

УДК 621.7:621.8:621.9:536.75

М. Л. ХЕЙФЕЦ

ЦИКЛИЧНОСТЬ СОСТОЯНИЙ И СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДАХ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

(Представлено академиком П. И. Ящерицыным)

Проектирование методов обработки изделий, использующих термомеханические, электромагнитные, ионно-плазменные, лазерные или другие концентрированные источники, требует изучения технологически эксплуатационной наследственности [1, 2] и анализа процессов самоорганизации свойств поверхностного слоя при комбинации высокоинтенсивных воздействий [3, 4].

Для исследования свойств поверхностного слоя изделия, представляющего собой в процессе обработки хрупкую, упругую, пластичную, вязкую или другую технологически эксплуатационную среду [1, 5], необходимо описать ее состояния параметрами, которые при значительных изменениях внешних воздействий остаются постоянными.

Движения различных потоков вещества в общем объеме технологически эксплуатационной среды сопровождаются явлением внутреннего трения. Динамические касательные τ_d и нормальные σ_d напряжения внутреннего трения в движущейся среде описываются формулой Ньютона [6]:

$$\tau_d = -(\nu\rho)\sigma_d = -\eta\text{grad}v \quad (1)$$

и характеризуются первой (или динамической) вязкостью

$$\eta = \nu\rho,$$

где ν – кинематическая вязкость; ρ – плотность среды; $\text{grad}v = dv/dn$ – градиент скорости движения слоев среды v в направлении внутренней нормали n к поверхности слоя.

При сжатии или растяжении среды наряду с σ_d в направлении n возникают добавочные нормальные напряжения σ_o , вызываемые динамическим трением [6]:

$$\sigma_o = -(\zeta/\rho)d\rho/d\sigma_d = -\zeta\text{div}v, \quad (2)$$

которые описываются второй (или объемной) вязкостью ζ .

Устойчивость состояний технологически эксплуатационной среды [7] описывается уравнением баланса во времени t локальной плотности энтропии $p\varepsilon$ [8]:

$$d(p\varepsilon)/dt + \text{div}(p\varepsilon v) + \text{div}F_\varepsilon = p, \quad (3)$$

где F_ϵ – плотность потока энтропии ϵ , $p = d\epsilon / dt$ – производство энтропии.
Исходя из того, что

$$\mathbf{v} = \text{rot}\mathbf{v}^*, \quad (4)$$

где \mathbf{v}^* – составляющая вращения в потоках среды, движущихся со скоростью \mathbf{v} (4), является решением уравнения (3), можно для описания состояний среды предложить третью (или ротационную) вязкость: $\mu = 1 / \nu^*$ [9], где $\nu^* = (\sigma_z / \sigma_{yz})(v / S)$, в которой (σ_z / σ_{yz}) – соотношение трансляционной и ротационной составляющих напряженного состояния среды [10], (v / S) – соотношение главного и дополнительного движений обрабатываемых изделий. Тогда добавочные касательные напряжения τ_o будут представлены формулой

$$\tau_o = -(1 / \nu^*)\text{rot}\mathbf{v}^* = -\mu\text{rot}\mathbf{v}^*. \quad (5)$$

Рассмотрим, согласно предложенным параметрам напряженного состояния технологически эксплуатационной среды (1), (2) и (5), кинетику процессов формирования свойств поверхностного слоя при возрастании скоростей главного \mathbf{v} и дополнительного \mathbf{S} движений обработки или увеличении мощности воздействий концентрированными источниками энергии (рисунок, таблица).

В процессе обработки на малой скорости или с низкой интенсивностью комбинированных воздействий при образовании опережающей хрупкой трещины скольжения (рисунок, таблица, I) состояние зоны формообразования определяется при давлении на технологически эксплуатационную среду сжимающим напряжением σ_z , пропорциональным объемной вязкости ζ (2) в направлении главного движения. Если σ_z превышает критическое значение, то происходит разрушение берегов трещины, а образующиеся частицы раскалываются на более мелкие [11].

В том случае, когда частицы разрушения не имеют возможности поворачиваться (рисунок, таблица, II), они повышают составляющую трения

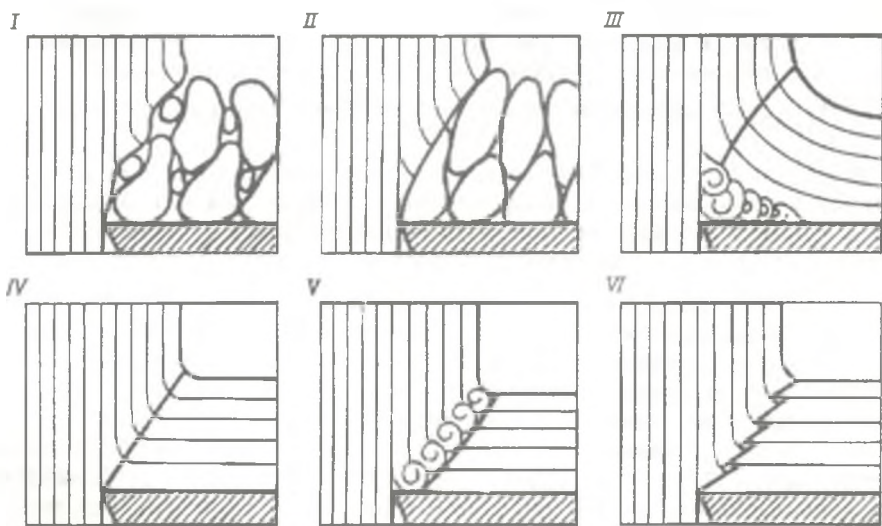


Схема эволюции структур в технологически эксплуатационных процессах формирования поверхности: I – хрупкое разрушение материала опережающей трещиной; II – компактирование частиц разрушения; III – "вихревое" образование застойных структур; IV – устойчивое течение материала; V – "волновое" образование складок; VI – расслоение материала адиабатическими сдвигами

Изменение составляющих напряженного состояния и вязкости поверхностного слоя при увеличении интенсивности обработки

Стадия эволюции	I	II	III	IV	V	VI	VII
Скорость обработки	$v_I <$	$v_{II} <$	$v_{III} <$	$v_{IV} <$	$v_V <$	$v_{VI} <$	v_{VII}
Напряженное состояние							
Вязкость	объемная ζ	ротационная μ					динамическая η

скольжения τ_{yz} между берегами трещины и компактируются скоплениями или элементами формирующейся суставчатой стружки при резании. Такая структура описывается соотношением (τ_{yz} / σ_z) , в котором τ_{yz} определяется в направлении геометрической суммы векторов главного движения и перемещений компактирующихся скоплений [11].

При наростообразовании (рисунок, таблица, III) формирование диссипативных структур характеризуется соотношением σ_{yz} / σ_z [7], а ротационная составляющая $\sigma_{yz} = \sigma_y \sigma_z$ определяется в направлении вектора момента формообразования [12].

Пластическое течение поверхностных слоев обрабатываемого материала или формирование сливной стружки при резании (рисунок, таблица, IV) описывается составляющей сдвига τ_{yz} , характеризующей напряженное состояние вблизи условной плоскости сдвига [13].

Образование вихреподобных уплотненных структур перед условной плоскостью сдвига (рисунок, таблица, V) вновь определяется соотношением (τ_{yz} / σ_z) [7] ротационной и трансляционной составляющих термомодеформационного процесса [10].

При циклических адиабатических сдвигах или формировании ступенчатой стружки в процессе резания (рисунок, таблица, VI) напряженное состояние описывается аналогично суставчатому стружкообразованию (τ_{yz} / σ_z) , составляющими термопластического сдвига τ_{yz} и сжатия σ_z [11].

Образование жидкой фазы между контактирующими поверхностями при высокой интенсивности комбинированных воздействий или большой скорости взаимодействия (таблица, VII) характеризуется течением обрабатываемого материала с динамической вязкостью η (I), пропорциональной касательному напряжению τ_{yz} между условными слоями жидкости [14].

Проанализируем результаты исследования процессов формирования свойств поверхностного слоя обрабатываемого изделия (таблица).

Объемное, трехмерное формоизменение и главное движение формообразования v обеспечивает технологически эксплуатационной системе четыре степени свободы ($C = 4$) [4]. В процессе эволюции происходит переход при $C = 0$ в новое агрегатное состояние – жидкое [15], например при использовании концентрированных источников энергии без механических воздействий инструментами. Применение инструментов при комбинированной обработке обеспечивает стабилизацию одномерного формообразования и движения в главном направлении, следовательно, $C=2$. При этом изменения в технологически эксплуатационной системе, образующие

дополнительную степень свободы (в данном случае ротационную (4), (5)), формируют неустойчивую моду [8] и приводят к подавлению прежних движений и стабилизации новых при снижении числа степеней свободы ($C = 4 \rightarrow C = 0$ или $C = 4 \rightarrow C = 2$). Таким образом, кинетика (эволюция) процессов формирования эксплуатационных свойств изделий при комбинированных методах обработки характеризуется цикличностью состояний структур поверхностного слоя (таблица). При этом структурообразование в технологически эксплуатационной среде описывается переходом объемной вязкости ζ (2) в динамическую η (1) через ротационную μ (5) со снижением числа степеней свободы. Учет циклических особенностей и свойств среды при переходе из одного состояния в другое в процессах формирования структур поверхностного слоя позволяет рациональным образом выбрать концентрированные источники энергии и инструменты для проектируемых методов комбинированной обработки.

Summary

Evolution of the surface layer formation processes was examined in terms of the strained state characteristics presented by stickiness coefficients of the technological and operation surroundings.

Литература

1. Работнов Ю. Н. Элементы наследственной механики твердых тел. М., 1977.
2. Ящерицын П. И., Скорынин Ю. В. Технологическая и эксплуатационная наследственность и ее влияние на долговечность машин. Мн., 1978.
3. Ящерицын П. И., Кожуро Л. М., Сенчило И. А., Хейфец М. Л. // Докл. АН Беларуси. 1995. Т. 39, № 1. С. 112–116.
4. Хейфец М. Л. // Докл. АН Беларуси. 1995. Т. 39, № 2. С. 109–113.
5. Ильюшин А. А., Победря Б. Е. Основы математической теории термовязкоупругости. М., 1970.
6. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент / Под ред. В. А. Григорьева. В. М. Зорина. М., 1988.
7. Хейфец М. Л. // ИФЖ. 1994. Т. 67, № 1–2. С. 144–145.
8. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах: Введение в теорию диссипативных структур. М., 1979.
9. Хейфец М. Л. // ИФЖ. 1994. Т. 67, № 1–2. С. 146–153.
10. Лихачев В. А., Хайров Ю. Р. Введение в теорию дисклинаций. Л., 1975.
11. Алексеев Н. М., Кузьмин Н. Н., Транковская Г. Р., Шувалова Е. А. // Трение и износ. 1992. Т. 13, № 1. С. 161–171.
12. Ящерицын П. И., Борисенко А. В., Хейфец М. Л. // Изв. АН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. 1992. № 1. С. 48–53.
13. Силин С. С. Метод подобия при резании металлов. М., 1979.
14. Клименко С. А., Муквоз Ю. А., Полонский Л. Г. Режущий инструмент из ПСТМ на основе нитрида бора. Киев, 1994.
15. Хейфец М. Л. // Докл. АН Беларуси. 1995. Т. 39, № 6. С. 109–113.