

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКРЫТОЙ ЭНЕРГИИ ДЕФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ ПРИ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ

Касимов Б.М.¹, асс., Муминов М.Р.², PhD, Шин И.Г.³, д.т.н., проф.

¹Андижанский машиностроительный институт,
г. Андижан, Республика Узбекистан,

²АО "Paxtasanoat ilmiy markazi", ³Ташкентский институт текстильной
и легкой промышленности, г.Ташкент, Республика Узбекистан

Реферат. *Скрытая (запасенная) энергия деформации определена на основе термодинамических соотношений при отделочно-упрочняющей обработке деталей методом поверхностного пластического деформирования. Энергетический подход является наиболее обоснованным, так как основой механической обработки деталей машин является температурно- силовое воздействие, возникающее в системе «инструмент- обрабатываемая деталь», а возникающие энергетические и тепловые потоки подчиняются первому началу термодинамики.*

Ключевые слова: скрытая (запасенная) энергия, термодинамика, работа деформации, тепло, внутренняя энергия, плотность дислокаций, интенсивность напряжений.

Проблема эксплуатационного разрушения твердых тел является одной из главных в современной теории металлического состояния. Характер и интенсивность процесса пластической деформации твердых тел, включая ее критическую фазу – разрушение, в основном определяются качественными показателями поверхностного слоя, формируемого на стадии финишной (окончательной) механической обработки деталей машин. Отделочно-упрочняющая обработка, основанная на поверхностном пластическом деформировании металлов, формирует комплекс физико-механических (остаточные напряжения, глубина и степень деформационного упрочнения – наклепа, плотность дислокации) и геометрических (параметры шероховатости поверхности) параметров состояния поверхностного слоя, характеризуемого также структурно-фазовыми составляющими.

Совокупность этих параметров является следствием сложного взаимодействия, взаимопревращения и диссипации теплоэнергетических потоков, развиваемых во времени в зависимости от условий контакта твердых тел, в частности, рабочих поверхностей инструмента (режущего, упрочняющего) и свойств обрабатываемых конструкционных материалов. Поэтому энергетический подход, как наиболее научно обоснованный при поиске критериев прочности твердых тел, может быть использован при обосновании обобщенного критерия физико-механического состояния поверхностного слоя деталей после температурно-силового воздействия со стороны упрочняющего или режущего инструментов [1].

Универсальность энергетического подхода обосновывается тем, что процесс разрушения твердых тел и его предшествующая стадия – пластическая деформация имеют единую физическую сущность, состоящую в способности локальных микрообъемов контактных поверхностей деталей накапливать и трансформировать внутреннюю (скрытую или запасенную) энергию деформирования.

Величина скрытой энергии u_s деформирования представляет собой плотность энергии, накопленной поверхностным слоем при пластической деформации металла, происходящей при механической обработке деталей машин, и является в сущности энергией дислокаций – линейного несовершенства кристаллической структуры металлов. Запасание энергии при пластической деформации неразрывно связано с формированием остаточных напряжений, блокированием дислокаций и повышением их плотности, что приводит к изменению таких физических явлений, как внутреннее трение, упругий гистерезис, экзополупроводниковая эмиссия и др. Таким образом, оценка уровня технологических остаточных напряжений, а также параметров деформационного упрочнения через скрытую (запасенную) энергию деформирования представляется очень важным в современной расчетной практике машиностроения при решении вопросов прогнозирования долговечности, усталостной прочности и износостойкости ответственных деталей машин и механизмов [2, 3].

Изменение плотности внутренней энергии ΔU в поверхностном слое детали в соответствии с первым законом термодинамики равно

$$\Delta u = u_s = A - Q, \quad (1)$$

где A – работа деформации; Q – часть внешней работы, превращающейся в тепло.

Плотность внутренней энергии Δu представляет сумму двух составляющих

$$\Delta u = \Delta u^c + \Delta u^T, \quad (2)$$

где Δu^c и Δu^T – соответственно потенциальная (скрытая) и тепловая составляющая плотности внутренней энергии.

Тепловая составляющая плотности внутренней энергии Δu^T определяется изменением температуры – от температуры окружающей среды θ_1 до контактной температуры обрабатываемого материала θ_2 :

$$\Delta U^T = \int_{\theta_1}^{\theta_2} C_p \rho_M d\theta = C_p \rho_M (\theta_2 - \theta_1), \quad (3)$$

где C_p – удельная теплоемкость материала; ρ_M – плотность обрабатываемого материала.

Работу упруго-пластических деформаций A (1), совершенную при отделочно-упрочняющей обработке деталей, определим из зависимости

$$A = \frac{1 + \mu}{3E} \sigma_i, \quad (4)$$

где $\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$ – интенсивность напряжений; μ – коэффициент Пуассона; E – модуль упругости.

Тепловая энергия Q (1), выделяющаяся в процессе пластической деформации, характеризуемой генерированием, перемещением и аннигиляцией дислокаций, может быть рассчитана по формуле

$$Q = \frac{\rho}{\epsilon} q_0, \quad (5)$$

где ρ – плотность дислокаций, см⁻²; ϵ – вектор Бюргерса, равный $2,5 \cdot 10^{-10}$ м; $q_0 \cong 5 \text{ эв} = 8 \cdot 10^{-19}$ Дж – энергия связи.

Используя аналитическую зависимость интенсивности напряжений σ_i от плотности дислокаций ρ , выражение (5) приводится к виду

$$Q = \left(\frac{\sigma_i - \sigma_{0,2}}{\alpha G \epsilon} \right)^2 \cdot \frac{q_0}{\epsilon}, \quad (6)$$

где $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести материала; G – модуль сдвига; α – численный коэффициент, равный 0,2-1,0 в зависимости от механизма упрочнения.

Таким образом, с учетом выражений (3), (4) и (6) получим формулу для расчета плотности скрытой энергии деформирования

$$\Delta u^c = \frac{1 + \mu}{3E} \sigma_i^2 - \left(\frac{\sigma_i - \sigma_{0,2}}{\alpha G \epsilon} \right)^2 \cdot \frac{q_0}{\epsilon} - c_p \rho_M (\theta_2 - \theta_1) - u_0,$$

где u_0 – значение внутренней энергии поверхностного слоя деталей до обработки.

Список использованных источников

1. Старков, В. К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. – М. : Машиностроение, 1989. – 296 с.
2. Кабалдин, Ю. Г. Энергетические принципы управления процессами механообработки в автоматизированном производстве // Вестник машиностроения. – Москва, 1993. – № 1. – С. 37–42.
3. Шин, И. Г., Муминов, М. Р., Шодмонкулов, З. А., Назаров, Р. С. Оценка скрытой энергии деформации в поверхностном слое деталей по диаграмме деформирования материалов // Вестник машиностроения. – Москва, 2014. – № 12. – С. 15–20.

УДК: 621.793

ПРОЦЕССЫ, СОПУТСТВУЮЩИЕ АБРАЗИВОСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Искандарова Н.К., докторант, Шин И.Г., д.т.н., проф.

*Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
г.Ташкент, Республика Узбекистан*

Реферат. Рассмотрены основные процессы, сопутствующие обработке металлических поверхностей деталей машин, включающие микрорезание абразивными частицами и удар, что составляет много общего с процессом абразивного изнашивания при трении. Данный вид обработки создает эффект деформационного упрочнения тонкого поверхностного слоя и сильно зависит как от режимных параметров обработки, так и геометрических, физико-механических свойств абразивных частиц.

Ключевые слова: абразивоструйная обработка, микрорезание, удар, абразивные изнашивание, трение, пластическое деформирование.

Среди методов механической обработки абразивоструйная обработка металлических поверхностей деталей относится к шлифованию со свободным абразивом, совокупность которых направляется под некоторым углом к обрабатываемой поверхности за счет давления сжатого воздуха или в составе антикоррозионной жидкости (гидроабразивоструйная обработка). Данный вид обработки относится к отделочно-упрочняющим и предназначен для подготовки качественных металлических поверхностей с целью устранения заусенцев после предыдущей операции, создания благоприятного микропрофиля поверхности в соответствии с назначением детали, формирования упрочненного слоя в результате динамического контакта абразивных частиц, происходящего в условиях удара и последующего микрорезания обрабатываемой поверхности. Таким образом, абразивоструйная обработка, представляющая процесс микрорезания абразивными частицами (шлифование) при ударе по металлической поверхности, имеет много общего с процессом абразивного изнашивания при трении. Однако при этом есть ряд отличительных признаков:

- 1) рабочая поверхность абразивных инструментов значительно грубее, чем поверхность истирающего контртела;
- 2) шлифующие зерна имеют высокую твердость, теплостойкость и износостойкость, их профиль располагает множеством режущих клинов;
- 3) высокая интенсивность съема металла в единицу времени, а образующиеся стружки при шлифовании имеют значительно большие размеры по отношению с продуктами износа при трении.

При абразивном изнашивании твердых тел возможны различные принципиальные схемы внешнего силового воздействия абразива. Поэтому важным представляется систематизация схем, в основе которой положены прежде всего виды трения – трение скольжения, трение качения, трение при соударении абразива с металлической поверхностью. Данная систематизация имеет признак универсальности. Так, например, в условиях трения скольжения характер силового взаимодействия единичной абразивной частицы с поверхностью изнашивания близок к тому, когда вместо отдельной частицы абразива на поверхность трения действует некоторый выступ, имитирующий случай