

Обеспечение качества деталей машин и оборудования

Моделирование тепловых процессов при внутреннем шлифовании

В современном машиностроении возникает потребность в узлах подшипников способных работать при повышенных режимах и длительное время сохранять свои эксплуатационные свойства. Основными причинами возникновения дефектов при изготовлении подшипников качения являются температурные и силовые воздействия на обрабатываемую поверхность внутреннего кольца подшипника. Таким образом, оптимизация режимов обработки необходимо выполнять по температурно-силовым факторам. Для этого необходимы исследования баланса механической и тепловой энергии при резании.

Шлифование внутренней поверхности инструментом с радиально-подвижными сегментами отличается высокой интенсивностью съема металла и продолжительным контактом шлифовальных сегментов с обрабатываемой поверхностью является причиной образования повышенных температур и сил резания, приводящих к образованию остаточных напряжений и прижогов в поверхностном слое обрабатываемой поверхности. Анализ литературных источников показал, что в настоящий момент с точки зрения теплового баланса данный метод не достаточно изучен, а для предотвращения образования дефектов при резании на обрабатываемой поверхности применяют заниженные режимы обработки.

Для обеспечения бездефектной обработки при заданной производительности необходимо управлять энергетическими параметрами процесса обработки. Математическая постановка основного физического закона при абразивной обработке принимает форму баланса механической и тепловой энергии

$$P_z v_u = Q_{\partial} + Q_{сож} + Q_{стр} + Q_{инстр}$$

где:

P_z - тангенциальная составляющая силы шлифования,

v_u - окружная скорость инструмента

Q_{∂} - тепловой поток, направленный в деталь

$Q_{сож}$ - тепловой поток, направленный в охлаждающую жидкость

$Q_{стр}$ - тепловой поток, направленный в стружку

$Q_{инстр}$ - тепловой поток, направленный в шлифовальный сегмент инструмента

Применение численных методов а также компьютерного моделирования процесса шлифования позволяет в короткие сроки подобрать параметры обработки обеспечивающие получение требуемого качества поверхностного слоя заготовки при максимальной производительности. Рассмотрим пример моделирования процесса шлифования внутреннего кольца подшипника качения в программе Ansys. С целью упрощения модели приняты следующие допущения: форма абразивного зерна в виде параболического эллипса, равномерное (шахматное) расположение зерен на рабочей поверхности инструмента, одинаковые геометрические размеры и ориентация в пространстве зерен, а также одинаковая температура зерна равную температуре плавления обрабатываемого материала (1400°C). На основе расчета можно сделать вывод что доля тепла отводимая в инструмент по сравнению с классической схемой повысилась, несмотря на существенное (в разы) увеличение площади контакта по сравнению с классической схемой поверхностная температура заготовки не превышает температуру структурно-фазовых преобразований в материале. Результаты компьютерного моделирования подтверждаются экспериментальными исследованиями.

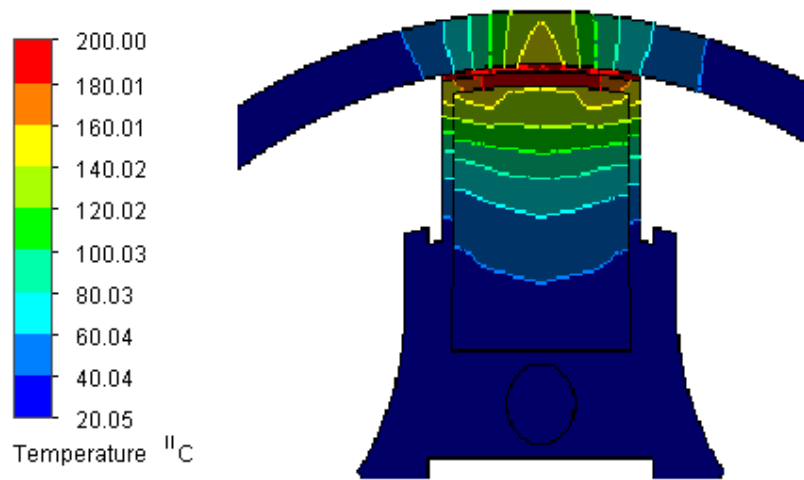


Рис. График распределения температуры в шлифовальном сегменте инструмента и заготовки

Характер изменения нагрузочного воздействия при обкатке двигателей

Одно из важнейших условий эффективной приработки материалов – убывание скорости роста нагрузочного воздействия [1]. При проведении приработки тяжело нагруженных сопряжений кривошипно-шатунного механизма, деталей цилиндропоршневой группы и газораспределительного механизма, обладающих высокой твердостью, снижение скорости роста нагрузочного воздействия может являться следствием разных факторов. Приработочные процессы при взаимодействии поверхностей в первую очередь зависят от способности материала к упругопластической деформации на микроконтакте, активируемой также дополнительным тепловым напряжением. Этот вид взаимодействий инициирует формирование дефектов субструктуры (вакансий и дислокаций) и повышение остаточных напряжений. Неравномерное распределение их по глубине при опасном росте давлений приводит к коагуляции дефектов, формированию микропустот, коалесценция которых путем роста или сдвига формирует подповерхностные параллельные трещины. Рост фактических пятен контакта, на которых реализуются весьма высокие давления, затрудняется по мере их роста при росте нагрузки в силу упрочнения поверхностного слоя. Это обуславливает увеличение степени разогрева поверхностных слоев до некоторой активной глубины. Суперпозиция полей высоких контактных давлений и температур приводит к значительной активации повреждаемости.

Возможность эффективного протекания адаптационных процессов обеспечивается необходимым и достаточным уровнем роста нагрузочного воздействия и температур, приводящим к необходимым изменениям фазового строения, полиморфным превращениям и образованию, таким образом, вторичных структур. Вторым критериальным условием должно быть поддержание необходимого диапазона активации поверхностей в процессе приработки, обеспечивающей формирование и поддержание достаточной интенсивности процессов приспособляемости.

Очевидно, что по мере роста нагрузочного воздействия и сужения эффективного диапазона активации поверхности, с точки зрения исключения повреждаемости, реализуемая на каждой ступени приработки часть запаса нагрузочной способности до заедания не должна возрастать. При этом поддержание необходимой интенсивности протекания адаптационных процессов предполагает постоянство реализуемой части запаса нагрузочной способности до заедания на каждой ступени.

Применительно к программам обкаточного нагружения тепловозных дизелей, являющихся чрезвычайно сложными трибосистемами, условие убывания скорости нагружения подтверждено рядом исследований, при разработке режимов обкатки дизелей типа М753 и 2Д100 [2]. Условие постоянства величины реализуемой части нагрузочной способности сопряжений проверено на натурных дизелях в процессе стендовой обкатки [2].

Для сопряжений тепловозных дизелей в силу их конструктивных особенностей характерно одновременное повышение нагрузки и скорости при постоянной внешней температуре. Сопряжения трения полностью обкатанного дизеля или, по крайней мере, одно из наиболее нагруженных сопряжений (КШМ, ЦПГ и ГРМ) на номинальной нагрузке работает при максимальном уровне реализуемой, в данных условиях трения, нагрузочной способности. В этом случае, внешняя характеристика дизеля, являющаяся совокупностью предельных режимов его работы, может быть представлена как некая граница «заедания» его материалов сопряжений. Диапазон нагрузок между внешней характеристикой и режимом обкатки, таким образом, может рассматриваться как запас нагрузочной способности сопряжений до заедания. Прирост нагрузки после приработки на предыдущей ступени является частью этого запаса. Величина реализуемой части нагрузочной способности сопряжений дизеля k на i -той ступени обкатки запишется следующим образом:

$$k = \frac{\Delta N_i}{[\Delta N_i]}$$

где ΔN_i – прирост нагрузочного воздействия на i -той ступени обкатки

$$\Delta N_i = N_{i+1} - N_i,$$

где N_i – нагрузка на i -той ступени обкатки;

N_{i+1} – нагрузка на $i+1$ -ой ступени обкатки

$$[\Delta N_i] = N_i^{BH} - N_i,$$

где N_i^{BH} – предельное значение нагрузки, определяемой, например, внешней характеристикой дизеля при данной скорости вращения коленчатого вала;

$[\Delta N_i]$ – запас нагрузочной способности сопряжения дизеля до заедания.

Для уточнения характера изменения k в процессе приработки проведен анализ совершенствования параметров обкаточного нагружения режимов испытаний тепловозных дизелей [2].

Литература

1. Основы трибологии. / Под ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Центр “Наука и техника”. 1995. - С. 481-501
2. Волченков, А.В., Буше Н.А. Улучшенные режимы обкатки дизелей / А.В. Волченков, Н.А. Буше // Железнодорожный транспорт. 1987. №7. – С. 53 - 57

Модернизация конструкции пресса для производства строительных материалов

Комплекс оборудования производства кирпича включает глинорыхлитель, ящичный питатель, смесители, вальцы, бегуны, глинорастиратель, глинозапасник, формовочный шнековый пресс, автомат резки, сушильные камеры и печь обжига. Наиболее ответственным и интенсивно работающим звеном в технологической цепочке производства кирпича является шнековый вакуумный пресс.

Наиболее уязвимыми деталями конструкции являются лопатки и шнековые валы смесителя, лопатки конусной части основного шнекового вала пресса. В ходе работы пресса зазор между кромкой лопасти шнека и рубашкой цилиндра растет, что приводит к снижению производительности и плотности формируемого глиняного бруса и, в конечном итоге, остановке процесса производства. При изнашивании кромки лопасти шнека и рубашки цилиндра возникает «перетекание» глиняной массы под действием градиента давлений через кромку лопастей в обратном основному потоку керамической массы направлении. Этот «поток утечки» будет тем больше, чем шире зазор между кромкой лопастей и поверхностью цилиндра. Ремонт съемных лопастей шнека осуществляется путем наращивания как периферийной кромки, так и самой плоскости лопасти износостойкими наплавочными материалами. Данная методика была предложена Новомосковскому заводу керамических материалов (НЗКМ), так как эти работы по восстановлению на заводе не производятся, а выполняются подрядной организацией в г. Саратове.

На лабораторной базе были выполнены работы по восстановлению быстроизнашивающихся деталей пресса и экспресс - исследования их износостойкости на установке абразивного трения. Механическая мастерская НЗКМ уже располагает оборудованием для выполнения наплавочных работ, а для газопламенного напыления достаточно иметь специальные горелки и порошковые материалы, обеспечивающие высокую твердость и подготовленный обслуживающий персонал.

В качестве мер по модернизации конструкции было предложено оснастить цилиндр механизмом регулирования зазора между кромками лопастей шнека и поверхностью цилиндра (рис. 1) путем установки съемных регулировочных секций, установленных в пределах одного сечения цилиндра, перемещение башмаков 8 которых осуществляется снаружи двумя шпильками 5 (резьбовыми регуляторами) без остановки оборудования.

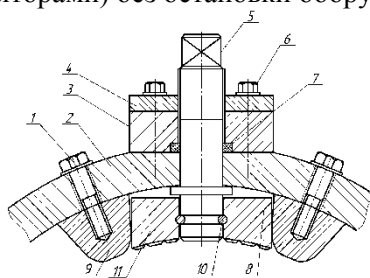


Рис. 1. Узел регулирования секции

Общее перемещение одной секции составляет примерно 30 мм. Зазор между лопастью шнека и секцией составляет примерно 2 мм. Перемещение шпильки заподлицо со сбегом резьбы шпилькой 5 служит сигналом для проведения восстановительного ремонта лопасти.

Авторами разработан наиболее приемлемый для реализации силами ремонтного персонала НЗКМ вариант маршрута технологического процесса модернизации цилиндра пресса с целью изготовления, сборки и установки регулировочных секций на эксплуатируемый пресс. Предложенная методика ремонта и модернизации пресса одобрена на научно-техническом совещании предприятия и требует тщательной технологической проработки и технико-экономического обоснования для ее внедрения на НЗКМ.

Обоснование применения зубчато-реечных передач для повышения эффективности использования шахтных электровозов

В настоящее время развитие транспортных систем для перевозки полезных ископаемых, добываемых подземным способом, приобретает первостепенное значение, так как позволяет значительно интенсифицировать производственный процесс. При этом основную роль играют рудничные электровозы постоянного тока аккумуляторного и контактного типа, которые перевозят до 94% всего грузооборота шахт и рудников на расстояние от 5 до 10 км при радиусе кривых поворота от 10 до 30 м.

Вопросам повышения тягово-скоростных шахтных характеристик электровозов уделено значительное внимание в трудах учёных Московского государственного горного университета, Днепропетровского горного института, Донецкого национального технического университета, Рейнско-Вестфальской высшей технической школы и других организаций. Однако, основное внимание в этих работах уделено повышению тягово-скоростных характеристик электровозов за счёт совершенствования электропривода электровозов.

Работа электровоза в подземных условиях усложняется за счёт наличия грязевых плёнок на рельсах, что резко снижает коэффициент сопротивления движению; колебаний напряжения в тяговой сети, что также негативно сказывается на эффективности работы электровозного транспорта.

Одним из перспективных направлений повышения тяговых характеристик электровозов и расширения их применения на увеличенные углы наклона выработок является использование зубчато-реечных передач, обладающих рядом достоинств [1].

Обоснование эффективности применения зубчато-реечных передач выполнено на примере электровоза К14М, имеющего следующие основные характеристики: масса - 14300 кг; тяговое усилие – 27000 Н; скорость – 3,1 м/с; суммарная мощность электродвигателей постоянного тока с последовательным возбуждением – 2*45 кВт; частота вращения электродвигателя – 1320 об/мин; к.п.д. электродвигателя – 88,5%.

Привод шахтного электровоза состоит из электродвигателя 1, муфты 2, коноцилиндрического редуктора 3 и колёсной пары, взаимодействующей с рельсами 4. Для применения зубчато-реечных передач предлагается установить на выходном валу редуктора дополнительные зубчатые колёса 5, которые передают крутящий момент приводному зубчатому колесу 6, взаимодействующему с зубчатой или цевочной рейкой (рис.4) жёстко закреплённой вдоль продольной оси рельсового пути.

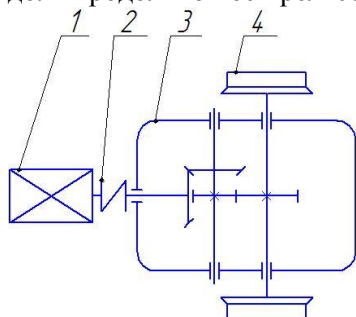


Рис. 1. Стандартный приводной редуктор шахтного электровоза

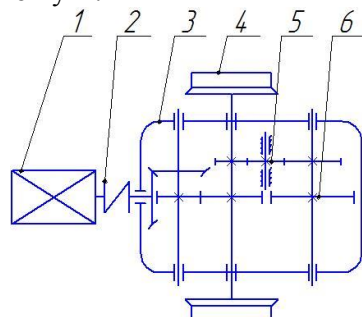


Рис. 2. Модернизируемый приводной редуктор шахтного электровоза

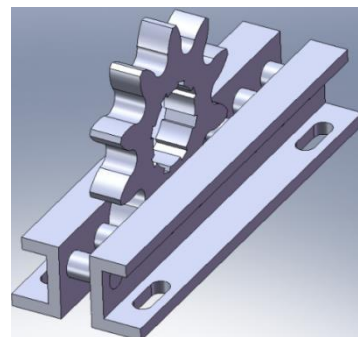


Рис.3. Конструктивный вариант зубчато-реечной передачи для перемещения шахтного электровоза

Для обоснования эффективности применения зубчато-реечных передач составим уравнение движения электровоза, основываясь на законе сохранения энергии. При этом рассмотрим наиболее тяжёлый случай, когда электровоз движется вверх по наклонной выработке. В соответствии с теоремой об изменении кинетической энергии системы, электровозу при движении вверх по наклонной выработке необходимо обладать кинетической энергией: $mv^2/2$; при этом он должен преодолеть работу скатывающей составляющей силы тяжести: $m_1gS\sin\alpha$, а также работу силы трения: $f m_1gS\cos\alpha$. Энергия вращающихся частей электровоза (ротор электродвигателя и зубчатые колёса редуктора) может быть отнесена к внутренним факторам, которые не влияют на состояние механической системы.

Оснащение электровоза зубчато-реечной системой подачи при работе на уклонах приводит к появлению дополнительного источника, способствующего перемещению вверх по наклонной выработке. Совершаемая работа, при этом, может быть определена по зависимости: $F_{\text{под}}S$. При этом, усилие подачи (расчётная схема представлена на рис. 5) может быть определено по зависимости:

$$F_{\text{под}} = \frac{M_2 \cos(\varphi_{mp} \mp \alpha)}{r_m + (r_{\text{ун}2} \cos \theta + r_{\text{н}2} \cos \alpha) \cos(\varphi_{mp} \mp \alpha) + (\mp p_p \pm x_0 \pm (y_0 + h - r_{\text{ун}2} \cos \theta - r_{\text{н}2} \cos \alpha) \text{tg} \alpha) \sin(\varphi_{mp} \mp \alpha)} \quad (1)$$

Таким образом, уравнение имеет вид:

$$\frac{mv^2}{2} + F_{\text{под}}S = m_1gS\sin\alpha + f m_1gS\cos\alpha \quad (2)$$

где: α – угол наклона выработки, град; S – перемещение электровоза, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; $v = r \cdot ((U - IR)/k\Phi)$ – скорость движения электровоза, м/с; U – приложенное к якорю напряжение, В; I – ток в якорной цепи, А; R – сопротивление якорной цепи (обмотки якоря, дополнительных полюсов, компенсационной обмотки), Ом; k – коэффициент, зависящий от конструктивных данных двигателя, Φ – магнитный поток; r – радиус качения колеса по рельсам, м; m – масса электровоза, кг; m_1 – масса транспортируемого состава, кг; f – коэффициент сопротивления движению, зависимость которого от скорости представлена на рис. 4.

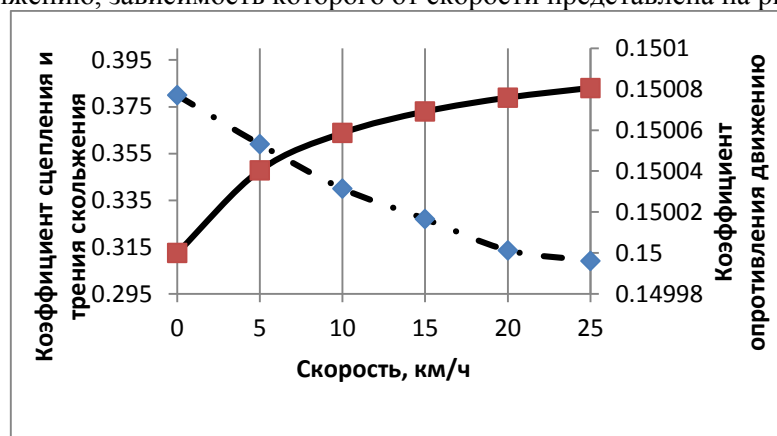
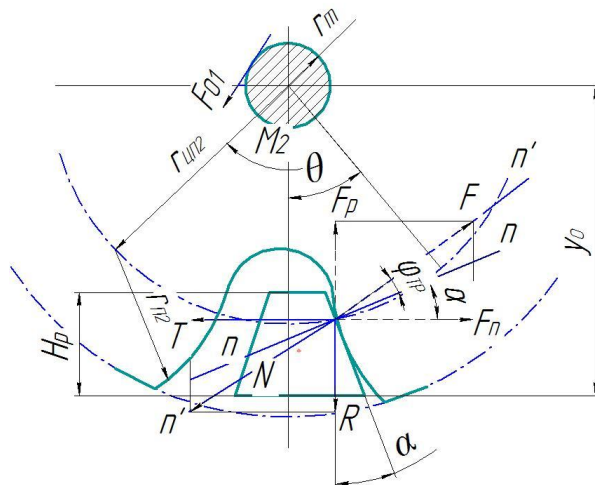


Рис. 4. Зависимость коэффициента сопротивления движению (сплошная кривая) и коэффициента сцепления и трения скольжения (штрихпунктирная кривая) от скорости перемещения электровоза



На рисунке 5: H_p – высота зуба рейки; M_2 – крутящий момент на приводном зубчатом колесе; y_0 – координата центра колеса; r_{m2} – радиус профиля зуба колеса; r_{m2} – радиус окружности, на которой расположены центры профилей зубьев; $\varphi_{тр}$ – угол трения; θ – угол входа в зацепление; F_p – радиальное усилие в зацеплении; F_n – усилие подачи; r_m – радиус круга трения; α – угол зацепления

Рис. 5. Расчётная схема для определения усилия подачи зубчато-реечного движителя шахтного электровоза.

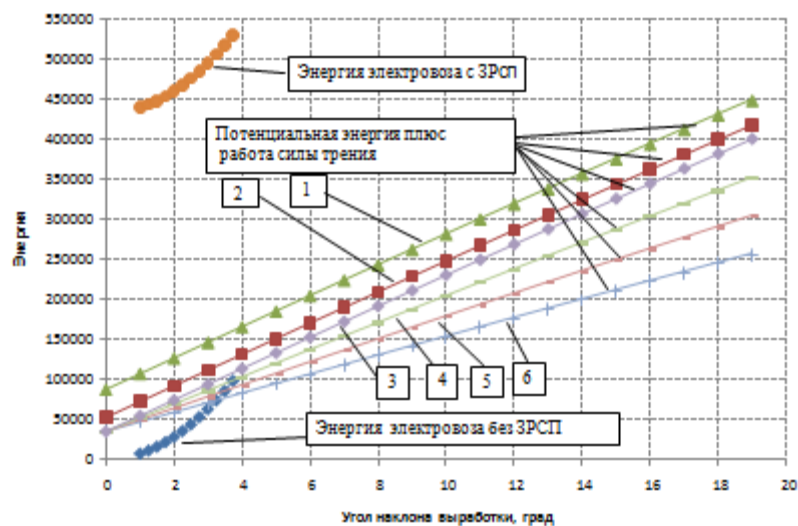


Рис. 6. Зависимость полезной энергии и работы сил сопротивления при перемещении электровоза от угла наклона выработки

Анализируя представленные на рис. 6 зависимости, можно отметить, что при традиционном исполнении (взаимодействие с рельсами колёс без применения дополнительных зубчатых передач) шахтный электровоз, разогнавшись до скорости 3,25 м/с, может подняться лишь по выработке с углом наклона 3,7 градуса. При этом никакого полезного груза электровоз перевезти не может. Между тем, применение зубчато-реечной передачи создаёт дополнительный источник, совершающий положительную работу. При этом энергия, которой будет обладать электровоз, значительно превосходит работу сил производственного сопротивления и позволяет переместить груз массой 23000 кг по выработке с углом наклона 19 градусов при коэффициенте сопротивления движению 0,05 на расстояние 15 м.

В шахтных выработках часто встречаются повороты. В связи с этим необходимо обеспечить постоянство шага зацепления на стыках реек, а, следовательно, угол между соседними секциями не должен превышать допустимой величины [5]. На величину этого угла (рис. 7) основное влияние оказывают радиус поворота выработки и длина рейки, которые связаны между собой зависимостью:

$$2\varphi = 180^\circ - \arccos\left(1 - \frac{l^2}{2R^2}\right) \quad (3)$$

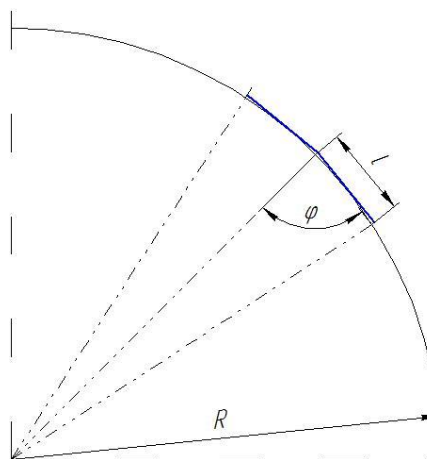


Рис.7. Расчётная схема к определению длины рейки в зависимости от радиуса поворота выработки

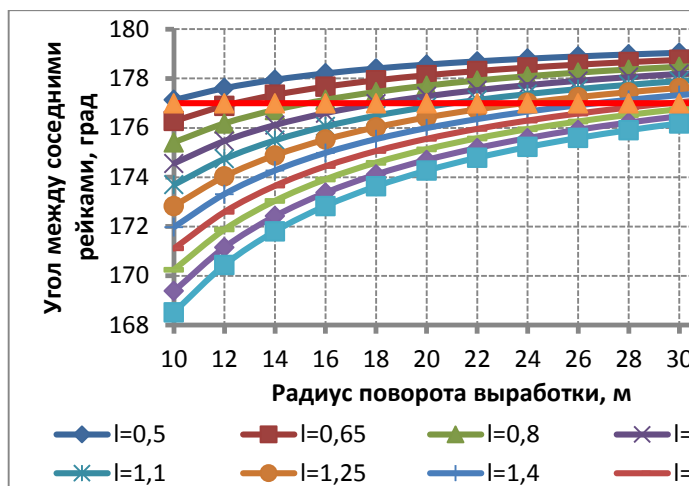


Рис. 8. Зависимость угла между соседними рейками от радиуса поворота выработки

Анализ зависимости угла поворота между соседними рейками от радиуса поворота выработки показывает, что рейки целесообразно изготавливать не длиннее 1 метра; при этом минимально допустимый радиус поворота выработки составляет 18 м.

Проведённые аналитические исследования позволяют сделать вывод, что расширения области применения шахтных электровозов в выработках с углами наклона до 19 градусов можно добиться за счёт применения зубчато-реечных передач.

Литература

1. Тарасов Ю.Д., Николаев А.К. Горно-транспортные машины периодического действия. Учебное пособие. – Санкт-Петербург, 2005. – 115 с.
2. Павлийчук А.В. Обоснование параметров шахтных локомотивов для тяжелых профилей и влажных рельсовых путей. Автореферат магистерской диссертации. ДонНТУ,
3. Проектирование и конструирование транспортных машин и комплексов: Учеб. для вузов / Под ред. И. Г. Штокмана. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1986. – 392 с.
4. Гордиенко П.И. Новое представление об образовании силы тяги и коэффициенте сцепления электроподвижного состава. <http://www.css-mps.ru/zdm/06-2001/01046-1.htm>
5. Современная наука: актуальные проблемы и перспективы развития. Книга 3 / под ред. проф. И.Б. Красиной – Ставрополь: Логос, 2013. – 180 с.
6. Пухов Ю.С. Рудничный транспорт. 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва, «Недра», 1991. – 255 с

Исследование рационального соотношения энергетических параметров статико-импульсного деформационного протягивания

Одним из наиболее эффективных способов упрочнения деталей машин является поверхностное пластическое деформирование (ППД). Обработка ППД позволяет обеспечить поверхностный слой заданной глубины с необходимой твердостью. При этом энергоёмкость обработки ППД ниже по сравнению с другими способами упрочнения и, как правило, не требует применения сложного технологического оборудования [1]. Для деталей требующих большей глубины упрочнения широкое применение получили ударные способы ППД, которые позволяют воздействовать на упрочняемый материал при меньших энергозатратах.

Проведенными ранее исследованиями установлено, что при упрочнении тяжело нагруженных поверхностей деталей машин, хорошо зарекомендовала себя статико-импульсная обработка (СИО), отличающаяся способом подвода энергии ударных импульсов в очаг деформации [2]. Энергия ударных импульсов (*A*, *Дж*) генерируется бойком, который ударяет по волноводу с деформирующим инструментом. Чтобы более полно передавать энергию удара в очаг деформации необходимо создавать неразрывный контакт между волноводом с инструментом и упрочняемой поверхностью детали в процессе всей обработки. Это обеспечивается его статическим поджатием с некоторой статической нагрузкой. В результате происходит рекуперация отраженных волн деформации, возникающих при ударе, позволяющая пролонгировать ударное воздействие и увеличивать передачу энергии удара в упрочняемый материал [3]. Так при ударе непосредственно бойком передача энергии удара составила 26%, а при ударе таким же бойком через предварительно статически нагруженный волновод достигала 50%.

В результате исследований влияния статической нагрузки на процесс передачи энергии ударных импульсов при СИО для плоских поверхностей, было установлено, что сила статического нагружения волновода должна быть не менее 0,1 от импульсной нагрузки [3]. Исследования такого соотношения для других форм поверхностей при СИО ранее не проводились.

Авторами предложен новый способ упрочнения отверстий, диаметром до 150 мм – СИО деформационным протягиванием, который позволяет получать глубину упрочнения до 6 мм и более. За основу взят способ ППД – объёмное деформационное протягивание (дорнование), которое осуществляется только под действием статической нагрузки и позволяет получать глубину упрочненного слоя не более 1...2 мм. При статико-импульсном деформационном протягивании инструмент, которым является деформирующая протяжка, проходит вдоль упрочняемого отверстия под действием тянущей комбинированной статической и ударной нагрузки. Особенностью способа является повышенная точность обработки, т.к. на инструменте не возникает изгибающего момента. По аналогии с классическим деформационным протягиванием основными параметрами СИО при упрочнении внутренних цилиндрических поверхностей являются натяг (разность диаметров инструмента и отверстия до обработки), толщина стенки упрочняемой детали, конструкция, форма и размеры инструмента. Для наиболее эффективного использования нового способа необходимо установить, силу статического поджатия волновода с инструментом к упрочняемой поверхности, сдерживающую отскок инструмента после удара и увеличивающую передачу энергии.

Для этого были проведены теоретико-экспериментальные исследования, которые основывались на положениях классической механики, в том числе теории колебаний. При СИО возникают затухающие колебания, характер которых будет зависеть от комплексного параметра *r*, определяющего сопротивление технологической системы ударным нагрузкам, который будет зависеть от жесткости (*c*, *кН/мм*) колеблющейся технологической системы, энергии ударных

импульсов и статической силы. Определение r возможно только экспериментально, и его значения будут изменяться в зависимости от условий нагружения.

Для проведения исследований разработан экспериментальный стенд. При этом впервые для процесса СИО было учтено влияние жесткости технологической системы, регулирование которой предусмотрено конструкцией стенда. Энергия удара изменялась посредством выбора высоты падения бойка и его массы. Статическая сила регулировалась специальным механизмом, основанным на принципе протягивания троса через систему полиспастов с определенной нагрузкой. Этот механизм спроектирован таким образом, что выполняет также отцентровку инструмента относительно заготовки и тем самым обеспечивает дополнительную точность обработки. При действии $P_{ст}$ инструмент плотно поджимался к торцу заготовки. Он имел значительно больший диаметр, чем заготовка, поэтому упрочнение не выполнялось, тем самым было исключено влияние на обеспечение неразрывного контакта всех параметров деформационного протягивания СИО кроме A , $P_{см}$ и жесткости технологической системы. Для регистрации перемещений инструмента при его статическом поджатии к заготовке и после ударного импульса использовался триангуляционный лазерный датчик, закрепленный независимо от стенда. Сигналы с датчика поступали на персональный компьютер, где обрабатывались в виде зависимостей перемещения инструмента по времени, после удара.

Параметры эксперимента при этом регулировались в диапазоне: $A = 2,5 \dots 30$ Дж; $P_{см} = 1,5 \dots 7,5$ кН; $C = 10 \dots 100$ кН/мм. Диапазон, величин жесткости, выбран таким образом, что охватывает основные характеристики, возможного в реальном производстве оборудования, без введения дополнительного запаса по прочности, которое может отразиться на размерах, и как следствие стоимости оборудования.

В результате экспериментального исследования установлено:

- значения r находятся в диапазоне: от 50 до 2500 кг/с.
- при жесткости технологической системы, на которой базируется обрабатываемая деталь при СИО деформационным протягиванием $c = 10 \dots 25$ кН/мм, большая часть энергии ударных импульсов затрачивается на упругую деформацию самой системы.
- при $c = 60 \dots 100$ кН/мм в тех же условиях, под действием энергии ударных импульсов, резко возрастают силы стремящиеся разорвать контакт инструмента с нагружаемой поверхностью.
- рекомендуемый рабочий диапазон составляет: $c = 25-60$ кН/мм.
- соответственно при $c = 25-60$ кН/мм, и $A = 7,5$ Дж, необходимое, для создания неразрывного контакта инструмента и обрабатываемой поверхности значение статической нагрузки находится в диапазоне $P_{см} = 3 \dots 4$ кН, при $A = 15$ Дж, $P_{см} = 4 \dots 5$ кН, при $A = 22$ Дж, $P_{см} = 5 \dots 6$ кН.

Результаты проведенных исследований дают возможность назначить величину $P_{см}$, позволяющую наиболее полно реализовать энергию ударного импульса на пластическую деформацию упрочняемого материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках инновационного проекта по программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса-2013»

Литература

1. Киричек А.В., Соловьев Д.Л. Повышение эффективности деформационного упрочнения внутренних цилиндрических поверхностей нагружением пролонгированными ударными импульсами // Известия ОрелГТУ. Машиностроение. Приборостроение. 2007. №1. – С. 45-49.
2. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Медведев М.Н. Волновые, виброволновые технологии в машиностроении, металлообработке и других отраслях: сборник трудов международного научного симпозиума технологов-машиностроителей и механиков (Ростов-на-Дону, 7 – 10 октября 2014 г.). – Ростов н/Д: ДГТУ, 2014. – 397с. ISBN 978-5-7890-0962-8 – С. 18-22
3. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Лазуткин А.Г. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием: Библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2004. – 288с.; ил.

Интенсификация охлаждения мотор-шпинделя при аксиальной вентиляции

Современным приводом главного движения является мотор-шпиндель (МШ), представляющий собой шпиндельную бабку со встроенным асинхронным электродвигателем, ротор которого установлен непосредственно на шпинделе. Наличие в корпусе шпиндельной бабки дополнительных источников тепловыделения (ротора и статора) увеличивает теплонапряженность шпиндельного узла (ШУ), и значительные температурные деформации (ТД), непосредственно влияющие на положение оси шпинделя. Одним из способов охлаждения узла является аксиальная вентиляция воздухом, продуваемым через внутренние полости шпиндельного узла. Осевые вентиляторы, встроенные в заднюю стенку корпуса забирают тепло от корпуса и из внутренних полостей (через зазор между ротором и статором). Внутренний контур охлаждения ввиду малости проходного сечения зазора и больших аэродинамических сопротивлений незначительно снижает нагрев стенок корпуса статора, температура шпиндельных опор (ШО) при этом не изменяется.

Одним из путей интенсификации охлаждения во внутренних полостях МШ является выполнение аксиальных каналов в сердечнике ротора. Данные каналы позволяют: увеличить расход воздуха, продуваемого через внутренний контур, при той же производительности вентиляционного узла; увеличить площадь теплоотдающих поверхностей в сердечнике ротора. Известно, что вращение ротора увеличивает теплоотдачу в каналах, так как центробежное ускорение во много раз превышает ускорение силы тяжести. Следовательно, свободная конвекция во вращающемся канале будет интенсивнее по сравнению с конвекцией, имеющей место в неподвижном канале. Движение охлаждающего воздуха, если оно турбулентно, увеличивает теплоотдачу в диапазоне соотношений расходной v и окружной ω скоростей $0 \leq \omega / v \leq 2,5$ при $Re = (1 \dots 4.8) 10^4$ [1].

Теплоотдача поверхностей каналов оценивается известными формулами [1], влияние частоты вращения на коэффициент теплоотдачи оценивается коэффициентом сопротивления вращающегося канала

$$\xi = 1 - 0.037(\omega / v)^{2.77}.$$

Данный коэффициент сопротивления существенно увеличивается с ростом частоты вращения. Следовательно, теплоотдача поверхностей каналов резко снижается, движение воздуха во внутреннем канале прекращается. Использование более мощных вентиляторов нецелесообразно, т.к. увеличиваются вентиляционные потери.

Моделирование температурного поля МШ показало, что вентиляционные каналы выполненные в роторе снижают температуру и ТД шпинделя только в области частот вращения от минимальной до 2000 об/мин [2].

Для МШ250 с высотой оси вращения равной 250 мм и выходной мощностью на шпинделе 18.5 кВт теплоотвод через аксиальные каналы уменьшает температуру шпинделя под ротором на 30%, температуру в передней опоре на 23% на номинальной частоте вращения равной 750 об/мин.

При аксиальной системе вентиляции осевое смещение шпинделя МШ250 на максимальной частоте вращения составляет $\Delta z = 32$ мкм (вдоль оси вращения); смещение шпинделя в вертикальной плоскости $\Delta y = 56$ мкм. Теплосимметричная конструкция МШ относительно осевой вертикальной плоскости не вызывает смещений шпинделя в горизонтальной плоскости. Для углового поворота характерно изменение направление с увеличением частоты вращения шпинделя. Это вызвано перераспределением влияния тепловыделений в статоре и подшипниках на формирование температурного поля стенок, несущих подшипники. Температурные деформации стенок формируют смещения шпинделя. Несимметричное расположение статора между радиальными стенками, несущими опоры ШУ, приводит к неравному теплоотводу от статора в опоры и стенки корпуса. На больших частотах вращения больший теплоотвод в заднюю

радиальную стенку обеспечивает частичное выравнивание температурного поля. Температурное поле передней стенки в основном формируется тепловыделением в подшипниках.

Снижение влияния тепловыделения в роторе на нагрев ШО узла, а также уменьшение нагрева стенок корпуса статора, вследствие увеличения расхода воздуха во внутреннем контуре, уменьшает температурные деформации МШ250. Угловое смещение шпинделя на номинальной частоте вращения уменьшается на 18%.

Выполнение аксиальных каналов в сердечнике ротора исчерпывают возможности конструктивного увеличения теплоотвода из внутренних полостей МШ. Для снижения ТД необходимо увеличивать теплоотвод от статора и от шпиндельных опор узла, являющихся наиболее значимыми источниками тепловыделения в приводе.

Литература

1 Борисенко А.И. и др. Охлаждение промышленных электрических машин. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 296с.

2 Анализ теплового состояния мотор-шпинделя. // Современные проблемы науки и образования №3, Российская академия естествознания, Научный электронный журнал, Москва 2013.

**Исследование процесса абразивного изнашивания поверхности катания
сердечника крестовины стрелочного перевода упрочненного методом поверхностного
пластического деформирования**

Сердечник крестовины стрелочного перевода - высоконагруженная дорогостоящая деталь с ограниченным ресурсом, работающая в сложных условиях трения – присутствуют практически все виды трения, включая абразивный и контактно-усталостный. Износ поверхности катания сердечника неравномерный и концентрируется в зоне перекатывания с усовика на сердечник и обратно, достигая 12 мм. износ – причина изъятия до 80% сердечников. Кроме трения качения всегда присутствует проскальзывание. Срок службы стрелочного перевода определяется по критическому износу главных элементов. Наименьшим сроком службы среди деталей стрелочного перевода обладают жесткие желобчатые крестовины (срок службы в 2-3 раза меньше срока службы остальных деталей стрелки). Именно крестовины такой конструкции наиболее часто используются на железной дороге. Увеличение срока службы позволит сократить эксплуатационные затраты и затраты на перекадку.

Поскольку самым распространенным материалом для стрелочного перевода является высокомарганцовистая сталь 110Г13Л, склонная к деформационному упрочнению, то для повышения срока службы целесообразно использовать метод упрочнения поверхностным пластическим деформированием (ППД) – статико-импульсную обработку (СИО). В результате обработки наиболее изнашиваемой части сердечника получен упрочненный слой глубиной 8-12, максимальное увеличение твердости составило 200%. Достоинством СИО является плавный переход твердости от поверхности к неупрочненной сердцеvine.

Для исследования влияния упрочнения на долговечность сердечников нецелесообразно проводить эксплуатационные испытания ввиду их значительной длительности (от 1,5-2-х лет). Поэтому исследования изнашивания предлагается провести на машине трения. Призматический образец вырезается либо с упрочненной поверхности сердечника, либо из упрочненных образцов изготовленной из того же материала – высокомарганцовистой стали 110Г13Л. Контртело – диск допускается изготавливать из конструкционной стали 45, прошедшей закалку. Образец прижимается к диску с определенной силой, которая фиксируется в ходе проведения эксперимента. Так же фиксируется сила трения и ее изменение в процессе приработки и изнашивания. Все испытания проводятся для одинакового пути скольжения. После испытания износ образца определяется по изменению массы образца. В зону контакта образца и диска подается взвесь абразива в воде.

Особенностью абразивного изнашивания считается:

1 - исходная шероховатость поверхностей трения незначительно влияет на величину износа, поскольку процесс приработки занимает сравнительно мало времени;

2- Износ рабочих поверхностей зависит от твердости абразива, размера частиц и интенсивности подачи абразива.

В зоне контакта колеса и поверхности катания присутствуют абразивные частицы различного происхождения обусловленные местом установки крестовины (песок, глина, продукты разрушения материала железнодорожной насыпи), а так же частицы материалов, перевозимых в вагонах (ржавчина, уголь, руда, горные породы, строительные материалы и прочее). Таким образом невозможно учесть все многообразие абразивных частиц, их твердость, форму и размер. Для исследования целесообразно выбрать абразив со средними характеристиками и однородными свойствами. Кроме того значительное время сердечник работает в присутствии атмосферных осадков, количество которых зависит от места установки. Для упрощения эксперимента предлагается исключить «сухое трение».

В результате эксперимента будут получены технологические режимы СИО ППД обеспечивающие максимальную износостойкость в режиме абразивного изнашивания.

Оценка прирабатываемости материалов для узлов трения машин

Одной из основных причин, приводящих к постепенным эксплуатационным отказам изделий, является изнашивание их элементов при внешнем трении. Среди проблем повышения общей износостойкости элементов машин большое значение имеют вопросы оптимизации режимов их приработки при вводе изделий в эксплуатацию. Приработка узлов трения, протекающая на заключительном этапе технологического процесса изготовления (при обкатке на заводе-изготовителе) или на первом этапе эксплуатации, в значительной степени определяет долговечность машины. Проведение приработки на оптимальных режимах обеспечивает наиболее быстрый ввод изделия в эксплуатацию, повышает производительность труда и эффективность использования изделия.

Сокращение продолжительности приработки кроме совершенствования ее технологии обеспечивается также конструктивными факторами и в первую очередь подбором материалов, обладающих заданными характеристиками прирабатываемости. В настоящее время отсутствуют единые общепринятые методы оценки прирабатываемости, являющейся одной из наиболее важных трибологических характеристик антифрикционных материалов. Отсутствуют и единые критерии оценки прирабатываемости. Это приводит к тому, что при конструировании машин фактор прирабатываемости материалов в узлах трения не учитывается. Разработка научно-обоснованных методов объективной оценки прирабатываемости машиностроительных материалов позволит управлять этой характеристикой уже на стадии проектирования. Унификация и стандартизация этих методов повысит сравнительную ценность и межлабораторную сопоставимость результатов испытаний различных материалов.

Прирабатываемость является комплексной характеристикой, которая может быть описана рядом критериев, относящихся к различным свойствам и сторонам этого процесса. Оптимизация при приработке может оценена ее продолжительностью, величиной приработочного износа, интенсивностью изнашивания приработанного узла и др.. Качественные и количественные характеристики протекания приработки определяются рядом параметров начального качества материала (макро- и микрогеометрии, физико-химических свойств и др.), а также зависит от того, как реагирует материал на изменение внешнего нагрузочного воздействия. В большой степени прирабатываемость материалов связана с их антизадирными свойствами.

Обеспечение качества тяжело нагруженных деталей тонким точением резцами из СТМ

В настоящее время в промышленности используется большое количество деталей, которые работают в особо тяжелых условиях. Примером таких деталей могут служить ролики резьбонакатных головок. Особенно тяжелые условия при накатывании термообработанных заготовок. Основным недостатком, сдерживающим такую технологию, является низкая стойкость резьбонакатных роликов. При твердости заготовок свыше HRC 32, ролики из быстрорежущих сталей начинают выкрашиваться после первых проходов.

По существующей технологии ролики формируют шлифованием полного профиля эльборовыми кругами на термообработанных заготовках. В результате поверхностный слой содержит большое количество дефектов - микротрещин, прижогов, обусловленных характером обработки. В большинстве случаев технология шлифования закругляется, режимы ужесточаются, что соответственно приводит к увеличению дефектного слоя.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований предложено два варианта технологического процесса формообразования резьбонакатных роликов.

Первый вариант. Точение роликов резцами со специальными пластинами, состоящими из поликристаллических алмазов или кубического нитрида бора и твердосплавной подложки, обладающей высокой прочностью и жесткостью. Обработка осуществлялась за два прохода (черновой и чистовой) на токарно-винторезном станке повышенной точности с ЧПУ.

Второй вариант. Точение роликов резцами со специальными многослойными пластинами поликристаллических алмазов или кубического нитрида бора с последующей правкой профиля ролика на выхаживающих операциях резьбошлифования эльборовыми кругами.

Применение такой технологии позволяет повысить производительность обработки: по первому варианту в 3...4 раза, по второму варианту в 1,5...2 раза. Кроме того, глубина дефектного слоя после тонкого точения значительно меньше. Значительно снижается количество шлифовочных микротрещин и прижогов при первом способе обработки, и полностью исключаются при втором способе. Это является следствием улучшения условий отвода тепла при резании. Микрорельеф боковой поверхности витков резьбы при втором способе обработки более благоприятен для высоких контактных нагрузок.

Применение специальной смазочно-охлаждающей жидкости при изготовлении и эксплуатации резьбонакатных роликов позволяет дополнительно повысить их стойкость и качество обработанных деталей.

Стойкость резьбонакатных роликов, обработанных по первому варианту, увеличивается до 3...4 раз при обработке нетермообработанных заготовок. При твердости заготовок свыше HRC 32 – до 1,5...2 раз. Для роликов, обработанных по второму варианту – в 5...6 и в 3...4 раза соответственно.

Для обработки заготовок из закаленной стали ($HRC > 45$) рекомендуются синтетические сверхтвердые материалы из микропорошков кубического нитрида бора – композиты марок 01 (эльбор-Р), 05, 10 (гексанит-Р) и 10Д (двухслойные пластины с рабочим слоем из гексанита-Р). Размерный износ инструмента составляет 5...7 мкм на 1000 м пути резания.

Используют также монокристалльные резцы из природных или синтетических поликристаллических алмазов АСБ (баллас) или АСПК (карбонадо). Период стойкости таких резцов еще больше.

Обеспечение физико-механических показателей качества поверхностного слоя при шлифовании

Показатели качества поверхностей деталей разделяют на две группы – геометрические и физико-механические. Каждую из этих групп делят на несколько подгрупп: геометрические (спектры неровностей) – на неровности с различными шагами, шероховатость, волнистость, отклонения формы; физико-механические – на прижоги, микротрещины, микроструктуру, внутренние напряжения и микротвердость.

Трещины на деталях при шлифовании почти всегда сопровождаются появлением локальных изменений структуры поверхностного слоя металла деталей (прижогами), образующиеся в зоне резания при шлифовании в результате возникновения высоких мгновенных температур (порядка 400 - 1500°C) и сопровождающиеся изменением цвета участков поверхности обработанных деталей.

Причины появления прижогов могут быть следующие [1]:

- завышенный режим шлифования, развивающий чрезмерно высокую нагрузку зерен шлифовального круга на обрабатываемый металл и интенсивный его нагрев;
- неправильно выбранный (слишком твердый) шлифовальный круг, также развивающий чрезмерно высокую нагрузку абразивных зерен на обрабатываемый металл;
- сильное затупление рабочей поверхности шлифовального круга металлической стружкой;
- недостаточное охлаждение;
- биение круга, некачественная установка деталей.

На практике задача устранения шлифовочных дефектов – прижогов и трещин – решается в основном подбором режимов работ и характеристик шлифовальных кругов. Чтобы оценить технологические возможности этого метода рассмотрим структуру уравнения 1, описывающего тепловые явления в зоне контакта круга с изделием [2]:

$$\theta = \frac{2q}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{2h\alpha}{\lambda^2 v_d}} \quad (1)$$

где θ - максимальная температура в зоне контакта, °C;

v_d – скорость перемещения теплового источника, м/с;

q – плотность теплового потока

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м²;

α – коэффициент температуропроводности, м²/с;

$2h$ – ширина теплового источника, м.

Из анализа формулы (1) видно, что для уменьшения температуры в зоне контакта круга с изделием необходимо уменьшать интенсивность теплового источника, которая растет с увеличением твердости круга, скорости его вращения, глубины шлифования и скорости перемещения источника, и уменьшается с увеличением размера зерна. Применение крупнозернистых кругов на самом деле в ряде случаев дает возможность осуществлять шлифование деталей без появления трещин и прижогов, однако крупнозернистые круги не позволяют получить требуемую высоту шероховатости поверхности. Уменьшение глубин шлифования вызывает увеличение времени на обработку. Таким образом, качество поверхности на машиностроительных предприятиях достигается за счет уменьшения производительности обработки.

В то же время, проведенный анализ выявил, что шлифование кругами с прерывистой рабочей поверхностью сопровождается гораздо меньшей тепловой напряженностью по отношению к обычному шлифованию и позволяет существенно увеличить производительность обработки.

Литература

1. Минимизация засаливания шлифовальных кругов / Л. В. Худобин, А. Н. Унянин; под. ред. Л. В. Худобина. – Ульяновск : УлГТУ, 2007. – 298 с.
2. Гусев Владимир Григорьевич «Интенсификация процессов шлифования труднообрабатываемых материалов на основе разработки и исследования сборных абразивных кругов» докторская диссертация