

ОЦЕНКА УДЕЛЬНОЙ СКРЫТОЙ ЭНЕРГИИ ДЕФОРМАЦИИ ПО ДИАГРАММЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

Назаров Сахробжон Рахмонжонович,
PhD., ассистент

Шин Илларион Георгиевич,
д.т.н., профессор

Искандарова Нигора Курванбековна,
докторант

Институт текстильной и легкой промышленности, Ташкент, Узбекистан

Аннотация

Представлены сведения по оценке удельной скрытой энергии деформации по диаграмме деформирования конструкционных материалов для расчета интенсивности остаточных напряжений при резании твердых сплавов инструментами из синтетического алмаза.

Ключевые слова: скрытая энергия, кривая деформирования, пластическая деформация, нагружение, модуль упругости, остаточные напряжения, резание.

Скрытая или поглощенная энергия деформации представляет научный интерес в силу нескольких причин: во-первых, для синтеза макро- и микропредставлений процесса пластической деформации металлов, являясь связующим параметром; во-вторых, для анализа физико-механической природы деформационного упрочнения, выступая как интегральный показатель качества [1] поверхностного слоя деталей; в-третьих, для исследования процессов восстановления, протекающих в поверхностном слое пластически деформированного металла. Таким образом, скрытая энергия деформации как комплексный параметр качества обработанной поверхности, безусловно, отражает и уровень остаточного напряженного состояния, характеризуемого интенсивностью напряжений $\sigma_{i \text{ ост}}$.

Метод определения скрытой энергии деформации U_s на базе использования кривой деформирования $\sigma=f(\epsilon)$ является относительно простым для практической реализации. Реальные конструкционные материалы обладают микронеоднородностью деформационных свойств, которую можно учесть, допуская различные значения пределов текучести σ_T структурных частиц. Тогда для описания процессов деформирования материалов можно применить простейшую из семейства моделей сплошной среды – стержневую (“столбчатую”) модель Мазинга [2]. При этом

структурные частицы принимаются в виде стержней, деформирующихся одинаково, обладающих свойством идеального упруго-пластического материала с равными модулями упругости. Деформационные свойства, проявляемые при нагружениях и разгрузках элементарной стержневой конструкции, достаточно полно описывают поведение конструкционных материалов при нагрузке.

За интегральную меру соизмеримости моделируемой микронеоднородности пластической деформации с реальной структурой и соответствующими им уровни микронапряжений принята скрытая энергия деформации U_s , следующая из энергетических представлений процесса пластической деформации металлов.

Определение скрытой энергии деформации с помощью структурной модели в виде бесконечного числа подэлементов позволяет описать диаграмму циклического деформирования любого материала. Так, площадь под диаграммой деформирования есть удельная работа A при нагружении; состоящая из потенциальной энергии E_n , возвращаемое при разгрузке, и части необратимой работы в цикле нагружение-разгрузка, соответствующей энергии микронапряжений или скрытой энергии деформации U_s .

Как следует из точных калориметрических измерений, не вся энергия при нагружении тела рассеивается в виде тепла Q . Некоторая ее часть в виде скрытой энергии U_s сохраняется в образце. Таким образом, работа A при деформировании состоит из следующих слагаемых:

$$A = E_n + Q + U_s, \quad (1)$$

удельные (отнесенные к деформируемому объему) значения которых определяются соответствующей площадью на диаграмме деформирования $\{\sigma, \varepsilon\}$.

Напряженно-деформированное состояние, формируемое в поверхностном слое изделия из сталей и сплавов при контактировании с режущим или упрочняющим инструментом, соответствует условию “простого нагружения”, когда приложенные усилия возрастают пропорционально изменению одного какого-либо параметра. Тогда зависимость между интенсивностью напряжений σ_i и деформацией ε_i адекватно описывается диаграммой деформирования при одноосном растяжении-сжатии. Интенсивность напряжений σ_i для данного материала при активной деформации является вполне определенной функцией от интенсивности деформации ε_i :

$$\sigma_i = f(\varepsilon_i) \quad (2)$$

Расчет удельной скрытой энергии деформации осуществляли по формуле

$$U_s = \frac{(\sigma_i - \sigma_T)^2 (E - E')}{2E \cdot E'}, \quad (3)$$

где σ_T – предел текучести; E' – касательный модуль.

Учитывая взаимосвязь между запасенной энергией U_s и деформационным упрочнением, полученную Фриделем [3] на основе всесторонних рентгенографических исследований, произведена модификация зависимости

$$U_s \cong \frac{1}{2} \cdot \frac{E^*}{G^2} \cdot \sigma^2, \quad (4)$$

где E^* - упругая постоянная, среднее значение которой лежит между модулем сдвига G и модулем объемного сжатия (часто принимается значение модуля Юнга $E^* = E$); σ - среднее внутреннее (остаточное) напряжение.

Преобразование формулы (4) основано на связи модуля упругости при сдвиге G (модуля упругости второго рода) с модулем Юнга (продольной упругости E):

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}, \quad (5)$$

где μ - коэффициент Пуассона. Так как напряженное состояние, включая и остаточное, характеризуется интенсивностью, то вместо среднего внутреннего напряжения в (4) предложено рассматривать интенсивность остаточных напряжений $\sigma_{i \text{ ост}}$, которая в окончательном виде представится формулой

$$\sigma_{i \text{ ост}} = \frac{1}{1 + \mu} \cdot \sqrt{\frac{E}{2}} \cdot \sqrt{U_s}. \quad (6)$$

Произведем расчет скрытой энергии деформации и интенсивности технологических остаточных напряжений при тонком точении вольфрамокобальтового твердого сплава ВК15 резцами из синтетического поликристаллического алмаза типа карбонадо (АСПК).

Для примера вычислим интенсивность остаточных напряжений $\sigma_{i \text{ ост}}$ на различной глубине поверхностного слоя деталей из твердого сплава ВК15. Используем средние значения интенсивности напряжений σ_i в пределах контакта или фаски износа h_3 задней поверхности инструмента с обрабатываемой поверхностью детали. Так, при $h_3=0,1$ мм на глубине поверхностного слоя $x=0,01$ мм $\sigma_i=5600$ Н/мм²; при $h_3=0,3$ мм, $x=0,02$ мм, $\sigma_i=5700$ Н/мм².

С учетом механических характеристик сплава ВК15 (модуля упругости $E=5,4 \cdot 10^5$ МПа, модуля пластичности $E'=2,52 \cdot 10^5$ МПа и предела текучести $\sigma_T=1880$ МПа) [4] для данных условий резания получены значения удельной скрытой энергии деформации и остаточных напряжений:

- 1) $U_s=14,67$ Н/мм²=0,01467 Дж/мм³, $\sigma_{i \text{ ост}}=1592$ Н/мм² на глубине $x=0,01$ мм при $h_3=0,1$ мм;
- 2) $U_s=3,32$ Н/мм² = 0,00332 Дж/мм³, $\sigma_{i \text{ ост}}=757$ Н/мм² на глубине $x=0,05$ мм при $h_3=0,3$ мм.

Достоверность расчета была проверена экспериментальными исследованиями остаточных напряжений на кольцевых образцах по методу акад. Н.Н.Давиденкова с использованием специальной аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Старков В.К. Дислокационные представления о резании металлов. – М.: Машиностроение. 1984. – 160с.
2. Гохфельд Д.А., Садаков О.С. Пластичность и ползучесть элементов конструкций при повторных нагружениях. –М.: Машиностроение, 1984. – 258с.
3. Шин, И. Г., Шодмонкулов, З. А., & Назаров, С. Р. (2014). Анализ тепловых потоков при обкатывании и алмазном выглаживании деталей машин. In прогрессивные технологии и процессы (pp. 272-276).
4. Шин И., Шодмонкулов З., Назаров С. и Искандарова Н. (2021). Обработка зубьев пильных полотен хлопкоочистительных машин струей сжатого воздуха с абразивными частицами. В сети конференций E3S (том 304). ЭДП наук.
5. Назаров, С. Р., & Шин, И. Г. (2021). Структурная схема тепловыделения при поверхностном пластическом деформировании обкатыванием и выглаживанием structural diagram of heat generation at surface plastic deformation by rolling and ironing. In Сборник научных трудов Международной научной конференции, по-священной 150-летию со дня рождения профессора НА Васильева (26 мая 2021 г.). Часть 2.–М.: РГУ им. АН Косыгина, 2021.–141 с. (p. 59).