Конечно, подобное оборудование стоит очень дорого, примерно один миллион долларов США. Количество способов укладки настолько велико, что с развитием технологий автоматизированных разработок для оптимизации конструкции композитных изделий, увеличатся их полезность в будущем.

Технологии вторичной переработки композитных материалов разделяются на механические и термические. К первым относится дробление отходов и смешение их с органической или неорганической матрицей для восстановления. Вторая технология предполагает разделение отходов композитов на органические и неорганические компоненты с помощью термического разложения для их дальнейшего применения. Используется тепло, выделяющееся при сжигании; также используются нефтеподобные продукты термического разложения, которые могут служить топливом; утилизируются и армирующие элементы.

Из-за присутствия второго компонента, в частности армирующей фазы, переработка таких материалов, как композиты, сложнее переработки монофазных материалов. Например, неармированные термопласты, как правило, повсеместно и легко подвергаются первичной и вторичной переработкам. Однако утилизация композитов с термопластичной матрицей является намного более сложной задачей, поскольку приходится держать под контролем не только матрицу, но и армирующую среду, и границы раздела между средами. Композиты с терморезактивными матрицами часто идут в третичную и четвертичную переработки.

Выводы и рекомендации

Проанализировав технологии изготовления и переработки композитных материалов можно сделать следующие выводы.

Итоговая цена и качество изделий зависят от двух факторов: выбор композитного материала и применяемая технология производства.

Не смотря на все технологические достижения в сфере композитных материалов, до сих пор присутствуют некоторые сложности по их переработки

Необходимость проведения исследований новых типов композитных материалов и технологий для производства этих материалов, которые позволят снизить стоимость и повысить качество изделий.

Необходим поиск новых типов смол в химической промышленности для улучшения процессов переработки композитных материалов.

Литература

1. Практикум по технологии переработки и испытаниям полимеров и композиционных материалов. / Заикин А.И.: КолосС 2011 – с. 191.
2. Технология получения и переработки литевых полимерных композиционных материалов конструкционного назначения на основе матриц различной природы / Теряева Т.Н.: дисс. На соиск. уч. степ. докт. техн. наук: Кемерово, 2011 – с. 245.
3. Материаловедение / Черепахин А.А.: Москва, изд. Акажемия, 2012.- с. 253.
4. Технология обработки материалов / Черепахин А.А.: Москва, изд. Акажемия, 2012.- с. 266.

К вопросу о взаимосвязи износостойкости с параметрами качества поверхностного слоя деталей после механической обработки

к.т.н. Сутягин А.Н.

РГАТУ им. П.А. Соловьева, г. Рыбинск
8 (4855) 222-091, sutyagin_an@list.ru

Аннотация. В статье приводятся результаты исследований по определению взаимосвязи интенсивности изнашивания сопрягаемых деталей машин с параметрами качества поверхностного слоя, обеспечиваемыми выбором соответствующих технологических условий механической обработки.

Ключевые слова: интенсивность изнашивания, поверхностный слой, параметры качества поверхностного слоя, накопленная энергия

Основными задачами на этапе конструкторско-технологической подготовки производства ответственных деталей наукоемкой машиностроительной продукции являются обеспечение требуемой точности деталей и изделий и обеспечение требуемого качества поверхностного слоя деталей. Среднестатистический чертеж, выполненный конструктором, содержит требования к точности размеров и взаимного расположения поверхностей, параметрам шероховатости поверхностей, а также твердости материала согласно техническим требованиям, которая может быть задана в необоснованно широких пределах. Причем, чем более ответственное служебное назначение деталей и изделий, тем более высокие эксплуатационные свойства (износостойкость, контактная жесткость, усталостная прочность, коррозионная стойкость, прочность соединений с натягом и др.) требуется обеспечивать и тем выше предъявляются требования к качеству поверхностей. Особенно актуальна эта проблема для рабочих поверхностей сопрягаемых деталей машин, где часто существует причинно-следственная связь между эксплуатационными свойствами деталей [1].

Известно, что все изделия на этапе начальной эксплуатации проходят процесс приработки, окончание которого согласно ГОСТ 27674-88 характеризуется снижением силы трения, температуры и интенсивности изнашивания. При этом исходные параметры качества поверхностного слоя изменяются на эксплуатационные, которые могут воспроизводиться (сохраняться) в течение длительного периода времени, и в этом случае называются равновесными.

Исследованию параметров качества поверхностного слоя в равновесном состоянии посвящено достаточно большое количество работ [1, 2, 3 и др.]. Наибольший интерес представляют: работы, посвященные непосредственному изучению равновесных параметров качества, возможности их расчета; наличие практических рекомендаций по применению, так как, используя взаимосвязи параметров качества поверхностного слоя деталей с технологическими условиями механической обработки [4] появляется возможность обеспечить равновесные параметры качества поверхностного слоя на стадии изготовления детали.

Анализ научных работ в этой области показывает, что требуется проведение дальнейших исследований для получения ответов на вопросы, среди которых можно выделить выявление связи между параметрами шероховатости и механическими свойствами материалов сопрягаемых деталей, разработку рекомендации по выбору равновесной микротвердости и степени наклепа поверхностного слоя деталей, а также равновесных остаточных напряжений поверхностного слоя деталей. Все это позволит сформировать нормативно-справочные данные для технологического обеспечения требуемых эксплуатационных свойств деталей и изделий на основе формирования оптимальных параметров качества поверхностного слоя. Таким образом, исследования в области формирования равновесных параметров качества являются актуальными.

Поэтому целью данной работы является разработка взаимосвязей равновесных параметров качества поверхностного слоя с эксплуатационными свойствами деталей, в частности с износостойкостью, и возможностью их обеспечения технологическими методами и условиями обработки.

Разработка взаимосвязи параметров качества поверхностного слоя и интенсивности изнашивания контактируемых поверхностей осуществлялась следующим образом.

Трение является процессом преобразования внешней механической энергии во внутреннюю энергию в виде колебательных и волновых движений частиц трибосистемы, сопровождаемым термическими, термоэлектронными, акустическими и другими явлениями. Наибольшая часть этой энергии превращается в тепловую и отдается во внешнюю среду, другая идет на изменение физико-химического состояния поверхностных слоев материалов. Диссипация энергии соответствует увеличению энтропии ($dS > 0$).

В основе термодинамического подхода к разрушению и изнашиванию твердых тел лежит энергетическая аналогия механического (при деформации) и термического (при плавлении или сублимации) разрушения тел.

В соответствии с первым законом термодинамики было выявлено, что работа силы

трения с учетом специфики образования равновесного состояния поверхностей трения может быть описана функциональной зависимостью следующего вида:

$$W_{\text{ТР}} = f(f, F, S_{\text{ТР}}, V_{\text{И}}, Rz_{\text{равн}}, HV_{\text{равн}}, HV_0, \alpha_0, G); \quad (1)$$

где: $W_{\text{ТР}}$ – работа трения; f – коэффициент трения; F – нормальная сила взаимодействия элементов пары трения; $S_{\text{ТР}}$ – путь трения; $Rz_{\text{равн}}$ – равновесная шероховатость сопрягающихся поверхностей элементов; $HV_{\text{равн}}$ – равновесная микротвёрдость поверхностного слоя исследуемой детали на определенной глубине; $V_{\text{И}}$ – объем изношенного материала; HV_0 – микротвёрдость недеформированного материала; G – модуль сдвига исследуемого материала; α_0 – параметр междислокационного взаимодействия.

На основе энергетического подхода к проблеме определения взаимосвязи интенсивности изнашивания контактируемых поверхностей деталей машин с параметрами качества поверхностного слоя было получено обобщенное уравнение взаимосвязи интенсивности изнашивания с геометрическими (шероховатость) и физико-механическими (степень наклепа) параметрами качества поверхностного слоя деталей машин в условиях нормальной работы узла, имеющее вид [5]:

$$J_V = K_j \frac{fF3\pi S_{\text{ТР}} Rz_{\text{равн}} 2 \cdot 10^{-3} \cdot [HV_0(N_{\text{равн}} + 1)]^{1,19} - 4F^2}{\frac{3\pi}{\alpha_0^2 G} S_{\text{ТР}} Rz_{\text{равн}} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot [HV_0(N_{\text{равн}} + 1)]^{1,19} [0,32 \cdot HV_0 \cdot N_{\text{равн}}]^2}, \quad (2)$$

где: J_V – интенсивность изнашивания, м³/м; K_j – коэффициент пропорциональности, зависящий от физико-механических свойств материала; f – коэффициент трения материалов контактной пары; F – нормальная сила взаимодействия элементов пары трения, Н; $S_{\text{ТР}}$ – путь трения, м; G – модуль сдвига материала, Па; α_0 – параметр междислокационного взаимодействия; HV_0 – микротвёрдость недеформированного материала, Па.

В результате анализа экспериментальных данных было выявлено, что величина коэффициента K_j характеризует способность материала сопротивляться пластическому деформированию и разрушению в процессе трения, и может быть описана следующим выражением:

$$K_j = 20(\sigma_B / \sigma_{0,2} \cdot \delta)^{4,14}; \quad (3)$$

где: σ_B – предел прочности, Па; $\sigma_{0,2}$ – предел текучести условный с допуском на величину пластической деформации при нагружении 0,2%, Па; δ – относительное удлинение.

Однако в полученном уравнении (2) отсутствуют в явном виде параметры, непосредственно характеризующие процесс трения, в частности, температура в зоне трения, фактическая площадь контакта, сила трения и др. Кроме того, в зависимости от доминирования силового или теплового факторов в поверхностном слое детали могут формироваться сжимающие или растягивающие остаточные напряжения, которые могут сыграть весомую роль в процессе дальнейшей эксплуатации сопрягаемых деталей.

Проведенные исследования в этом направлении позволили получить следующую взаимосвязь интенсивности изнашивания с параметрами качества поверхностного слоя детали:

$$J_h = \frac{G \exp\left(\frac{200}{\theta_K}\right)}{0,322 [HV_0 \cdot N_{\text{равн}}]^2} \cdot \left[\frac{3\pi Rz_{\text{равн}} \sigma_F (F_{\text{тр}} - C_p(\theta_K - \theta_0) - \Delta W_T) - 4F^2}{3\pi Rz_{\text{равн}} F S_{\text{ТР}}} \right] \quad (4)$$

где: J_h – линейная интенсивность изнашивания, м/м; $F_{\text{тр}}$ – сила трения материалов контактной пары; Н; θ_K – усредненная температура в зоне контакта рабочих поверхностей деталей трибосопряжения, °К; $N_{\text{равн}}$ – равновесная степень наклепа поверхностного слоя исследуемой детали; C_p – удельная теплоемкость материала поверхностного слоя детали; θ_0 – начальная температура поверхностного слоя детали; °К; σ_F – контактное давление; Па, ΔW_T – работа пластической деформации, Дж.

Как видно, уравнение содержит параметры, характеризующие процесс трения, такие как усредненная температура в зоне контакта рабочих поверхностей деталей трибосопряжения, контактное давление, сила трения.

Кроме того, параметр ΔW_T согласно [6] можно представить в виде:

$$\Delta WT = W_0/\psi; \quad (5)$$

где: W_0 – потенциальная энергия остаточных напряжений; ψ – коэффициент, определяющий долю потенциальной энергии остаточных напряжений.

Согласно исследованиям Н.М. Власова и Ю.Г. Драгунова физические величины, входящие в выражение (5) пропорциональны первому инварианту тензора остаточных напряжений.

Таким образом, выражение (4) примет следующий вид:

$$J_h = \frac{G \exp\left(\frac{200}{\theta_K}\right)}{0,322 [HV_0 \cdot N_{равн}]^2} \cdot \left[\frac{3\pi R z_{равн} \sigma_F (F_{tr} - C\rho(\theta_K - \theta_0) - W_0/\psi) - 4F^2}{3\pi R z_{равн} F S_{TP}} \right] \quad (6)$$

Используя формулы для определения взаимосвязи шероховатости поверхности, степени наклепа и остаточных напряжений с технологическими условиями механической обработки [4], получили взаимосвязь интенсивности изнашивания с технологическими условиями механической обработки

$$J_V = f(K_f, f, F, S_{TP}, r, HV_0, \alpha_0, h_c, \sigma_B, \sigma_{ВЭ}, p_1, t, B, \gamma, \tau_p), \quad (7)$$

$$J_h = f(f, F, S_{TP}, r, HV_0, \alpha_0, h_c, \sigma_B, \sigma_{ВЭ}, p_1, t, B, \gamma, \tau_p), \quad (8)$$

где: $p_1 = f(a_1, b_1, c_p, \theta, \rho_1, a, \lambda, \lambda_p, \beta, \varepsilon, V, \alpha, \gamma, \tau_p, a_2, b_2, c, \xi, \chi, x, y, z, b, \delta_1)$; h_c – глубина наклепа; V – скорость резания; t – глубина резания; τ_p – сопротивление обрабатываемого материала пластическому сдвигу; λ и λ_p – коэффициенты теплопроводности обрабатываемого и инструментального материалов; θ – температура плавления обрабатываемого материала; α и γ – задний и передний углы резца; ϕ и ϕ_1 – главный и вспомогательный углы в плане; β, ε – угол заострения и угол при вершине резца в плане; r – радиус при вершине резца в плане; ρ_1 – радиус округления режущей кромки резца; δ_1 – величина износа резца по задней поверхности; σ_B – предел прочности обрабатываемого материала; a – температуропроводность обрабатываемого материала; $\sigma_{ВЭ}$ – предел прочности электротехнической стали, принятой за эталон; c_p – удельная объемная теплоемкость обрабатываемого материала; a_1 – толщина среза; b_1 – ширины среза; b – суммарная длина режущих кромок; $B = \frac{c_B D^z}{\Gamma^y (1 - \sin \gamma)^{0,73}}$; $B = \frac{V a_1}{a}$; $D = \frac{a_1}{b_1}$ –

безразмерные комплексы; $a_2, b_2, c, \xi, \chi, x, y, z$ – величины, зависящие от свойств обрабатываемого и инструментального материалов.

В работе получены зависимости интенсивности изнашивания от режимов резания при лезвийной обработке, позволяющие аналитически рассчитывать интенсивность изнашивания для выбираемых режимов резания для стали ШХ15:

$$J_V = 3,71 \cdot 10^{-8} S^{0,054} V^{0,85} t^{-0,12} r^{-0,069} \varphi^{-0,69} F^{0,95}, \quad (9)$$

для стали 30ХГСА:

$$J_V = 2,945 \cdot 10^{-8} S^{0,024} V^{0,428} t^{-0,046} r^{-0,077} \varphi^{-0,909} F^{0,907}, \quad (10)$$

где: S – подача, мм/об; V – скорость резания, м/с; t – глубина резания, мм; r – радиус при вершине резца в плане мм.

Уравнения (9), (10) адекватно описывают процесс при $S = 0,05 \dots 0,08$ мм/об; $V = 0,1 \dots 0,2$ м/с; $t = 0,25 \dots 0,4$ мм; $\varphi = 45 \dots 60^\circ$; $r = 0,3 \dots 1$ мм; $F = 100 \dots 500$ Н; трение без смазки; упругий характер взаимодействия; температура на контакте не более 120°C .

Выводы

На основе энергетического подхода к проблеме определения взаимосвязи интенсивности изнашивания контактируемых поверхностей деталей машин с параметрами качества поверхностного слоя получено обобщенное уравнение взаимосвязи объемной интенсивности изнашивания с равновесными параметрами шероховатости, степени наклепа, а также линейной интенсивности изнашивания с равновесными параметрами шероховатости, степени наклепа и остаточных напряжений поверхностного слоя деталей машин. Полученные урав-

нения описывают равновесное состояние поверхностного слоя материала детали контактной пары и могут быть использованы для расчета линейной величины интенсивности изнашивания деталей машин, прошедших стадию приработки.

Анализ результатов экспериментальных исследований интенсивности изнашивания контактируемых поверхностей после механической обработки показал, что полученные взаимосвязи интенсивности изнашивания с технологическими условиями механической обработки позволяют количественно оценить интенсивность изнашивания сопрягаемых деталей машин, прошедших стадию приработки.

Полученные расчетные зависимости интенсивности изнашивания от параметров механической обработки позволяют аналитически рассчитывать интенсивность изнашивания для выбираемых режимов резания, назначать или корректировать соответствующую технологическую обработку поверхности, в результате которой время приработки сопрягаемых деталей машин будет наименьшим, что позволяет повысить их долговечность.

Литература

1. Научные основы технологии машиностроения / А. Г. Суслов, А.М. Дальский – М.: Машиностроение, 2002 – 684 с.
2. Механика фрикционного взаимодействия / Горячева И.Г. – М.: Наука, 2001 - 478 с.
3. Метод подобия в технологии машиностроения / В.Ф. Безъязычный – М.: Машиностроение, 2012. – 320 с.
4. Технологическое обеспечение износостойкости деталей машин на основе изучения накопленной энергии в поверхностном слое детали при деформационном упрочнении при обработке / В.Ф. Безъязычный, А.Н. Сутягин / Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. – № 7. – с. 3-6
5. Формирование остаточных технологических напряжений и прочность анизотропных осесимметричных металлоизделий автореферат дисс. канд. техн. наук / В.В. Тиунов. – Пермь, 2011 – 16 с.

Фундаментальное научное открытие «эффект безызносности Гаркунова-Крагельского» как инновационная форма интенсификации промышленных технологий и развития научно-образовательных процессов

Поляков А.О.¹, Чихачёва Н.Ю.²

¹ - ООО «МЗ ТОНАР»; 8 (926) 708-41-34, artemdrezna@mail.ru

² - МБОУ СОШ №1 г. Покров, Владимирская область
8 (905) 723-86-87, nadezhdachi@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены инновационные направления самоорганизации контактных процессов в трибосопряжениях на основе регуляризации микрогеометрии поверхности взаимодействующих тел и применения современных металлоплакирующих смазок, реализующих научное открытие «эффект безызносности при трении». Обозначены научно-педагогические проблемы для широкого практического применения указанного нового направления «трибология на основе самоорганизации».

Ключевые слова: эффект безызносности при трении при трении, регулярный микрорельеф, металлоплакирующие смазки

Как свидетельствует научная и промышленная статистика - ежегодные мировые потери от трения и износа сопоставимы с ВВП ряда промышленно развитых стран, так как трение и износ основная причина снятия машин и механизмов, обрабатывающих инструментов и других объектов с эксплуатации, а также главный фактор ухудшения экологии и нерационального расхода ресурсов всех видов без исключения [1].

Непосредственно сверхактуальные проблемы влияния трения и износа на экологию окружающей среды являются самым приоритетным направлением работы Международного Совета по трибологии и лично его Президента, профессора Питера Джоста (Великобритания)