

УДК 621.941

А.А. ОРГИЯН, д-р техн. наук,

А.В. БАЛАНЮК, старший преподаватель

Б.О. ТКАЧЕНКО, к-т техн. наук, Одесса, Украина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИСЛЕДОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ И ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ПРИ МНОГОРЕЗЦОВОМ ТОНКОМ РАСТАЧИВАНИИ

А.А. Оргиян, А.В. Баланыук, Б.О. Ткаченко. Экспериментальные исследования колебаний и точности обработки при многорезцовом тонком растачивании. В статье экспериментально изучены амплитуды вынужденных колебаний в зависимости от геометрических параметров борштанги (соотношения длин и диаметров ступеней). Результаты получены при отдельной и одновременной работе резцов. Изменялись режимы и коэффициенты резания, взаимное расположение резцов и обрабатываемые материалы. Основное влияние на уровень колебаний оказывают масса - геометрические параметры борштанги, их собственные частоты и жесткости и режимы резания. Установлено, что амплитуды вынужденных колебаний изменяются немонотонно.

Ключевые слова: тонкое растачивание, амплитуда вынужденных колебаний, ступенчатые борштанги.

О.А. Оргія, Г.В. Баланыук, Б.О. Ткаченко. Експериментальні дослідження коливань і точності обробки при багато різцевому тонкому розточуванні. У статті експериментально вивчені амплітуди вимушених коливань в залежності від геометричних параметрів борштанги (співвідношення довжин і діаметрів ступенів). Результати отримані при окремій та одночасній роботі різців. Змінювалися режими і коефіцієнти різання, взаємне розташування різців і оброблювані матеріали. Основний вплив на рівень коливань надають масо - геометричні параметри борштанги, їх власні частоти, жорсткості та режими різання. Встановлено, що амплітуди вимушених коливань змінюються немонотонно.

Ключові слова: тонке розточування, амплітуда вимушених коливань, ступінчасті борштанги.

A.A. Orgiyany, A.V. Balanyuk, B.O. Tkachenko. Experimental studies of the oscillations and accuracy of machining with multi-cut thin boring. In the article, the amplitudes of forced oscillations are experimentally studied depending on the geometric parameters of the boring bar (the ratio of the lengths and the diameters of the steps). The results are obtained with separate and simultaneous operation of the incisors. The modes and coefficients of cutting, the relative position of the incisors and the materials to be processed changed. The main influence on the level of oscillations is due to the mass - geometric parameters of the borstang, their own frequencies and rigidity and cutting regimes. It is established that the amplitudes of the forced oscillations change no monotonically.

Keywords: thin boring, amplitude of forced oscillations, step boring.

Новый уровень развития технологии машиностроения требует внедрения в производство контрольно-измерительных машин, нанометрических микросхем, а также механизированных высокоточных приспособлений для повышения качества механической обработки заготовок и производительности. Режимы резания, обеспечивающие снятие наибольших стружек в единицу времени, при сохранении высокой стойкости

инструмента не всегда являются определяющими при тонком растачивании. Необходимо корректировать рекомендуемые режимы резания, которые при обеспечении требуемого качества поверхности, имели достаточно высокую производительность обработки.

Наибольшее распространение получили горизонтально расточные станки с подвижным столом и консольными вращающимися (или не вращающимися) борштангами. Анализ конструкции отделочно-расточных станков (ОРС) показывает, что подавляющее большинство станков являются многорезцовыми и многошпиндельными.

Внешние воздействия на упругую систему станка при отсутствии резания являются источниками колебаний при холостом ходе, снижение уровня которых особенно важно для прецизионных отделочных станков. Достаточно низкий уровень колебаний при резании не может быть достигнут, если не обеспечен соответствующий уровень колебаний при холостом ходе станка. Исследования колебаний ОРС при холостом ходе и при резании выполнены при цеховых испытаниях [1].

Эксперименты проводились на ОРС моделей 2А715, 2706 и 2731. Измерялись колебания борштанг, корпусных деталей и электродвигателей при варьировании размеров борштанг и условий обработки. Распределению амплитуд a_{xx} изгибных колебаний борштанг в интервале 0,2...2 мкм соответствовало распределение амплитуд $a_{рез}$ колебаний при резании в интервале 0,2...5 мкм.

Источники внешних возмущений действующих на упругую систему ОРС, их замкнутые динамические модели, переменность параметров, исследование колебаний, особенности процесса резания отражены в ряде научных работ: Мталиня А.А., Линчевского П.А., Копелева Ю.Ф., Кудинова В.А., Левиной З.М., Решетова Д.Н и др. Технологическая динамика упругих систем ОРС, а также тонкого растачивания отражены в ряде работ: Пупина А.П., Оборского Г.А., Реввы В.Ф., Подураева В.Н и др. Вместе с тем следует отметить, что результаты исследования процесса тонкого растачивания многорезцовыми борштангами практически не освещены в технической литературе, что свидетельствует о необходимости проведения дальнейших исследований в этом направлении.

Основной задачей настоящей работы являются экспериментальные исследования динамики тонкого многорезцового растачивания ступенчатых отверстий в зависимости от параметров технологической системы и процесса резания.

Известно, что колебания консольных борштанг при тонком растачивании существенно ограничивают технологические возможности этой операции и точность обработки даже при резании гладких отверстий. Повышенная интенсивность возмущений при многорезцовой обработке

усиливает влияние динамических явлений на устойчивость технологической системы и качество получаемой поверхности.

В исследованиях динамических явлений в технологических системах, замкнутых на процесс резания, изучалось влияние параметров упругой системы и режимов резания на устойчивость и вынужденные колебания [2, 3.]. Результаты этих работ положены в основу методики экспериментальных исследований, описанных в настоящей работе. Исследования построены на сопоставлении колебаний при обработке одним и несколькими резацами, что позволило установить характерные отличия и основные источники возбуждения колебаний и соответствующие им характеристики точности обработки.

Стенд для экспериментального исследования колебаний при растачивании ступенчатых поверхностей вращения был собран на базе ОРС с использованием специальных приспособлений. Требования к стенду были определены задачами испытаний: изучить влияние характеристик ступенчатых поверхностей, режимов резания, а также параметров упругой системы на колебания и точность обработки. Изменения параметров упругой системы достигалось сменой борштанг различных размеров (изменялись соотношения длин ступеней, диаметров и обрабатываемые материалы). Изменение характеристик ступенчатых отверстий обеспечивалось специальной формой растачиваемых образцов. В экспериментах изменялись глубина, скорость резания и подача. Бесступенчатое регулирование скорости резания достигалось использованием преобразователя частоты вращения двигателя (Danfoss VLT MicroDrive), выходной вал которого был связан ременной передачей со шпинделем.

Стенд собирался в двух вариантах, которые соответствовали двум конструктивно-компоновочным решениям ОРС:

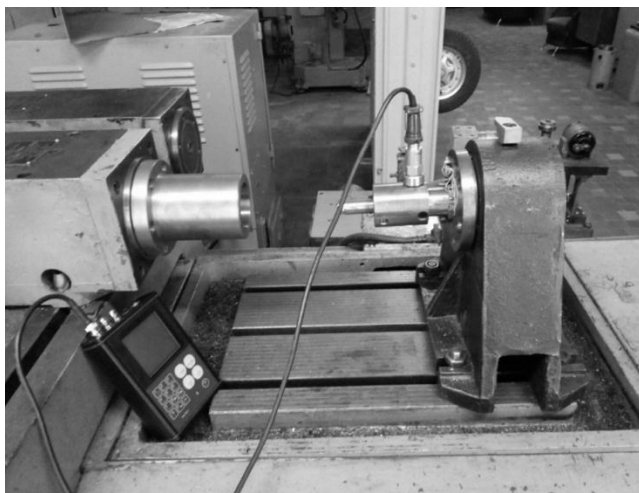
- 1) с не вращающимися борштангами – вращается деталь;
- 2) с вращающимися борштангами – неподвижная деталь.

Стенд и измерительная аппаратура, для исследования колебаний не вращающимися борштангами приведены на рисунках 1 и 2.

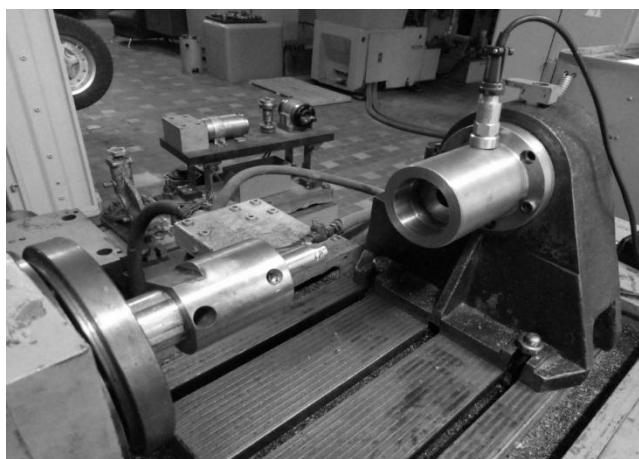
Эксперименты проводились на ОРС в лаборатории ОНПУ на кафедре технологии машиностроения им. Маталина А.А. В качестве измерительной аппаратуры использовался анализатор спектра вибраций, который устанавливался на борштангу, закрепленную в приспособлении рис. 1, а также с помощью тензометрических датчиков.

При проведении экспериментов обрабатываемая заготовка (4) устанавливалась на шпинделе головки (2) ОРС. Консольная борштанга (5) крепилась в приспособлении (6), которое установлено на столе станка. На борштанге (5) вблизи заделки были наклеены две пары тензодатчиков (7). Тензодатчики (7) и УРК (10) применялись для измерения изгибных колебаний

борштанги в двух плоскостях. Тензодатчик были включены по дифференциальной схеме и обеспечивали надежное измерение процесса в диапазоне частот 0-7000 Гц. Указанный диапазон частот является вполне



а)



б)

Рисунок 1 – Экспериментальные стенды:
а) с не вращающимися борштангами; б) с вращающимися борштангами.

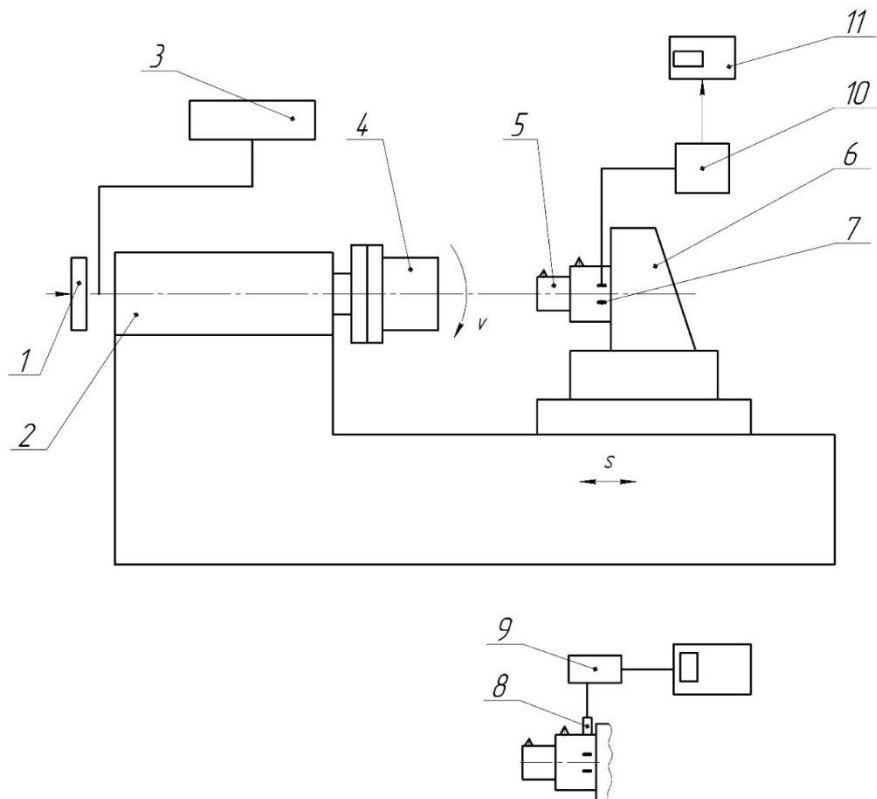


Рисунок 2 – Схема экспериментального стенда для исследования колебаний не вращающимися борштангами:

- 1 – тахометр; 2 – шпиндельная головка; 3 – преобразователь частоты;
 4 – заготовка; 5 – борштанга; 6 – приспособление; 7 – тензодатчики;
 8 – пьезодатчик; 9 – анализатор спектра вибраций; 10 – устройство регистрации колебаний (УРК); 11 – персональный компьютер (ПК).

достаточным, так как характерные частоты изгибных колебаний борштанг находится в диапазоне 200-3000 Гц.

УРК (10) состоит из 4-х тензометрических датчиков, которые соединены между собой по мостовой схеме, микроконтроллера Discovery STM32L0538-DISCO, тензоусилителя, microCD карты памяти и радио модуля Bluetooth.

УРК работает следующим образом: регистрируемый аналоговый сигнал посредством 4-х тензометрических датчиков записывается в виде n пакетов данных на microCD карту памяти, которая в свою очередь установлена на

микроконтроллере Discovery, что позволяет повысить скорость передачи сигнала, регистрируя при этом полный спектр частот сигнала.

Особенность конструкции устройства заключается в том, что сигнал регистрируется не при помощи ПК, а при помощи микроконтроллера Discovery STM32L0538-DISCO, который управляется ПК посредством радио модуля Bluetooth.

Для визуализации процесса тарировки, записи и обработки сигнала были разработаны в среде LabVIEW соответствующие программы.

Частота вращения измерялась электронным тахометром (1).

Тарировка УРК выполнялась по величине статического смещения борштанги в сечении наиболее удаленного от фланца резца.

Плоскости, в которых наклеены тензодатчики, совпадают с направлением главных осей жесткости, положение которых было определено экспериментально по эпюрам податливости в зависимости от направления действия силы.

Типичная эпюра податливости борштанги, установленной в стойке в зависимости от угла поворота, приведена на рисунке 3.

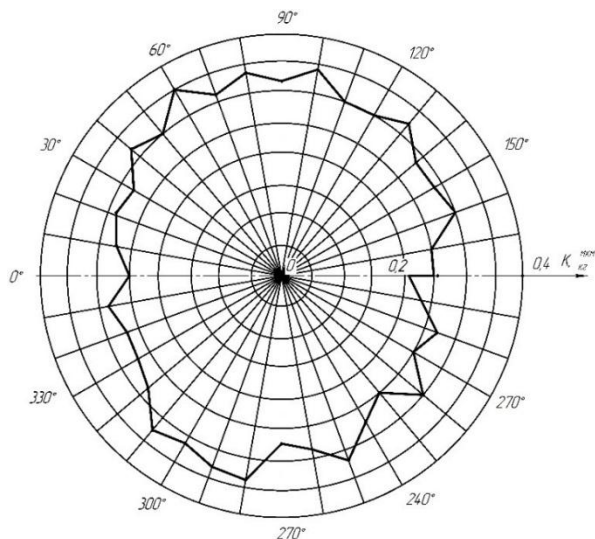


Рисунок 3 – Типичная эпюра податливости

Собственные частоты этих борштанг определялись по осциллограммам свободных затухающих колебаний, возбуждаемых ударом в сечении резца. Значения собственных частот и жесткостей испытываемых борштанг приведены в таблице.

Таблица. Значения собственных частот и жесткостей некоторых борштанг

Соотношение длин ступеней		Собственная частота борштанги, $\omega_c, \text{сек}^{-1}$			Жесткость борштанги, $C, \text{Н/мм}$		
$l_1, \text{м}$	$l_2, \text{м}$	$d_1=0,08 \text{ м}, d_2=0,04 \text{ м}$	$d_1=0,06 \text{ м}, d_2=0,03 \text{ м}$	$d_1=0,05 \text{ м}, d_2=0,025 \text{ м}$	$d_1=0,08 \text{ м}, d_2=0,04 \text{ м}$	$d_1=0,06 \text{ м}, d_2=0,03 \text{ м}$	$d_1=0,05 \text{ м}, d_2=0,025 \text{ м}$
$l=0,2 \text{ м}$							
0,175	0,025	385	385	255	3,928	2,578	1,725
0,125	0,075	560	435	332	3,337	2,006	1,170
0,1	0,1	580	418	322	2,724	1,411	0,838
0,05	0,15	436	280	209	1,563	0,645	0,360
$l=0,16 \text{ м}$							
0,13	0,03	760	652	536	5,383	3,959	2,675
0,11	0,05	896	712	596	5,327	3,362	2,360
0,08	0,08	897	686	530	4,352	2,542	1,523
0,05	0,11	700	496	364	2,988	1,502	0,807

В экспериментах также применялся анализатор спектра вибраций, пьезодатчик которого устанавливался на специальной лыске, выполненной вблизи заделки борштанги.

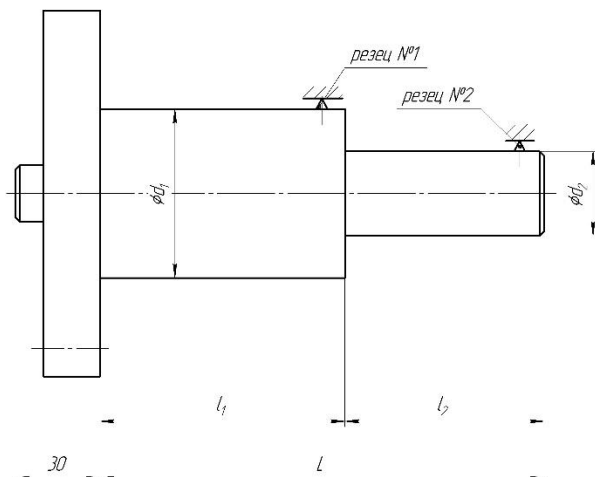


Рисунок 4 – Параметры двухступенчатой борштанги.

Анализатор состоит из электронного блока и первичного преобразователя – акселерометра пьезоэлектрического. Принцип измерения параметров вибрации состоит в том, что при помощи акселерометра механические колебания преобразуются в электрический сигнал, пропорциональный параметрам вибрации (виброперемещению, виброскорости, виброускорению). Этот сигнал нормируется, усиливается и фильтруется для выделения в заданном диапазоне частот. После этого аналоговый сигнал преобразуется в цифровой код, обрабатывается по заданным алгоритмам и отображается на цифровом индикаторе анализатора в виде числовых значений и графических зависимостей измеряемых величин. С помощью специальной программы «КонСпект», которая прилагается к прибору и установлена на ПК, числовые значения и графические зависимости отображаются на ПК.

Частоты собственных колебаний борштанг, возбуждаемых ударом в сечении резца, определялись по осциллограммам затухающих колебаний с помощью УРК.

Эксперименты проводились в условиях, которые позволяли установить взаимное влияние возмущений между резцами, их интенсивность, а также качество обработки и погрешности. Длина образцов составляла от 120-250 мм а диаметры ступеней от 20-100 мм. Заготовки крепились на головках первого и второго типа размеров.

В экспериментах была принята следующая геометрия режущей части резцов, применяемая при тонком растачивании гладких поверхностей:

– при растачивании стали: $\phi = 60^\circ; \phi_1 = 10^\circ; \alpha = 8^\circ; \alpha_1 = 12^\circ; \gamma = -3^\circ; \lambda = 5^\circ;$

– при растачивании чугуна: $\phi = 60^\circ; \phi_1 = 10^\circ; \alpha = 6^\circ; \alpha_1 = 10^\circ; \gamma = -5^\circ; \lambda = 10^\circ;$

– при растачивании бронзы: $\phi = 45^\circ; \phi_1 = 20^\circ; \alpha = 10^\circ; \alpha_1 = 8^\circ; \gamma = 0^\circ; \lambda = 10^\circ.$

Материал резцов:

– при растачивании стали – Т30К4, эльбор;

– при растачивании чугуна – ВКЗМ;

– при растачивании бронзы – резцы с кристаллами алмаза.

Глубина резания от 0,04 до 0,2 мм, подачи от 0,04 – 0,1 мм/об.

Известно, что стойкость инструмента и шероховатость обрабатываемой поверхности существенным образом зависят от скорости резания. В проведенных экспериментах при тонком растачивании стали 45 скорость резания изменялась от 100 до 300 м/мин. Целью изменения скорости резания являлась корректировка величины рекомендуемой скорости по результатам измерения амплитуд колебаний при многорезцовой обработке. В результате этих экспериментов можно установить оптимальную скорость резания, обеспечивающую наибольшую стойкость инструмента.

В експериментах приняты следующие пределы изменения режимов резания:

- при растачивании образцов из стали – скорость от 100 до 300 м/мин с шагом 20 м/мин; глубина резания 0,04 – 0,2 мм; подача от 0,04 – 0,1 мм/об;
- при растачивании образцов из чугуна – скорость от 100 до 200 м/мин с шагом 20 м/мин; глубина резания 0,05 мм; подача от 0,05 мм/об;
- при растачивании образцов из бронзы – скорость от 100 до 200 м/мин с шагом 20 м/мин; глубина резания 0,05 мм; подача от 0,04 мм/об.

Расчет логарифмического декремента колебаний проводился по формуле:

$$\delta = \ln \frac{a_i}{a_{i+1}},$$

Где $\frac{a_i}{a_{i+1}}$ – отношение предыдущей к последующей амплитудам, a_i брались в диапазоне амплитуд 0,5 – 4 мкм.

Результаты экспериментов показывают, что с увеличением длины борштанги декремент уменьшается, а частота затухающих колебаний практически равна собственной частоте борштанги. Растачивание проводилось партией резцов (6 штук в партии) для исключения влияния характеристик геометрических параметров отдельных резцов. Критерием переустановки являлся выход поверхности образца по шероховатости R_a на величину 0,9 мкм. Шероховатость поверхности определялась профилографом – профилометром модели 201 завода Калибр.

Отдельные результаты экспериментов приведены на рисунках 5 – 9, обрабатываемый материал сталь 45.

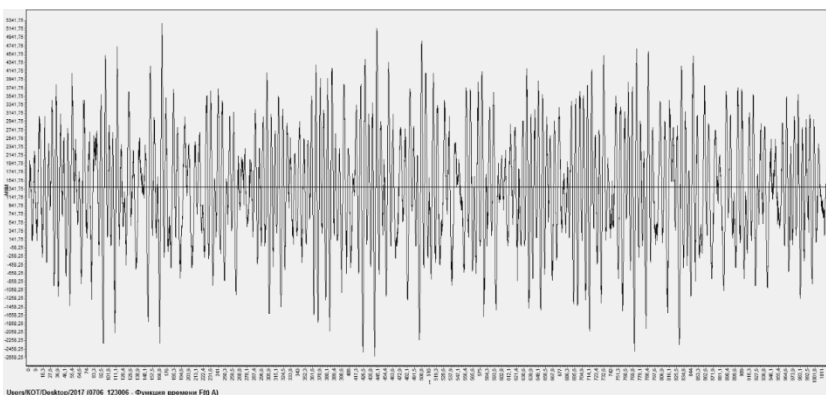


Рисунок 5 – Оциллограмма вынужденных колебаний при тонком растачивании резцом №1.

На рисунке 5 приведена осциллограмма колебаний одного резца, установленного ступени $\varnothing 60$ мм. Режимы растачивания: $n=1350$ об/мин, $t_1=0,05$ мм, $s=0,09$ мм/об, $l=160$ мм, $l_1=110$ мм, $l_2=50$ мм (рис. 4). При обработке осциллограммы получены такие результаты: амплитуда колебаний $A_1=2,1$ мкм, $f_c=188$ Гц.

На рисунке 6 приведена осциллограмма колебаний второго резца, установленного на ступени $\varnothing 30$ мм. Режимы растачивания: $n=1350$ об/мин, $t_2=0,05$ мм, $s=0,09$ мм/об, $l=160$ мм, $l_1=110$ мм, $l_2=50$ мм.

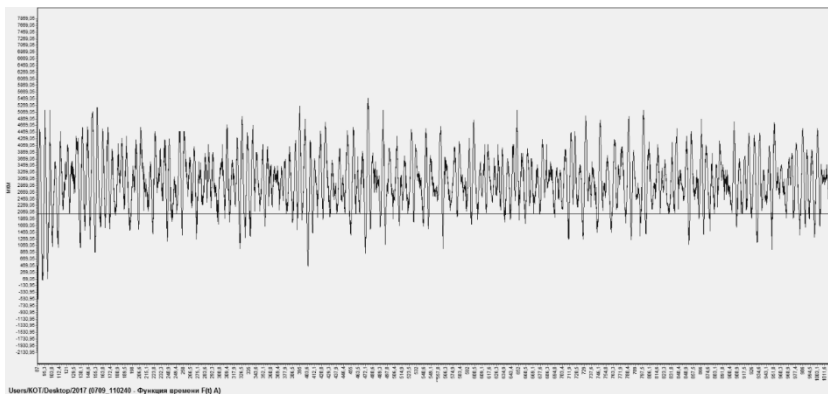


Рисунок 6 – Осциллограмма вынужденных колебаний при тонком растачивании резцом №2.

При обработке осциллограммы получены следующие результаты: амплитуда колебаний $A_2=2,8$ мкм, $f_c=190$ Гц.

Сравнение осциллограмм, приведенных на рисунках 5 и 6, приводит к понятному выводу о том, что амплитуды колебаний на более удаленном от фланца резце больше, то есть $A_2 > A_1$.

На рисунках 7 и 9 приведены осциллограммы колебаний при работе резца №2 и одновременной работе двух резцов. Резец 1 установлен на ступени $\varnothing 60$ мм, резец 2 установлен на ступени $\varnothing 30$ мм. На рисунке 7 $n=1350$ об/мин, на рисунке 9 $n=1200$ об/мин, $t_1=0,08$ мм, $t_2=0,08$ мм, $s=0,09$ мм/об, $l=160$ мм, $l_1=110$ мм, $l_2=50$ мм.

На рисунке 8 приведены спектры колебаний консольной борштанги, полученные преобразованием Фурье. Опасные гармоники колебаний вызывают повышенный уровень возмущений, действующих на борштангу. При совпадении или кратности собственных частот и частот возмущения возникает повышенный уровень колебаний расточной борштанги. Например, при частоте вращения 22 Гц повышенный уровень колебаний при совместной работе резцов возникает при частоте 154 Гц (кратность равна 7), а при работе

резца №2 повышенный уровень колебаний реализуется при частоте 176 Гц (кратность равна 8).

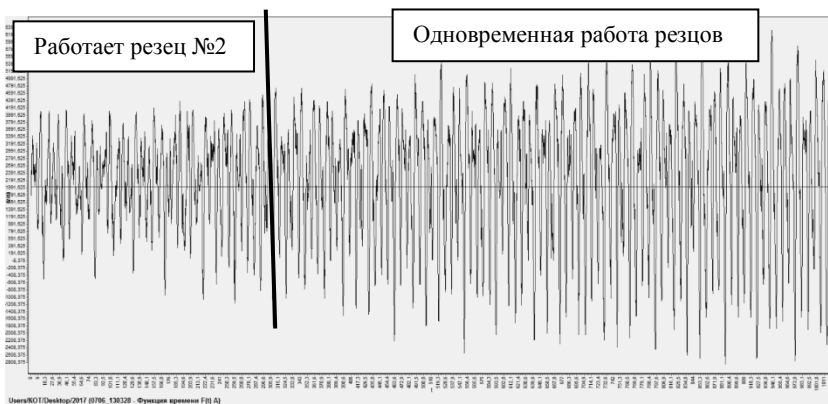


Рисунок 7 – Оциллограмма вынужденных колебаний при тонком растачивании резцом №2 и одновременной работе резцов.

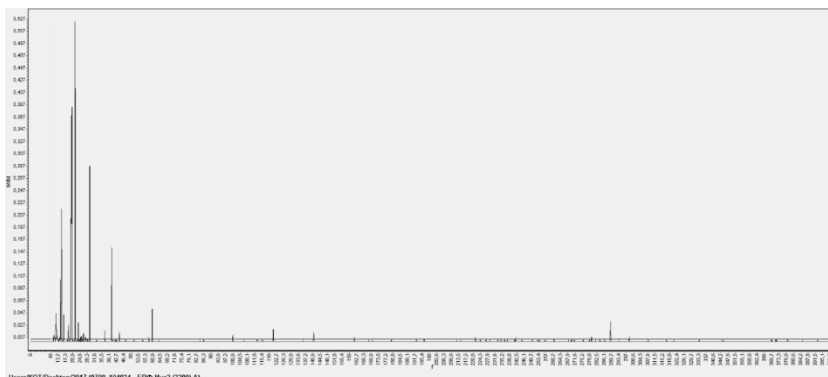


Рисунок 8 – Спектры колебаний консольной борштанги при частоте вращения 22 Гц.

При обработке оциллограммы, приведенной на рисунке 7, получены такие результаты: амплитуда колебаний $A_2 = 0,75 \text{ мкм}$, $A_{1+2} = 1,15 \text{ мкм}$, $R_a = 1,2 \text{ мкм}$.

$f_{c2} = 176 \text{ Гц}$, $f_{c1+2} = 154 \text{ Гц}$. Таким образом, в этих условиях обработки при одновременной работе резцов амплитуда колебаний возрастает в 1,5 раза по сравнению с амплитудой колебаний возникающей на резце №2.

На рисунке 9 – амплитуда колебаний $A_2 = 0,8 \text{ мкм}$, $A_{1+2} = 2,1 \text{ мкм}$, $f_{c2} = 180 \text{ Гц}$, $f_{c1+2} = 160 \text{ Гц}$, $R_a = 2,0 \text{ мкм}$

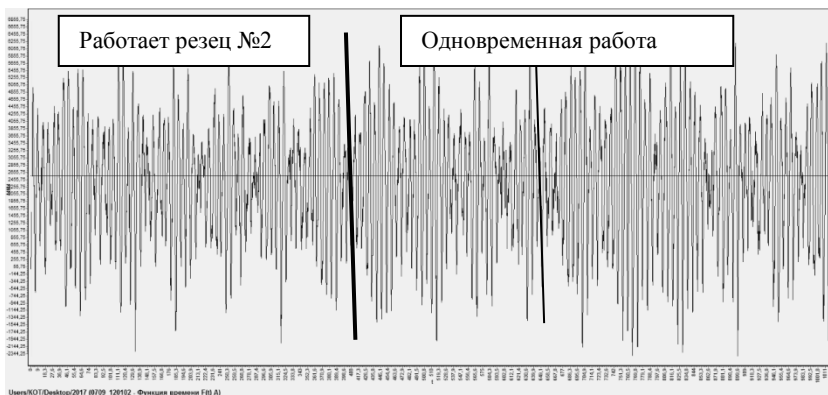


Рисунок 9 – Осциллограмма вынужденных колебаний при тонком растачивании резцом №2 и одновременной работе резцов.

Таким образом, сопоставив результаты осциллограмм на рисунках 7 и 9, полученные при одновременной работе двух резцов, частота колебаний несколько уменьшается, а суммарная амплитуда колебаний возрастает. Результаты сопоставления осциллограмм позволяют также сделать вывод о том, что частота вращения шпинделя влияет на величину амплитуды колебаний при тонком растачивании. Таким образом, появляется возможность корректировки величины скорости резания по величине амплитуд вынужденных колебаний.

Изменение частоты вращения также приводит к появлению биений, что свидетельствует о приближении к границе устойчивости (рис. 9).

Сравнение результатов полученных, с помощью анализатора спектра вибраций и с помощью тензометрических измерений, показывает их практическое совпадение. Результаты тензометрических исследований более чувствительны к изменению параметров технологической системы.

Обобщая результаты экспериментов, следует отметить, что при одинаковых режимах растачивания для всех обрабатываемых материалов амплитуды колебаний на более удаленном от фланца резце (резец №2) больше, чем на менее удаленном (резец №1), что является вполне логичным и соответствует изменению жесткостей ступеней борштанг. При одновременной работе резцов взаимное их влияние приводит к повышению или снижению уровня колебаний в зависимости от параметров борштанги и режимов обработки.

Спектры колебаний консольных борштанг свидетельствуют о том, что при совпадении или кратности собственных частот и частот возмущений возникают повышенные уровни колебаний. Следовательно, при назначении режимов резания следует избегать опасных значений скоростей резания, приводящих к возрастанию амплитуд вынужденных колебаний. При

определенных режимах резания при одновременной работе двух резцов, а также при работе наиболее удаленного от фланца резца, возникают биения (рис. 9) свидетельствующие о приближении к границе виброустойчивости. Небольшие изменения скорости резания приводят к уменьшению амплитуды биений и свидетельствуют о необходимости корректировки рекомендуемой величины скорости резания по величине амплитуд вынужденных колебаний. Аналогичные явления возникают при изменении коэффициентов резания на отдельных ступенях, а также глубины резания и подачи.

Результаты экспериментов с вращающимися борштангами подтверждают основные закономерности динамических взаимодействий, возникающих при растачивании не вращающимися борштангами, хотя интенсивности амплитуд колебаний несколько возрастают. Этот результат можно объяснить вращением зоны резания, что приводит к увеличению нестационарности упругой системы.

Выводы:

1. При одновременной работе взаимное влияние резцов приводит к повышению или снижению уровня вынужденных колебаний в зависимости от конструктивных параметров борштанги (соотношения диаметров и длин ступеней) и режимов обработки.
2. Результаты экспериментов с вращающимися борштангами подтверждают основные закономерности динамических взаимодействий, возникающих при растачивании не вращающимися борштангами, хотя интенсивности амплитуд колебаний несколько возрастают.
3. Изменения параметров процессов резания (коэффициентов резания, обрабатываемого материала, частоты вращения шпинделя) приводят к повышению или понижению виброустойчивости технологической системы.
4. Параметры точности поперечного сечения и шероховатости изменяются в соответствии с уровнем вынужденных колебаний.
5. Во всех проведенных экспериментах прогнозирование уровней колебаний при проектировании расточных борштанг требует в каждом конкретном случае динамических расчетов.

Список использованных источников: 1. П.А. Линчевський та ін.. Обработка деталей на оброчно-розточувальних верстатах / П.А. Линчевський, Т.Г. Джугурян, О.А. Оргян, за заг. ред. П.А. Линчевського. – К.: Техніка, 2000. – 300с. ISBN 966-575-048-8 2. Кудинов В.А. Динамика станков. М.: Машиностроение, 1967. 359 с. 3. Копелев Ю.Ф. Колебания упругой системы станка в процессе резания // Машиноведение. – 1976. - №6. – С. 21-27. 4. А.В. Балаюк Колебания двухступенчатых консольных борштанг при тонком растачивании. " Збірник наукових праць (галузеve машинобудування, будівництва) / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка." Стр. 131 – 139, 2014. 5. Нормативы режимов резания и геометрия резцов для тонкого растачивания. Обработка на отделочно-расточных станках / Пупин А.П., Савилов Ю.В., Маркаров Г.М. и др. – М.: НИИмаш., 1979. – 92 с. 6. Оргян А.А., Балаюк А.В.,

Албакуш Аимен. Характеристики внешних воздействий и переменности параметров динамической системы отделочно-расточных станков. Матеріали МНТК «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта», 2016 – 285 с. Стр 231-233. 7. *Ю.С. Качанов.* Алмазно - расточные станки. Источники погрешности при тонком растачивании. Машиностроительные технологии и инструменты №6 (308), 2014. – С. 82-85.

Bibliography (transliterated): 1. P.A. Linchevs'kij ta in.. Obrobka detalej na obrobno-roztochival'nih verstatah / P.A. Linchevs'kij, T.G. Dzhugurjan, O.A. Orgijan, za zag. red.. P.A. Linchevs'kogo. – K.: Tehnika, 2000. – 300s. ISBN 966-575-048-8 2. Kudinov V.A. Dinamika stankov. M.: Mashinostroenie, 1967. 359 s. 3. Kopelev Ju.F. Kolebanija uprugoj sistemy stanka v processe rezanija // Mashinovedenie. – 1976. - №6. – S. 21-27. 4. A.V. Balanjuk Kolebanija druhstupenchatyh konsol'nyh borshtang pri tonkom rastachivanii. " Zbirnik naukovih prac' (galuzeve mashinobuduvannja, budivnictvo) / Poltav's'kij nacional'nij tehnicnij universitet imeni Jurija Kondratjuka." Str. 131 – 139, 2014. 5. Normativy rezhimov rezanija i geometrija rezcov dlja tonkogo rastachivanja. Obrabotka na otdelocno-rastocnyh stankah / Pupin A.P., Savilov Ju.V., Markarov G.M. i dr. – M.: NIImash., 1979. – 92 s. 6. Orgijan A.A., Balanjuk A.V., Albakush Aimen. Harakteristiki vneshnih vozdejstvij i peremennosti parametrov dinamicheskoj sistemy otdelocno-rastocnyh stankov. Materiali MNTK «Progresivna tehnika, tehnologija ta inženerna osvita», 2016 – 285 s. Str 231-233. 7. Ju.S. Kachanov. Almazno - rastocnyje stanki. Istochniki pogreshnosti pri tonkom rastachivanii. Mashinostroitel'nye tehnologii i instrumenty №6 (308), 2014. – S. 82-85.