Таким образом, отношение скоростей заключено в интервале

$$\cos\alpha \le \frac{\omega_2}{\omega_1} \le \frac{1}{\cos\alpha}.$$

На рис. 5 изображены два графика зависимости передаточного отношения от угла поворота ведущего вала при $\alpha = 0{,}1$ рад и при $\alpha = 0{,}5$ рад.

Из сравнения двух кривых видно, что при увеличении угла  увеличивается неравномерность вращение ведомого вала. Для характеристики неравномерности вращение ведомого вала используется коэффициент

$$k = \frac{\omega_{2\max} - \omega_{2\max}}{\omega_1} = \mathrm{tg}\alpha \cdot \sin\alpha,$$

называемый коэффициентом неравномерности передачи.

Очевидно, что при $\alpha = 0$ коэффициент $k = 0$. Для малых углов $\alpha$ коэффициент $k$ незначителен, ас возрастанием $\alpha$ коэффициент $k$ резко увеличивается, достигая при 90° бесконечности, т.е. движение становится невозможным.

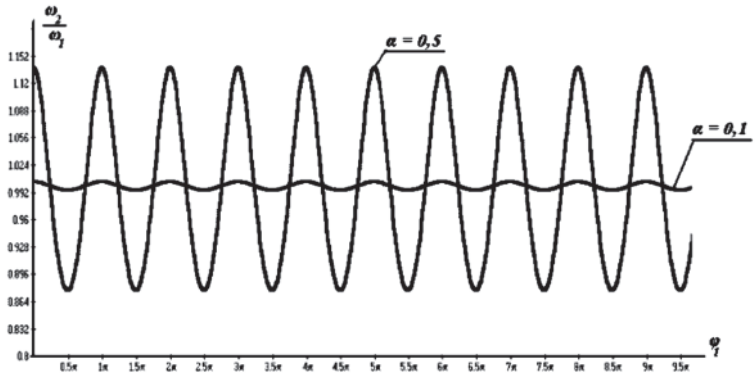


*Рис. 5. Зависимость передаточного отношения от угла поворота ведущего вала*

Это обстоятельство значительно уменьшает область применимости карданной передачи. Она с успехом применяется на «классике», а для автомобиля с передним приводом такая передача не подходит.

**Список литературы**

1. Тарасов В.К. Курс теоретической механики для математиков. – ТулГУ, 2008.– 300 с.

## ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНЫХ МАКРОНАПРЯЖЕНИЙ НА ПРОЦЕСС ЗАРОЖДЕНИЯ КВАЗИХРУПКИХ ТРЕЩИН В ТЕРМОДИФФУЗИОННЫХ ПОКРЫТИЯХ

Лукьянонов Д.С.

*Тульский государственный университет, Тула, e-mail: tm@tsu.tula.ru*

В процессе нанесения термодиффузионных покрытий и последующего охлаждения в «белых» слоях и диффузионных зонах формируются остаточные технологические макронапряжения $\sigma_{ост}$. В базовых уравнениях для концентрационных макронапряжений $\sigma_в$, определяющих кинетику зарождения квазихрупких трещин при трении скольжения, знак и уровень $\sigma_{ост}$ – фактора нормируется некоторым численным $n$-критерием.

Для низкотемпературных химико-термических слоев максимальные технологические напряжения можно корректно описать уравнением гиперболы в зависимости от толщины «белого» слоя $h_{сл}$, и глубины диффузионных зон $h_{дз}$

$$\sigma_{ост}^{\max} = E \cdot \Delta T \cdot \frac{\beta_{сл} - \beta_E}{1 + K\,(h_{сл}/\ h_E)}, \qquad (1)$$

где $\Delta T$ – изменение температуры в процессе охлаждения после насыщения; $\beta_{сл}$ и $\beta_{дз}$ – коэффициенты линейного расширения материалов покрытия и основы соответственно. Если учитывать фактор наложения на температурную эпюру макронапряжений «структурного» распределения $\sigma_{ост}$ уравнение (1) трансформируется к следующей функции общего вида

$$\sigma_{ост}^{\max} = K_1 h_{сл}^2 + K_2 h_{сл} + K_3. \qquad (2)$$

Величины $\sigma_{ост}^{пов}$ и $\sigma_{ост}^{\max}$ для всех типов термодиффузионных слоев экспериментально определялись стандартными методами. Для боридных покрытий показано, что максимальные сжимающие напряжения соответствуют более тонким слоям. С возрастанием толщины покрытия максимальные внутренние напряжения смещаются вглубь от поверхности.

В общем случае суммарная плотность трещин $\rho_{тр}$ в месте повреждения покрытия возрастает с увеличением энергии ударного импульса $q$. Нелинейную взаимообусловленность этих параметров количественно оценивали некоторой характеристикой трещиностойкости $\alpha_{ру}$, определяемой по углу наклона линеаризированной функции «$\rho_{тр} - q$». На рис. 1 представлено распределение плотности трещин для никотрированного покрытия с толщиной слоя 10 мкм (температура насыщения 580 °С, время выдержки – 4 часа).

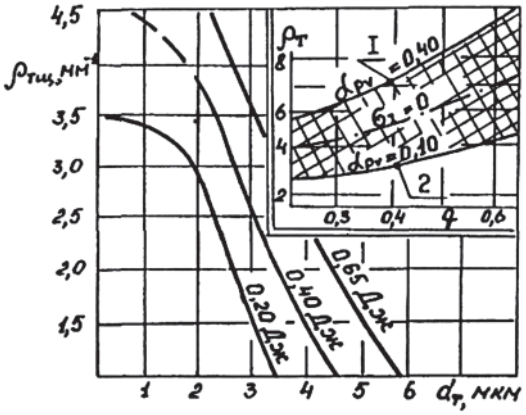


*Рис. 1. Характер распределения плотности трещин*

Удельная плотность трещин в покрытияхизменяется в функции расстояния от кратера согласно гипотетической аппроксимации типа:

$$\rho_{тр} = \frac{\rho_0}{B - (1/\,d^n)}, \qquad (3)$$

в которой степенной показатель $n$ коррелирует с угловым коэффициентом $\alpha_{ру}$, отражающим знак макронапряжений в никотрированном слое и пропорциональным их уровню. Стойкость материалов против разрушения определяется их физическими констан-

тами и в известных физических моделях выражается уравнением Гриффитса.

Диапазон изменения эмпирического коэффициента трещиностойкости $n$ предполагается в модели для $\alpha_{pv}$ равным 0,30–0,65 и нормируется минимальным и максимальными уровнями параметров $\alpha_{pv}$ и $\sigma_{ост}$ для исследуемых термодиффузионных покрытий. Обеспечение этого условия возможно при соблюдении условий, определяемых выражением:

$$n = 0,25 + \frac{1}{K_n}(1 + \lg \alpha_{pv}), \qquad (4)$$

в котором коэффициент $K_n$ определяли из экспериментов потрещиностойкости:

$$K_n = \left(\frac{0,2}{\Delta\alpha_{pv}}\right),$$

где $$\Delta\alpha_{pv} = \alpha_{pv}^{max} - \alpha_{pv}^{min}.$$

Для конкретного по структуре покрытия параметр $\alpha_{pv}$ можно, в зависимости от внутренних макронапряжений $\sigma_{ост}$, трансформировать в виде:

$$\alpha_{pv} = 0,25 \pm K_\alpha \sigma_{ост}, \qquad (5)$$

где знак «+» соответствует растягивающим напряжениям в покрытии, «–» – сжимающим. Коэффициент перехода от внутренних напряжений к параметру трещиностойкости $K_\alpha$ составляет, например, для никотрированных и борированных покрытий на уровне $\approx 2\cdot10^{-4}$–$3\cdot10^{-4}$ и в зависимости от модуля упругости материалов, может быть рассчитан в соответствии с выражением

$$K_\alpha = 10^{-4}\left(\frac{E_{сл}}{E^*}\right). \qquad (6)$$

Экспериментальные и расчетные результаты $\sigma_{ост}$, $\alpha_{pv}$ и $n$ для никотрированных и боридных покрытий показали, что значение константы $n$ соответствует границе эпицентра разрушения. В то же время для более удаленных на поверхности от кратера зон его величина будет уменьшаться.

**Список литературы**

1. Власов В.М., Нечаев Л.М. Работоспособность высокопрочных термодиффузионных покрытий в узлах трения машин. – Тула.: Приокс. книжн.изд-во, 1994. – 237 с.
2. Анализ эпюр макронапряжений в поверхностных слоях сталей после проведения борирования / Л.М. Нечаев, Н.Б. Фомичева, Е.В. Маркова, И.Ю. Канунникова // Фундаментальные исследования. – 2009. – №1.
3. Нечаев Л.М., Фомичева Н.Б., Иванькин И.С. Определение параметров трещиностойкостиникотрированных сталей // Современные наукоемкие технологии. – 2007. – №5.

## БИОДИНАМИКА ПРЫЖКОВ В ВЫСОТУ

Макарова Е.В.
*Тульский государственный университет, Тула, e-mail: tm@tsu.tula.ru*

В большинстве случаев биомеханика рассматривает задачи по теоретической механике и сопротивлению материалов, в которых объектом исследования является человек в различных ситуациях.

Рассмотрим прыжок в высоту с разбега. Спортсмен массой 70 кг прыгает с разбега через перекладину (рис. 1).

Высота, на которой установлена перекладина, $H = 2,4$ м (мировой рекорд!), скорость разбега принимаем $V = 6$ м/с. Считая, что прыжок в высоту с места поднимает центр масс спортсмена на $a = 0,6$ м, определим, какая часть кинетической энергии разбега превращается в энергию прыжка?

Если спортсмен прыгает на 2,4 м при начальной высоте центра масс $h = 1$м, то это не значит, что центр масс спортсмена при прыжке поднимается на высоту 1,4 м. В действительности эта высота меньше. Заметим, что центром масс системы называется геометрическая точка, координаты которой вычисляются по известным формулам. Центр масс человека находится внутри него не при любой позе и не при любой ориентации человека. В положении, показанном на рис. 1, центр масс находится ниже перекладины примерно на 0,1 м и оставшиеся 0,7 м должны быть преодолены за счет энергии разбега

$$E = mg(H - h - a) = 480 \text{ Дж}.$$

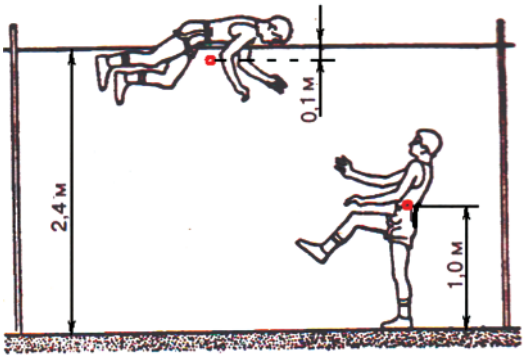


*Рис. 1. Расчётная схема прыжка в высоту*

Кинетическая энергия разбега:

$$E_p = \frac{mV^2}{2} = 1260 \text{ Дж}.$$

Отношение $\frac{E}{E_p} = 0,38$.

Рассмотрим непосредственно момент прыжка. Как упоминалось выше прыгун (рис. 2) должен преодолеть планку на высоте $H = 2,4$ м. Высота его центра масс во время толчка составляет $h = 1$м. Примем расстояние от точки, в которой производится толчок, до вертикальной плоскости, проходящей через планку $b = 0,8$ м.

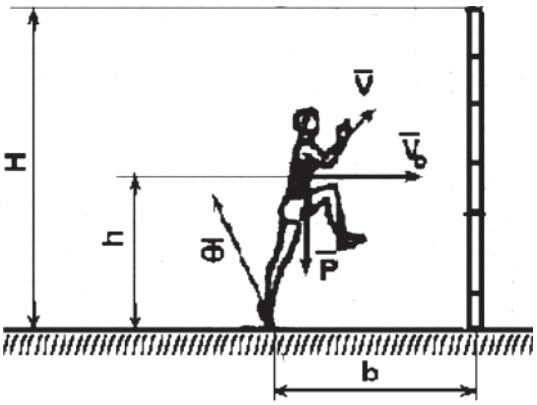


*Рис. 2. Расчётная схема момента прыжка*

Коэффициент трения в момент толчка $f = 0,9$, продолжительность толчка считать равной $\Delta t = 0,4$ с, максимальная высота центра масс от земли равна 2,3 м.

В момент отталкивания от опоры на прыгуна действует импульс Ф. Проекции импульса на координатные оси можно найти. Вертикальная составляющая импульса определяется высотой подъема центра масс от начального положения:

$$\Phi_y = m\sqrt{2g(H - h - 0,1)}.$$