

Стендовые испытания упрочнённых деталей в испытательном цехе РУП «МТЗ» (с. Обчак) при количестве циклов испытаний 2000 -- показали полное отсутствие следов износа на упрочнённой поверхности упоров.

На предприятии РУП «МТЗ» при освоении технологии лазерной закалки деталей будет использован лазерный автоматизированный комплекс mls-2-3df-b производства компании «Рухсервомотор» (Беларусь), укомплектованный иттербиевым волоконным лазером ЛС-2 производства НТО «ИРЭ-Полюс» (Россия). Использование многокоординатного лазерного комплекса отечественного производства взамен планировавшейся ранее 6-ти осевого робота манипулятора производства фирмы KUKA типа KR30NA (Германия) позволило на 30% уменьшить стоимость закупаемого технологического оборудования. Второй вариант соответствует разработанному нами эскизному проекту, и рекомендациям РУП «МТЗ» на технологическое оборудование лазерного комплекса.

Использование многокоординатного лазерного комплекса с числовым программным управлением и электроавтоматикой позволит осуществлять лазерное термоупрочнение деталей широкой номенклатуры.

Технология лазерного упрочнения, разработанная в НИИЛ плазменных и лазерных технологий НИЧ БНТУ, позволяет осуществлять закалку трёх модификаций узлов сцепления, увеличить износостойкость деталей до трёх раз, повысить надёжность и безотказность работы тракторной техники.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шпилько В.В. Драгайцев В.И.. зарубежная сельскохозяйственная техника. Нормативно-справочный материал для определения экономической эффективности. – М.: МСХП РФ, 1997. 2. Кобяков О.С., Спиридонов Н.В. Каленик А.М.. Технологические особенности лазерного термоупрочнения внутренних плоских поверхностей деталей машин лучом лазера / В сб. «Теория и практика машиностроения». – УП «Технопринт», №2/ 2005. – с.10 – 13. 3. Тарасова Т.В., Сайдумаров К.В., Кривоушина О.А. Разработка научных основ процессов лазерного моделирования поверхностей сталей и сплавов/ ГОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана». М: – с.371 – 382.

УДК 621.95

Колесников Л.А.

### УЧЕТ ЗАПАЗДЫВАНИЯ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ОТ ТОЛЩИНЫ СРЕЗА ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Беларусь*

*Проведено математическое моделирование эксперимента по срезанию синусоидального выступа. Показано, что экспериментально наблюдаемое отставание силы резания от толщины среза объясняется колебательными свойствами системы, а не специфическими явлениями в зоне резания. Предложено не учитывать запаздывания силы резания при математическом моделировании процессов резания.*

Отставание силы резания от толщины среза (запаздывание) в теории резания представляется одной из главных причин возникновения вибраций при обработке лезвийным инструментом [1, 2]. Общепринято, что причиной запаздывания являются специфические процессы, происходящие в зоне резания.

Классический подход для определения величины запаздывания силы при резании описан в работе И.Г. Жаркова [3]. Он включает в себя синхронное измерение силы резания и толщины среза при обработке поверхности с выступами различной формы. Запаздывание силы резания, измеренное в ходе этих экспериментов, достигает величины 3...5 миллисекунд. Такие относительно большие значения могут вызывать парадоксальные результаты при математическом моделировании процессов резания. Поэтому возникает необходимость найти другое объяснение полученным результатам.

Для этого проведем анализ результатов экспериментов [3] по определению запаздывания силы резания от толщины среза. Модель системы «резец – деталь – датчик силы», использованной при

проведении испытаний, представлена на рис. 1. Дифференциальное уравнение для сил, действующих в системе, можно представить в виде:

$$M \frac{\partial^2 X}{\partial \tau^2} + \eta \frac{\partial X}{\partial \tau} + KX = P_{PE3}(\tau)$$

где  $X$  – перемещение;  $\tau$  – время;  $M$  – приведенная масса колебательной системы;  $\eta$  – обобщенный коэффициент вязкого сопротивления;  $K$  – обобщенный коэффициент жесткости;  $P_{PE3}(\tau)$  – зависимость силы резания от времени.

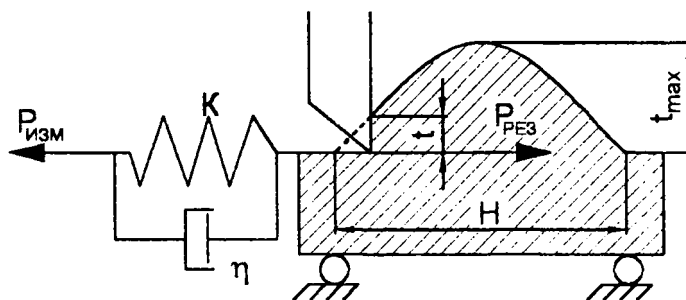


Рис. 1. – Схема сил при резании

Сила  $P_{Изм}$ , измеряемая датчиком, равна реакции «пружины»,  $P_{Изм}=KX$ . Очевидно, что для динамических процессов  $P_{Изм} \neq P_{PE3}$ . Сравним экспериментальные и расчетные составляющей силы резания  $P_z$  при строгании синусоидального выступа по уравнению (1). Зависимость силы резания принималась равной:

$$P_{PE3}(\tau) = C_0 [t_{MAX} \times \sin(\omega(\tau - \Delta\tau))]^Y,$$

где  $C_0, Y$  – коэффициенты;  $C_0=1591$ ;  $Y=0.67$ . Высота выступа  $t_{MAX}=0.5$  мм, длина  $H=5$  мм (см. рис. 1). Решение уравнения (1) с правой частью (2) производилось методом Рунге-Кутты четвертого порядка. При расчете принималось  $M=2.5$  Кг;  $K=7.9 \times 10^6$  Н/м;  $\eta=3670$  Н.с/м, значения которых приведены при описании экспериментов в [3].

Зависимости силы резания от времени, полученные в результате расчета для  $\Delta\tau=0$  (сплошная линия) и  $\Delta\tau=0.001$  секунды (штрих-пунктирная линия), приведены на рис. 2, а. Из сравнительного анализа графиков и осциллограммы (рис. 2, б) можно сделать вывод, что наиболее точное соответствие эксперименту наблюдается именно при  $\Delta\tau=0$ . Об этом свидетельствует и характер изменения расчетной силы резания (отсутствие «мертвой зоны» в начале резания), и само значение запаздывания.

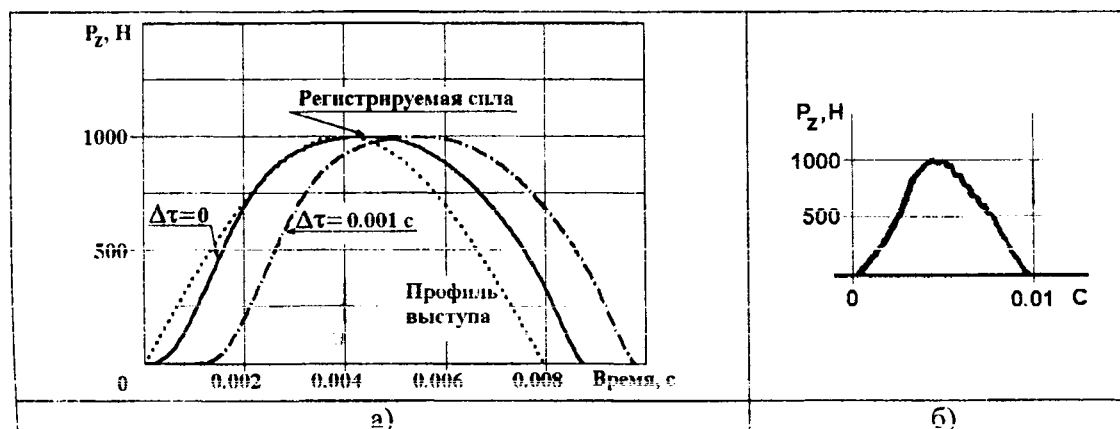


Рис. 2. – Расчетная зависимость (а) и осциллограмма (б) сил резания при строгании синусоидального выступа

Эксперименты по определению времени запаздывания при резании проводились на различном оборудовании, на материалах с различными механическими свойствами и, соответственно, при различных коэффициентах жесткости  $K$  и обобщенных коэффициентах сопротивления  $\eta$ . Поэтому целесообразно сравнить порядок величин запаздывания при расчете с нулевым запаздыванием ( $\Delta\tau=0$ ) и реально наблюдаемые.

Предварительно полезно получить аналитическую зависимость для величины запаздывания силы резания от глубины резания при строгании синусоидального выступа. При линейной зависимости силы резания от глубины резания для  $P_{РЕЗ}(\tau)$  возможно записать:

$$P_{РЕЗ}(\tau) = C \times t_{МАХ} \times \sin(\omega\tau)$$

где  $C$  – коэффициент, связывающий глубину резания с силой резания;  $t_{МАХ}$  – высота выступа;  $\omega$  – параметр формы синусоидального выступа:

$$\omega = \frac{1000 \times \pi V}{60 \times H}$$

$V$  – скорость перемещения резца, м/мин;  $H$  – длина выступа, мм (см. рис. 1.). Решение уравнение (1) с правой частью (3) при нулевых начальных условиях имеет вид [4]:

$$X = \frac{\frac{C}{M}}{\sqrt{\left(\frac{K}{M} - \omega^2\right)^2 + \left(\frac{\eta}{M}\right)^2 \omega^2}} \sin[\omega(\tau - \Delta\tau)]$$

где

$$\Delta\tau = \frac{1}{\omega} \arctg \frac{\frac{\eta}{M} \omega}{\frac{K}{M} - \omega^2}$$

Таким образом, величина  $\Delta\tau$  представляет собой запаздывание (фазовый сдвиг) между измеряемой силой  $P_{ИЗМ}$  и фактической силой резания  $P_{РЕЗ}$ .

По примеру автора [3] оценим эту величину в долях периода собственных колебаний системы  $T_0$ :

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}}, \text{ соответственно, } f_0 = \frac{1}{T_0}$$

График зависимости  $\Delta\tau$  как функции  $T_0(f_0)$  для  $M=2.5$  Кг в диапазоне значениях  $\eta=3000\dots 5000$  Н.с/м, представлен на рис. 2. Этот диапазон  $\eta$  включает в себя все наблюдаемые значения при обработке материалов с различными механическими свойствами. Анализ результатов показывает, что расчетные величины  $\Delta\tau/T_0$  лежат в диапазоне значений, полученных в ходе экспериментов:  $\Delta\tau/T_0=0.04\dots 0.25$ .

Таким образом, как величина запаздывания  $\Delta\tau$ , так и характер изменения расчетной силы резания соответствует значениям, полученным в ходе эксперимента. Это позволяет сделать вывод, что запаздывание силы резания от толщины среза, реально наблюдаемое в эксперименте, обусловлены, в основном, упруго-инерционными свойствами системы «резец – деталь – датчик силы». Отсюда можно заключить, что при математическом моделировании процессов резания допустимо не вводить дополнительное запаздывание для силы резания  $\Delta\tau$ , обусловленное специфическими явлениями, происходящими в зоне резания.

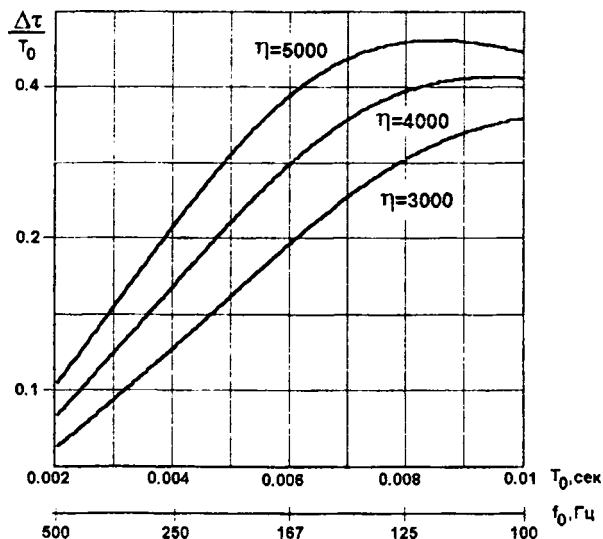


Рис. 2. – Зависимость запаздывания  $\Delta\tau$  от собственной частоты системы  $T_0$  при различных коэффициентах сопротивления  $\eta$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ящерицын П.И., Еременко М.Л., Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах. – Мн.: Выш. шк., 1990. – 512 с.
2. Кудинов, В.А. Динамика станков. М.: Машиностроение, 1967. – 357 с.
3. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. – Л.: Машиностроение, Ленинград. отд-ние, 1986. – 184 с.
4. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М.: Наука, 1976. – 576 с.

УДК 6 21.923

Кривко Г.П., Филонов И.П., Мусихина С.Г.

### РЕГУЛЯРНЫЙ МИКРОРЕЛЬЕФ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПОДШИПНИКОВ, ПОНИЖЕНИЕ ТРЕНИЯ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Беларусь*

*Рассмотрены особенности образования регулярного микрорельефа на сферической поверхности торцов роликов роликовых подшипников.*

*Регулярный микрорельеф позволяет улучшить условия контакта ролика со средним бортом внутреннего кольца подшипника, что приведет к уменьшению коэффициента трения между поверхностями соприкасающихся деталей. Это позволит в дальнейшем создать подшипники качения с улучшенными техническими свойствами, а следовательно с меньшими энергозатратами механизмов машин.*

*Доказано, что после перекрестного шлифования на поверхности торца роликов роликовых радиальных сферических подшипников имеет место двухрядная криволинейная шероховатость. Такая шероховатость улучшает условия смазки трущихся поверхностей, что обеспечивает снижение момента сопротивления вращению при восприятии осевой нагрузки.*

Главная задача подшипника качения обеспечение вращения с минимальным трением. Важно отметить, что идеальные контакты качения существуют только в теории. В работающем подшипнике существует микроскольжение, вызванное радиальной нагрузкой, которая приводит к деформации поверхностей и появлению пятен контакта.