

Проведённые исследования позволяют оптимизировать форму и размеры рабочей зоны пуансона, зазор между матрицей и пуансоном в зависимости от их материалов и толщины листа. В результате проведённых исследований разработаны рекомендации для применения одного из методов обработки рабочих поверхностей пуансонов для улучшения их эксплуатационных свойств: метод плазменной поверхностной термообработки металлоизделий, позволяющий получать поверхностные слои с высокими механическими характеристиками [4].

Список цитированных источников

1. Металлообработка в современном машиностроении [Электронный ресурс] // Пробивка отверстий. – Режим доступа : <http://metall-work.ru/obr-met/38.html>. – Дата доступа : 29.05.2021.
2. Мухутдинов, А. Р. Основы применения ANSYS Autodyn для решения задач моделирования быстропротекающих процессов: учебное пособие / А. Р. Мухудинов. – Казань : КНИТУ, 2016. – 244 с. – ISBN 978-5-7882-2115-1.
3. Бурдуковский, В. Г. Технология листовой штамповки : учебное пособие / В. Г. Бурдуковский.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019.— 224 с.
4. Дзеник, А. Д. Совершенствование проектирования и изготовления пуансонов и матриц / А. Д. Дзеник, Р. В. Гавариев // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2017. – Т. 39. – С. 1171–1175. – URL: <http://e-koncept.ru/2017/970561.htm>. – Дата доступа : 29.05.2021.

УДК 621.9.01

Сутьжиц В. Ю.

*Научный руководители: ст. преподаватель Сокол В. А.,
ст. преподаватель Парфиевич А. Н.*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РЕЗАНИИ

Характерными чертами развития современного машиностроения является автоматизация технологических процессов и высокая производительность труда. Среди большого количества разнообразных технологий, применяемых в машиностроении, обработка резанием является одним из основных методов получения деталей машин. Это обуславливает необходимость развития и внедрения средств автоматизации, непосредственно связанных с процессом резания, в том числе контроля и мониторинга технического состояния режущих инструментов и элементов станочных систем. Своевременный вывод из работы режущего инструмента позволяет не допустить поломки, что приводит к экономии инструментального материала при переточке и увеличению срока службы режущего инструмента.

Вследствие этого возникает необходимость постоянного контроля режущего инструмента, техническое состояние которого оказывает значительное влияние на точность получаемых размеров. Кроме этого изменение текущего состояния режущего инструмента приводит к изменению его геометрических параметров, условий стружкообразования, а также динамических явлений, характеризующихся колебаниями сил резания и виброакустическими процессами [1, 2]. Контроль за уровнем последних в процессе резания весьма важен, так как колеба-

ния оказывают влияние на качество поверхности детали, стойкость инструмента и уровень шумов в производственных условиях, а также могут являться источником ценной информации при проведении мониторинга состояния режущего инструмента [3].

Для углубления знаний в данной области были проведены экспериментальные исследования, в процессе которых деталь, в качестве которой использовался пруток Ø45 мм из стали 35 длиной 300 мм, обрабатывалась токарным проходным упорным резцом 2103-0058 ГОСТ 18879-73, оснащённым пластиной из твёрдого сплава Т15К6. Геометрические параметры резца: $\gamma = 10^\circ$; $\alpha = 6^\circ$; $\varphi = 93^\circ$.

Обработка производилась на токарно-винторезном станке «Куссон», технические характеристики которого позволяют реализовать широкий диапазон изменения режимов резания при исследованиях. Изменение глубины резания производилось в диапазоне от 0,5 до 2,5 мм; подачи от 0,0125 до 0,3 мм/об; скорости резания от 14 до 140 м/мин.

Для более полной оценки влияния состояния режущего инструмента на динамические процессы, возникающие при резании, было подготовлено несколько резцов с одинаковыми геометрическими параметрами: первый – острый резец; второй – предварительно затупленный с величиной износа 0,2 мм; третий – предварительно затупленный с величиной износа 0,5 мм.

Измерение сил резания производилось методом тензометрирования, для чего была разработана и изготовлена специальная оснастка с использованием динамометра СУРП-600, в котором используются тензометрические резисторы с номинальным сопротивлением 100 Ом. Для получения вибрационного сигнала в качестве первичного преобразователя использован акселерометр со встроенной электроникой АР-98, который устанавливался на корпусе державки резца динамометра с использованием крепёжного магнита АМ04, обеспечивающего усилие отрыва не менее 50Н [4]. Измерение отмеченных параметров, обработка и управление процессами осуществлялось с использованием оригинального аппаратно-программного комплекса [4].

Общий вид установки измерительных средств, применяемых в исследованиях (универсальный динамометр и акселерометр) показан на рисунке 1.

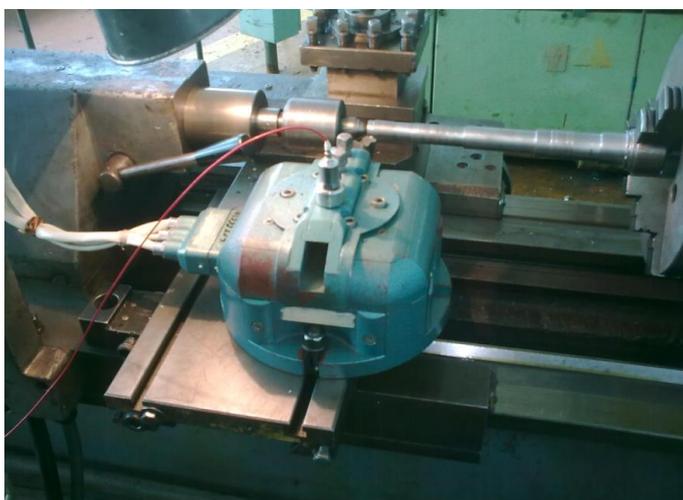
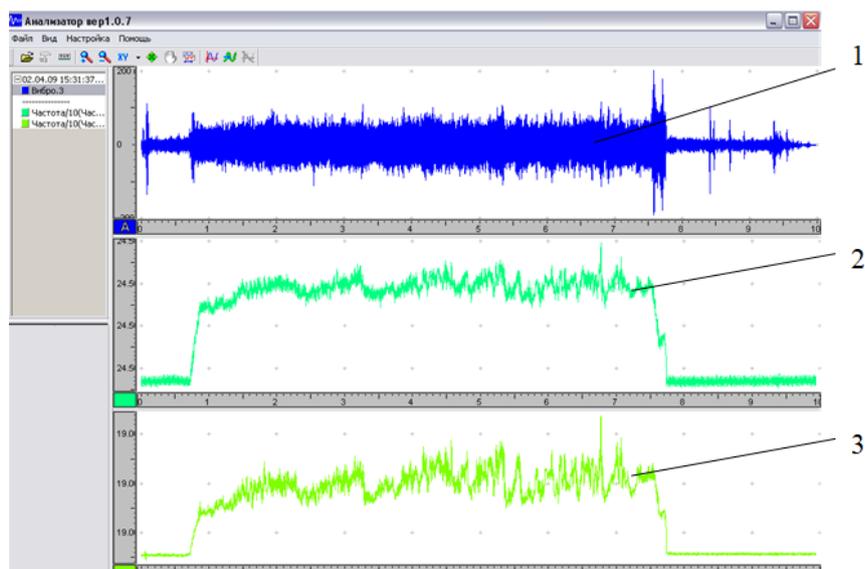


Рисунок 1 – Установка динамометра СУРП-600 и пьезоэлектрического акселерометра на станке «Куссон»



1 – сигнал вибрации, измеряемый виброакселерометром AP-98; 2 – сигнал, соответствующий составляющей силы резания P_z ; 3 – сигнал, соответствующий составляющей силы резания P_y

Рисунок 2 – Общий вид сигналов, полученных при предварительных исследованиях

Получаемые характеристики (рис. 2) чётко отражают качественную картину нагружения инструмента при механической обработке, его входа в контакт с заготовкой и выхода из него, а также резания в установившемся режиме работы. Так, например, на участке установившейся работы на сигналах зафиксированы колебания силы и вибраций, вызванные явлением образования и срыва нароста, сопровождающимся периодическим изменением переднего угла инструмента, что приводит к соответствующему изменению условий резания и возникающих при этом сил и вибрационной активности.

При оценке влияния величины износа режущего инструмента на динамические явления за точку отсчёта были взяты значения сил резания и вибраций при различных комбинациях режимов резания, соответствующие острому инструменту. Проанализировав результаты экспериментальных данных, были построены графики зависимостей силы резания и параметров вибраций от режимов резания для различных величин износа режущего инструмента. Кроме того, установлена однозначная зависимость силы от величины износа практически на всех режимах резания. Наличие и развитие площадки износа, приводящее к изменению геометрии режущего клина вблизи режущей кромки, вполне прогнозируемо приводит к возрастанию усилий резания.

При изменении скорости резания с ростом износа происходит значительное увеличение силы резания P_z . Однако закономерность изменения силы резания P_z с ростом износа также говорит о присутствии процесса наростообразования и его изменения при износе режущей кромки инструмента.

При этом для всех образцов сохраняются известные закономерности изменения силы резания в зависимости от режимов, приводимые в [5]. Данный факт позволяет подтвердить достоверность результатов, полученных экспериментально с использованием оригинальных средств, и сделать вывод о возможности использования параметров усилия резания для оценки изменения состояния режущего инструмента в результате износа.

Также, учитывая высокую чувствительность сигналов вибрации к изменению состояния режущего инструмента в результате изнашивания рабочих поверхностей, в процессе проведения экспериментальных исследований было установлено, что с ростом площадки износа на задней поверхности инструмента возрастает амплитуда высокочастотных колебаний.

Анализ влияния режимов резания на вибрационную активность при различных величинах износа инструмента показал следующее. При изменении глубины резания влияние износа на виброактивность неоднозначно. Значительный рост СКЗ виброускорений наблюдается только при существенных величинах износа. Общий вид зависимости виброактивности от глубины резания имеет линейный характер с практической идентичностью степени роста характеристики СКЗ(t) для всех экспериментальных образцов независимо от состояния режущей кромки (рис. 3).

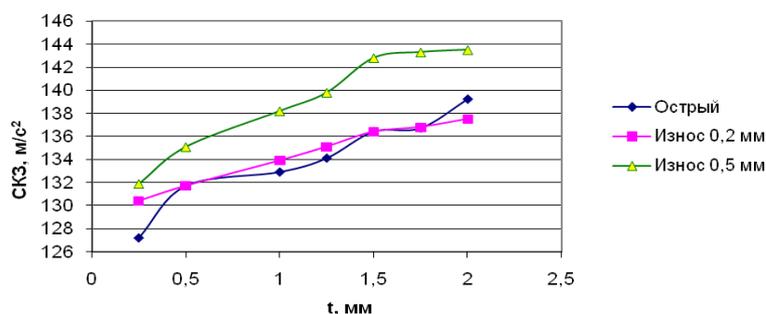


Рисунок 3 – Характер изменения СКЗ вибрации в зависимости от глубины резания t для трёх различных состояний режущего инструмента ($v = 69,9$ м/мин, $S = 0,2$ мм/об)

Таким образом, произведенные на токарном станке исследования процесса резания позволили накопить экспериментальную базу для формирования диагностических признаков состояния инструмента в результате его износа и повреждения. Кроме того, изменение режимов резания в различных комбинациях позволило установить частотные и амплитудные закономерности процесса наростообразования, а также установить режимы, на которых эти колебания при установившейся работе минимальны.

Подтверждено, что усилия резания и вибрации пригодны в качестве диагностического критерия при оценке технического состояния режущего инструмента, определяемого износом. Однако использование вибрационного сигнала обеспечивает лучшую технологичность использования по сравнению с силовым параметром, так как обеспечивает сходную информативность о состоянии инструмента и не требует применения специализированной оснастки на станке, что позволяет производить мониторинг состояния инструмента в процессе его работы в производственных условиях.

Список цитированных источников

1. Билл, Б. Пьезоэлектрические датчики / Б. Билл, К. Госсвайлер, А. Кирххайм, Д. Оттер // Материалы 9 симпозиума «Датчики и сбор данных измерения», 4–6 июня 2002 г.; Техническая академия Ессинген, 2002.
2. Kosmol J. Automatyzacja obrabiarek i obrobki skrawaniem / J. Kosmol – Warszawa : WNT, 2000.
3. Henrik Akesson Active control of vibration and analysis of dynamic properties concerning machine tools / Blekinge Institute of Technology, Licentiate Dissertation Series No 2007:04. – 2007.

4. Драган, А. В. Новые аппаратно-программные средства для исследования и диагностики механических систем / А. В. Драган [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2006. – № 4. – С. 17–26.

5. Грановский, Г. И. Резание металлов / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский – М. : Высшая школа, 1985.

УДК 681.5

Супрунчук П. Д.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Прокопеня О. Н.

ФОРМИРОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Системы оптимального управления находят все большее применение в технике. Данные системы обеспечивают высокое качество регулирования, но достаточно трудоемки в проектировании. Поиск оптимального управления представляет собой сложную математическую задачу, решение которой основано на описании системы переменными состояниями [1]. На практике, как правило, используется частный случай ее решения, который именуется аналитическим конструированием регулятора. Под аналитическим конструированием регуляторов понимают решение задачи оптимального управления для линейного объекта и квадратичного критерия [2]. Решение данной задачи актуально для приводов постоянного тока.

Эффективность решения данной задачи зависит от выбора коэффициентов матриц, входящих в критерий качества регулирования. Однозначных рекомендаций по их выбору нет, корректность выбора зависит от опыта проектировщика. В данной работе выполнен количественный анализ влияния матрицы R на затраты энергии на регулирование применительно к конкретному приводу постоянного тока.

Пусть уравнения объекта

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t), \quad x(t_0) = x_0 \quad (1)$$

где $A(t)$ и $B(t)$ – матрицы объекта.

Критерий качества регулирования

$$I = \int_{t_0}^{t_k} (u^T R(t)u + x^T Q(t)x) dt + x^T(t_k) F_k x(t_k), \quad (2)$$

где $Q(t)$ – симметричная, неотрицательно-определенная весовая матрица;

$R(t)$ – симметричная, положительно-определенная весовая матрица.

Минимальное значение критерия, соответствующее оптимальному управлению, ищется в виде квадратичной формы

$$I^*[x(t), t] = x^T P(t)x, \quad (3)$$

где $P(t)$ – весовая матрица.

Решением задачи нахождения минимума критерия является оптимальное управление

$$U^*(t) = -R^{-1}(t)B^T(t)P(t)x(t). \quad (4)$$

При этом матрица $P(t)$ находится из решения матричного нелинейного дифференциального уравнения Риккати [2]

$$-\dot{P}(t) = PA + A^T P - PBR^{-1}B^T P + Q. \quad (5)$$

Даже в случае, если объект является стационарным, а матрицы R и Q имеют постоянные коэффициенты, матрица P зависит от времени.