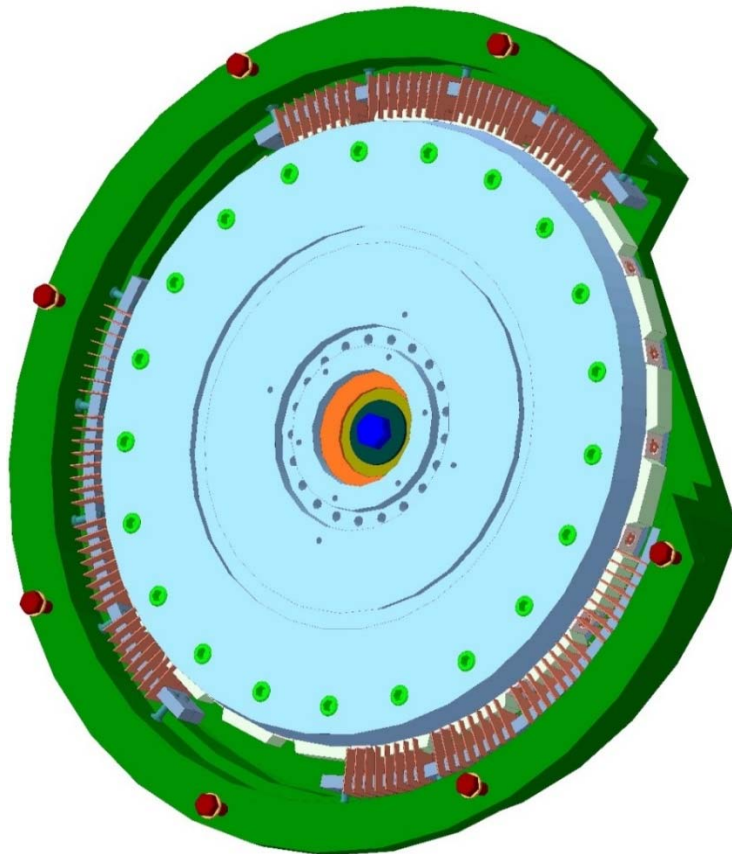


Рис. 16. Установка элементов в кассете модуля сборного шлифовального круга.

Универсальность предлагаемой конструкции заключается в том, что сменные втулки на шпинделе и корпусе позволяют устанавливать этот модуль на ряде однотипных шлифовальных.

Данная конструкция позволяет значительно улучшить динамические показатели работы станка. Кассета до установки абразивных брусков подвергается тщательной статической и динамической балансировке. После установки брусков выполняется

дополнительная балансировка с помощью грузов, установленных в круговой канавке. Из-за малого объема и веса абразивных брусков колебания, вызванные неравномерностью абразивного материала, разной его плотностью и износом, незначительны.

В производственных условиях используются две (или больше) кассеты. Пока один сборный круг находится на станке оператор перезаряжает вторую кассету.

Устройство кассеты позволяет регулировать подачу СОЖ в зону резания и в промежуток между брусками, что может быть использовано при рационализации подачи СОЖ в цикле (изменением давлений и объемов), а также гибко использовать в автоматизированных и адаптивных системах, например, при отслеживании изменения коэффициента резания.

Выводы. Разработан инструментальный модуль сборного шлифовального круга, обеспечивающий получение эффекта прерывистого шлифования с подводом СОЖ через абразивные бруски и промежуток между ними. Его конструкция позволяет улучшить проникновение СОЖ в зону контакта шлифовального круга с заготовкой, что приводит к уменьшению теплонапряженности процесса и улучшению качества поверхности при увеличении производительности обработки.

Список использованной литературы:

1. Якимов, А.В. Прерывистое шлифование. - К.: Вища школа, 1986. – 175 с.
2. Якимов, А.В., Паршаков, Н.А., Свиричев, В.И. и др. Управление процессом шлифования. - Киев: Техніка, 1983. - 182 с.
3. Якимов, А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
4. Новиков, Ф.В., Якимов, А.А. К вопросу о сущности прерывистого шлифования. Высокие технологии машиностроения // Сборник научных трудов НТУ «ХПИ». – Харьков. – 2001. – Вып. 1 (4).
5. Сизый, А.В. Фесенко, Ю.Н. Любимый, В.В. Сикарев Ю.А. Подача СОЖ через радиальные каналы шлифовального круга // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Х.: НТУ «ХПИ». – 2010. – Вип. 25. – С. 25-32.
6. Фесенко, А.В., Любимый, Ю.Н. Повышение эффективности шлифования при гидродинамической обработке СОЖ // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Тех-нології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2010. – №49. – 164с.
7. Сизый, Ю.А., Фесенко, А.В., Любимый, Ю.Н. Теплонапряженность процесса круглого прерывистого шлифования с охлаждением // Вісник Націо-нального технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2010. – №40. – С. 94-103.
8. Киселев, Е.С. Интенсификация процессов механической обработки использованием энергии ультразвукового поля.- Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 186 с.
9. Патент на корисну модель № 56635. Україна, МПК (2011) B24D 5/00. Збірний шліфувальний круг / Фесенко А.В., Любимий Ю.М.; заявник та власник патенту Нац. техн. ун-т «ХПИ». – № у 2010 07045; заявл. 07.06.2010; опубл. 25.01.2011, Бюл. №2.
10. Маслов, Е.Н. Теория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
11. Сизый, Ю.А., Фесенко, А.В., Любимый, Ю.Н., Кадыгроб, С.Н. Математическое моделирование динамики прерывистого шлифования // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Х.: НТУ «ХПИ». – 2010. – Вип. 24. – С. 40-49.
12. Фесенко, А.В., Любимый, Ю.Н. Повышение эффективности шлифования при активации и рациональном использовании СОЖ // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2010. – № 41. – С. 71-100.
13. Патент на корисну модель № 56655 Україна, МПК (2011) B24D 5/00. пристрій для підведення мастильно-охолоджуючої рідини / Фесенко А.В., Любимий Ю.М.; заявник та власник патенту Нац. техн. ун-т «ХПИ». – № у 2010 07262; заявл. 11.06.2010; опубл. 25.01.2011, Бюл. №2.

References:

1. Iakymov A.V. Prerivystoe shlyfovanye. K. Vyshcha shkola, 1986. 175 s.

2. Iakymov A.V., Parshakov N.A., Svyrshchev V.Y. y dr. Upravlenye protsessom shlyfovaniya. Kyev. Tekhnika, 1983. 182 s.
3. Iakymov A.V. Optymyzatsiya protsessa shlyfovaniya. M. Mashynostroenye, 1975. 175 s.
4. Novykov F.V. Yakymov A.A. K voprosu o sushchnosti prerivystoho shlyfovaniya. Visokye tekhnolohyy mashynostroeniya. Sbornyk nauchnykh tru-dov NTU «KhPY». Kharkov, 2001, Vip. 1 (4).
5. Syzii A.V., Fesenko Yu.N., Liubymii V.V., Sykarov Yu.A. Podacha SOZh cherez radyalnie kanali shlyfovalnogo kruha. Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut». Zbirnyk naukovykh prats. Tematychniy vypusk: Tekhnolohii v mashynobuduvanni. – Kh.: NTU «KhPI», 2010, Vyp. 25, 25-32.
6. Fesenko A.V., Liubymii Yu.N., Povishenye efektyvnosti shlyfovaniya pry hydrodynamycheskoi obrabotki SOZh. Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu "Kharkivskiy politekhnichnyi instytut". Zbirnyk naukovykh prats. Tematychniy vypusk: Tekhnolohii v mashynobuduvanni. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2010, №49, 164.
7. Syzii Yu.A., Fesenko A.V., Liubymii Yu.N. Teplonapriazhennost protsessa kruhloho prerivystoho shlyfovaniya s okhlazhdenyem. Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut». Zbirnyk naukovykh prats. Tematychniy vypusk: Tekhnolohii v mashynobuduvanni. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2010, 40, 94-103.
8. Kyselev E.S. Yntensyfykatsiya protsessov mekhanicheskoi obrabotky yspolzovanyem enerhyi ultrazvukovoho polia. Ulianovsk: UIHTU, 2003. 186.
9. Patent na korysnu model № 56635. Ukraina, MPK (2011) V24D 5/00. Zbirnyi shlifovalnyi kruh / Fesenko A.V., Liubymii Yu.M.; zaiavnyk ta vlasnyk patentu Nats. tekhn. un-t «KhPI». – № u 2010 07045; zaiavl. 07.06.2010; opubl. 25.01.2011, Biul. №2.
10. Maslov E.N. Teoryia shlyfovaniya materyalov. M. Mashynostroenye, 1974. 320.
11. Syzii Yu.A., Fesenko A.V., Liubymii Yu.N., Kadihrob S.N. Matematycheskoe modelyrovanye dynamyky prerivystoho shlyfovaniya. Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut». Zbirnyk naukovykh prats. Tematychniy vypusk: Tekhnolohii v mashynobuduvanni. – Kh.: NTU «KhPI», 2010, Vyp. 24, 40-49.
12. Fesenko A.V., Liubymii Yu.N. Povishenye efektyvnosti shlyfovaniya pry aktyvatsyy y ratsyonalnom yspolzovanny SOZh. Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut». Zbirnyk naukovykh prats. Tematychniy vypusk: Tekhnolohii v mashynobuduvanni. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2010, 41, 71-100.
13. Patent na korysnu model № 56655 Ukraina, MPK (2011) V24D 5/00. prystrii dlia pldvedennia mastylnno-okholodnzhuichoi ridyny/ Fesenko A.V., Liubymii Yu.M.; zaiavnyk ta vlasnyk patentu Nats. tekhn. un-t «KhPI». – № u 2010 07262; zaiavl. 11.06.2010; opubl. 25.01.2011, Biul. №2.

Надійшла до редакції 17.02.2021