

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ



МАТЕРИАЛЫ

3-й студенческой научно-технической конференции
«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ОБОРУДОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ»

25 апреля 2019 года

Донецк 2019

УДК 621.6-9; 658.5

Материалы 3-й студенческой научно-технической конференции «Инновационные технологии и оборудование в машиностроении» 25 апреля 2019 г. – Донецк: ГОУВПО «ДонНТУ», 2019. – 52 с.

Редакционная коллегия:

Гусев В.В., Молчанов А.Д., Полтавец В.В., Киселева И.В., Цокур В.П.

Издание включает материалы студенческой научно-технической конференции по следующим направлениям: создание и применение прогрессивных технологий и технологических систем. Нетрадиционные технологии; информационные технологии; механизация и автоматизация производственных процессов; управление качеством, метрология, сертификация; моделирование и расчеты сложных технических систем.

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Донецкий национальный технический университет.
Факультет инженерной механики и машиностроения
ул Артема, 58, г. Донецк,
тел.: (062)3010-7-15
E-mail:
msmo@fimm.donntu.org
<http://kmsmo.fimm.donntu.org/sbornik-nauchnyh-trudov>

СОДЕРЖАНИЕ

Афендиков А.С., Гусев В.В. Обоснование и разработка конструкции поворотной шлифовальной головки	4
Воробьев А.А., Гусев В.В. Распределение сечений среза в зоне контакта круга с заготовкой.....	8
Майданюк М.Р., Полтавец В.В. Анализ формул для расчёта прогиба лепестка цанги в среднем сечении с учётом влияния нагружения других лепестков	16
Подольхов Д.А., Наливайко С.А. Автоматизация работы технолога-машиностроителя современные решения от sandvik coromant	20
Полянский Д.Д., Полтавец В.В. Обзор технологических возможностей для механической обработки твердосплавных валков	26
Попова Г.Г., Молчанов А.Д. Определение рациональных параметров алмазного шлифования триботехнической керамики	30
Рыжаев А.А., Поезд С.А. Исследование влияния массы заготовки на динамические параметры сборочного робота	34
Саландаев А.Р., Молчанов А.Д. Вынужденные колебания в системе с резанием на фрезерных станках	46

УДК 621.92

ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПОВОРОТНОЙ ШЛИФОВАЛЬНОЙ ГОЛОВКИ

Афендикова А.С., Гусев В.В.

(кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Тел.: +38 (071) 4667631; E-mail: kawhileo91@gmail.com

Тел./Факс: +38 (066) 3086754; E-mail: msmo@fimm.dgtu.donetsk.ua

***Аннотация.** В статье исследована проблематика обработки антенного обтекателя и перечислены факторы, влияющие на точность обработки, а также предложен вариант модернизации конструкции станка за счет применения поворотной шлифовальной головки.*

***Ключевые слова:** шлифование, точность, подача, угол поворота, шлифовальная бабка.*

Введение

Головной радиопрозрачный антенный обтекатель является важным элементом современных скоростных летательных аппаратов, управляемых методом радиолокационного наведения. Среди элементов летательных аппаратов, геометрические параметры которых определяются аэродинамическими требованиями, распространены детали обивальной формы. Данный тип деталей изготавливают из радиопрозрачных неметаллических материалов, в частности, стекла и ситаллов. При шлифовании деталей обивальной формы кругами с прямолинейной образующей возникает искажение образующей профиля наружной поверхности детали. В отечественных и зарубежных вальцешлифовальных станках широкое распространение при обработке крупногабаритных поверхностей получил метод огибания кругом с профилем в виде дуги окружности. Круги с выпуклой образующей исключают искажение профиля [1].

Вследствие высоких требований к точности изделия и твердости обрабатываемого материала при обработке данного класса изделий используются алмазные круги на металлической связке. Обработка профиля антенного обтекателя ведется методом прямого копирования на станках модели РТ66202, оснащенных агрегатной шлифовальной головкой и системой прямого копирования. Обработка наружной поверхности изделия производится алмазным шлифовальным кругом 1А1 200x10x3x76 А1 – 315/250-4-М2-01.

Целью работы является анализ причин формирования кинематической погрешности обработки обтекателя и разработка по результатам анализа конструкции устройства поворота шлифовальной бабки.

Основное содержание работы

Как показал анализ формирования погрешности обработки наружного контура изделия [2], основная погрешность обработки связана со смещением профилирующей точки на образующей шлифовального круга при его перемещении вдоль обрабатываемой заготовки (рис. 1). Возникающая при обработке кинематическая погрешность существенно влияет на точность обработки и может превышать значение динамической в 10 раз.

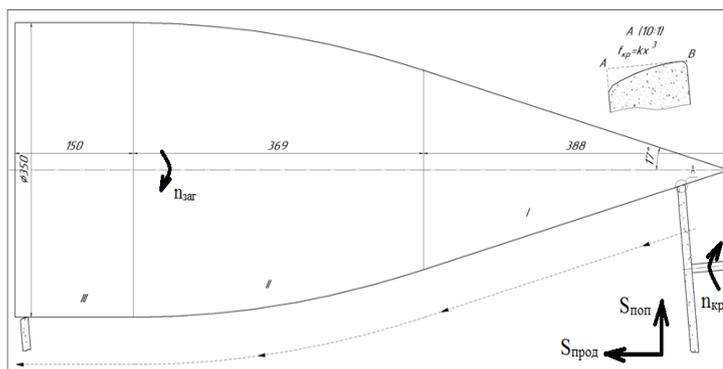


Рис. 1. Схема обработки обтекателя шлифовальными кругами с неравномерным износом профиля круга

При увеличении угла поворота оси шлифовального круга (в плоскости оси вращения заготовки и вектора продольной подачи) кинематическая погрешность уменьшается (рис. 2), а в случае с изношенным кругом при $\beta = 10^\circ$ полностью исчезает. Однако проблема заключается в невозможности поворота шлифовальной бабки на большие углы (более 5°) из-за опасности касания корпуса бабки и обрабатываемой заготовки [3].

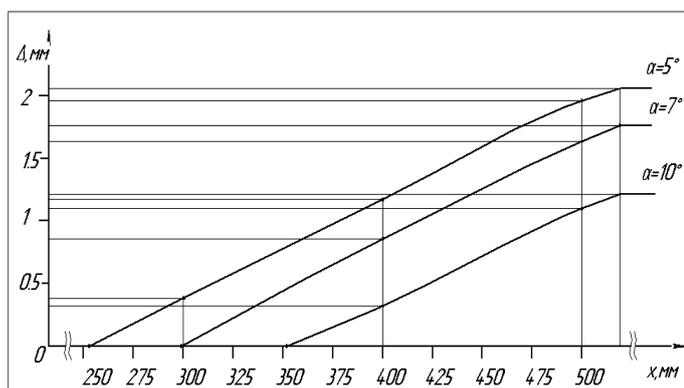


Рис. 2. График изменения кинематической погрешности обработки в зависимости от угла поворота оси шлифовального круга [3]

Минимизация погрешностей обработки является важнейшим техническим ограничением при оптимизации процесса шлифования из условий сохранения постоянной формообразующей точки. Для уменьшения кинематической погрешности в течение всего периода обработки данной заготовки можно использовать поворотное устройство, разворачивающее круг при его движении вдоль образующей.

С целью получения переменного по длине детали угла поворота шлифовального круга на кафедре мехатронных систем машиностроительного оборудования Донецкого национального технического университета была разработана конструкция безлюфтового привода устройства поворота шлифовальной бабки [4]. Привод поворота шлифовальной бабки представляет собой двухступенчатый цилиндрическо-червячный редуктор с двумя подпружиненными червякам. Выходной вал привода – вал червячного колеса – обеспечивает поворот стола с установленной на нем шлифовальной бабкой.

Нами выполнена модернизация безлюфтового привода устройства поворота шлифовальной бабки для более полного использования алмазонасного слоя круга. Шлифовальный круг перенесен на противоположную сторону шпинделя вальцешлифо-

вального станка, что предотвращает контакт шлифовальной бабки с обрабатываемой заготовкой. Использование такой конструкции шлифовальной головки возможно только в системах с автоматическим управлением, так как в данном случае у оператора станка нет возможности непосредственного визуального наблюдения за процессом обработки. Основным достоинством такой конструкции является возможность осуществления поворота шлифовального круга на необходимый угол из условия обеспечения постоянства формообразующей точки на шлифовальном круге при ее перемещении вдоль контура заготовки, что позволит устранить описанную выше кинематическую погрешность (рис.3).

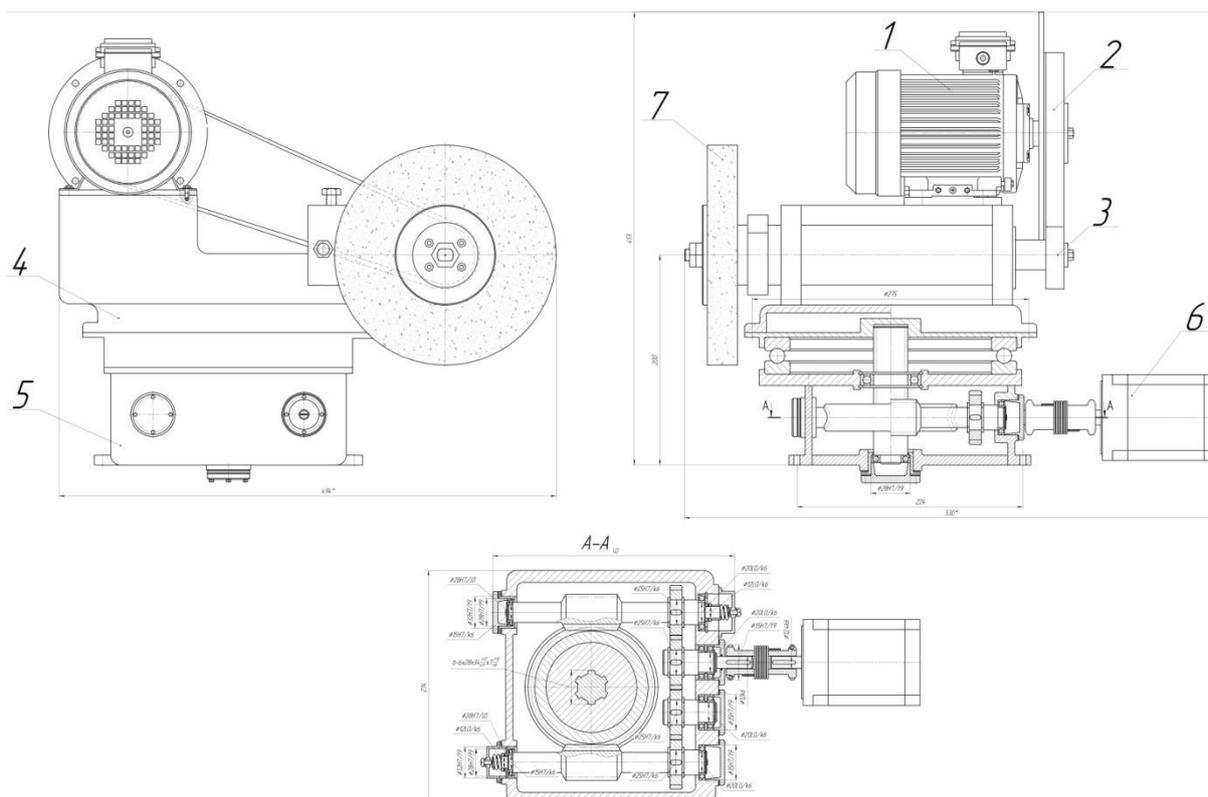


Рис. 3. Конструкция модернизированной шлифовальной бабки и поворотного устройства (1 – двигатель привода круга, 2 – ременная передача, 3 – шпиндельный узел, 4 – корпус, 5 – поворотное устройство, 6 – шаговый двигатель привода поворотного устройства, 7 – шлифовальный круг)

В качестве направляющего элемента устройства поворота применен упорный подшипник, что уменьшило влияние момента трения в направляющих на общий момент сопротивления повороту. На основании уточненных исходных данных произведен повторный расчет зубчатых передач редуктора, для минимизации габаритов поворотного устройства.

Для выбора двигателя поворотного устройства произведен расчет динамических характеристик привода. Общий момент сопротивления определялся по формуле:

$$M_c = M_J + M_{тр} + M_F,$$

где M_J – момент инерции вращающихся элементов шлифовальной бабки; $M_{тр}$ – момент трения в направляющих; M_F – момент от действия силы резания.

В ходе расчета также определен предельный угол, на который необходимо развернуть шлифовальный круг, используя уравнение параболического участка образующей наружной поверхности обрабатываемой детали:

Дифференцируя уравнение второго участка, получим угол наклона касательной в конечной точке параболического участка:

$$f(c_2)' = 2 \frac{175}{650} (c_2 - 150) = 7,43 \cdot (c_2 - 150);$$

$$f(\dot{c}_2) = \tan \alpha;$$

$$\alpha = \arctan[f(c_2 = 519)] = 17^\circ.$$

Для обеспечения постоянства контакта образующей шлифовального круга и контура обрабатываемой детали необходимо регулировать угол поворота оси шлифовального круга по всей длине детали. Также определено предельное значение углового ускорения системы (при переходе от конической части к параболической), которое необходимо для расчета динамических характеристик привода:

$$\varepsilon = 0,00067 \text{ рад/с}^2.$$

Значение углового ускорения позволяет определить момент инерции вращающихся элементов конструкции поворотного устройства.

После проведенного расчета в качестве привода устройства поворота был выбран шаговый двигатель модели 34HS4802, который имеет следующие технические характеристики: номинальный крутящий момент $M = 85 \text{ Н}\cdot\text{м}$; угол шага $1,8^\circ$; ток $I = 5 \text{ А}$.

Выводы

Цель дальнейшей работы состоит в следующем:

- 1) проектировании системы автоматического управления поворотом шлифовальной бабки, так как при данном типе конструкции у оператора нет возможности наблюдать за процессом обработки;
- 2) составлении математической модели привода и симуляции процесса его работы в Matlab Simulink.

Список литературы: 1. Суздальцев, Е.И. Радиопрозрачные, высокотермостойкие материалы XXI века / Е.И. Суздальцев // Огнеупоры и техническая керамика. – 2002. – № 3. – С. 42-50. 2. Гусев, В.В. Влияние кинематической погрешности шлифования на точность обработки антенных обтекателей / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова, Д.В. Поколенко // Сучасні технології в машинобудуванні: Зб. наук.праць. – Вип. 3. – Харків: НТУ “ХПИ”, 2009. – С. 231-236. 3. Кальченко, В.И. Шлифование криволинейных поверхностей крупногабаритных деталей. – М.: Машиностроение, 1979. 4. Быхалов, А.Г. Устранение кинематической погрешности обработки при наружном глубинном алмазном шлифовании антенного обтекателя / А.Г. Быхалов, В.В. Гусев // Инженер. Студентський науково-технічний журнал. – Донецьк: ДонНТУ, 2007. – № 8. – С. 34-37.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЧЕНИЙ СРЕЗА В ЗОНЕ КОНТАКТА КРУГА С ЗАГОТОВКОЙ

Воробьев А.А., Гусев В.В.

(кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. В статье рассмотрено распределение сечений среза обрабатываемого материала в зоне контакта алмазного круга с заготовкой при плоском врезном продольном шлифовании.

Ключевые слова: алмазный шлифовальный круг, керамика, сечение среза обрабатываемого материала, зона контакта.

Введение

Всевозрастающие потребности различных отраслей машиностроения в новых материалах, обладающих новыми свойствами, способствуют более широкому использованию технической керамики (ТК). Изделия из ТК могут применяться практически во всех отраслях промышленности, где изделия из металла уже исчерпали свои возможности или используются на пределе своих возможностей. По этой причине, в последнее время, керамические изделия все чаще замещают металлические и полиметаллические изделия.

Для обеспечения качественного и точного изготовления изделий из керамики, большинство производителей применяют, в качестве окончательной механической обработки, алмазное шлифование и полирование [1, 2], так как эти виды обработки дешевле лазерной, ультразвуковой, не требуют внедрения нового дорогостоящего оборудования, обучения персонала.

Вследствие высокой твердости ТК в процессе её механической обработки алмазные шлифовальные круги (ШК) теряют свои режущие свойства, возрастают силы резания, снижается производительность обработки, на поверхности изделий могут образовываться микро- и макротрещины, снижается точность и т.д. [3], что негативно сказывается на эксплуатационных характеристиках изделий и, в частности, проявляется в снижении их прочности [4]. Износ зерен шлифовальных кругов зависит от силы резания на них, что определяется, прежде всего, сечением среза материала припуска на алмазных зернах. Однако существующая методика расчета, представленная в работе Маслова Е.Н. [5], не учитывает различное выступание алмазных зерен из связки, что приводит к различным сечениям среза на зернах. Кроме того, сечение среза меняется по дуге контакта. Из этого следует, что выведенная в работе [5] формула подходит только для тонкого шлифования, а для глубинного шлифования нуждается в поправочных коэффициентах. В дальнейшем рассмотрим методику расчета среднего сечения среза материала припуска на зерне для схемы плоского врезного шлифования (рис. 1).

Параметры сечения среза

На величину износа единичных алмазных зерен влияет совокупность различных факторов. По степени управляемости эти факторы можно разделить на такие категории:

1. Управляемые. К этой категории относятся факторы, на которые непосредственно влияет система управления процессом резания. К ним относятся режимы резания, состав СОТС и другие.

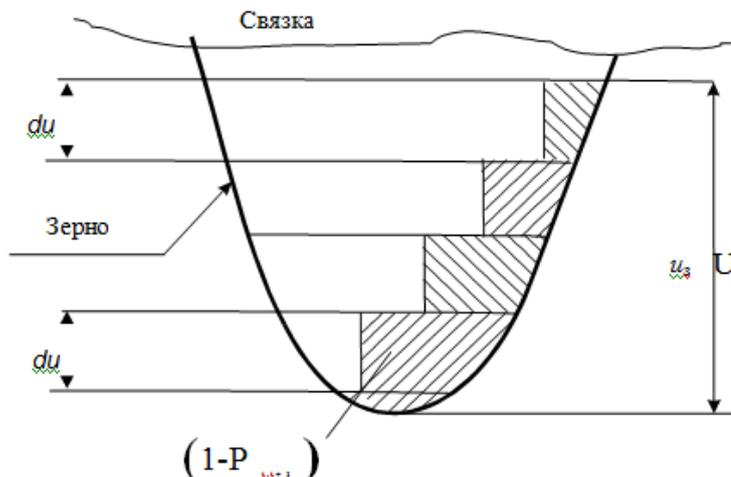


Рис. 2. Схема распределения сечения среза по высоте рабочей части зерна [2]

Суммарная площадь материала f_{Σ} , удаляемого зернами в радиальном сечении заготовки для схемы плоского шлифования, определяется суммированием сечений среза по всей рабочей зоне:

$$f_{\Sigma}(t_j) = \int_0^{u_{\max}(\varphi, t_j)} P(\varphi, t_j) \cdot f(u) \cdot C_b \cdot (u_{\max}(\varphi, t_j) - u)^m \cdot \cos(\varphi) \, du \, d\varphi.$$

Поток материала заготовки является векторной величиной, переменной во времени и в пространстве. Направление перемещения определяется однозначно вектором скорости для каждой точки пространства $\vec{V}_{\partial} = \vec{\omega}_{\partial} \cdot r\{t_j, \gamma_i\}$. Скалярная характеристика поля материала определяется вероятностью неудаления материала $P(\varphi_i, t_j)$

$$P(\varphi_i, t_j) = \exp\left(-\frac{\sum b(\gamma_i, t_j)}{L}\right),$$

где $\sum b(\gamma_i, t_j)$ – суммарная ширина всех единичных зерен, прошедших через базовый участок L_{∂} на уровне радиальной координаты t_j , отсчитываемой от поверхности заготовки, с угловым расположением сечения φ_i .

Так как суммарная ширина всех царапин при изменении углового положения сечения изменяется, то поле является переменным на участке рабочей зоны.

Ранее было принято длину базового участка L_{∂} ($\Delta z_{\partial} = 1$) считать равной единице. Суммарная ширина всех царапин при изменении углового положения площадки dt изменяется. Вероятность неудаления материала на базовой площадке заготовки определяется характеристикой поля инструмента $b_{i,i+1}$ на данном участке ее углового перемещения

$$P_{i+1}(\varphi_i, t_j) = P_i(\varphi_i, t_j) \exp(-b_{i,i+1}(\varphi_i, t_j)).$$

На рис.3 показаны двумерные поверхности вероятности неудаления материала в зоне контакта инструмента и заготовки при плоском шлифовании периферией круга после электроэрозионной правки ($n_s = 21$ шт./мм², $C_b = 14$, $m = 0,5$). Ширина зоны резания уменьшается от обрабатываемой поверхности к обработанной. Удаление материала припуска происходит и после прохождения площадкой радиального сечения, нормального к обрабатываемой поверхности. Это приводит к уменьшению высоты микронеровностей.

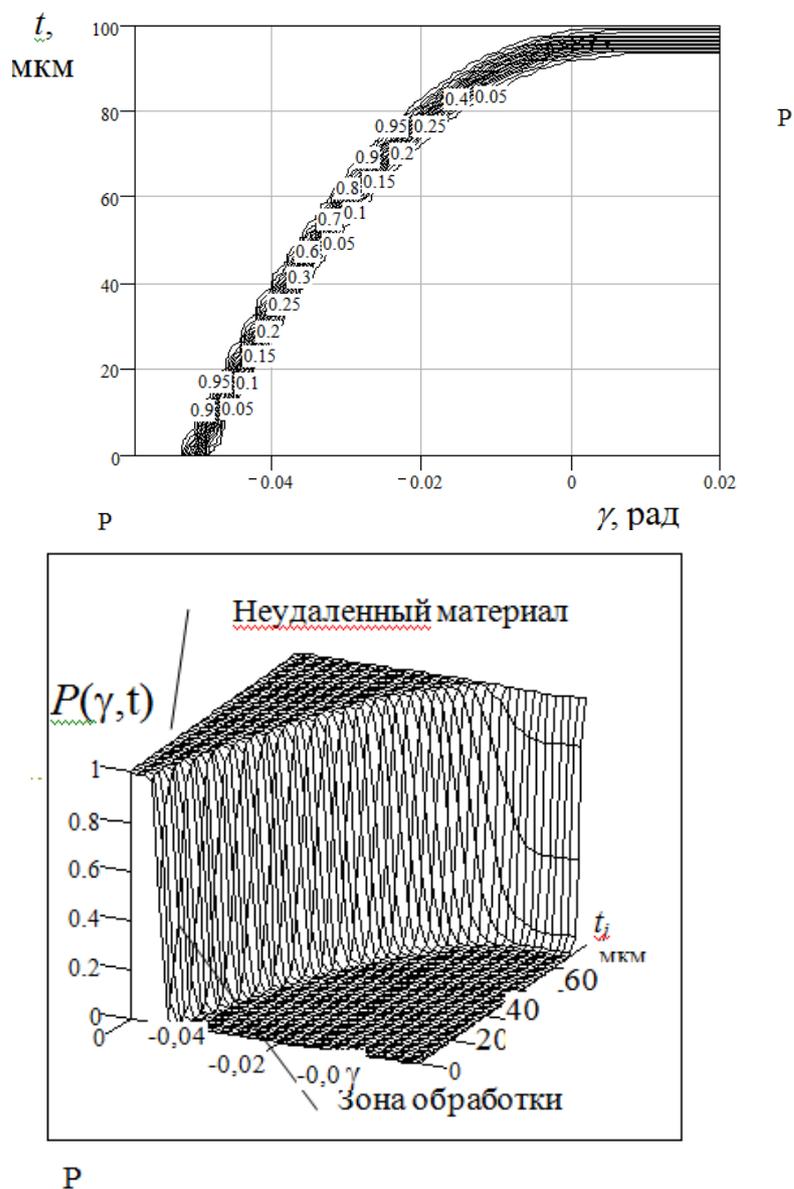


Рис. 3. Двумерные сечения вероятности неудаления ($P(\gamma, t)$) материала припуска при глубинном плоском шлифовании периферией шлифовального круга 1A1 250x20x76 AC6-4 125/100 M2-01 после правки $\delta = 2,1$; $\lambda = 1648$; $\Delta u = 0,07$ мм;
 $C_b = 14$; $m = 0,5$; режимы резания: $V_k = 30$ м/с, $V_d = 6$ м/мин, $t = 0,1$ мм [2]

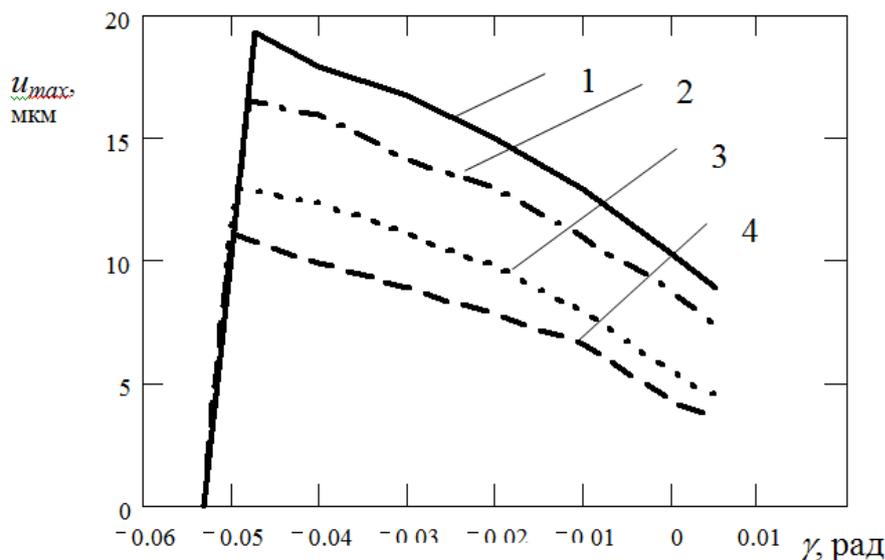


Рис. 4. Зависимость максимальной величины заглабления зерен в ОМ (u_{max} , мкм) от угла контакта заготовки с кругом 1А1 250х20х76 АС6–4–125/100 М2-01; режимы резания: $V_k=30$ м/с, $V_d=6$ м/мин, $t=0,1$ мм: после правки
 1 – $\delta = 2,1$; $\lambda = 0,0006$; $\Delta R = 0,07$ мм; $C_b = 14$; $m = 0,5$; $n_z = 21$ шт/мм²;
 2 – $\delta = 2,1$; $\lambda = 0,0006$; $\Delta R = 0,07$ мм; $C_b = 23$; $m = 0,5$; $n_z = 21$ шт/мм²;
 3 – $\delta = 1,58$; $\lambda = 0,012$; $\Delta R = 0,04$ мм; $C_b = 14$; $m = 0,5$; $n_z = 17$ шт/мм²;
 после удаления 7 см³ АС-370 на 1 мм рабочей поверхности круга:
 4 – $\delta = 1,58$; $\lambda = 0,012$; $\Delta R = 0,04$ мм; $C_b = 23$; $m = 0,5$; $n_z = 17$ шт/мм² [4]

Проанализируем влияние скорости резания и скорости заготовки на число активных зерен в радиальных сечениях заготовки при плоском шлифовании периферией круга. Наибольшее число активных зерен находится в сечениях заготовки, примыкающих к обрабатываемой поверхности, и их число постепенно снижается по мере приближения к обработанной поверхности. Максимальная глубина внедрения зерен в ОМ увеличивается от обработанной поверхности к поверхности заготовки (рис. 4). С увеличением скорости круга и подачи число активных зерен на единицу ширины круга возрастает. Так при возрастании подачи стола в 60 раз с 0,5 м/мин до 30 м/мин, максимальное число активных зерен в зоне резания увеличивается, примерно, в 2 раза. Максимальная глубина внедрения зерен в ОМ при этом также возрастает, примерно, во столько же раз. Можно определить распределение активных зерен в зоне контакта при плоском шлифовании заготовки периферией круга. Ожидаемое количество активных алмазных зерен в различных радиальных сечениях заготовки по рабочей зоне контакта получено расчетом и приведено на рис. 5.

Распределение активных зерен в радиальных сечениях рабочей зоны на заготовке близко к нормальному закону (по критерию согласия Пирсона χ^2) за исключением радиальных сечений, близких к входу и выходу ШК из зоны резания. При этом максимальное число активных зерен в радиальных сечениях изменяется. Увеличение скорости резания приводит к уменьшению глубины зоны резания при незначительном уменьшении числа активных алмазных зерен. Таким образом, повышение производительности обработки при шлифовании возможно одновременно при увеличении скорости шлифовального круга.

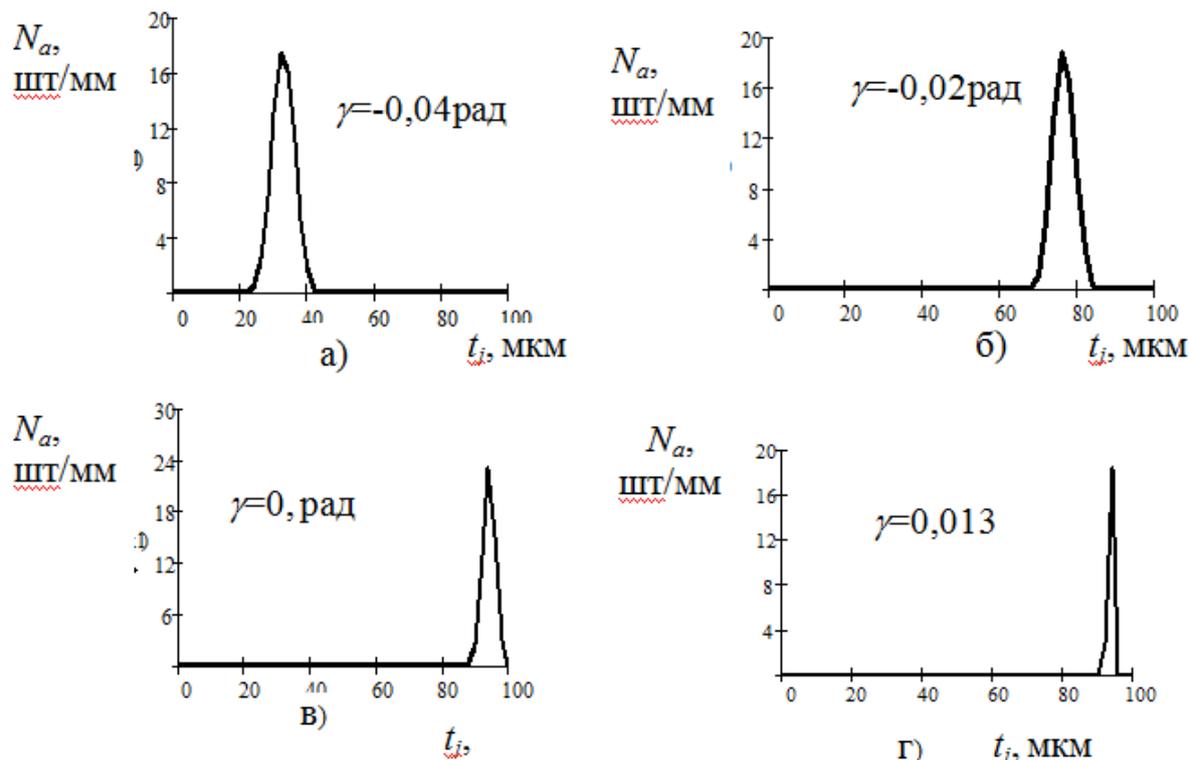


Рис. 5. Распределение активных зерен в радиальных сечениях заготовки для плоского шлифования периферией круга 1А1 250x20x76 АС6–4 125/100 М2-01 после правки с числом зерен на поверхности $n_3 = 21 \text{ шт/мм}^2$ с режимами резания $V_k = 30 \text{ м/с}$, $t = 0,1 \text{ мм}$ при различном расположении радиального сечения:
а) $\gamma = -0,04 \text{ рад}$; б) $\gamma = -0,02 \text{ рад}$; в) $\gamma = 0 \text{ рад}$; г) $\gamma = 0,013 \text{ рад}$ [4]

Наибольшие суммарные сечения среза материала припуска приходятся на начало рабочей зоны у поверхности заготовки. Затем они постепенно снижаются к обработанной поверхности. Это хорошо согласуется с общеизвестными фактами. Распределение суммарных сечений среза материала, удаляемых в рабочей зоне кругом единичной ширины, для круглого наружного врезного шлифования показано на рис. 6.

Для анализа условий работы зерен наибольший интерес представляет величина средних сечений срезов обрабатываемого материала на зернах. Среднее сечение среза на зерне f_3 определится по зависимости:

$$f_3(\gamma, t_j) = \frac{\int_{\gamma_0}^{\gamma_n} \int_0^{u_{\max}(\gamma, t_j)} P(\varphi, t_j) \cdot f(u) \cdot C_b \cdot (u_{\max}(\varphi, t_j) - u)^m \cdot [\cos(\varphi + \gamma) + \sin(\varphi + \gamma)] du d\gamma}{\frac{V_k}{V_d} n_3 \int_0^{\gamma_n} \int_0^{u_{\max}(\gamma, t_j)} f(u) \cdot P(\varphi, t_j) \cdot [\cos(\varphi + \gamma) + \sin(\varphi + \gamma)] \cdot (r - t_j) du d\gamma},$$

где γ – угол, задающий положение исследуемой площадки, рад.

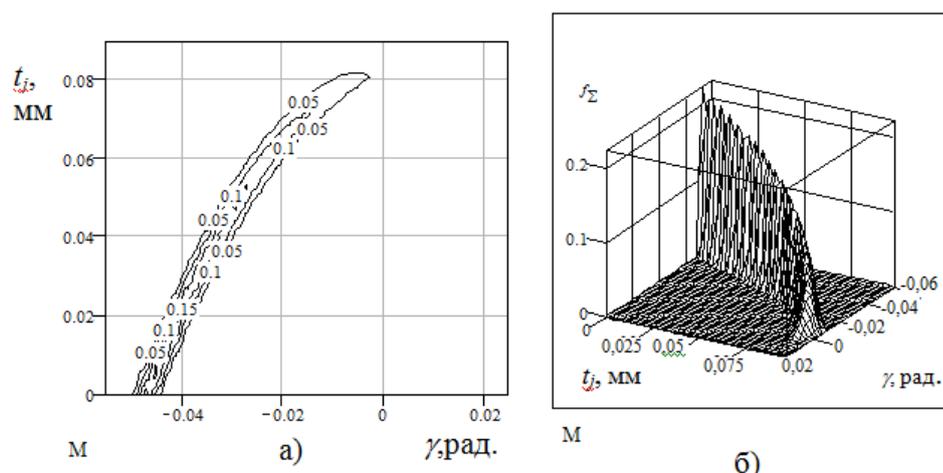


Рис. 6. Двумерные сечения распределения суммарной площади сечений среза материала f_{Σ} , удаляемых в зоне контакта кругом единичной ширины, для плоского врезного шлифования (в мм^2) материала припуска в зоне резания при плоском врезном шлифовании периферией шлифовального круга 1A1 200x20x76 AC6-4-125/100 M2-01 после правки $\delta = 2,1$; $\lambda = 1648$; $\Delta u = 0,07$ мм; $C_b = 0,4$; $m = 0,65$; $t = 0,1$ мм: $V_k = 30$ м/с, $V_d = 30$ м/мин [4]

На рис.7 показано распределение площади средних сечений среза на зернах в радиальных сечениях заготовки для условий плоского врезного наружного шлифования периферией круга 1A1 250x20x76 125/100-4 с режимами $V_k = 30$ м/с; $t = 0,1$ мм.

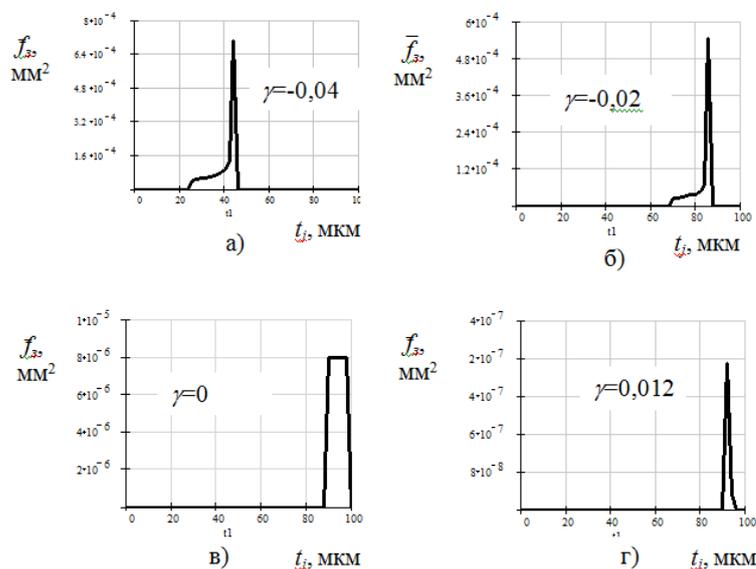


Рис. 7. Распределение площади средних сечений среза ОМ на алмазных зернах в радиальных сечениях (определяемых углом γ) заготовки $r = 50$ мм для круглого наружного шлифования периферией круга 1A1 250x20x76 AC6-4 125/100 M2-01 после правки с числом зерен на рабочей поверхности $n_3 = 21$ шт/мм²;

$V_k = 30$ м/с, $V_d = 6$ м/мин, $t = 0,1$ мм:

а) $\gamma = -0,04$ рад; б) $\gamma = -0,02$ рад; в) $\gamma = 0$ рад; г) $\gamma = 0,012$ рад [4]

Выводы

Установление основных закономерностей, связывающих геометрические параметры рельефа режущей поверхности с параметрами процесса резания и качеством обрабатываемой поверхности, позволяет перейти к нормированию и контролю основных характеристик рабочей поверхности круг. Определение важнейших характеристик процесса резания, в частности, среднего сечения среза, позволяет значительно повысить качество поверхностного слоя обрабатываемой заготовки. Однако существующие методики расчета этой величины некорректно отображают зависимости между величинами при глубинном шлифовании. Дальнейшие научные поиски в этом направлении позволят ликвидировать существующие недочеты в методике расчета, что, в конечном итоге, приведет к повышению качества изделия без увеличения затрат на механическую обработку.

Список источников: 1. Пташников, В.С. Физическая и нормативная твердость абразивных инструментов из высокотвердых и сверхтвердых материалов. Часть 1. Физическая твердость абразивных инструментов / В.С. Пташников // Сверхтвёрдые материалы. Научно-теоретич. журнал. – Киев: 2004. – № 4. – С. 75-88. 2. Гусев, В.В. Закономерности изменения состояния рабочей поверхности алмазного круга при шлифовании керамики / В.В. Гусев, А.Л. Медведев, В.В. Савельев // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ. – 2007. – Вип. № 4 (124). – С. 21-30. 3. Воробьев, А.А. Описание процесса износа алмазных зерен при шлифовании керамики / А.А. Воробьев, В.В. Гусев // Инженер. Студ. научно-техн. журнал. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – № 4. – С. 21-24. 4. Гусев, В.В. Влияние состояния алмазного круга на качество поверхностного слоя изделий из керамики / В.В. Гусев // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ: ДДМА. – 2002. – Вип. № 12. – С. 234-241. 5. Маслов, Е.Н. Теория шлифования материалов / Е.Н. Маслов – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с. 6. Новосолов, Ю.К. Динаміка формування поверхонь при абразивній обробці: Монографія / Ю.К. Новосолов. – Севастополь: СевНТУ, 2012. – 304 с.

УДК 621.941-229.3

АНАЛИЗ ФОРМУЛ ДЛЯ РАСЧЁТА ПРОГИБА ЛЕПЕСТКА ЦАНГИ В СРЕДНЕМ СЕЧЕНИИ С УЧЁТОМ ВЛИЯНИЯ НАГРУЖЕНИЯ ДРУГИХ ЛЕПЕСТКОВ

Майданюк М.Р., Полтавец В.В.

(кафедра МСМО, ГОУВПО «ДонНТУ», г. Донецк, ДНР)

Аннотация. В статье анализируются предлагаемые в технической литературе расчётные схемы нагружения лепестка цанги и полученные из этих схем уравнения упругой линии деформированного лепестка цанги. Показано, что уравнения упругой линии деформированного лепестка цанги требуют уточнения исходных положений и принятых допущений.

Ключевые слова: зажимная цанга, лепесток, схема нагружения, жёсткость, деформация, прогиб.

Введение

Наиболее распространенными целевыми механизмами прутковых автоматов являются цанговые зажимные механизмы, служащие для закрепления заготовок в процессе их механической обработки. Эти механизмы характеризуются относительной конструктивной простотой и удобством использования, так как для закрепления заготовки требуется лишь одно поступательное движение зажимной цанги.

Зажимная цанга (рис. 1) представляет собой втулку со сквозными шлицами, образующими упругие лепестки, которые могут зажимать заготовку при их деформировании. Цанговые зажимные механизмы служат для закрепления прутка или штучных заготовок различного профиля. При этом профиль заготовки не влияет на конструкцию цангового механизма, а определяет только форму отверстия зажимной цанги, которое должно соответствовать профилю поперечного сечения заготовки.

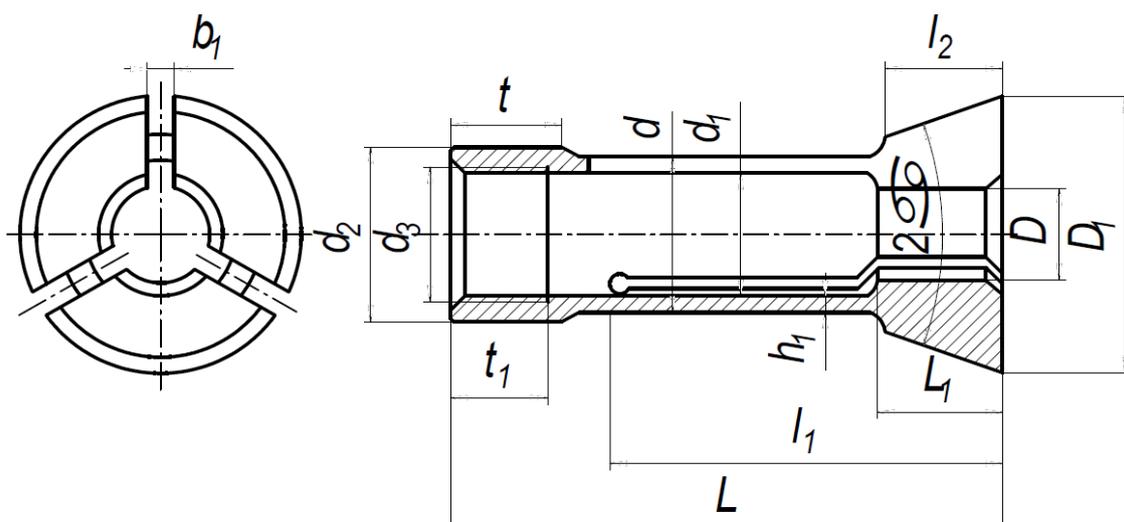


Рис. 1. Основные элементы зажимной цанги

На рис 1. указаны основные геометрические параметры конструктивных элементов зажимной цанги: D – диаметр зажимного отверстия цанги; d – наружный диаметр пружинящей части лепестка цанги; d_1 – внутренний диаметр лепестка цанги; d_2 – диаметр направляющего пояска; d_3 – диаметр резьбы цанги; D_1 – диаметр головки цанги; t – длина направляющего пояска цанги; t_1 – длина резьбы цанги; h_1 – толщина пружинящей части лепестка; L_1 – длина зажимной губки цанги; l_1 – длина лепестка; l_2 – длина головки цанги; L – длина цанги; b_1 – ширина шлица; 2α – угол головки цанги.

Главной силовой характеристикой цанг является жёсткость лепестков, которая влияет на изменение силы, жёсткости, точности и прочности зажима, а для саморазжимных цанг – на необходимую величину деформации предварительно напряженного состояния лепестков [1]. Расчёт жёсткости лепестков при проектировании цанговых зажимных механизмов является важной практической задачей инженеров-конструкторов технологической оснастки.

Целью данной работы является анализ предлагаемых в технической литературе схем нагружения лепестка цанги с точки зрения адекватности расчетных значений жёсткости лепестков.

Основное содержание работы

Лепесток цанги при его заделке в конце разрезки согласно Ю.Н. Кузнецову [2] характеризуется податливостью как цилиндрическая оболочка, поворачивающаяся на некоторый угол. При этом лепесток, нагруженный поперечной силой P , рассматривается как двухопорная балка при её поперечном изгибе с симметричным нагружением (рис. 2, а).

При рассмотрении напряженно-деформированного состояния лепестка цанги при его заделке в конце разрезки без учёта нагружения и заделки других лепестков указанная схема приводит к занижению значения расчётной жёсткости лепестка при решении дифференциального уравнения упругой линии защемлённого в заделке лепестка [1].

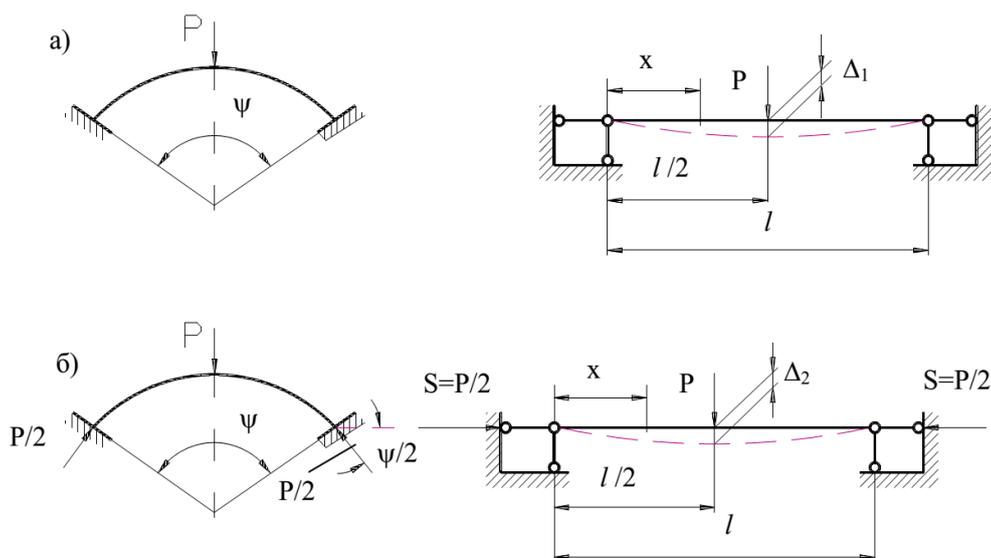


Рис. 2. Схемы нагружения лепестка зажимной цанги с жёсткой заделкой:

а – без учёта влияния нагружения других лепестков;

б – с учётом влияния нагружения других лепестков

В связи с этим предложено дополнить схему нагружения лепестка цанги сжимающей силой S . В работе [3] лепесток цанги рассматривается как двухопорная балка с симметричным нагружением при продольно-поперечном изгибе, когда одновременно действуют поперечная сила P и сжимающая сила $S = P/2$ (см. рис. 2, б).

Для схемы нагружения без учёта влияния нагружения других лепестков уравнение упругой линии имеет вид [3]:

$$y_1 = \Delta_1(x) = \frac{Pl^3}{48EI} \left(3 \frac{x}{l} - 4 \frac{x^3}{l^3} \right), \quad 0 \leq x \leq \frac{l}{2},$$

а прогиб лепестка в среднем сечении

$$\Delta_1 = \frac{Pl^3}{48EI}, \quad (1)$$

где l – расстояние между опорами;

E – модуль упругости материала лепестка;

I – момент инерции лепестка в сечении заделки относительно нейтральной оси.

Для схемы нагружения с учётом влияния нагружения других лепестков уравнение упругой линии имеет вид [3]:

$$y_2 = \Delta_2(x) = \frac{Pl}{2S} \left(\frac{\sin \alpha x}{\alpha l \cos \frac{\alpha l}{2}} - \frac{x}{l} \right), \quad 0 \leq x \leq \frac{l}{2},$$

а прогиб лепестка в среднем сечении

$$\Delta_2 = \frac{Pl}{2S} \left(\frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha l}{2}}{\alpha l} - \frac{1}{2} \right), \quad (2)$$

где α – величина, определяемая соотношением $\alpha = \sqrt{\frac{S}{EI}}$.

При расчёте величины прогиба по формулам (1) и (2) по следующим исходным данным: поперечная сила $P = 10^3$ Н, расстояние между опорами $l = 10^2$ мм, модуль упругости $E = 2 \cdot 10^5$ Н/мм², момент инерции лепестка $I = 10^3$ мм⁴, прогиб лепестка в среднем сечении при схеме нагружения без учёта влияния нагружения других лепестков более, чем в 2 раза превышает прогиб лепестка для схемы нагружения с учётом влияния нагружения других лепестков (по данным, представленным в работе коллектива Р.Г. Редько [3]):

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= 0,107 \text{ мм;} \\ \Delta_2 &= 0,050 \text{ мм при } \alpha = 0,00158. \end{aligned}$$

Это означает, что для схемы нагружения, приведенной на рис. 2, б, расчётная изгибная жёсткость заземленного лепестка выше примерно в 2 раза.

Однако, полученные в работе [3] результаты определения прогиба лепестка в среднем сечении для схемы нагружения с учётом влияния нагружения других лепестков не нашли подтверждения при выполнении расчётов по формуле (2). Более того, при изменении соотношения поперечной и сжимающей силы в диапазоне $S = (0,1 \dots 0,9)P$,

прогиб лепестка в среднем сечении Δ_2 , рассчитанный по формуле (2), практически не изменяется (табл. 1).

Отсюда мы можем сделать два вывода. Во-первых, необходима проверка правильности вывода формулы (2) и исходных уравнений для её получения. Во-вторых, расчетная схема напряженно-деформированного состояния лепестка цанги при его заделке в конце разрезки требует дальнейшего уточнения, так по-прежнему предложенные различными исследователями модели нагружения лепестка цанги не вполне соответствуют экспериментальным данным [4].

Таблица 1. Прогиб лепестка цанги в среднем сечении для схемы нагружения с различными соотношениями сжимающей и поперечной сил

№ п/п	Соотношение сжимающей и поперечной сил S/P	Прогиб лепестка цанги в среднем сечении при комбинированном нагружении, мм	Прогиб лепестка цанги в среднем сечении без учёта влияния нагружения других лепестков, мм
1	0,1	0,1042	0,1041
2	0,2	0,1042	
3	0,3	0,1043	
4	0,4	0,1043	
5	0,5	0,1044	
6	0,6	0,1044	
7	0,7	0,1045	
8	0,8	0,1045	
9	0,9	0,1046	
10	1,0	0,1046	

Выводы

1. Уравнение упругой линии деформированного лепестка цанги требует уточнения исходных положений и допущений, а после решения – проверки адекватности решения экспериментальным данным.

2. Перспективным направлением развития теоретического описания напряженно-деформированного состояния лепестков цанги является уточнение зависимостей для расчёта изгибной жёсткости лепестка с учётом его конструктивных параметров и параметров материала.

Список литературы: 1. Кузнецов Ю.Н. Инструментальные зажимные патроны: Монография / Под общ. ред. Ю.Н. Кузнецова. В.Н. Волошин, В.Б. Фиранский, О.А. Гуменюк. – К.: ООО «Гнозис», 2012. – 286 с. 2. Кузнецов, Ю.Н. Деформация лепестков цанг при различных схемах нагружения / Ю.Н. Кузнецов // Вестник КПИ. Серия Машиностроение. – 1975. – № 12. – С.63-68. 3. Редько, Р.Г. Дослідження пружно-силових характеристик затискних цанг, виготовлених за діючими та новими технологіями / Р.Г. Редько, О.І. Редько, В.В. Шанайда, Р.А. Скларов // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк, 2014. – Вып. № 44. – С. 249-253. 4. Блинов, Е.С. Исследование напряженно-деформированного состояния разрезных цанг / Е.С. Блинов, А.А. Шатилов // Вестник машиностроения. – 2013. – № 1. – С. 3-7.

УДК 621.91.01

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГА-МАШИНОСТРОИТЕЛЯ – СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ОТ SANDVIK COROMANT

Подольхов Д.А., Наливайко С.А.

*(ГПОУ «Горловский колледж промышленных технологий и экономики»,
г. Горловка, ДНР)
dpodolhov@yandex.ua*

Аннотация: *В содержание работы технолога-машиностроения входит выполнение таких функций как выбор инструмента и оснастки для обработки той или иной поверхности, назначение рациональных режимов резания, нормирование основного и вспомогательного времени на обработку. Реализация указанных действий автоматизированным способом может осуществляться на основе описанных в данной статье решений фирмы SANDVIK COROMANT.*

Ключевые слова: *SANDVIK COROMANT, технолог-машиностроитель, режимы резания, обработка, нормирование, инструмент, механический калькулятор.*

Введение

В век информационных технологий мы сталкиваемся с техникой и программами, которые упрощают работу человека, облегчают его быт и производственную деятельность. Этот вопрос автоматизации коснулся всех сфер жизни и отраслей производства, включая машиностроение.

На данный момент существует много программ, которые облегчили работу конструкторам и технологам, токарям и фрезеровщикам. Например, раньше конструкторы выполняли конструкторские работы вручную, а сейчас им в помощь пришли многочисленные САД-системы, например программа КОМПАС-3D. При этом кроме традиционного чертежа на плоскости (2D-чертежа) конструктор может построить деталь в в трёхмерном представлении (3D-модель) и увидеть, как проектируемая деталь будет на самом деле выглядеть, как она будет сопрягаться в разрабатываемом механизме с другими деталями; при необходимости можно просчитать кинематические характеристики и увидеть работу отдельных узлов в процессе их функционирования [1].

При традиционном подходе технолог-машиностроитель перед тем как написать технологический процесс должен был использовать многочисленные справочные и нормативные материалы для расчетов режимов резания, заполнить технологическую документацию: карты эскизов, операционные и маршрутные карты, разработать карты наладки или схемы сборки изделия. А сейчас все операции проектирования и нормирования технологических процессов могут быть выполнены в программе СПРУТ-ТП, которая содержит в себе комплекс всех стандартных форм технологической документации, государственных стандартов, машиностроительных нормалей и нормативов [2]. Расчеты режимов резания и времени обработки детали производятся в механическом калькуляторе.

Широкие возможности для автоматизации работы технолога-машиностроителя предоставляют решения компании SANDVIK COROMANT. Эта компания представляет собой подразделение международной промышленной группы Sandvik, которая является ведущим мировым поставщиком инструментов, решений и ноу-хау для металлообра-

тывающей отрасли, создает уникальные инновации и устанавливает новые стандарты, необходимые как сегодня, так и в будущем. Компания SANDVIK COROMANT занимается так же производством твердосплавных пластин и режущих инструментов, вспомогательной оснастки и её крепежа для современных станков с ЧПУ и обрабатывающих центров [3].

Основное содержание работы

Рассмотрим работу механического калькулятора от компании SANDVIK COROMANT. Автоматизированный механический калькулятор разработан программистами компании для выбора необходимого инструмента по электронным каталогам и для подбора соответствующих такому инструменту оптимальных режимов резания.

На первом этапе заходим на сайт компании на русском языке по ссылке: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/>.

Сайт предлагает рабочее меню (рис. 1), которое имеет название «Что вы хотите сделать сегодня?».

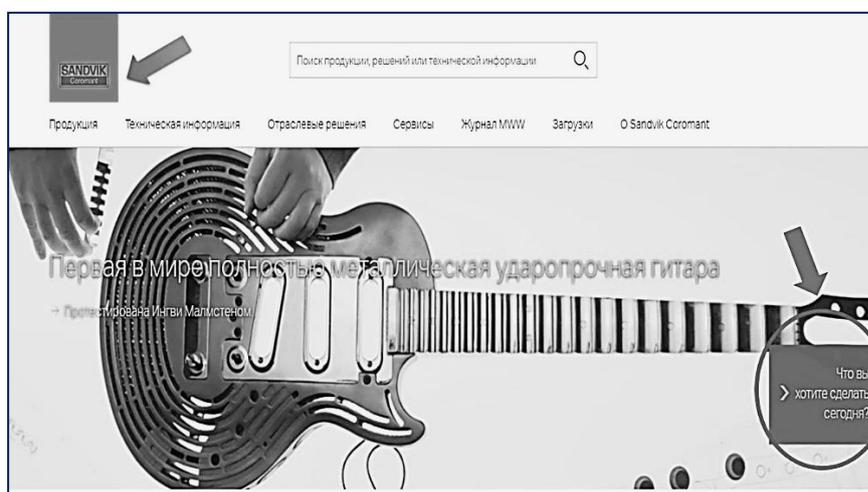


Рис. 1. Расположение меню «Что вы хотите сделать сегодня?» на сайте компании SANDVIK COROMANT

В меню «Что вы хотите сделать сегодня?» выбираем пункт «Режимы резания» (рис. 2). SANDVIK COROMANT предлагает несколько калькуляторов режимов резания и мобильных приложений, которые помогут вам как технологу на всех этапах производственного процесса.

Далее выбираем подпункт «Оптимальные режимы» (рис. 3). При помощи этого приложения возможно рассчитать оптимальные параметры режима резания для токарной обработки, сверления, фрезерования и нарезания резьбы метчиком с помощью калькуляторов режимов резания. После нажатия на подпункт «Оптимальные режимы» происходит переход на страницу калькулятора.

Необходимо выбрать тип используемого калькулятора. На сайте предлагаются два вида механических калькуляторов: CoroPlus® ToolGuide и Cutting Speed Calculator. Выбираем CoroPlus® ToolGuide (рис. 4) [4].

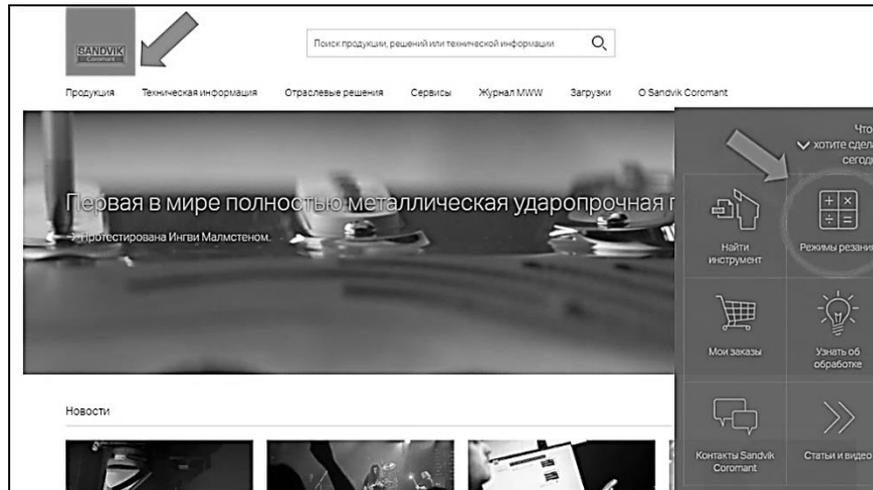


Рис. 2. Расположения пункта «режимы резания» на сайте компании SANDVIK COROMANT

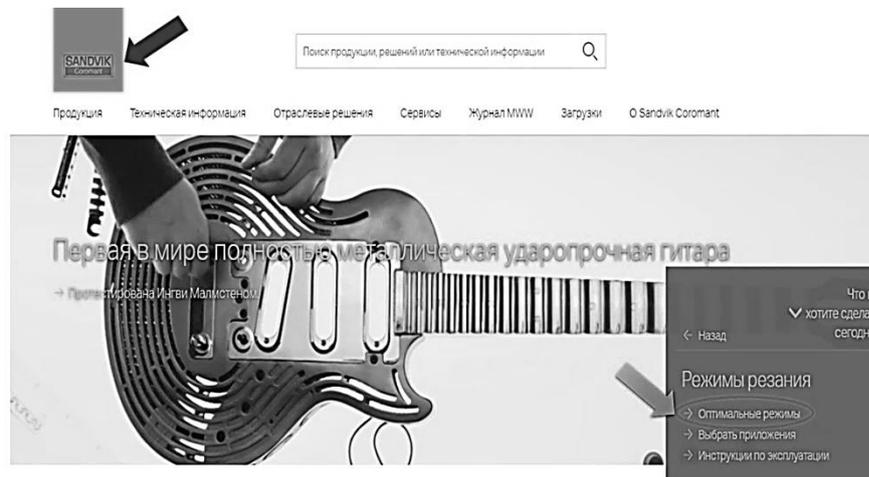


Рис. 3. Содержание пункта «Режимы резания»

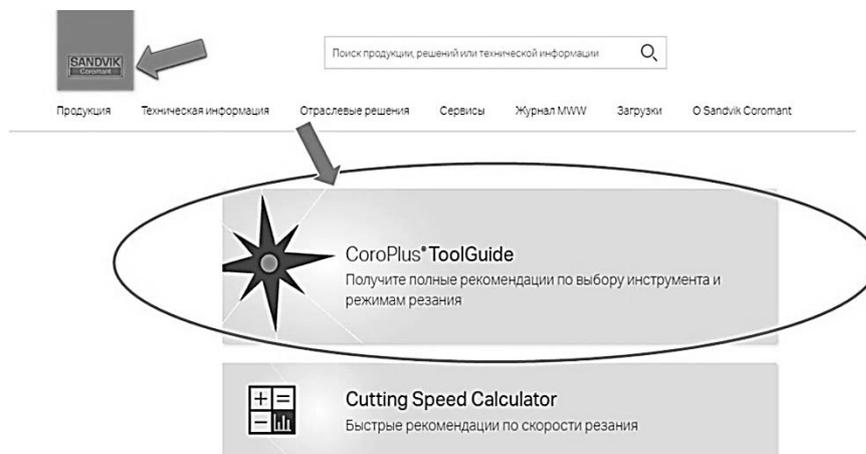


Рис. 4. Выбор типа калькулятора

Расчет начинается с выбора типа детали – симметричной вращающейся или же невращающейся, обрабатываемой фрезерованием плоской детали. Выберем симметричную вращающуюся деталь (рис. 5).

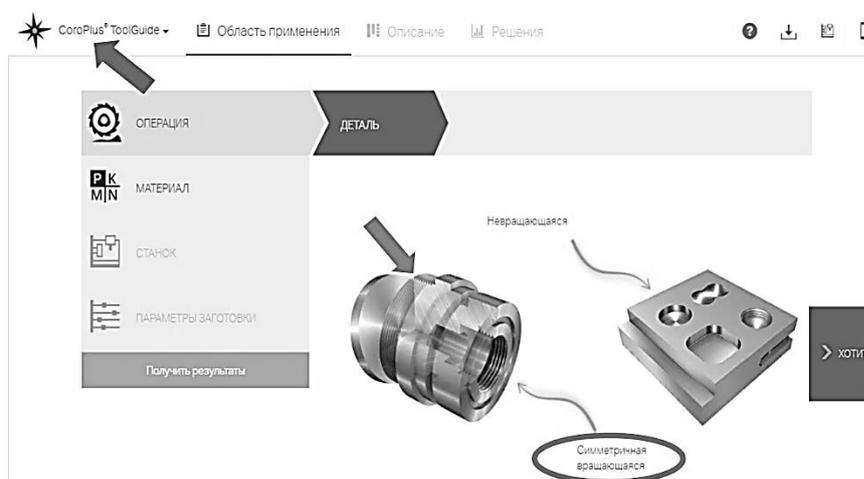


Рис. 5. Выбор вида детали для расчёта режимов резания

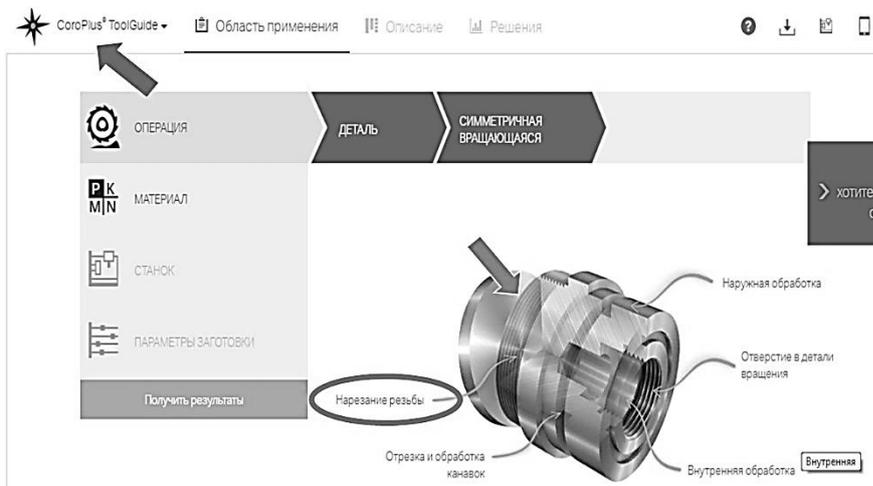
Далее следует выбрать метод обработки – наружная обработка, внутренняя обработка (расточивание), отрезка или обработка канавки, нарезание резьбы.

Для примера рассмотрим определение в автоматическом калькуляторе CoroPlus® ToolGuide режимов для нарезания наружной резьбы М16х1 на стальном прутке (рис. 6).

Расчёт начинается с выбора свойств материала заготовки и условий обработки. Выбираем низколегированную сталь твердостью 175 НВ (рис. 7). Назначаем станок, на котором будет выполняться обработка. Из предлагаемого списка можно выбрать наиболее близкий к заданному по характеристикам.

Далее в определенные ячейки рабочего окна приложения вводятся геометрические параметры обрабатываемого элемента детали: тип резьбы – метрическая М16х1: длина резьбы – 30 мм; направление резьбы – правая; класс точности резьбы – 6g (рис. 8). Здесь же можно указать направление вращения детали.

После введения всех требуемых данных подсвечивается кнопка «Получить результаты». После её нажатия результирующее окно программы выдает полученные результаты, а именно: тип инструмента и тип сменной режущей твердосплавной пластины по каталогу фирмы SANDVIK COROMANT, стойкость инструмента (в деталях), параметры режимов резания (число рабочих ходов и разбивка припуска по ходам, подача, скорость резания, рекомендуемый диаметр поверхности под нарезание резьбы, основное время обработки), состав рекомендуемой смазывающе-охлаждающей жидкости согласно каталогов SANDVIK COROMANT (рис. 9). Нужно отметить, что калькулятор выдает не единственный вариант выбора режимов резания, можно просмотреть и альтернативные варианты.



а



б

Рис. 6. Выбор вида обработки (а) и типа поверхности (б)

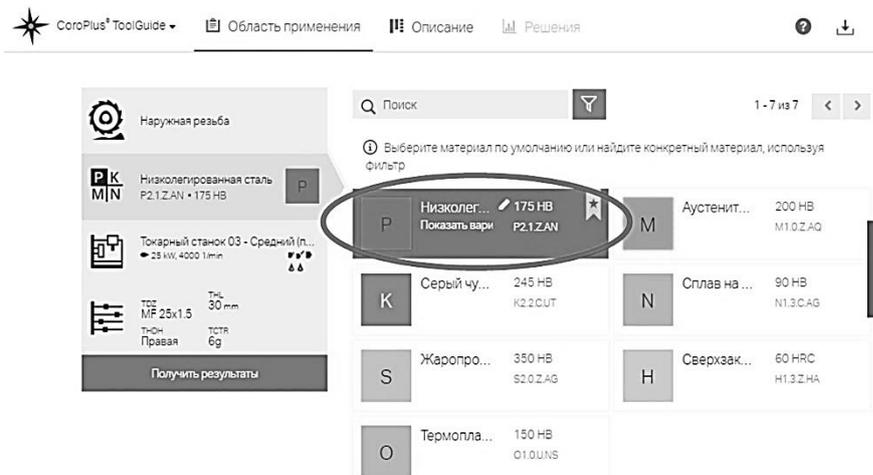


Рис. 7. Выбор свойств заготовки и вида стали

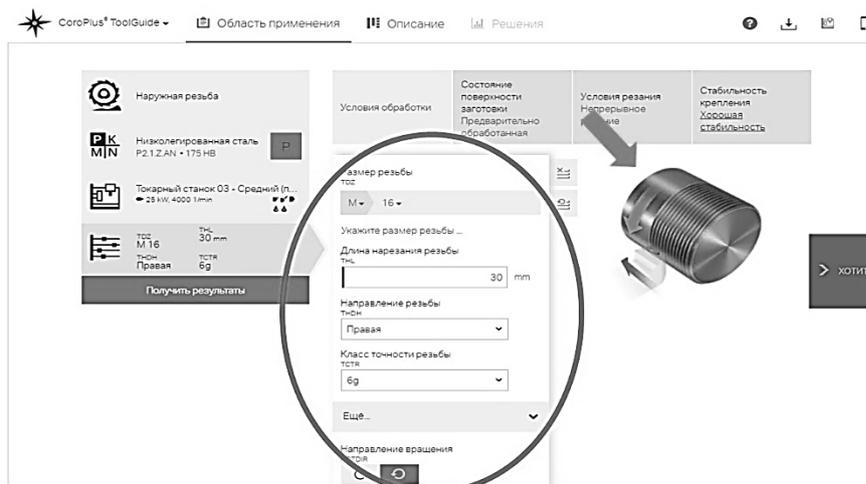


Рис. 8. Ввод геометрических параметров для расчета режимов резания

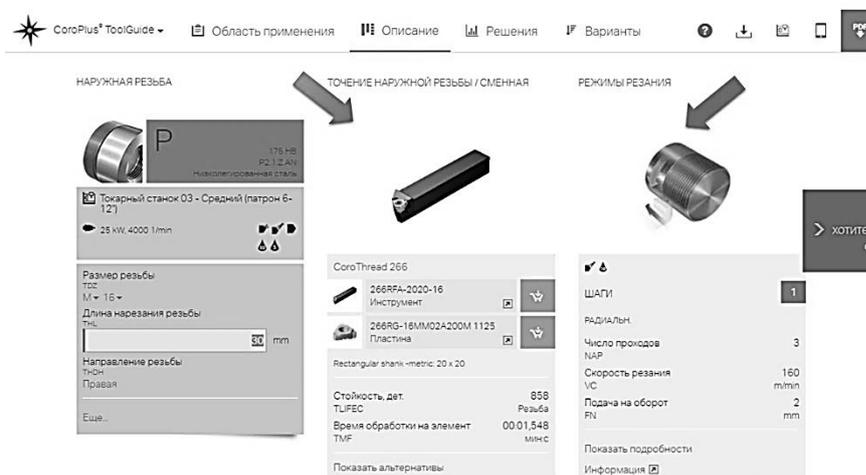


Рис. 9. Результат автоматизированного расчета режимов резания

Выводы

Всего расчет режимов резания и выбор параметров режущего инструмента занимает около 1,0-1,5 мин. При выполнении таких же действий вручную технолог-нормировщик должен затратить минимум 30 мин, используя типовые действия по поиску информации в справочной литературе и печатных каталогах. Преимущества автоматизированного калькулятора явно проявляются в экономии времени и могут быть реализованы как в производственной практике, так и в учебном процессе.

Список литературы: 1. САПР Компас-3D: обзор для новичков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3ddevice.com.ua/blog/3d-printer-obzor/obzor-kompas-3d/>. 2. СПРУТ-ТП автоматизированное проектирование и нормирование технологических процессов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sprut.ru/products-and-solutions/products/sprut-tp>. 3. SANDVIK COROMANT. Формируем будущее вместе. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/aboutus/pages/default.aspx>. 4. Механический калькулятор CoroPlus® ToolGuide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/Pages/toolguide.aspx>.

УДК 621.9.04: 621.771.07
**ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ
 ОБРАБОТКИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ВАЛКОВ**

Полянский Д.Д., Полтавец В.В.
(кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация: В статье рассмотрены виды технологического оборудования и технологические возможности механической обработки твердосплавных прокатных валков.

Ключевые слова: прокат металла, твердосплавный прокатный валок, вальцетокарный станок, вальцефрезерный станок.

Введение

Как известно, порядка 10% стоимости прокатного передела приходит на прокатные валки. Из-за износа рабочей части чугунного цельного валка (бочки) списываются валки с вполне пригодными шейками. 20-25% рабочего времени стана приходится на смену (перевалку) валков [1].

Эффективным решением данных проблем может оказаться применение бандажированных валков с твердосплавными кольцами (рис. 1.). Рабочая поверхность данных валков имеет стойкость в два и выше раза больше, чем у цельных. Ещё одной причиной изготовления составных валков является возможность применения бандажей из материалов более высокой стойкости. К примеру, изготовление цельных валков из твердосплавных материалов затруднительно ввиду неспособности выдерживать большие крутящие моменты и изгибающие нагрузки [1].

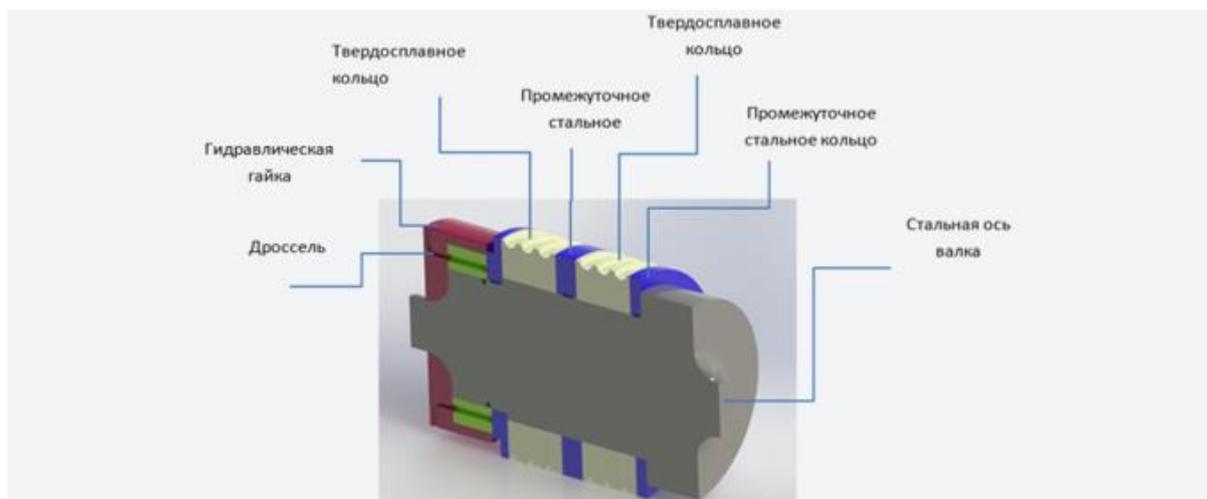


Рис. 1. Схематическое изображение составных элементов твердосплавного валка

Но, в связи с увеличением твердости обрабатываемого материала по сравнению с чугунными валками, так же увеличивается и сложность обработки. Для получения необходимой формы на бочке валков сортовых прокатных станов нарезаются на вальцетокарных станках кольцевые проточки различной формы. Кольцевая проточка на одном валке называется ручьем. Ручьи двух валков образуют калибр. Форма калибров,

которые бандажируются твердым сплавом, используется для получения проката простой формы – квадрата, круга и т.п. Для обработки бочки, шеек и торцев прокатных валков с твердосплавными бандажами применяются вальцетокарные станки с ЧПУ.

Целью данной статьи является изучение технологических возможностей для механической обработки (токарной и фрезерной) твердосплавных валков, рассмотрение перспективных видов оборудования на примере станков Рязанского станкостроительного завода.

1. Вальцетокарные станки

Для токарной обработки прокатных валков с твердосплавными бандажами предлагается вальцетокарный станок с ЧПУ (на базе токарного станка 1Н65Ф3-3) (рис. 2).



Рис. 2. Вальцетокарный станок с ЧПУ (на базе 1Н65Ф3-3) [2]

Технические характеристики и жесткость данного станка позволяют использовать возможности быстрорежущего и твердосплавного инструментов при обработке прокатных валков. Станина станка литая, цельная, чугунная. Коробчатая форма и ребра обеспечивают большую жесткость всей конструкции. Наличие двух призматических направляющих обеспечивает высокое качество обработки изделий. На фланце шпинделя устанавливается 4-х кулачковый патрон с независимым перемещением кулачков. Изменение частоты вращения шпинделя достигается изменением частоты вращения главного привода, благодаря электродвигателю постоянного тока. Опоры шпинделя выполнены на высокоточных подшипниках, обеспечивая тем самым качественную работу станка. Перемещение задней бабки станка осуществляется при помощи механизированного редуктора [2].

Нанесение фторопластового материала на направляющие каретки позволяет получить высокую точность обработки, устойчивость к вибрациям и обеспечивает плавность перемещения суппорта. Повышенная точность обработки возможна благодаря использованию прецизионных шарико-винтовых передач (ШВП). Смазка направляющих, опор и ШВП осуществляется через импульсную систему смазки. Контроль перемещений происходит благодаря наличию датчиков обратной связи.

2. Вальцефрезерные станки

Для нанесения канавок (периодического профиля) в ручьях чугунных и твердосплавных валков используют вальцефрезерные станки (рис. 3).



Рис. 3. Вальцефрезерный станок с ЧПУ (на базе 1Н65Ф4-3) [3]

Вальцефрезерный станок, общий вид которого приведен на рис. 3, в автоматическом режиме способен выполнять нарезку канавок в ручьях валков согласно международным стандартам и при необходимости способен пропускать или расширять канавки. Точность размеров канавок (глубина, толщина и угол наклона) и позиционирование инструмента обусловлены специальной кинематикой передачи крутящего момента от двигателя на инструмент. Отсутствие люфтов в данной передаче дает возможность обрабатывать кольца и шайбы из карбида вольфрама [3].

Станки данного типа уникальны для российского рынка, их аналоги есть только за рубежом. Производством аналогов данного станка занимаются только две известные зарубежные фирмы: «Herkules» и «Atomat» [4, 5].

Станина станка цельная, литая, чугунная. Коробчатая форма и ребра обеспечивают большую жесткость всей конструкции. Наличие двух призматических направляющих многократно уменьшает переориентацию каретки, что обеспечивает высокое ка-

чество обработки изделий. Шпиндель шпиндельной бабки – 3-хопорный. На задней части шпинделя через безлюфтовый червячный редуктор монтируется серводвигатель и датчик обратной связи, что позволяет получить высокую дискретность оборотов шпинделя. Качественную работу станка обеспечивают опоры шпинделя, выполненные на высокоточных подшипниках. Фторопластовый материал на направляющих каретки позволяет получить высокую точность обработки, устойчивость к вибрациям и повышает плавность перемещения суппорта [3].

Использование в станке прецизионных ШВП также позволяет значительно повысить точность обработки. Смазка всех направляющих, опор и ШВП осуществляется через импульсную систему смазки. Контроль всех перемещений происходит с помощью датчиков обратной связи. На суппорте установлена специальная фрезерная головка [3].

Смена инструмента в головке очень проста и не требует большого времени. Вращение режущего инструмента осуществляется серводвигателем с регулируемой скоростью вращения через безлюфтовый червячный редуктор.

Главной особенностью данного станка является наличие редукторной связи между вращением изделия и вращением режущего инструмента, что гарантированно позволяет получить высокоточную и качественную обработку чугуновых и твердосплавных валков.

Выводы

На данный момент времени существует возможность выбора станков отечественного и зарубежного образца для обработки как чугуновых, так и твердосплавных прокатных валков. Применение современных станков обеспечивает достижение предъявляемых к рабочим элементам валков высоких требований по точности размеров, точности формы, качеству обработанной поверхности.

Важной технологической задачей является наиболее полное использование технологических возможностей рассматриваемых станков и обоснование рациональных режимных параметров обработки. Перспективы модернизации и совершенствования конструкций вальцетокарных и вальцефрезерных станков обосновываются необходимостью обработки новых видов труднообрабатываемых материалов, которые планируют использовать для повышения эксплуатационных характеристик прокатных валков специалисты прокатного производства.

Список литературы: 1. Моллер А.Б. О возможности замены чугуновых валков на твердосплавные в чистовой группе проволочного стана 170 / А.Б. Моллер, С.Я. Унру, Б.И. Воронин // Вестник МГТУ им Г.И. Носова. – 2007. – № 3. – С. 65-68. 2. ПКФ «СТАНКОСЕРВИС». Станок вальцетокарный с ЧПУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.stankoservice-rzn.ru/offers/specializirovannye_stanki/1n65f3_3, свободный. 3. ПКФ «СТАНКОСЕРВИС». Станок вальцефрезерный с ЧПУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.stankoservice-rzn.ru/offers/specializirovannye_stanki/1n65f4_3, свободный. 4. HERKULES. Вальцетокарные станки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.herkules-machinetools.ru/products-services/lathes/>, свободный. 5. АТОМАТ Group. CNC Notching And Marking Machines [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.atomat.com/Products/CNCNotchingAndMarkingMachines.aspx>, свободный.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ

Попова Г.Г., Молчанов А.Д.

(кафедра МСМО, ГОУВПО «ДонНТУ», г. Донецк, ДНР)

Аннотация: В статье рассматриваются проблемы выбора и технологического обеспечения параметров качества поверхностного слоя керамических деталей узла трения, обработанных алмазным шлифованием.

Ключевые слова: шлифование, керамика, качество, шероховатость, узел трения

В настоящее время в мире наблюдается тенденция широкого внедрения изделий из неметаллических и композиционных материалов, которые все шире заменяют металлы во многих отраслях промышленности. Это связано, в первую очередь, со снижением себестоимости продукции при одновременном повышении срока службы, надежности и экологической чистоты.

Начиная с 70-х годов все больший интерес в качестве опор скольжения представляют подшипники, изготовленные из керамических материалов. Уникальные свойства керамики [1] (высокая твердость, прочность, термо- и химическая стойкости, низкая адгезионная способность) определяют высокую износостойкость керамических подшипников, возможность работы в агрессивных средах. Однако, наряду с неоспоримыми преимуществами есть и существенные ограничения в применении этих подшипников: высокий коэффициент трения при работе без смазки, низкая теплопроводность, высокие требования к точности изготовления, хрупкость изделий. При всех этих недостатках керамику можно рассматривать в качестве перспективного материала подшипниковых узлов.

Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований показывает, что триботехнические показатели работы минералокерамического узла трения зависят от шероховатости трущихся поверхностей и пористости керамики, а надежность (вероятность неразрушения) и прочность зависят от уровня дефектности поверхностного слоя керамики.

Целью рекомендаций по выбору параметров алмазной обработки керамических узлов трения скольжения является задание необходимого эксплуатационного профиля и, как следствие, улучшение триботехнических характеристик и повышение срока службы пары трения. Это может быть реализовано с помощью рационального выбора для каждого конкретного случая методов и режимов предварительной и окончательной обработки с учетом технологической наследственности и накладываемых ограничений по состоянию поверхностного слоя.

В условиях массового, крупносерийного и мелкосерийного производств назначение методов и режимов обработки производится на стадии технологической подготовки производства, при разработке операционного технологического процесса [2]. При мелкосерийном и единичном производстве на стадии технологической подготовки производства производится разработка маршрутного технологического процесса с

назначением только методов обработки без определения режимов резания, которые часто устанавливаются самим рабочим уже в процессе выполнения операции. Такое решение задачи возможно способствует снижению себестоимости производства продукции, но совершенно не решает вопроса дальнейшей качественной эксплуатации изделия. В то же время, рациональная эксплуатация триботехнических изделий в современном машиностроении ведет не только к прямому сокращению энергозатрат при эксплуатации узла трения или машины в целом, но и дает существенное снижение расходов на ремонт и переналадку машин за счет повышения их долговечности и надежности [3].

Таким образом, технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей узлов трения скольжения сводится к решению двух задач: выбора материалов пары трения и назначения параметров состояния поверхностного слоя, которые бы обеспечивали требуемые эксплуатационные показатели; выбора маршрута и режимов обработки, обеспечивающих при минимальной себестоимости механической обработки необходимые параметры поверхностного слоя для будущего узла трения.



Рис. 1. Структурная схема подбора пары трения на основе оксидной керамики и определения параметров механической обработки

Возможная структурная схема решения задачи выбора параметров механической обработки деталей узлов трения на основе оксидной керамики представлена на рис. 1.

Исходной информацией является определение условий работы узла трения (блок 1), а именно установление нагрузочных режимов, условий смазки, температурного режима работы, загрязнений и агрессивных сред. Для существующего узла анализируется эксплуатационная информация, для нового узла анализируется конструкторская документация. Результатом этого анализа является заключение о возможности применения в качестве одного из контртел конструкционной керамики. При целесообразности такого использования определяются физико-механические свойства будущего узла на основе конструкционной керамики и определяется контртело для этой пары трения (блок 2). Для данных условий эксплуатации, исходя из условий смазывания, назначается керамическое контртело с определенной пористостью и прочностью.

При создании новой машины или механизма возможна разработка новой конструкции узла трения, которая обеспечивала бы более высокие эксплуатационные показатели. На основе априорной информации или проведения предварительного эксперимента устанавливается контртело для будущей пары трения.

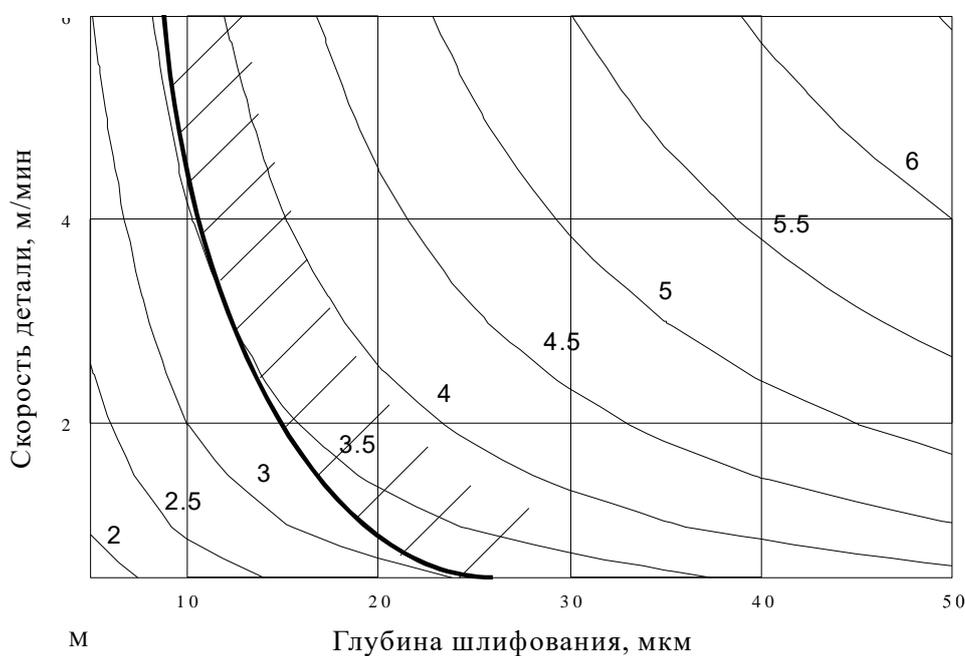
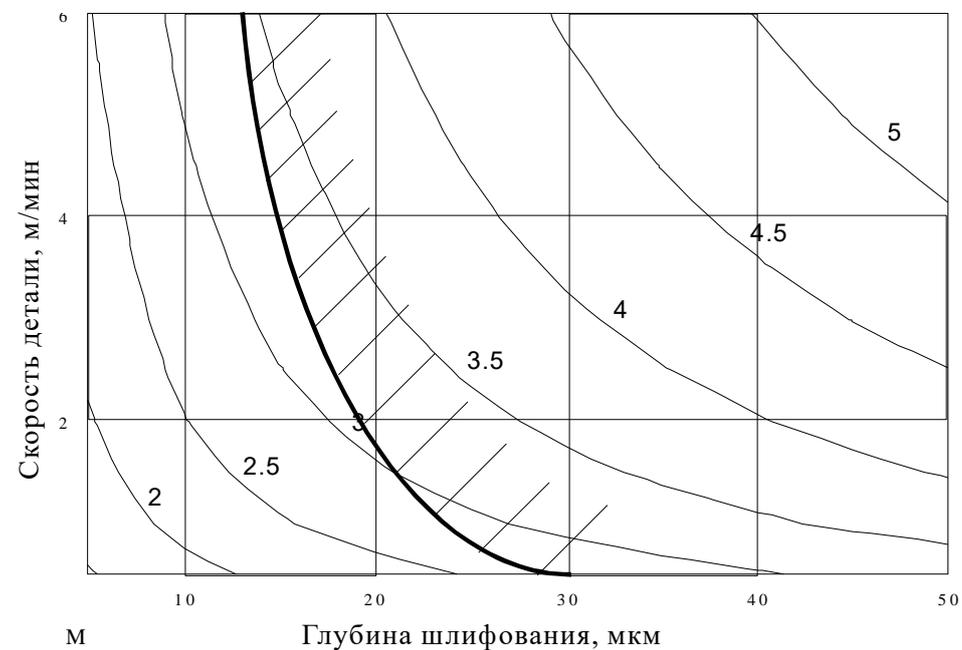


Рис. 2. Рекомендации по выбору режимов резания - глубины шлифования и скорости детали в зависимости от шероховатости поверхности керамики (параметр R_z) с ограничением по максимальному размеру обработочной дефектности (20 мкм). Плоское шлифование периферией круга зернистостью: а – 315/250. б – 125/100 [5]

После анализа условий эксплуатации назначаются параметры поверхностного слоя трущихся тел (блок 3). Целью данного этапа является задание таких параметров шероховатости и дефектности, при которых будут возможны минимальные значения коэффициента трения, времени приработки и износа трущихся поверхностей. Исходя из существующего производства – имеющегося оборудования, наличия инструмента и оснастки, устанавливается маршрут обработки (блок 4). Для снижения себестоимости обработки целесообразно использовать наиболее короткий маршрут, удовлетворяющий ограничениям по шероховатости и дефектности поверхностного слоя (рис. 2). Задание большего количества переходов чистой обработки ведет к снижению шероховатости.

Однако, как показали экспериментальные исследования, равновесная шероховатость для пары трения «керамика – закаленная сталь» лежит в области от 0,5 до 1 мкм (значение высоты микронеровностей – параметр Rz) при различных режимах трения. Задание более низкой шероховатости у этих трущихся тел нецелесообразно не только с экономической точки зрения, но и с эксплуатационной. Как показали исследования работы [4], установившаяся шероховатость может быть как меньше технологической, так и больше.

После установления маршрута обработки необходимо определить режимы резания для всех переходов (блок 5). Важным моментом являются ограничения по параметрам шероховатости и обработочной дефектности (блок 6) (см. рис. 2). Особенно это относится к последнему параметру, т.к. интенсификация режимов обработки, выгодная с экономической точки зрения, ведет к росту уровня обработочной дефектности, что в свою очередь может привести к разрушению образца как во время обработки, так и во время эксплуатации [5]. Заключительным этапом является собственно механическая обработка изделия триботехнической керамики (блок 7), в результате которой будут изготовлены детали узлов трения с требуемыми потребителю эксплуатационными характеристиками.

Таким образом, предложенные рекомендации по выбору параметров алмазного шлифования керамики на основе оксида алюминия могут быть использованы при обработке керамических деталей узлов трения скольжения и позволяют определить эффективный маршрут обработки, исходя из требуемых эксплуатационных качеств – минимального времени приработки, низкого коэффициента трения и износа трущихся поверхностей.

Список литературы: 1. Кацура, А.А. Трибологические свойства корундовой керамики при трении со смазкой / А.А. Кацура, А.П. Семенов // Трение и износ. – 1993. – Том 14, № 6. – С.1037-1040. 2. Суслов, А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей / А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с. 3. Шведков, Е.Л. Триботехническая керамика: Препринт / АН УССР. Ин-т пробл. материаловедения; №17. – Киев: Институт проблем материаловедения АН УССР, 1987. – 37 с. 4. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ / Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с. 5. Молчанов А.Д. Формирование поверхностного слоя изделий из оксидной керамики при алмазном шлифовании: Дис... канд. техн. наук: 05.03.01. – Донецк, 2001. – 224 с.

УДК 621.865.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАССЫ ЗАГОТОВКИ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СБОРОЧНОГО РОБОТА

Рыжаев А.А., Поезд С.А.

(кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация: С помощью симулятора V-REP разработана и исследована динамическая модель сборочного робота UR5 с учетом всех нагрузок, возникающих во время его работы.

Ключевые слова: сборочный промышленный робот, симулятор, моделирование, скорость, ускорение.

Введение

В связи с широким использованием промышленных роботов большой номенклатуры, производимых японскими, германскими, шведскими и др. корпорациями, изучение кинематических и динамических характеристик этих машин целесообразно проводить на специальных симуляторах, одним из которых является программа V-REP [1]. Целью данной работы является исследование влияния массы заготовки на динамические параметры руки сборочного робота с использованием программы V-REP.

1. Создание динамической модели в V-REP

Программа V-REP позволяет импортировать чертежи из любых CAD систем. Но для динамического моделирования только копирования не достаточно, импортируемая модель должна быть динамически стабильной. Для динамической стабилизации модели необходимо преобразовать импортируемую модель в «чистую модель» [1].

Для создания динамической модели используется сборочный робот UR5 (рис. 1).

1.1 Создание видимой формы робота UR5



UR5

Рис. 1. Общий вид сборочного робота UR5

Первым этапом нам необходимо создать визуальную модель робота в любой CAD-системе. Динамические параметры робота будут создаваться на более позднем этапе.

В программном продукте V-REP есть возможность напрямую создавать примитивные фигуры с помощью [Строка меню-> Добавить -> Примитивная фигура]. При этом есть возможность создания чистой фигуры или обычной фигуры. Чистая форма будет оптимизирована для динамического взаимодействия, а также будет напрямую включена динамически (например, падение, столкновение). Примитивные формы – те, которые могут не содержать достаточно мелких деталей или геометрической точности исследуемого объекта. Другой вариант создания модели в V-REP – импортировать сетку объекта из внешнего приложения [1].

При импорте данных САПР из внешнего приложения наиболее важно убедиться, что модель САПР не слишком тяжелая, то есть не содержит слишком много треугольников сетки. Это требование важно, так как тяжелая модель будет отображаться медленно, а также замедлять различные модули расчета, которые могут быть использованы на более позднем этапе (например, расчет минимального расстояния или динамических характеристик).

Обычно, данные САПР очень тяжелые: они содержат много треугольников сетки. Это усложняет моделирование нескольких экземпляров одного и того же робота одновременно, подключение различных типов захватов, существенно замедляет симуляцию движения робота. Рекомендуется моделирование объектов с не более чем 20 000 треугольников сетки, чаще всего используется 5 000–10 000 треугольников сетки [1].

Для уменьшения «веса» модели в приложении САПР (в нашем случае в Solidworks) предварительно удаляем все отверстия, винты, внутреннюю часть деталей и т.д. После импорта модели из Solidworks мы получаем модель, представленную на рис. 2. Данная модель имеет сложную сетку (рис. 3), поэтому следующим этапом будет упрощение сетки.

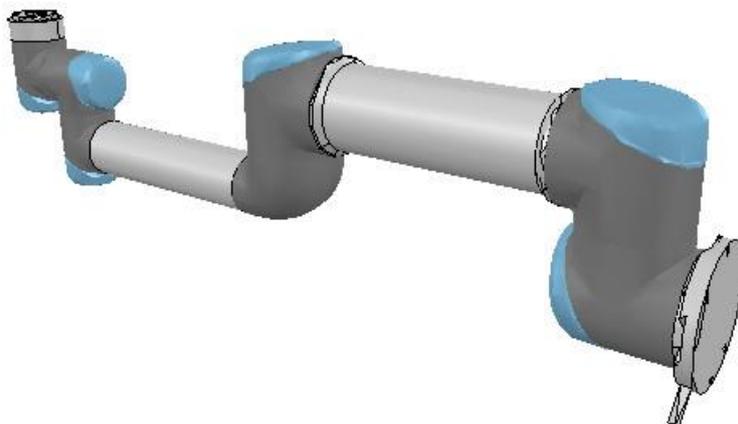


Рис. 2. Импортированная модель из Solidworks

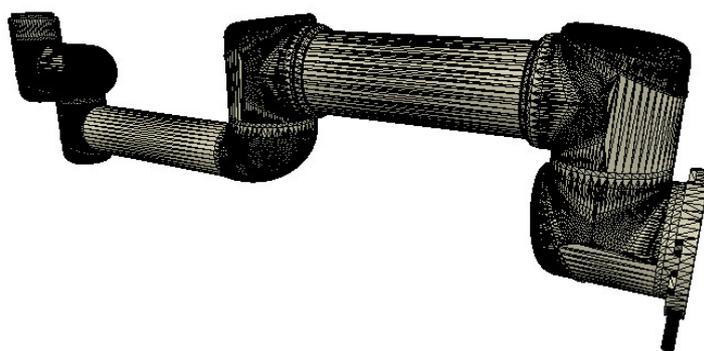


Рис. 3. Сетка импортируемой модели из Solidworks

1.2 Упрощение сетки

Для упрощения сетки мы можем использовать следующие функции V-REP:

- извлечение выпуклой оболочки (позволяет упростить сетку, превратив ее в выпуклую оболочку) (рис. 4). Доступ к функции можно получить с помощью [Строка меню -> Правка -> Выбор морфа в выпуклые формы];
- уничтожение сетки (позволяет уменьшить количество треугольников, содержащихся в сетке) (рис. 5). Доступ к функции можно получить с помощью [Строка меню -> Правка -> Удалить выбранную фигуру];
- удаление внутренней части сетки (позволяет упростить сетку, удалив ее изнутри) (рис. 6).

После применения вышеперечисленных функций мы получаем результат, представленный на рис. 6. В итоге мы получили сетку, содержащую в общей сложности 2660 треугольников (см. рис. 5).

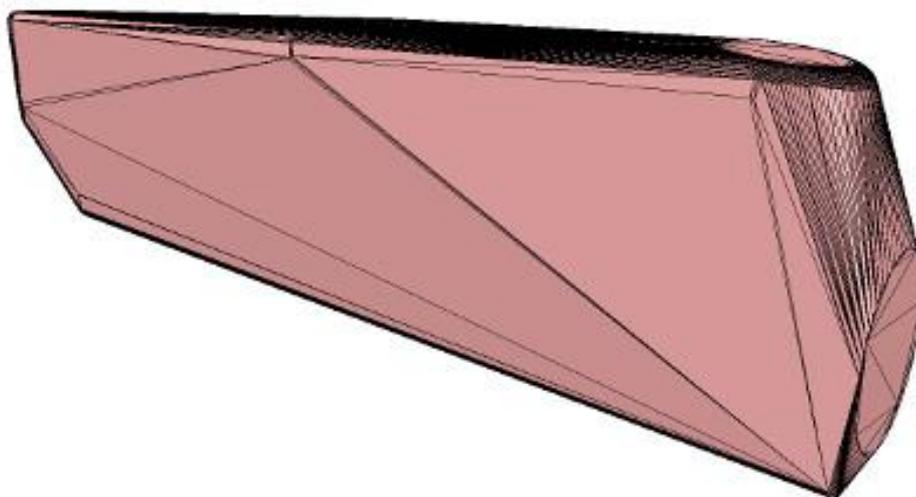


Рис. 4. Упрощенная сетка руки робота при помощи функции «выпуклая оболочка»

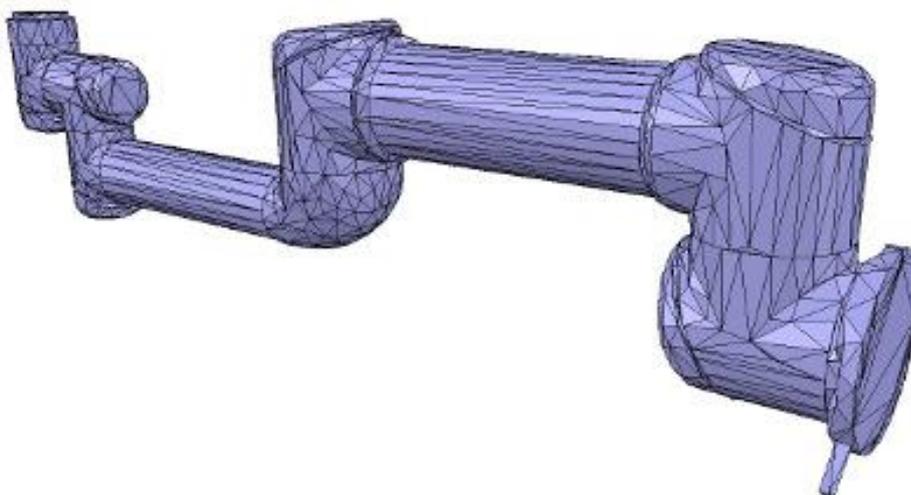


Рис. 5. Упрощенная сетка руки робота при помощи функции «уничтожение сетки»

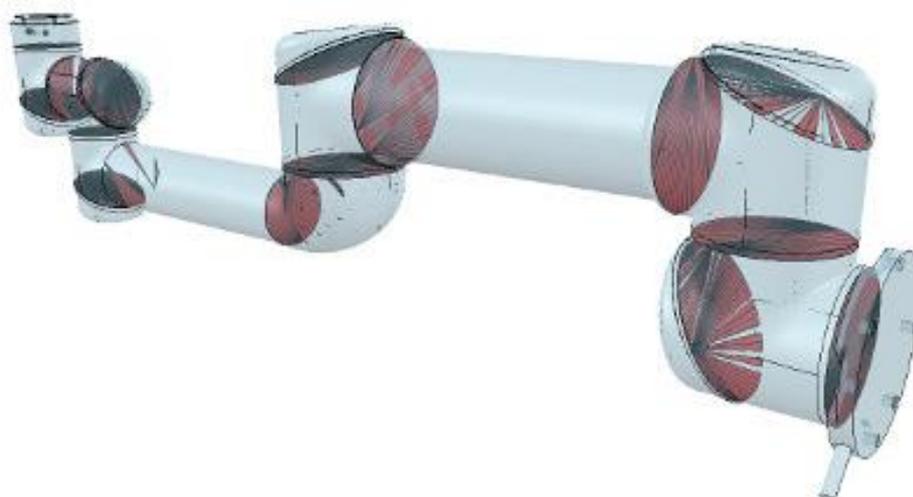


Рис. 6. Упрощенная сетка руки робота при помощи функции «удаление внутренней части сетки»

1.3 Разделение на отдельные звенья

На этом этапе мы можем начать делить робота на отдельные звенья. На данный момент у нас есть только одна фигура. Для ее разбиения мы используем следующее:

- автоматическое разделение сетки: эта функция будет проверять форму, и генерировать новую форму для всех элементов, которые не связаны друг с другом общим краем. Это не всегда работает, но всегда стоит попробовать. Доступ к этой функции можно получить с помощью [Строка меню -> Правка -> Группировка / объединение -> Разделить выбранные фигуры];
- ручное деление сетки: в режиме редактирования треугольника вы можете вручную выбрать треугольники, которые логически не связаны друг с другом, а затем нажать «Извлечь фигуру».

Объединяя элементы, логически принадлежащие друг другу (так как они являются частью одного и того же жесткого элемента и имеют одинаковые визуальные атрибуты), получаем 17 индивидуальных форм (рис. 7).

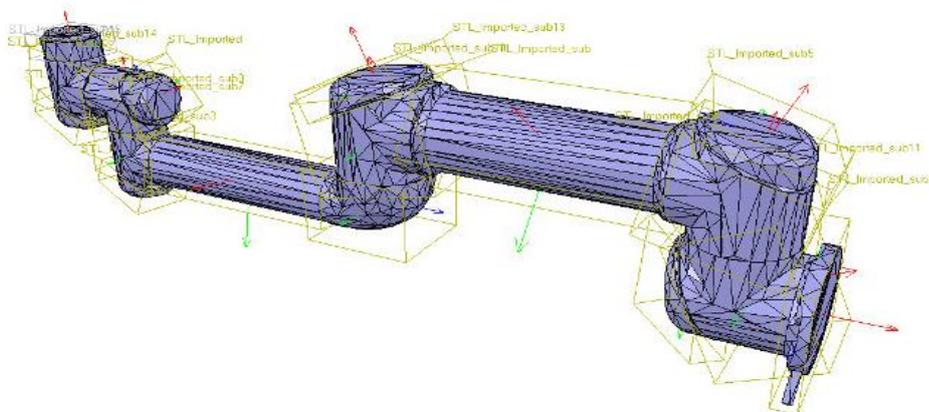


Рис.7. Разделенная на индивидуальные формы сетка в модели робота

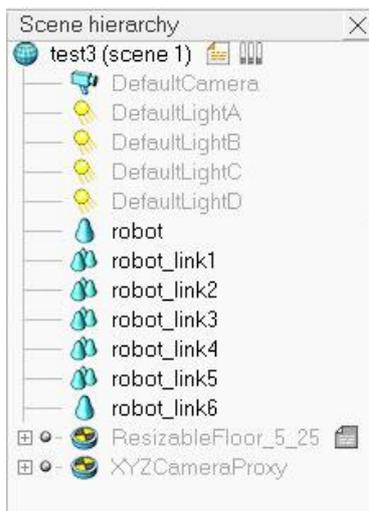


Рис.8.Иерархическое дерево робота

Далее группируем фигуры, которые являются частью одного и того же элемента робота, с помощью [Строка меню -> Правка -> Группировка / объединение -> Группировать выбранные фигуры]. В итоге мы получаем 7 фигур: базу робота (или базу иерархического дерева робота) и 6 деталей руки робота (рис. 8).

2. Исследования влияние массы заготовки на скорость и ускорение руки робота

Для анализа динамических параметров руки робота (скорости и ускорения) была создана анимационная сцена (рис. 6) и на основе этой сцены был смоделирован процесс транспортировки деталей призматической формы (брусков) массой 0,5 кг и 5 кг.

Для контроля скорости и ускорения конечного звена робота, а так же сил, возникающих в месте крепления схвата, были установлены датчики [2, 3]. Датчик силы фиксируется между схватом и рукой робота, а скорости и ускорения – закрепляется на вершине схвата.

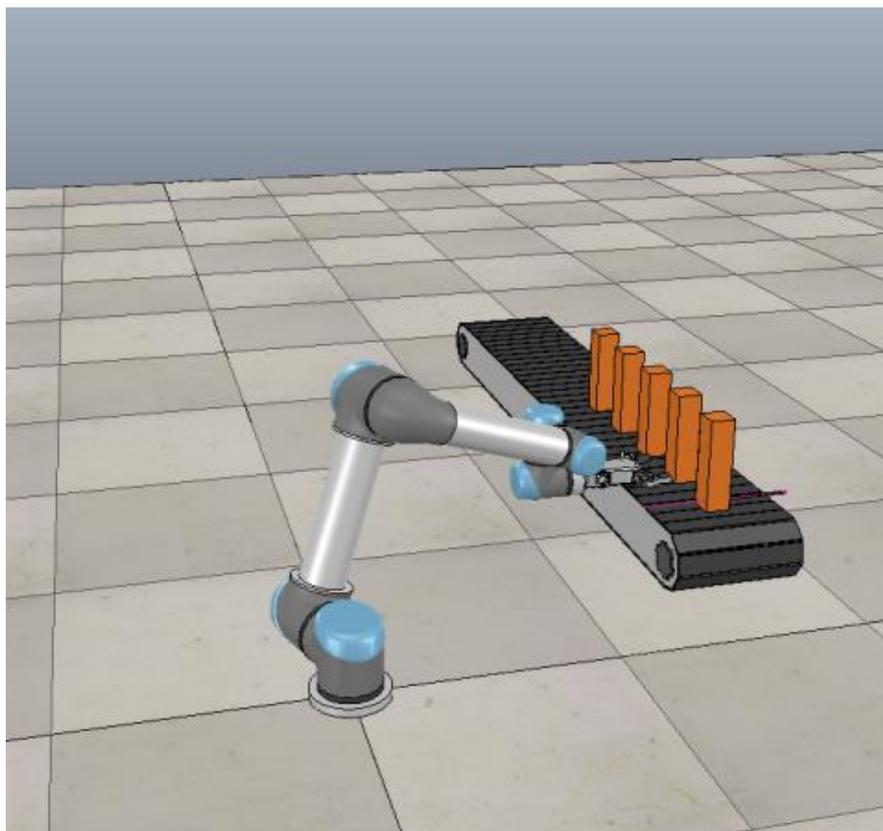


Рис. 9. Сцена переноса деталей призматической формы

В ходе первого исследования рука робота переносила заготовки массой $m = 0,5$ кг. В программе получены данные, представленные на рис. 10-15 (ось X отмечена красным цветом, Y – желтым, Z – зеленым):

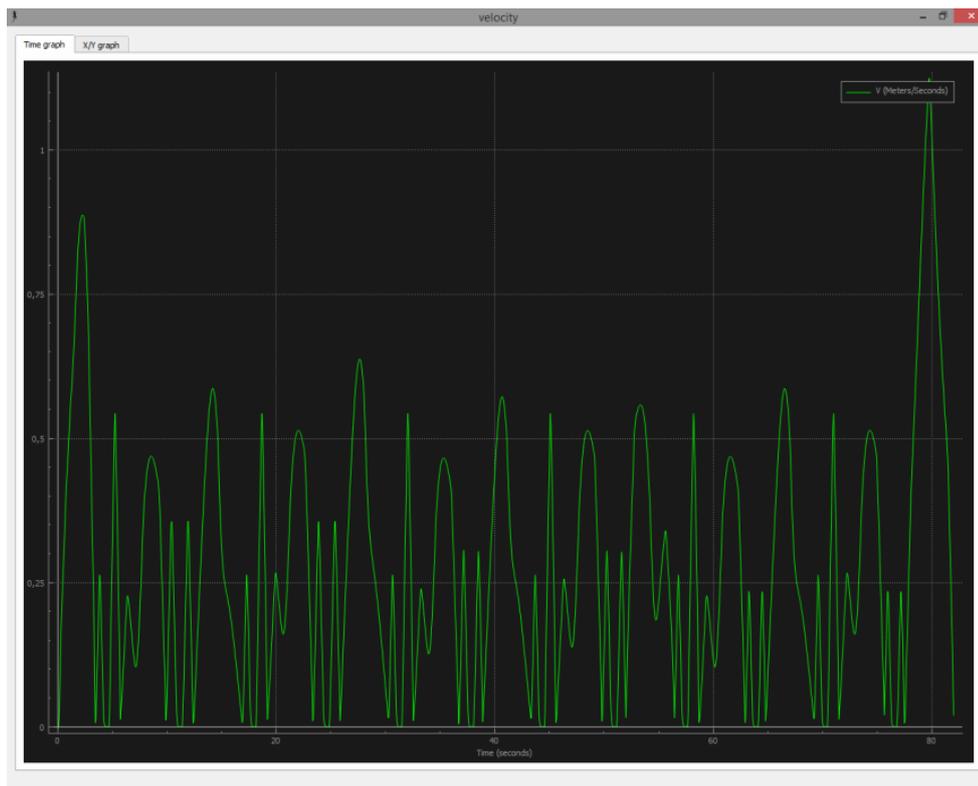


Рис. 10. График абсолютных скоростей на вершине руки робота ($m = 0,5$ кг)

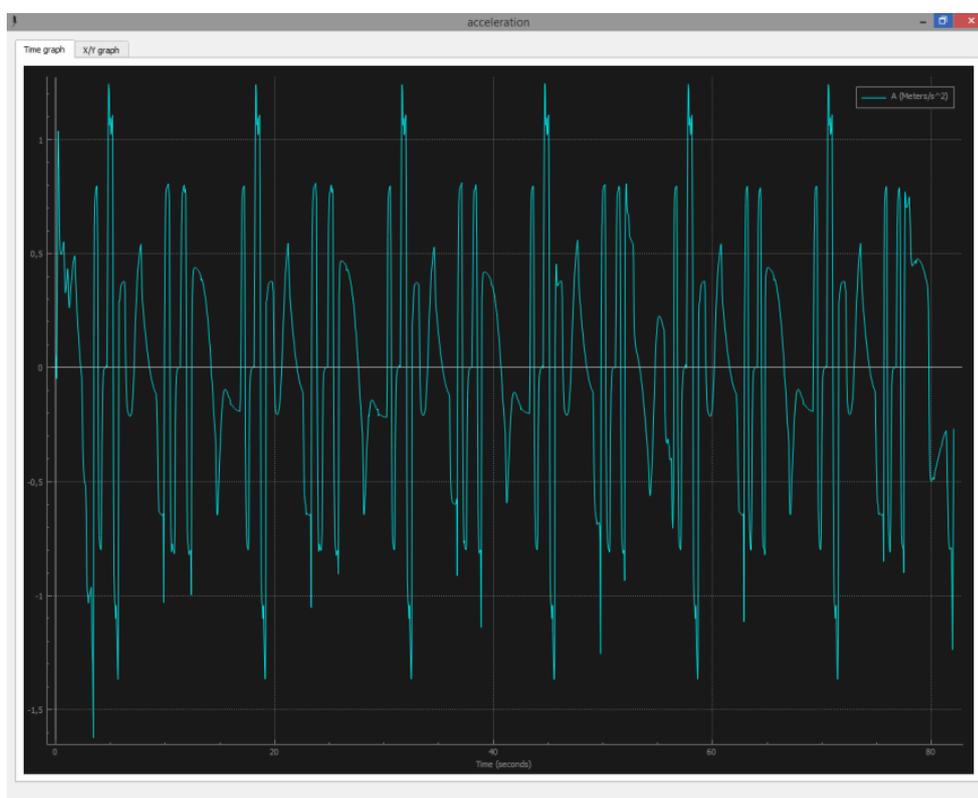


Рис. 11. График абсолютных ускорений на вершине руки робота ($m = 0,5$ кг)

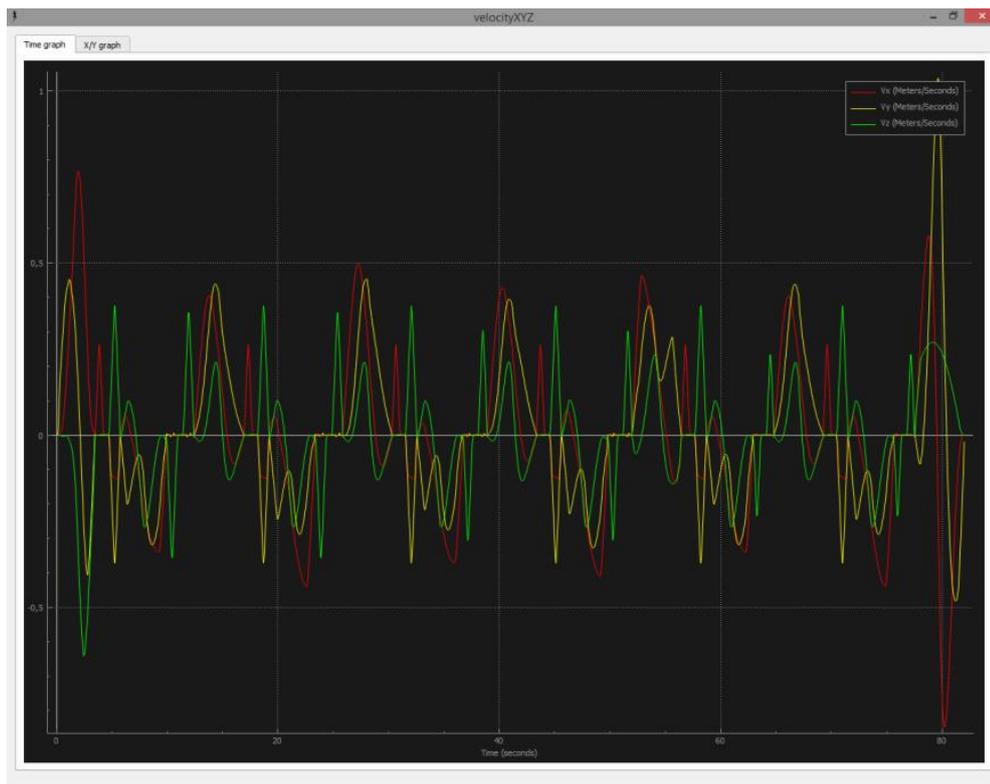


Рис. 12. График скоростей вдоль осей XYZ на вершине руки робота ($m = 0,5$ кг)

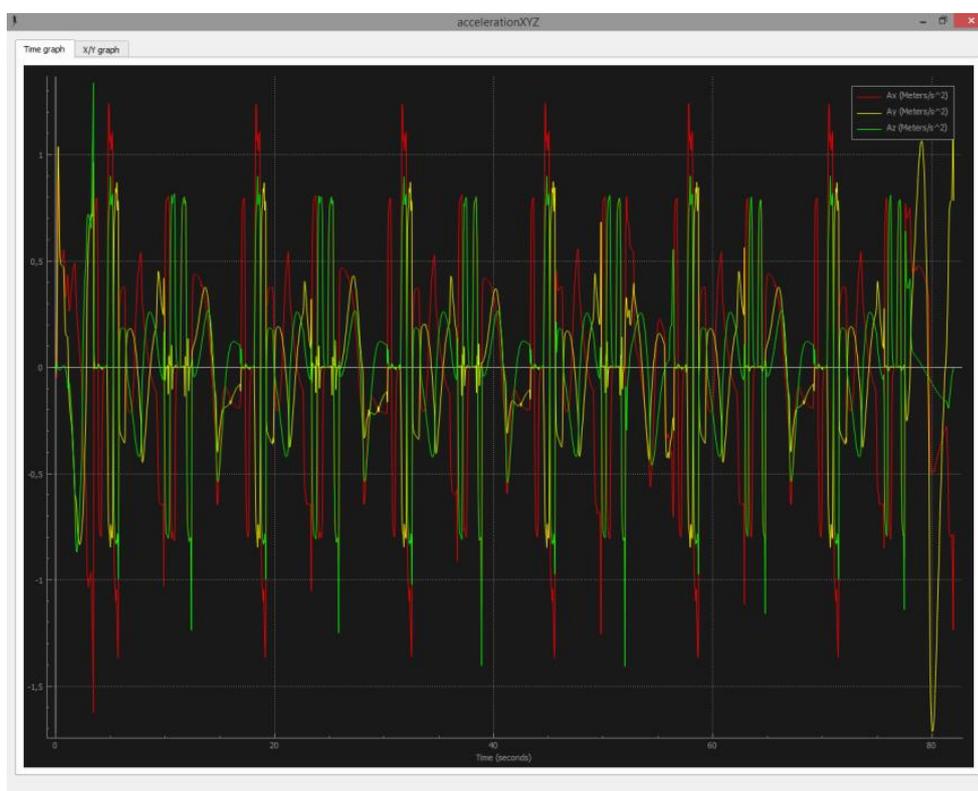


Рис. 13. График ускорения вдоль осей XYZ на вершине руки робота ($m = 0,5$ кг)

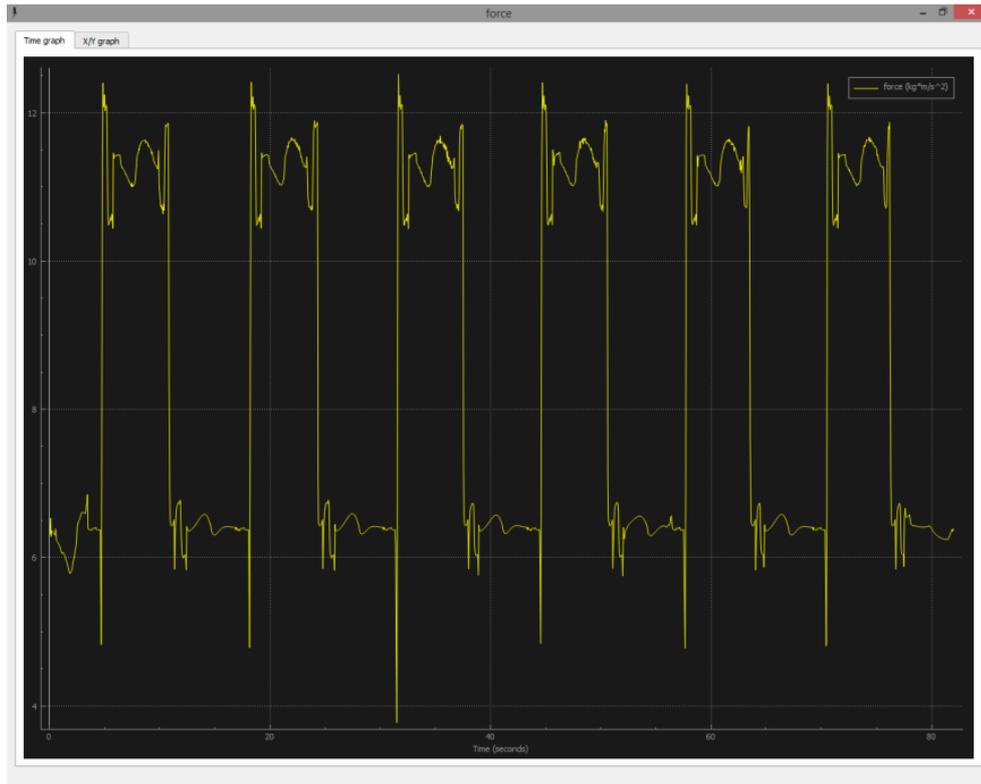


Рис. 14. График сил, воздействующих на сустав между схватом и рукой робота ($m = 0,5$ кг)

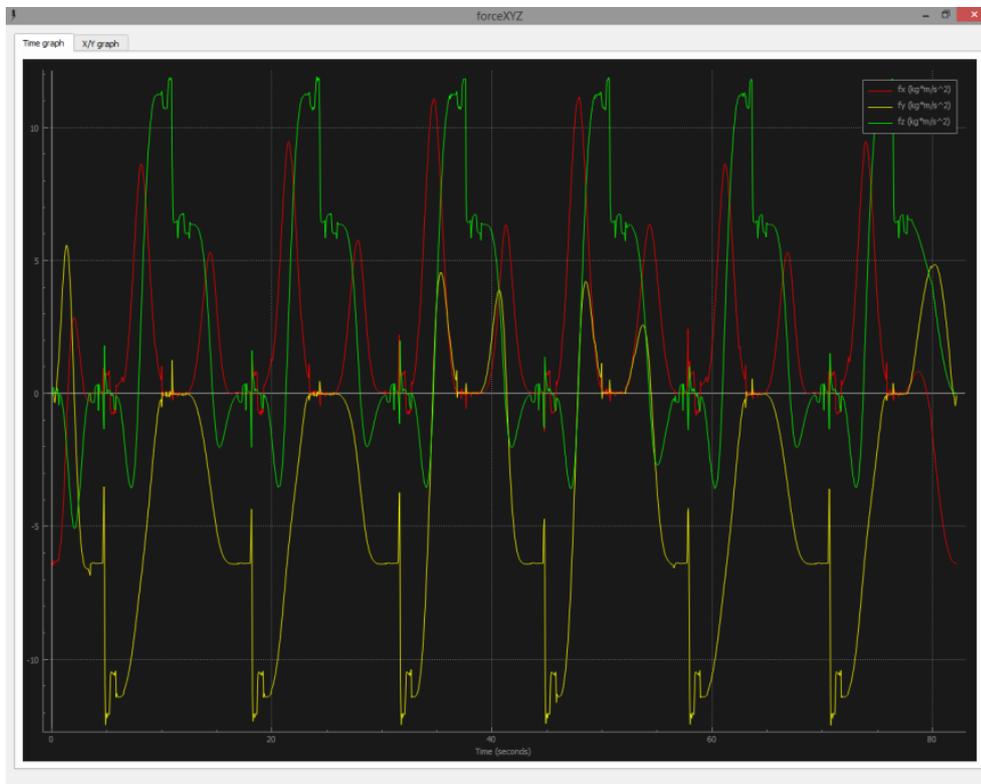


Рис. 15. График сил, воздействующих на сустав между схватом и рукой робота вдоль осей XYZ ($m = 0,5$ кг)

В ходе второго измерения вес заготовок был увеличен в 10 раз ($m = 5$ кг) и получены результаты, представленные на рис. 16-21.

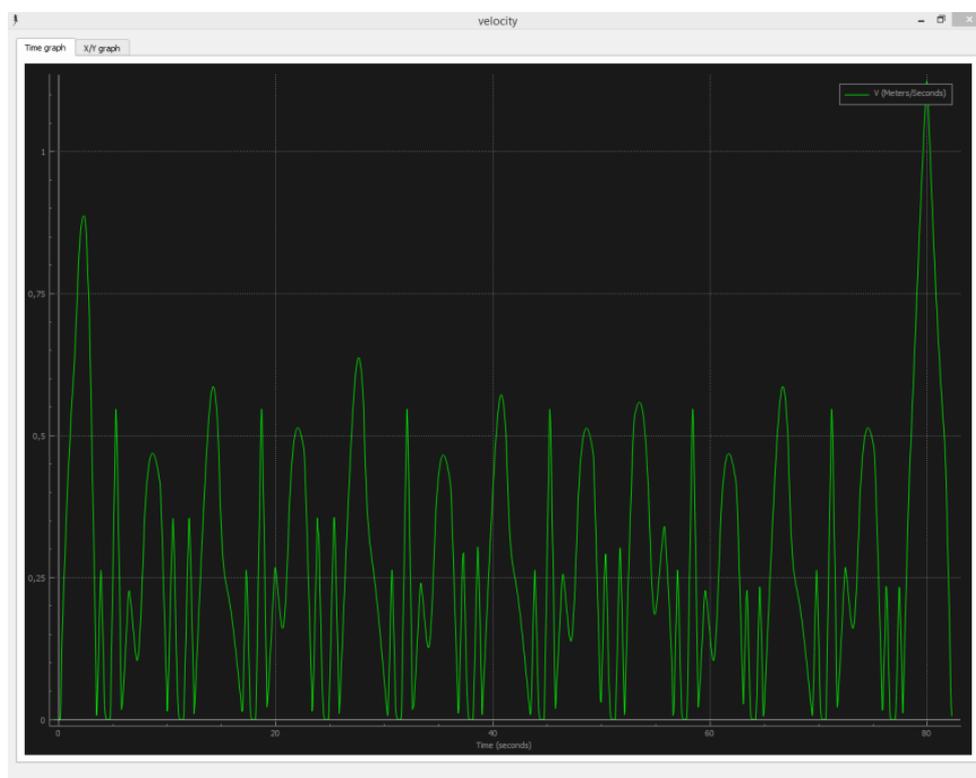


Рис. 16. График абсолютных скоростей на вершине руки робота ($m = 5$ кг)

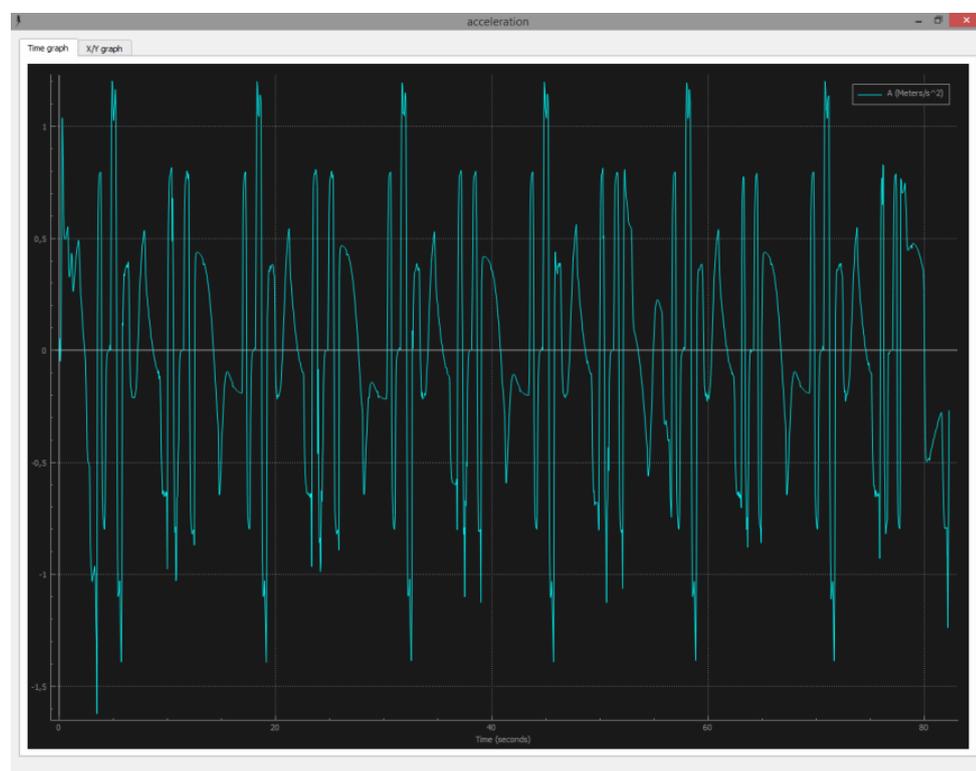


Рис. 17. График абсолютных ускорений на вершине руки робота ($m = 5$ кг)

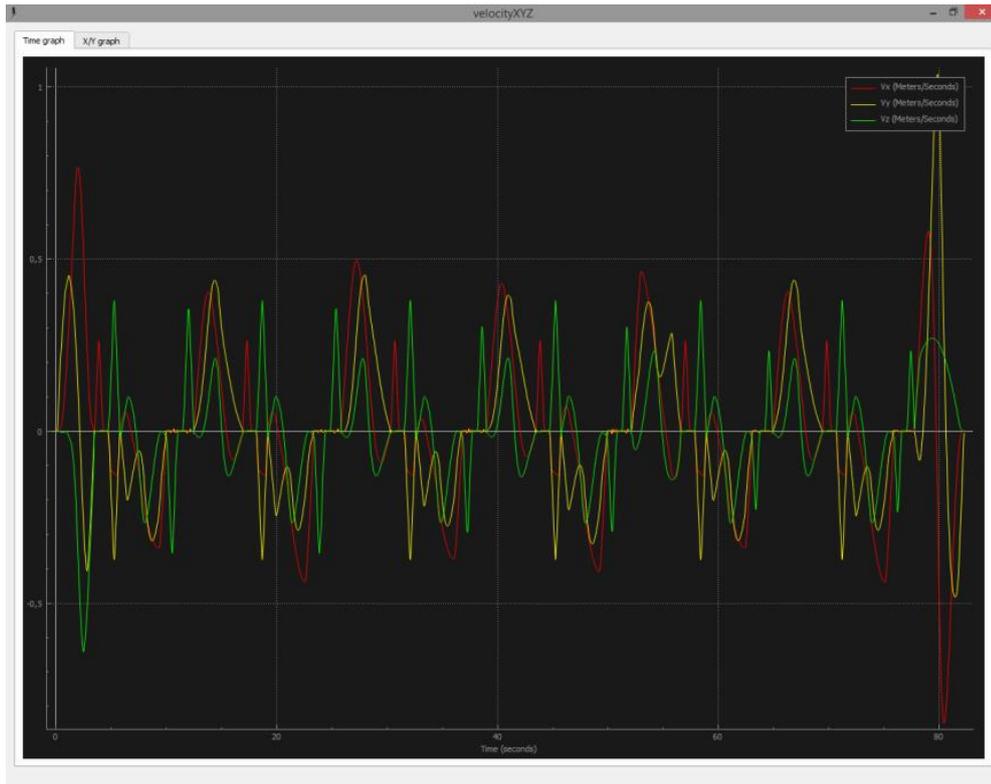


Рис. 18. График скоростей вдоль осей XYZ на вершине руки робота ($m = 5$ кг)

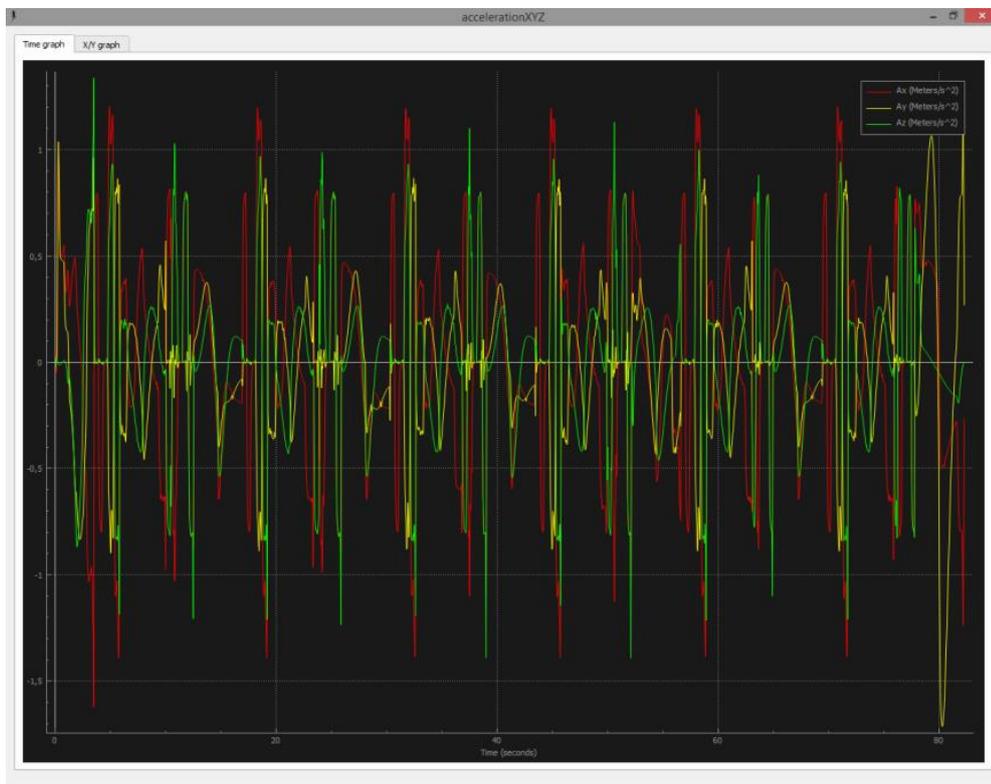


Рис. 19. График ускорений вдоль осей XYZ на вершине руки робота ($m = 5$ кг)

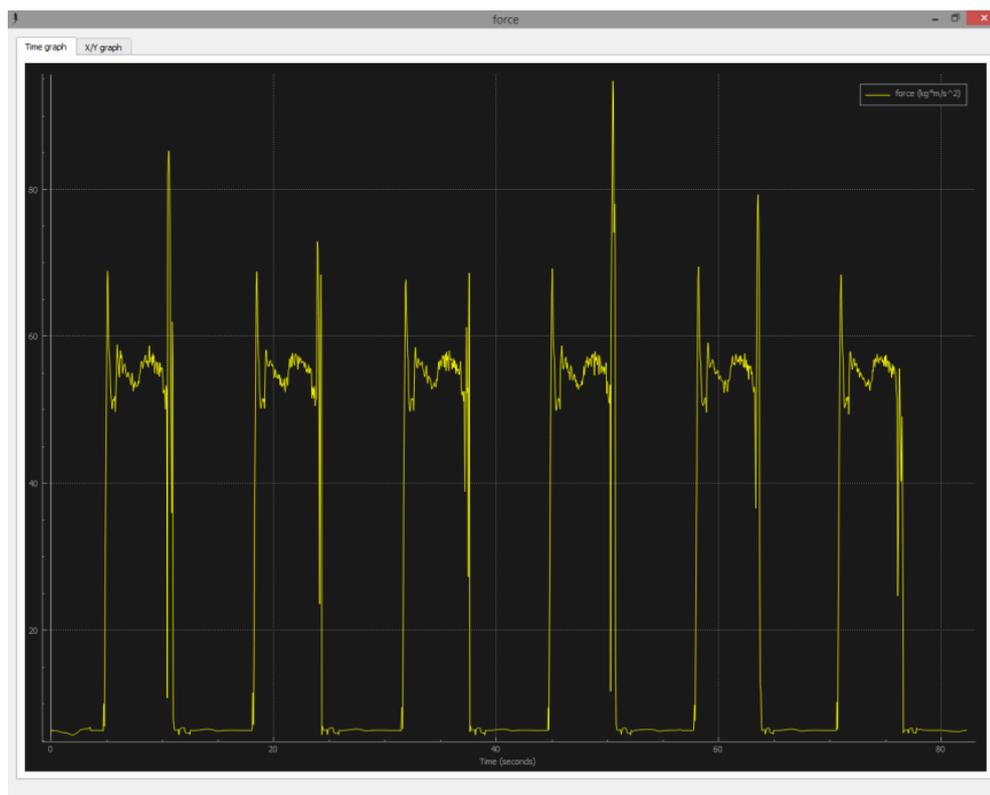


Рис.20. График сил, действующих на сустав между схватом и рукой робота ($m = 5$ кг)

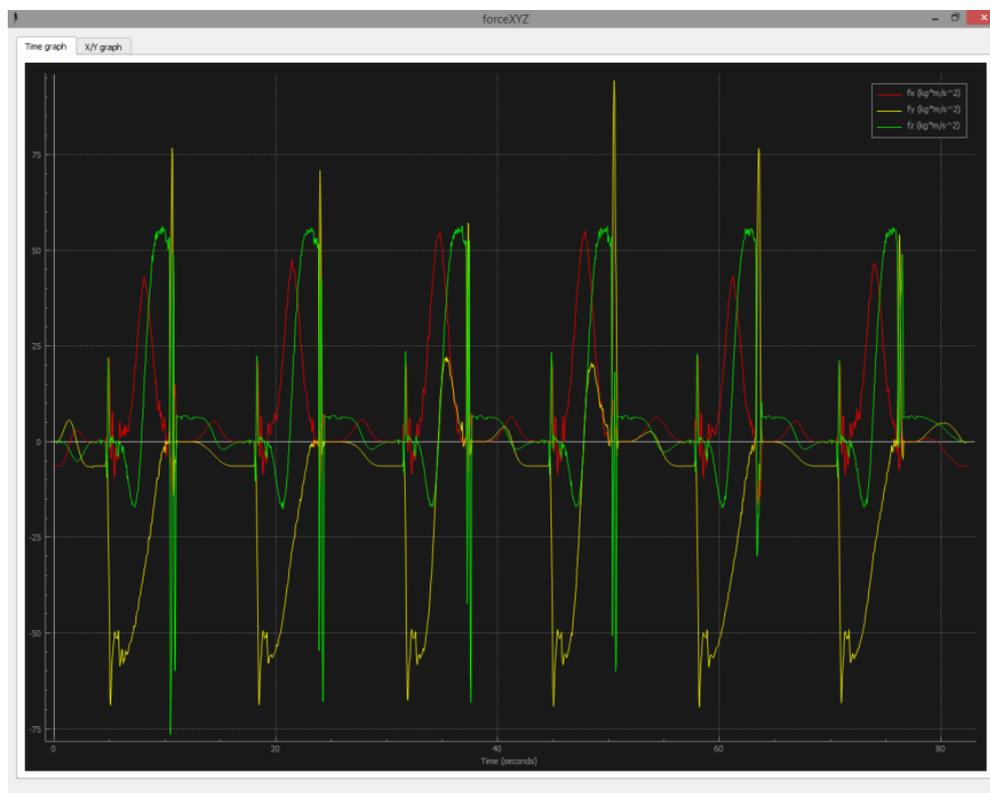


Рис. 21. График сил, действующих на сустав между схватом и рукой робота, вдоль осей XYZ ($m = 5$ кг)

Выводы

Из анализа результатов моделирования и полученных графиков можно сделать следующие выводы:

1. Изменение массы переносимой заготовки в пределах грузоподъемности робота несущественно влияет на скорость и ускорение конечного звена. При увеличении массы переносимой заготовки в 10 раз амплитуда оси Y и время моделирования процесса увеличилась незначительно.

2. Наибольшие изменения динамических параметров мы можем наблюдать на графиках с измерением силы в суставе руки робота (см. рис. 15 и 21), благодаря которым в дальнейшем станет возможным провести расчеты деформации звеньев робота и скорректировать управляющую программу соответственным образом для компенсации возникающих деформаций.

Список литературы: 1. Virtual Robot Experimentation Platform. USER MANUAL. Инструкция по эксплуатации V-REP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.v-rep.eu/helpFiles/index.html>. 2. Корендясев А.И. Теоретические основы робототехники: монография: в 2-х кн. / А.И. Корендясев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес; ред. С.М. Каплунов; Ин-т машиноведения им. А.А. Благонравова. Кн. 1. – М.: Наука, 2006. – 383 с.: ил. 3. Булгаков А.Г. Промышленные роботы: кинематика, динамика, контроль и управление / Булгаков А.Г., Воробьев В.А. – М.: СОЛОН-Пресс, 2007. – 485 с.: ил., табл.; 22 ист. – (Серия "Библиотека инженера"); ISBN 978-5-91359-013-8.

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В СИСТЕМЕ С РЕЗАНИЕМ НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ

Саландаев А.Р., Молчанов А.Д.
(кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. В статье рассмотрены основные причины возникновения колебаний инструмента на фрезерных станках при обработке.

Ключевые слова: фреза, кинематика, динамика, траектория, позиционирование, система, колебания, виброустойчивость.

Введение

Колебания (вибрации) станков при резании – сложный процесс, в котором участвуют вынужденные колебания и автоколебания. Вибрации снижают производительность, точность и надежность станков, хотя есть примеры полезного использования колебаний, которые искусственно создаются для обеспечения некоторых технологических процессов.

Вынужденные колебания до недавнего времени представляли опасность в основном для станков особо высокой точности, так как важнейшие показатели точности обработки в этих станках зависели от интенсивности колебаний. В настоящее время в связи с ростом скоростей резания и увеличением скоростей подач борьба с вынужденными колебаниями становится актуальной задачей для станков высокой и повышенной точностей.

Влияние скорости резания на параметры механической обработки

Одним из наиболее важных показателей при фрезеровании является скорость резания. На большинстве станков этот параметр является постоянным на протяжении всей операции. При выборе скорости резания учитываются материал заготовки, массовое содержание легирующих элементов, тип термообработки (в тех случаях, когда она проводилась) и температура плавления, которые непосредственно влияют на твердость, прочность и пластичность обрабатываемого материала.

Правильно подобранная скорость резания влияет на ряд параметров:

1. Качество полученной поверхности. Более высокие значения скорости устанавливаются для чистовых операций. За счет быстрого вращения инструмента полученная стружка будет более мелкой, достигаются низкие показатели шероховатости. Современное оборудование и оснастка позволяют получить поверхности практически зеркальной чистоты.
2. Производительность труда напрямую зависит от скорости резания. Оптимальные параметры режимов резания позволяют существенно повысить эффективность труда.
3. Степень износа инструмента. Режущие кромки достаточно сильно изнашиваются в результате трения об обрабатываемые поверхности, сильный износ сопровождается снижением показателей точности и эффективности труда. Поэтому на производственных линиях с высокой производительностью оборудование оснащается системами подачи СОЖ в рабочую зону, где выполняется снятие материала.

Вынужденные колебания системы

Вибрации (колебания) в технологической системе значительно ухудшают качество обработанной поверхности, повышают износ инструмента и станка, приводят к разрегулированию соединений в станке и приспособлении. При резании металлов на фрезерных станках возникают вынужденные колебания и автоколебания (самовозбуждающиеся процессом стружкообразования).

Вынужденные колебания имеют вполне определённый источник возбуждения вибраций вне зоны резания (механизмы станка, либо внешние источники). Сюда могут входить вибрации двигателя, дисбалансные массы в станке, некачественное зубчатое зацепление, пульсация в гидравлической системе. Извне – вибрации от соседних станков, от транспорта.

Силы демпфирования являются функциями скорости движения является зависимость силы демпфирования F от скорости движения x' в виде $F = h \cdot x'$. В этом случае сила демпфирования называется силой вязкого трения. Коэффициент h называется коэффициентом вязкого трения. Более общее название его – коэффициент демпфирования или коэффициент затухания, хотя правильно эти названия применять, когда трение не является вязким.

Если характеристика процесса резания описывается уравнением $P = k_p w + h_p w'$ и на устойчивую систему с одной степенью свободы воздействует возмущающая гармоническая сила, то уравнение движения системы будет иметь вид

$$m q'' + (h + h_p) q' + (k + k_p) q = P_0 \sin(pt).$$

Резонансная амплитуда при малом затухании

$$A = \frac{A_{x,x}}{(1 + \varepsilon_1 \varepsilon_2) \sqrt{1 + \varepsilon^2}},$$

где $A_{x,x} = \frac{P_0 \sqrt{m}}{T_h \sqrt{k^3}}$ – амплитуда резонансных колебаний резания без резания (на холостом ходу); $\varepsilon_1 = k_p/k$, $\varepsilon_2 = T_p, h/T_h$. В устойчивой системе $\varepsilon_1 > 0$; $\varepsilon_2 > 0$ и $A < A_{x,x}$. Колебания холостого хода на собственных частотах при устойчивом резании ослабляются.

Если упругая система станка достаточно жесткая, резание производится инструментом с малой протяженностью режущей кромки, но постоянная времени демпфирования процесса резания выше, чем постоянная времени демпфирования упругой системы, то $\varepsilon_1 \ll 1$; $\varepsilon_2 > 1$ и $A_{x,x}/A = 1 + \varepsilon_1 \varepsilon_2$. Если коэффициенты затухания упругой системы и процесса резания одинаковы, то $A_{x,x}/A = 2$, то есть колебания при резании ослабляются вдвое. Если демпфирующая способность процесса резания меньше демпфирующей способности упругой системы станка $\varepsilon_1 < 1$; $\varepsilon_2 < 1$, то $\varepsilon_1 \varepsilon_2 \ll 1$ и $A_{x,x} \approx A$, то есть при резании колебания мало меняются. Это наблюдается при отделочном точении на прецизионных фрезерных станках, когда колебания холостого хода отпечатываются (копируются) на обрабатываемой поверхности. Качественно это характеризуется горизонтальной прямой (рис. 1, а). Если же процесс резания влияет значительно на характеристики системы и система устойчива, то амплитуда будет убывать с увеличением коэффициента резания или какого-либо другого параметра процесса резания (рис. 1, а, кривая 2).

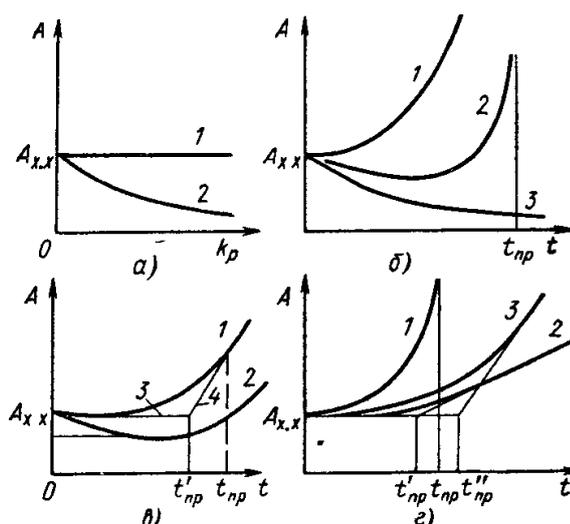


Рис. 1. Зависимость амплитуды колебаний от параметра процесса резания:
 а – устойчивая система; б – система, теряющая устойчивость при $t = t_{np}$; в – нелинейная система; г – система с учетом вторичного возбуждения

Увеличение амплитуды колебаний, связанное с изменением режимов резания, затуплением инструмента или изменением характеристик обрабатываемого материала, объясняется притоком энергии, вносимой в систему резанием, благодаря взаимодействию процесса резания и упругой системы. В отдельных случаях действуют другие механизмы, вносящие в систему энергию и вызывающие нарастание амплитуды колебаний. Одним из таких механизмов являются резонансные колебания, которые могут служить причиной появления местных пиков на фоне монотонных зависимостей амплитуды колебаний от режимов резания. Это возникает, когда в станке имеются источники колебаний фиксированных частот (погрешности шестерен, периодические изменения силы резания при фрезеровании) и когда при постепенном изменении режимов частота собственных колебаний упругой системы с резанием становится равной частоте возмущений. С дальнейшим увеличением режимов резания амплитуда колебаний уменьшается. При фрезеровании это явление есть причиной того, что минимум зависимости предельной стружки от скорости сдвигается в зону высоких скоростей (рис. 2).

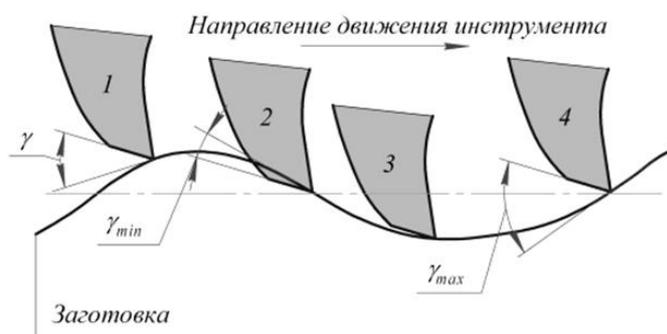


Рис. 2. Механизм процесса демпфирования в динамическом резании

Наиболее мощные резонансы упругих систем фрезерных станков при искусственном возбуждении находятся в полосе частот, меньших 100 Гц. Поэтому периодическое изменение силы резания, связанное с прерывистым характером резания, являет-

ся весьма сильным источником вынужденных колебаний. Частота этого источника с увеличением частоты вращения приближается к частоте собственных колебаний.

Иногда можно наблюдать несколько таких резонансов. На отдельных частотах вращения станок «дробит», тогда как на близких частотах вращения, кинематически полученных другими комбинациями шестерен, обеспечивается спокойное резание.

При малых толщинах срезаемого слоя ввиду особенностей геометрии режущих кромок (наличие фасок, радиусов закругления и т. п.) параметры характеристики резания будут меняться нелинейно в зависимости от изменения глубины резания. Это может повлиять на форму начальных участков кривых (см. рис. 1, б).

К вынужденным колебаниям относятся и колебания, вызываемые вращением неуравновешенных деталей. Если жесткость шпинделя, измеренная в плоскости, перпендикулярной к его оси, одинакова во всех направлениях, то неуравновешенность вызывает круговые колебания шпинделя. Если производится резание, то в месте контакта детали с режущим инструментом возникает дополнительная опора, и форма траектории точек шпинделя изменяется. В частном случае траектория может стать эллиптической. Это несколько уменьшает волнистость изделия вследствие неуравновешенности. Сравнение форм круговой траектории и эллиптической может дать материал для определения динамической характеристики процесса резания (рис. 3).

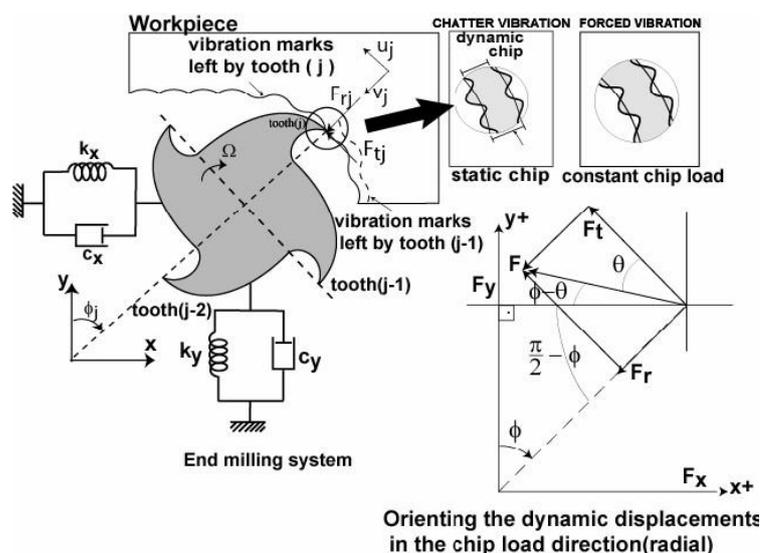


Рис. 3. Динамика цилиндрического фрезерования

Выражение для резонансной амплитуды в системе с резанием и нелинейным затуханием имеет вид

$$A = \frac{1}{2} \left\{ A_0 + \frac{h'}{\left(\frac{\Delta h}{\Delta A}\right)_0} + \sqrt{\left[A_0 + \frac{h'}{\left(\frac{\Delta h}{\Delta A}\right)_0} \right]^2 + \frac{4P_0}{w\left(\frac{\Delta h}{\Delta A}\right)_0}} \right\}.$$

Если система устойчива, то $h' < 0$, если неустойчива, то $h' > 0$, и если система находится на границе устойчивости, то $h' = 0$.

Формула справедлива, если колебания и возмущающая сила сдвинуты по фазе на 90° .

Для амплитуды вынужденных колебаний в автоколебательной системе можно написать следующую формулу:

$$A = \frac{A_{авт}}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A_{вын}^2}{A_{авт}^2}} \right),$$

где $A_{авт}$ – амплитуда автоколебаний в отсутствие внешней силы; $A_{вын}$ – добавка к амплитуде, вносимая воздействием внешней силы. Вследствие нелинейности затухания суммарная амплитуда, полученная из расчета по формуле меньше арифметической суммы амплитуд и вынужденных колебаний.

Наклон графика амплитудной зависимости к оси абсцисс определяется угловым коэффициентом (крутизной), равным

$$\frac{dA}{dh'} = \frac{1}{2} \frac{1}{\left(\frac{\Delta h}{\Delta A}\right)_0} + \frac{\left[A_0 + \frac{h'}{\left(\frac{\Delta h}{\Delta A}\right)_0} \right] \frac{1}{\left(\frac{\Delta h}{\Delta A}\right)_0}}{\left[A_0 + \frac{h'}{\left(\frac{\Delta h}{\Delta A}\right)_0} \right]^2 + \frac{4P_0}{w \left(\frac{\Delta h}{\Delta A}\right)_0}}$$

При достаточно большом возбуждении этот коэффициент принимает вид

$$\frac{dA}{dh'} = \frac{1}{\left(\frac{\Delta h}{\Delta A}\right)_0}$$

что соответствует угловому коэффициенту асимптоты графика зависимости амплитуды колебаний при резании от возбуждения. Крутизна этого графика обратно пропорциональна крутизне амплитудной зависимости затухания. График амплитудной зависимости нелинейной системы с ростом величины возбуждения не становится вертикальным, как в линейных и угол наклона его при большом возбуждении может служить одним из динамических показателей станка. Угол наклона этого графика зависит от нелинейности характеристик станка и процесса резания. Чем круче будет зависимость затухания от амплитуды, тем медленнее будет нарастать амплитуда колебаний. Таким образом, коэффициент является мерой нелинейности системы. Эту характеристику, ранее названную коэффициентом устойчивости, более правильно называть коэффициентом усиления амплитуды по соответствующему параметру. Используя простейшую зависимость возбуждения от параметра $h' = k_B (B - B_0)$, можно получить

$$\frac{dA}{dB} = \frac{k_B}{\left(\frac{\Delta h}{\Delta A}\right)_0}.$$

Пересечение горизонтальной касательной 3 к графику амплитудной зависимости с асимптотой его 4 (см. рис. 1, в) дает примерное значение предельного режима на гра-

нище устойчивости. Истинное значение границы устойчивости есть t_{np} , полученное построением – t_{np}' .

На рис. 4 показаны три графика виброустойчивости: первый построена только с учетом обработки по предыдущему вибрационному следу, второй – с учетом демпфирования пропорционального скорости, и третий – с учетом демпфирования пропорционального виброскорости и виброускорению.

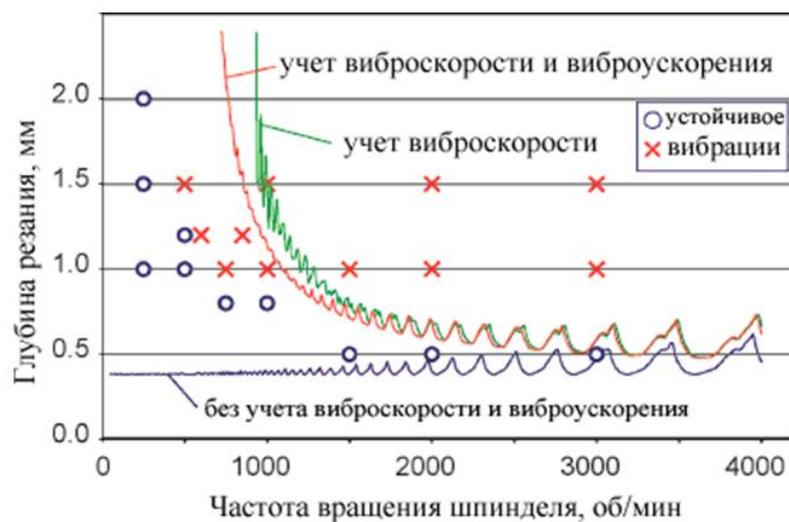


Рис. 4. Лепестковые диаграммы виброустойчивости без учета и с учетом составляющих демпфирования

Группой Altintas и другими экспериментально проверялось прогнозирование лепестковой диаграммы устойчивости для значительного числа приложений от цилиндрической концевой фрезы до сферической концевой фрезы, фрезы с изменяемым шагом зубьев и конической сферической концевой фрезы.

Анализ построенных математических моделей и методов прогнозирования виброустойчивости обработки показывает, что они построены на ряде допущений и хорошо работают только в условиях большого угла контакта фрезы и заготовки, т.е. при черновом фрезеровании. В условиях финишного фрезерования, когда прерывистость обработки возрастает, точность прогнозирования снижается. Однако в этом случае возрастает роль вынужденных колебаний, вызванных периодическим врезанием зубьев, что особенно важно при высокой прерывистости обработки. В области низких скоростей вращения фрезы, представленные выше модели виброустойчивости, по-прежнему не учитывают роль задней поверхности в демпфировании колебаний.

При чистовом фрезеровании анализ виброустойчивости затрудняется высокой прерывистостью резания. Можно наблюдать при постепенном увеличении режимов резания, как процесс резания, бывший вначале устойчивым, теряет устойчивость и в

станке развиваются автоколебания. Весьма интересен характер самих колебаний, возникающих в широком диапазоне скоростей и частот вращения инструмента. Эти колебания представляют собой амплитудную модуляцию. Характер модуляции зависит от интенсивности вибраций. При малой и средней интенсивности наблюдаются четко выраженные два горба за оборот инструмента. Как правило, один горб больше другого. При сильных вибрациях наблюдается сглаживание колебаний, и сначала, исчезает один горб, а затем второй, что свидетельствует о наличии нелинейностей в системе.

Вывод

Изучать вибрации необходимо для их устранения, а также для того, чтобы иметь возможность соответствующим образом управлять технологическим процессом, используя уровень вибраций как один из показателей его качества. Одним из примеров такого использования являются станки с адаптивным управлением, оснащенные датчиками вибраций.

Большой интерес представляет оценка конструкции станка с точки зрения получения на нем наивысшей виброустойчивости. В настоящее время конструкции станков достаточно совершенные, но вибрации все еще представляют значительную трудность в получении точных изделий.

Величина колебаний поддается регулированию путем корректировки скорости резания. Однако при этом меняются так же режимы резания, что ведет к изменению процесса обработки.

Список литературы: 1. Zelinski, P. Five sides and one zero: Shopfloor programming for five-side parts. *Mod. Mach./P. Zelinski // Shop*. – 2003. – 76. – № 7. – P. 54–55. 2. Hans, V. Kief. *CNC for Industry / Hans V. Kief*. – 2000. – P. 198. 3. Заковоротный, В.Л. Определение оптимальных траекторий при обработке с учётом эволюции процесса резания / В.Л. Заковоротный, В.П. Лапшин, А.А. Губанова // *Вестник Дон. гос. техн. ун-та*. – 2014. – № 3 (78). – С. 5–12. 4. Заковоротный, В.Л. Синергетическая концепция при построении систем управления точностью изготовления деталей сложной геометрической формы / В.Л. Заковоротный, А.А. Губанова // *Инновационные технологии в машиностроении и металлургии : сб. трудов VI междунар. науч.-практ. конф.* – 2014. – С. 51–70. 5. Заковоротный, В.Л. Определение оптимальных координат переключения циклов обработки в эволюционной динамической системе резания / В.Л. Заковоротный, В.П. Лапшин, А.А. Губанова // *Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки*. – 2014. – № 4 (179). – С. 59–63. 6. Заковоротный, В.Л. Особенности формирования притягивающих многообразий в окрестности стационарных траекторий попутного фрезерования концевыми фрезами / В.Л. Заковоротный, А.А. Губанова, А.Д. Лукьянов // *Вестник Дон. гос. техн. ун-та*. – 2016. – № 3 (86). – С. 23–38. 7. Губанова, А.А. Виброакустическая диагностика фрезерования концевыми фрезами / А.А. Губанова, Н.Н. Черненко // *Юбилейная конференция студентов и молодых ученых, посвященная 85-летию ДГТУ [Электронный ресурс]: сб. трудов. науч.-техн. конф.* – Ростов-на-Дону, 2015. – С. 589 – 591.