

М.В. Кучугуров, Запорожье, Украина

ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

В статті представлені результати експериментального дослідження автоколивань при точінні. Розглянуті особливості вивчення динаміки процесу вільного прямокутного різання на прикладі токарної обробки. Експериментально показано вплив зносу різця на параметри його пружного переміщення в умовах виникнення автоколивань при точінні.

В статье представлены результаты экспериментального исследования автоколебаний при точении. Рассмотрены особенности изучения динамики процесса свободного прямоугольного резания на примере токарной обработки. Экспериментально показано влияние износа реза на параметры его упруго перемещения в условиях возникновения автоколебаний при точении.

The results of the experimental self-excited vibrations research in turning are submitted. The features of orthogonal cutting process dynamic are reviewed at turning example. It's shown experimentally the influence of tool wear on its elastic displacement parameters when self-excited vibrations occur in turning.

Динамика процесса механической обработки по сей день остается актуальным направлением исследований. Вибрации, возникающие при резании, как правило, оказывают негативное влияние: колебания элементов системы станок – приспособление – инструмент – деталь (СПИД) приводят к резкому снижению стойкости инструмента, быстрому износу оборудования, ухудшению качества обработанной поверхности.

Наибольший интерес и трудность для исследования представляют автоколебания, так как природа вынужденных колебаний проста, источники их возникновения легко диагностируемы и подавление последних является простой задачей. Существует большое количество теоретических и экспериментальных исследований, раскрывающих основные причины возбуждения и поддержания автоколебаний. Однако, наиболее существенными и экспериментально подтвержденными являются:

1) Регенерация – резание по следу, приводящее к периодическим изменениям фактической толщины срезаемого слоя, что в свою очередь обуславливает колебания силы резания, действующей на резец и обрабатываемую деталь. По данным множества исследований [1, 2, 3], резание по следу обеспечивает наибольший вклад энергии, идущей на возбуждение автоколебаний.

2) Координатная связь – дополнительное возбуждение автоколебаний,

обусловленное несовпадением траекторий упругого отжатия и восстановления резца и детали под действием силы резания [4]. Это связано с тем, что элементы системы СПИД в зависимости от направления воздействия внешней нагрузки имеют различную жесткость.

Экспериментальное исследование динамики процесса резания является трудной задачей. Объект исследования сложен и многогранен, поэтому не всегда представляется возможным получение повторяемости результата при одинаковых условиях обработки. Причиной данного обстоятельства является высокая чувствительность системы “процесс резания – упругая система инструмента и детали”. Даже незначительные изменения фактических параметров обработки, которые можно зафиксировать, используя высокоточные и чувствительные датчики, способны полностью изменить динамическую картину процесса резания.

Авторами данной статьи проведены многочисленные экспериментальные исследования, позволившие расширить понимание особенностей динамики процесса токарной обработки. С этой целью было разработано ряд устройств для исследования автоколебаний при точении [5, 6]. Главной их особенностью является создание такой системы резания (рис. 1), в которой резец обладал бы пониженной жесткостью по сравнению с деталью: достаточно малой, чтобы создать благоприятные условия для возбуждения и исследования сильных автоколебаний; и в тоже время достаточной большой, чтобы колебания резца имели гармонический характер. Последние фиксируются бесконтактными датчиками перемещений в горизонтальном и вертикальном направлениях. Процесс резания рассматривается в главной секущей плоскости $P\tau$.

Основным отличием устройства для исследования физики явления автоколебаний при токарной обработке [6] является регулируемая упругая система резца, позволяющая раздельно изучать влияние координатной связи на возбуждение вибраций.

Конструкция устройства позволяет вести исследования продольного точения по схеме, максимально близкой к свободному прямоугольному резанию (рис. 1). Упрощение системы резания достигается точением короткой жесткой заготовки, колебаниями которой можно пренебречь. В ходе исследований делается допущение, что упругая система детали абсолютно жесткая, и в процессе возбуждения автоколебаний участвует только упругая система резца.

Разработанный экспериментальный стенд (рис. 2) позволяет в реальном времени фиксировать положение режущей кромки резца датчиками 4 и 5 в главной секущей плоскости $P\tau$, а также фактическую скорость вращения заготовки энкодером 9. Указанные измерительные устройства подключаются к персональному компьютеру через аналого-цифровой преобразователь, что позволяет:

- записывать осциллограммы сигналов датчиков и энкодера;
- выполнять пост-обработку получаемых данных для определения параметров колебаний реза с использованием программ математической обработки данных (MatLab и Octave).

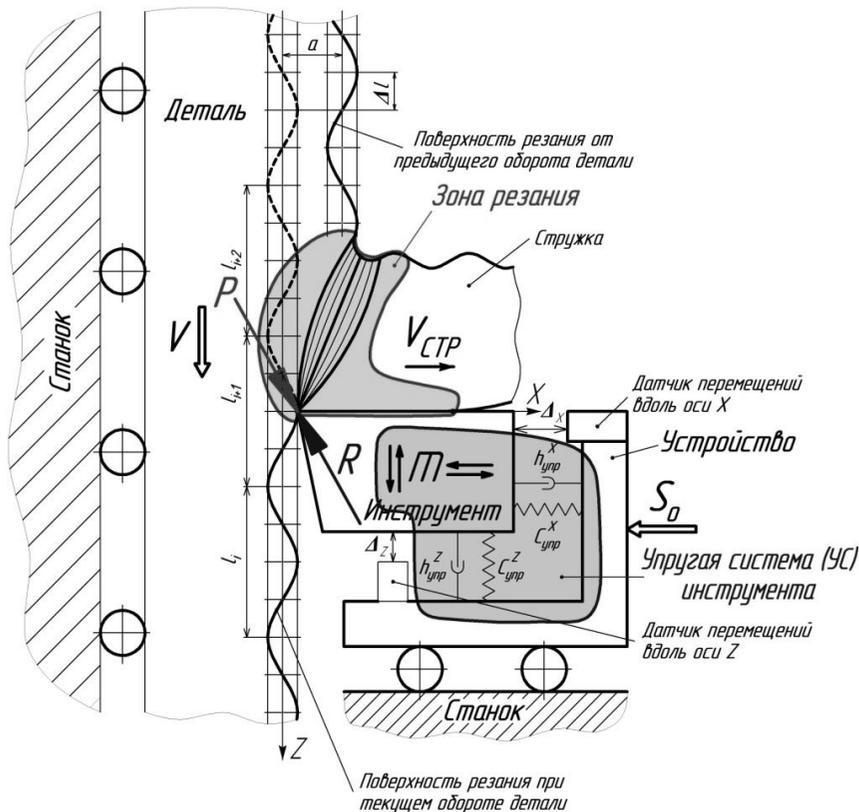


Рисунок 1 – Схема исследования процесса автоколебаний при точении (схема представлена в главной секущей плоскости $P\tau$):

$C_{упр}^x, h_{упр}^x, C_{упр}^z, h_{упр}^z$ – параметры жесткости и демпфирования реза вдоль осей X и Z ; m – приведенная масса колебательной системы реза; S_0 – движение подачи; V – скорость резания; a – номинальная толщина срезаемого слоя; Δl – сдвиг фаз волн на поверхности резания двух соседних оборотов детали; P – сила резания; R – реакция упругой системы реза

Использование данного стенда дает возможность изучать влияние на динамику токарной обработки следующих факторов:

- режимов резания (глубины t , подачи S_0 , скорости резания V);
- геометрии инструмента (рабочие углы, радиусы, фаски и параметры износа);
- статических и динамических характеристик упругой системы инструмента;
- обрабатываемого материала заготовки;
- различных условий резания (резание в смазывающе-охлаждающей технологической среде, девиация скорости резания и подачи и др.).

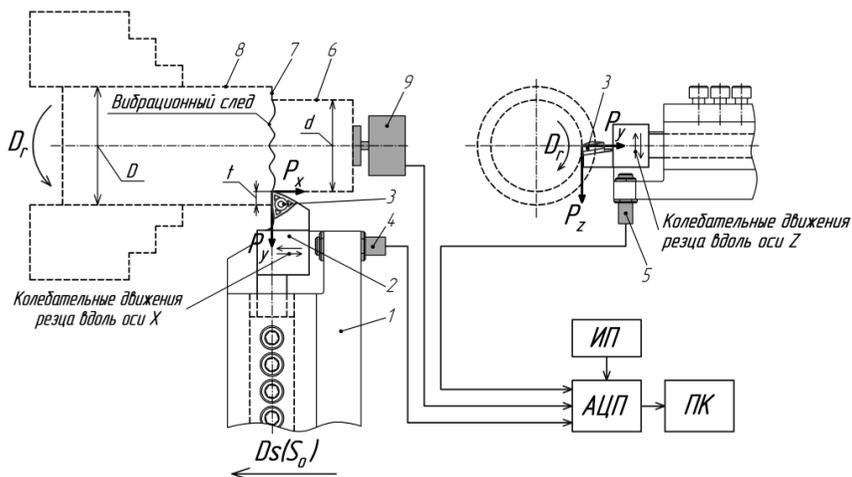


Рисунок 2 – Схема экспериментального стенда измерения колебаний резца при точении: 1 – корпус устройства; 2 – упругий элемент; 3 – режущая пластина; 4 – датчик горизонтальных перемещений резца; 5 – датчик вертикальных перемещений резца; 6 – обработанная поверхность; 7 – поверхность резания; 8 – обрабатываемая поверхность; 9 – энкодер; D_r – главное движение резания; $Ds(S_0)$ – движение подачи; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ПК – персональный компьютер; ИП – источник питания

Исследование влияние скорости резания V на амплитуду вибраций является одной из наиболее важных задач при изучении динамики точения. Известно, что для данного обрабатываемого материала, режимов и условий обработки, геометрии инструмента, характеристик упругой доминирующей колебательной системы, существует диапазон скоростей резания, при котором наблюдаются сильные вибрации.

В условиях возникновения автоколебаний инструмент подвергается интенсивному износу. Последний приводит к изменению его фактической геометрии, что оказывает существенное влияние на амплитуду колебаний. При точении наблюдаются следующие виды износа:

- а) типичный износ инструмента по передней и задней поверхностям;
- б) выкрашивание и сколы режущей кромки;
- в) интенсивный износ переходной кромки между главной и вспомогательной задними поверхностями резца. В результате износа по задней поверхности происходит дополнительное трение с обработанной поверхностью, что приводит к увеличению шероховатости последней и к снижению амплитуды колебаний.

Ниже приведены результаты исследования влияния скорости резания V на параметры колебательного процесса. Эксперименты проводили на токарном станке 16К20 с помощью устройства для исследования физики явления автоколебаний при токарной обработке [6]. Рассматривали общее состояние износа пластины и режущей кромки, а также измеряли величину фаски износа по задней поверхности. Точение стали 45 НВ 170 проводилось при следующих режимах: $t = 1$ мм; $S = 0,15$ мм/об; $n = 50 \dots 1600$ об/мин; $D = 45 \dots 84$ мм; $V = 10 \dots 370$ м/мин. Параметры инструмента: $\gamma = -8^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; $\alpha_l = 8^\circ$; $\varphi = 90^\circ$; $\varphi_l = 7^\circ$; $\lambda = 8^\circ$; $r = 0,1$ мм, материал пластины Т15К6.

На рис. 3, 4 приведены графики изменения статического отклонения резца от положения равновесия в зависимости от скорости резания V .

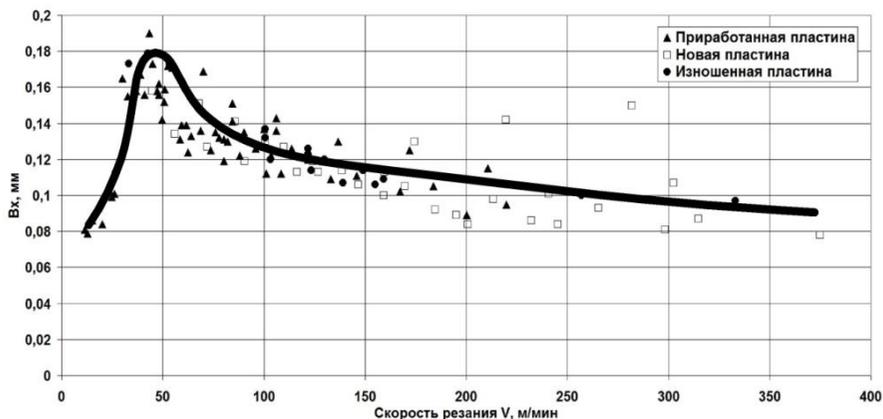


Рисунок 3 – График зависимости статической составляющей перемещений вершины резца в горизонтальном направлении V_x от скорости резания V

Наблюдается классическая зависимость статических отклонений резца от положения равновесия в указанных направлениях, значения которых пропорциональны действующим составляющим силы резания P_x и P_z .

При этом влияние степени износа незначительно, и проявляется в незначительном изменении величин B_x и B_z . Однако, при рассмотрении проведенных точений в динамике, ситуация кардинально меняется (рис. 5, б).

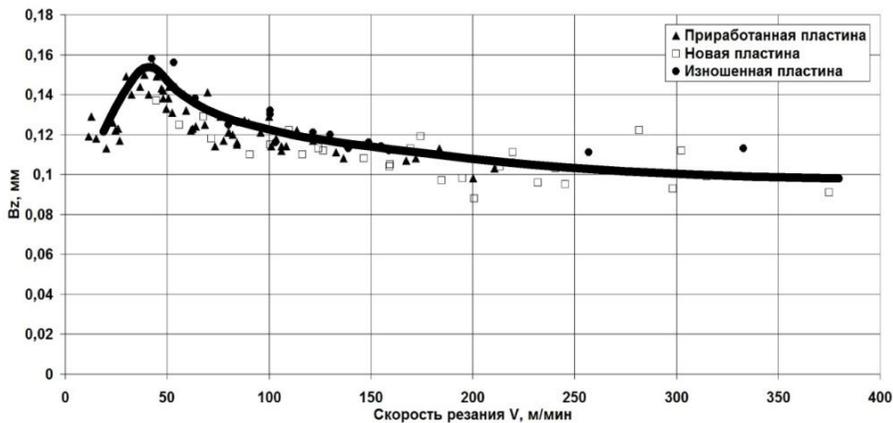


Рисунок 4 – График зависимости статической составляющей перемещений вершины резца в вертикальном направлении B_z от скорости резания V

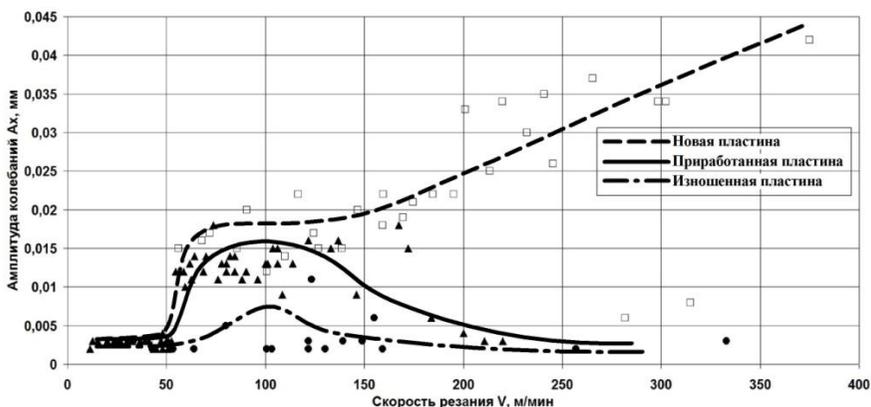


Рисунок 5 – График зависимости амплитуды колебаний резца в горизонтальном направлении A_x от скорости резания V

Графики показывают, что величина амплитуды колебаний может существенно меняться в зависимости от степени износа резца. Точение новой

режущей пластиной сопровождается сильными вибрациями в широком диапазоне скоростей резания. Однако после ее приработки наблюдается устойчивая зависимость амплитуды колебаний реза от параметра V с явно выраженным диапазоном скоростей с максимальным уровнем вибраций. После проведения порядка 10-15 точений проявляется дальнейший износ режущей пластины и снижение уровня автоколебаний с ростом шероховатости обработанной поверхности.

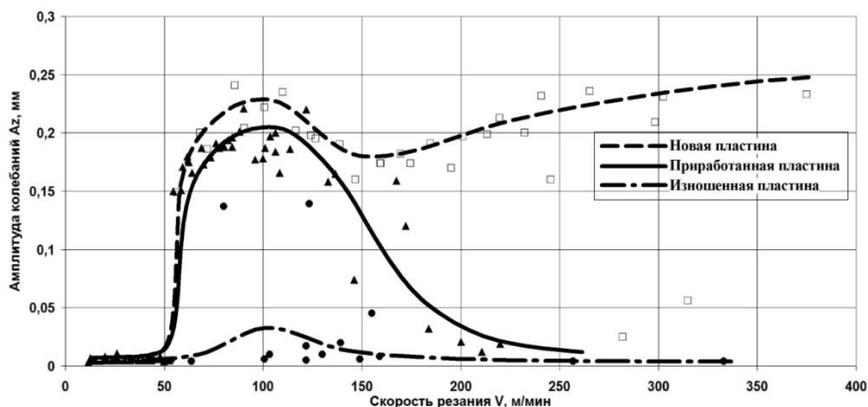


Рисунок 6 – График зависимости амплитуды колебаний реза в вертикальном направлении A_z от скорости резания V

Выводы. Таким образом, износ реза оказывает демпфирующее действие на колебательный процесс резания. Незначительное изменение величины фаски износа режущей пластины по задней поверхности приводит к существенному снижению амплитуды колебаний инструмента. Данный факт необходимо учитывать при разработке методики проведения исследований динамики процессов механической обработки, т.к. от этого будет зависеть адекватность и повторяемость получаемых результатов. Положительное влияние наличия фаски износа по задней поверхности на динамическую картину процесса резания требует дальнейшего изучения с целью поиска сочетаний данного параметра и режимов резания для достижения высокопроизводительной безвибрационной обработки.

Список использованных источников: 1. *Ильницкий И.И.* Колебания в металлорежущих станках и пути их устранения. Машгиз, Москва – Свердловск, 1958, 142с. 2. *Siddhupura M., Paurobally R.* A review of chatter vibration research in turning / International Journal of Machine Tools and Manufacture, October 2012, Volume 61, pp. 27-47. 3. *Kai Cheng.* Machining Dynamics. Fundamental, applications and practices / Springer Series in Advanced Manufacturing. Advanced Manufacturing & Enterprise Engineering Department School of Engineering and Design. Brunel University. Middlesex UB8 3PH. UK, 2009. 4. *Лазарев Г.С.* Автоколебания при резании металлов / Изд-во “Высшая

школа”, Москва, 1971. -244с. 5. Внукон Ю.Н., Кучугуров М.В. и др. Способ и устройство для исследования регенеративных автоколебаний при точении / Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2013. – Вып. 83. – с. 42-54. 6. Внукон Ю.Н. Дядя С.И. и др. Устройство для исследования физики явления автоколебаний при токарной обработке / Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві: збірник наукових праць. – Одеса: Наука і техніка. –2014. –Вип. 2(7). – с. 38-48.

Bibliography (transliterated): 1. П'ницький І.І. Кольбання в металорезувальних станках і методи їх усунення. Mashgiz, Moskva – Sverdlovsk, 1958, 142s. 2. Siddhupura M., Paurobally R. A review of chatter vibration research in turning / International Journal of Machine Tools and Manufacture, October 2012, Volume 61, pp. 27-47. 3. Kai Cheng. Machining Dynamics. Fundamental, applications and practices / Springer Series in Advanced Manufacturing. Advanced Manufacturing & Enterprise Engineering Department School of Engineering and Design. Brunel University. Middlesex UB8 3PH. UK, 2009. 4. Lazarev G.S. Avtokolebanija pri rezanii metallov / Izd-vo “Vysshaja shkola”, Moskva, 1971. -244s. 5. Vnukov Ju.N., Kuchugurov M.V. i dr. Sposob i ustrojstvo dlja issledovanija regenerativnyh avtokolebanij pri tochenii / Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah: Mezhdunar. nauch.-tehn. sb. – Har'kov: NTU “HPI”. – 2013. – Vyp. 83. – s. 42-54. 6. Vnukov Ju.N. Djadja S.I. i dr. Ustrojstvo dlja issledovanija fiziki javlenija avtokolebanij pri tokarnoj obrabotke / Informacijni tehnologiji v osviti, nauki ta virobnictvi: zbirnik naukovih prac'. – Odesa: Nauka i tehnika. – 2014. –Vip. 2(7). – s. 38-48.

Поступила в редколлегию 17.07.2015