

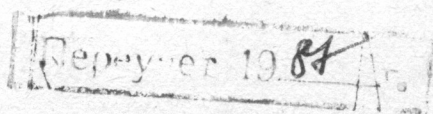
Автор ер.

P 32

ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. М. В. ЛОМОНОСОВА

В. Ф. РЕВВА



**Исследование вибраций и методов
их демпфирования при тонкой
расточке консольными борштангами**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель —
профессор, доктор технических наук | **Е. Б. ЛУНЦ** |

ОДЕССА
1965

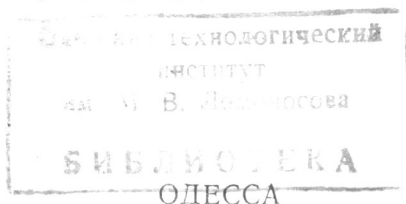
В. Ф. РЕВВА

Исследование вибраций и методов
их демпфирования при тонкой
расточке консольными борштангами

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель —
профессор, доктор технических наук Е. Б. ЛУНЦ

v000794



ОДЕССА
1965

Исследование вибрации



v000794

ВВЕДЕНИЕ

Одесский технологический институт им. М. В. Ломоносова направляет Вам для ознакомления автореферат диссертационной работы инж. Ревва В. Ф. на тему «Исследование вибраций и методов их демпфирования при тонкой расточке консольными борштангами», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Защита состоится „_____“ _____ 196 г.

Ваши отзывы и замечания в 2-х экземплярах просим направлять по адресу: г. Одесса, ул. Свердлова, № 112, Одесский технологический институт.

Ученый секретарь Совета

(Л. А. Запорожец)

В связи с бурным развитием техники, требования, предъявляемые к металлорежущим станкам, все время возрастают. Металлорежущий станок должен обеспечить высокую точность формы и размеров детали, а также чистоту обработанной поверхности. При этом должна быть обеспечена высокая производительность, надежность и долговечность станка. Одним из весьма существенных факторов, влияющим на точность, производительность, надежность и долговечность станка, являются вибрации, возникающие в упругой системе станок—приспособление—инструмент—деталь (СПИД). В системе СПИД на заданные движения инструмента относительно обрабатываемой детали могут накладываться еще дополнительно относительно периодические перемещения. Причиной их могут быть потеря устойчивости заданных относительных движений инструмента и детали и возмущения от различных источников. В первом случае вибрации относятся к числу автоколебаний, а во втором — к числу вынужденных.

Над решением проблемы вибраций при резании начали усиленно работать в послевоенное время в Советском Союзе и за рубежом, о чем свидетельствует появление многих работ, посвященных вопросам устранения вибраций и выяснению причин их возникновения. Однако, несмотря на значительные усилия по исследованию вибраций станков, проблема борьбы с ними все же остается полностью нерешенной. Это объясняется большой сложностью и разнообразием упругих систем станков, а также неизученностью явлений, происходящих в процессе резания при возникновении вибраций. Переменные факторы, с которыми связано возникновение колебаний при обработке металлов резанием, чрезвычайно велики. В них входят: а) свойства системы СПИД как сложной колебательной системы, б) технологические условия, а именно: материал обрабатываемой детали, геометрия инструмента, режимы резания и т. д. Существенные трудности, возникающие при определении параметров упругой системы и процесса резания, заставляют ограничиваться упрощенными представлениями этих величин и производить широкую экспериментальную проверку, подтверждающую принятые для каждого конкретного случая предположения.

Особо актуальной является проблема устранения колебаний расточных станков для тонкой расточки. В этом случае

вибрации возникают при сравнительно низких режимах (малые глубина и подача). Высокие требования, предъявляемые к форме отверстия, обуславливают высокие требования к виброустойчивости при тонкой расточке.

В данной работе проведено исследование вибраций и методов их демпфирования при тонкой расточке консольными борштангами.

Работа состоит из шести глав и заключения.

Глава I.

Основные предпосылки данного исследования

В главе приводится краткий обзор теорий возникновения вибраций металлорежущих станков. Наибольший интерес представляют работы А. И. Каширина, В. А. Кудинова, Д. Н. Решетова, А. П. Соколовского, И. Тлусты, М. Е. Эльясберга и др. Исследованиям колебаний при расточке консольными борштангами посвящены работы В. А. Кудинова, Л. К. Кучмы, Н. Н. Панова, Л. Б. Эрлиха, Яо Ли-пина и др. Однако, проводимые до последнего времени исследования касались главным образом расточки с большими глубинами и подачами. Данная работа имеет целью изучить характер колебаний, возникающих при тонкой расточке, и разработать необходимые мероприятия по их устранению. Так как наибольшие неприятности возникают при расточке черных металлов борштангами малых диаметров, то исследования проводились главным образом при обработке стали и чугуна борштангами диаметром 25 мм и менее. Затем полученные результаты были распространены и на борштанги больших размеров.

Если принять заданным обрабатываемый материал и режимы резания, применяемые для данного материала при тонкой расточке, то повышение виброустойчивости может быть достигнуто путем повышения жесткости и применения специальных виброгасящих устройств. Поэтому в данной работе значительное внимание уделено исследованию различных конструкций виброгасителей и сравнению их эффективности в условиях тонкой расточки консольными борштангами, а также влиянию жесткости на виброустойчивость при применении виброгасителей.

Глава II.

Исследование вибраций при тонкой расточке

Исследование производилось на горизонтальном алмазно-расточном станке. Исследовались вибрации неподвижных и

вращающихся борштанг. Измерение вибраций неподвижных борштанг осуществлялось при помощи тензодатчиков. При этом измерялись амплитуды изгибных и крутильных колебаний борштанг в месте постановки резца. Измерение вибраций вращающихся борштанг осуществлялось при помощи индуктивных датчиков. При этом измерялись амплитуды изгибных колебаний борштанг так же в месте постановки резца.

Исходя из требований, предъявляемых к тонкой расточке по получению отверстий точных как по форме, так и по размеру с высоким качеством обработанной поверхности, необходимо измерять колебания с малыми амплитудами. Благодаря применению электронной измерительной аппаратуры, были измерены амплитуды колебаний борштанги в месте постановки резца и амплитуды колебаний корпусных деталей станка с точностью до 0,1 мк. При проведении испытаний диапазон измеряемых амплитуд ограничивался 10 мк, хотя тонкая расточка с амплитудами колебаний около 5 мк уже практически неприменима. Главным же образом исследовались вибрации с амплитудами до 2,5 мк.

Для установления схемы упругой системы алмазно-расточного станка были измерены амплитуды вибраций его корпусных деталей и исследована форма колебаний борштанги. Амплитуды колебаний корпусных деталей измерялись при помощи индукционных датчиков. Величины их оказались незначительными по сравнению с амплитудами колебаний борштанги. Это позволило сделать вывод о том, что в вибрациях участвует главным образом система борштанга — шпиндельный узел и упругая система может быть представлена в виде приведенной к месту крепления резца массы, имеющей возможность совершать изгибные и крутильные колебания. Между изгибной и крутильной формами существует связь по координате. Для оценки этой связи и возможном влиянии ее на возникновение автоколебаний были исследованы на устойчивость уравнения движения системы (1) с использованием теории координатной связи, согласно которой изменение силы резания пропорционально изменению глубины резания, зависящей от положения системы.

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} + h_1\dot{x} + \kappa_1 x &= -n \left(\sin \alpha - \frac{r}{R} \cos^2 \alpha \right) x + nr \cos \alpha \cdot \Theta, \\ J\ddot{\Theta} + h_2\dot{\Theta} + \kappa_2 \Theta &= -nR \cos \alpha \left(\sin \alpha - \frac{r}{R} \cos^2 \alpha \right) x + \\ &+ nrR \cos^2 \alpha \cdot \Theta \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где m и J — приведенные масса и момент инерции;
 x и Θ — перемещение в направлении силы резания и угол закручивания;

α — угол между направлением силы резания и осью z ;
 κ_1 и κ_2 — изгибная и крутильная жесткости;
 h_1 и h_2 — коэффициенты затухания;
 r — перемещение вдоль оси x от постоянной составляющей силы резания;
 R — радиус расточки;
 n — коэффициент силы резания $кг/мм$.

Были исследованы различные условия устойчивости в предположении, что коэффициенты затухания по изгибной и крутильной формам колебаний одинаковые и равны h . Эти исследования показали, что из всех условий может не выполняться лишь следующее:

$$(mR^2\kappa_{22} - J\kappa_{11})^2 + h^2(\kappa_{22} + \kappa_{11})(mR^4 + JR^2) + \kappa_{12}\kappa_{21}(mR^2 + J)^2 > 0, \quad (2)$$

где

$$\kappa_{11} = \kappa_1 + n \left(\sin \alpha - \frac{r}{R} \cos^2 \alpha \right),$$

$$\kappa_{22} = \frac{\kappa_2}{R^2} - \frac{nr}{R} \cos^2 \alpha,$$

$$\kappa_{12} = -\frac{nr}{R} \cos \alpha,$$

$$\kappa_{21} = n \cos \alpha \left(\sin \alpha - \frac{r}{R} \cos^2 \alpha \right).$$

Отрицательным будет третье слагаемое. Анализ выражения (2) позволяет сделать вывод о том, что координатная связь между изгибной и крутильной формами может служить причиной неустойчивости системы в случае малого затухания ($h \rightarrow 0$) и близости собственных частот изгибной и крутильной составляющих. Приведенные ниже результаты экспериментов показывают, что при достаточно большом уровне колебаний эти частоты отличаются примерно в 10 раз, т. е. связь между крутильными и изгибными колебаниями слабая и их можно рассматривать независимо.

При исследовании вибраций неподвижных борштанг растачиваемая втулка крепилась на шпиндельной головке, а борштанга в специальном приспособлении устанавливалась на столе. Испытания проводились на борштангах диаметром 12 мм, 16 мм, 25 мм с различными вылетами до резца. При этих испытаниях измерялись амплитуды составляющих изгибных колебаний борштанги в месте постановки резца в направлении нормали в обрабатываемой поверхности Y , в касательной плоскости к обрабатываемой поверхности Z и амплитуды

Kp перемещений вершины резца в направлении Z от крутильных колебаний. На основании выполненных испытаний установлено, что при тонкой расточке возникают изгибно-крутильные колебания. Частоты изгибных колебаний в зависимости от размеров борштанги составляли 500—1500 $гц$, а крутильных 6000—15000 $гц$. Для заданного материала амплитуды как изгибных, так крутильных колебаний зависят главным образом от глубины резания и размеров борштанги. Отношение вылета борштанги к ее диаметру L_6/D_6 не может охарактеризовать возникающие вибрации. Их уровень при постоянном отношении L_6/D_6 и прочих равных условиях зависит еще и от абсолютных размеров борштанги и уменьшается с увеличением диаметра. При этом происходит уменьшение как изгибных, так и крутильных колебаний. Но их изменение происходит неодинаково. Амплитуды Kp уменьшаются более интенсивно, чем Z . Так при расточке чугуна борштангами диаметром 12 мм отношение Z/Kp равно 4—7, а при расточке борштангами диаметром 25 мм Z/Kp равно 8—13. При расточке стали эти соотношения такого же порядка. Величины этих соотношений показывают, что при возникновении вибраций периодические перемещения между инструментом и обрабатываемой деталью определяются главным образом изгибными колебаниями.

При исследовании вибраций вращающихся борштанг растачиваемая втулка крепилась в специальном приспособлении на столе, а борштанга устанавливалась на шпиндельной головке. При этом кроме вибраций при резании были измерены и амплитуды колебаний борштанг в месте постановки резца при холостом вращении. Без резания только лишь при одном вращении причиной вибраций будут периодические силы и толчки, возникающие в шпиндельной головке из-за неточности изготовления и сборки этого узла. Возникающие при этом колебания носят название вибраций холостого хода. Так как возмущения, возникающие в шпиндельной головке, имеют довольно широкий и густой спектр частот, то в нем всегда есть частота, равная или очень близкая к частоте собственных колебаний борштанги. Поэтому вибрации, возникающие при холостом вращении, имеют частоту, равную частоте собственных колебаний борштанги. На основании выполненных испытаний установлено, что при резании амплитуды колебаний зависят главным образом от вылета борштанги и глубины резания. Скорость резания и подача, изменяемые в пределах, обычно применяемых при тонкой расточке, на уровень колебаний влияют в меньшей степени. С увеличением вылета до резца и глубины резания рост амплитуд происходит более интенсивно при расточке стали, чем чугуна.

При переходе от неподвижной борштанги к вращающейся амплитуды вибраций изменяются. Величина этого изменения

зависит от соотношения амплитуд при холостом вращении и при резании неподвижной борштангой. Если амплитуды колебаний неподвижной борштанги при резании меньше амплитуд колебаний холостого хода той же вращающейся борштанги, то амплитуды вращающейся борштанги при резании будут примерно равны амплитудам при холостом вращении. Это происходит при расточке жесткими короткими борштангами, когда система имеет большой запас устойчивости. По мере увеличения вылета борштанги запас устойчивости системы уменьшается и уровень колебаний при резании вращающейся борштангой начинает превышать уровень холостого вращения. Уровень колебаний при резании неподвижной борштангой в этом случае также больше вибраций при холостом вращении.

Глава III.

Исследование виброгасителей трения

Повышение виброустойчивости системы борштанга—шпиндельный узел может быть достигнуто путем увеличения рассеяния энергии в ней. Рассеяние энергии происходит за счет внутреннего трения в материале и трения в опорах и сочленениях. Так как при тонкой расточке амплитуды колебаний малы, то малы и переменные напряжения, вызванные колебаниями, а следовательно, рассеяние энергии в материале будет незначительно. Основное рассеяние энергии будет происходить за счет трения в местах контакта сопрягаемых деталей. Такое демпфирование называется конструкционным.

В работе рассмотрен частный случай конструкционного демпфирования балки, к которой прижаты две накладки с буртиками. Этот случай может иметь место в конструкции демпфера, используемого для уменьшения колебаний консольных борштанг. В этих исследованиях была применена методика, изложенная в работах Я. Г. Пановко. Для рассмотренного случая конструкционного демпфирования получены аналитические зависимости количества рассеянной за один цикл энергии от деформации балки, размеров накладок и давления прижатия их к балке. Экспериментальная проверка подтвердила приемлемость принятых при этом предположений относительно закона трения и показала, что рассеянная за один цикл энергия в местах контакта значительно превышает рассеяние энергии, связанное с внутренним трением в материале. Количество рассеянной за один цикл энергии зависит при прочих равных условиях от давления прижатия накладок к балке. Существует оптимальное давление прижатия, при котором рассеивается наибольшее количество энергии. При давлениях прижатия, значительно отличающихся от оптимального, резкого уменьшения рассеянной энергии не про-

исходит, поэтому возможные изменения сил трения не повлекут за собой существенного изменения рассеянной за цикл энергии.

Виброгасители трения представляют собой втулки с двумя поясками, надеваемые на борштангу. При возникновении изгибных колебаний будут периодически изменяться длины крайних волокон борштанги, в результате чего будет происходить проскальзывание между борштангой и буртиками втулок. Это повлечет за собой повышение рассеяния энергии и увеличение за счет этого виброустойчивости. При возникновении крутильных колебаний причиной взаимного проскальзывания между борштангой и буртиками втулок будет периодическое изменение величины угла закручивания борштанги. Таким образом будут демпфироваться изгибные и крутильные колебания.

Указанной борштангой была проведена расточка стали 45, чугуна и бронзы. Для получения сравнимых результатов помимо борштанги с виброгасителями была испытана на тех же режимах борштанга без виброгасителя такого же диаметра и вылета до резца. Результаты некоторых испытаний при расточке чугуна приведены в табл. 1. В этой таблице: A_T — амплитуды изгибных колебаний борштанги с виброгасителями трения, A — амплитуды изгибных колебаний борштанги без виброгасителя. Из приведенных в таблице данных видно, что применение виброгасителей трения ведет к уменьшению колебаний борштанги.

В настоящее время для уменьшения колебаний борштанг при тонкой расточке применяются ударные виброгасители. Поэтому представляет интерес сравнение эффективности виброгасителей трения и ударных виброгасителей при одних и тех же условиях обработки. Для этого были испытаны при расточке стали 45 борштанга с виброгасителями трения и такого же диаметра и вылета до резца борштанга с ударным виброгасителем. Результаты некоторых испытаний также приведены в табл. 1. В этой таблице A_y — амплитуды изгибных колебаний борштанги с ударным виброгасителем. Из приведенных в таблице данных видно, что ударный виброгаситель несколько более эффективный, чем виброгасители трения.

Таблица 1

Режимы резания			Амплитуды в мк			
скорость в м/мин	глубина в мм	подача в мм/об	чугун		сталь	
			A_T	A	A_T	A_y
150	0,1	0,03	3	20	6	4
		0,06	3	40	5	4
150	0,2	0,03	4	85	40	20
		0,06	5	80	45	20

Исследование динамических виброгасителей с затуханием

Повышение виброустойчивости системы борштанга-шпindelный узел может быть достигнуто и путем применения динамических виброгасителей с затуханием.

Масса динамического виброгасителя вставляется в отверстие в удлиненном конце борштанги. Пространство между массой виброгасителя и стенками отверстия борштанги заполняется гидропластом. Этот тип виброгасителя дает возможность демпфировать как изгибные, так и крутильные колебания. Большое рассеяние энергии в гидропласте повышает эффективность виброгасителя и дает возможность гасить колебания в довольно широком диапазоне изменения частоты.

Виброустойчивость при расточке зависит от параметров виброгасителя, а именно: массы его, размеров слоя гидропласта и затухания в нем. Определение параметров виброгасителя производилось экспериментально путем исследования вибраций борштанг различных размеров при:

- а) различных размерах слоя гидропласта;
- б) различных массах виброгасителя;
- в) различных режимах резания;
- г) различных обрабатываемых материалах.

На основании этих экспериментов были установлены оптимальные значения параметров виброгасителя, которые должны определяться, исходя из следующих положений:

1) диаметр d_1 отверстия в борштанге под виброгаситель следует, исходя из конструктивных соображений, делать по возможности большим;

2) зазор Δ между борштангой и массой виброгасителя принимать в зависимости от диаметра d_1 согласно приведенной ниже таблице;

d_1 в мм		Δ в мм
	6—10	1,0
свыше	10 до 15	1,5
"	15 до 20	2,0
"	20	2,5

3) масса виброгасителя должна быть равна 1/8 массы борштанги.

Исследование вибраций борштанг с динамическими виброгасителями проводилось аналогично исследованию борштанг без виброгасителей.

На основании исследования колебаний неподвижных борштанг установлено, что при тонкой расточке с применением динамических виброгасителей также возникают изгибно-крутильные колебания. Из-за наличия виброгасителя их частоты несколько ниже, чем частоты изгибных и крутильных колебаний соответствующих борштанг без виброгасителя. Качественные закономерности вибраций при наличии виброгасителя и без него одинаковые. Количественные же показатели этих вибраций разные. В табл. 2 приведены результаты некоторых испытаний неподвижных борштанг с динамическим виброгасителем и без виброгасителей при расточке чугуна.

Таблица 2

Условия эксперимента	Режим резания			Амплитуды в мк					
	скорость в м/мин	глубина в мм	подача в мм/об	$D_0=16$ мм, $L_0=48$ мм			$D_0=16$ мм, $L_0=64$ мм		
				Y	Z	Kp	Y	Z	Kp
Без виброгасителя	100	0,1	0,06	0,6	1,3	0,15	0,9	1,5	0,20
		0,2		0,7	1,4	0,15	1,5	2,3	0,25
		0,3		1,0	2,2	0,20	2,2	3,7	0,35
	125	0,1	0,06	0,6	1,4	0,20	1,1	2,1	0,25
		0,2		0,9	1,5	0,20	1,8	3,0	0,30
		0,3		1,3	2,3	0,30	2,4	3,9	0,45
Динамическим виброгасителем	100	0,1	0,06	0,1	0,2	0,05	0,2	0,5	0,10
		0,2		0,2	0,2	0,05	0,3	0,6	0,15
		0,3		0,2	0,3	0,05	0,4	0,7	0,20
	125	0,1	0,06	0,1	0,3	0,05	0,3	0,6	0,15
		0,2		0,2	0,3	0,05	0,4	0,8	0,15
		0,3		0,2	0,4	0,10	0,5	0,8	0,30

При применении динамических виброгасителей, при прочих равных условиях, уровень как изгибных, так и крутильных колебаний значительно уменьшается. Для тех случаев, когда работа без виброгасителя была практически невозможной, постановка динамического виброгасителя давала возможность вполне удовлетворительно вести расточку. Так, например, при расточке стали борштангой диаметром 16 мм и вылетом до резца 64 мм и чугуна борштангой диаметром 16 мм и вылетом до резца 80 мм без виброгасителей возникали изгибные колебания с амплитудами более 10 мк. Постановка же динамического виброгасителя дала возможность удовлетворительно вести расточку. Амплитуды при этом не превышали 1,5—2,0 мк.

Влияние колебаний на износ инструмента, чистоту обработанной поверхности и геометрию отверстия

В результате тонкой расточки необходимо получать высокоточные отверстия как по форме, так и по размеру с высокой чистотой обработанной поверхности. Но всегда имеют место в большей или меньшей степени погрешности, искажающие геометрию отверстия. Искажение формы отверстия проявляется в виде овальности, конусности и волнистости.

Получение формы отверстия, близкой к овалу, обуславливается биением оси шпинделя и вынужденными колебаниями с частотой вращения. Конусность получается из-за размерного износа резца, если в процессе расточки не изменяется жесткость системы СПИД. Образование волнистости обусловлено главным образом вибрациями. Колебания являются также одним из факторов, ускоряющим износ резца и ухудшающим чистоту обработанной поверхности.

Применение динамических виброгасителей дает возможность снизить амплитуды колебаний вращающихся борштанг до 0,6—1,0 мк. При работе же без виброгасителей даже жесткими борштангами амплитуды колебаний составляют 1,5—2,0 мк. Чтобы выяснить, как такое снижение уровня колебаний влияет на износ инструмента и чистоту обработанной поверхности, были проведены несколько серий экспериментов, при которых изменение уровня колебаний борштанги достигалось путем постановки или снятия динамического виброгасителя.

За критерий износа принимался размерный износ резца. Для получения сравнимых результатов испытание на износ для каждого резца проводилось последовательно несколькими чередующимися этапами. При переходе от одного этапа к другому на испытываемую борштангу устанавливался либо снимался виброгаситель, чем достигалось изменение уровня колебаний. Режимы резания и путь на каждом этапе были одинаковыми. Для части резцов начальным этапом была работа без виброгасителя, а для другой части — с виброгасителем, что дало возможность более точно судить об износе. Результаты экспериментов показывают, что на этапах работы с динамическим виброгасителем при амплитудах колебаний $\sim 0,8$ мк размерная стойкость резцов примерно в два раза выше, чем на этапах работы без виброгасителя, когда амплитуды колебаний увеличиваются до ~ 2 мк. Но наблюдается разброс в значениях величин износа различных резцов, что можно объяснить неоднородностью их материала.

Одновременно при исследовании износа измерялась чистота обработанной поверхности в начале, середине и конце

каждого этапа. Чистота поверхности на этапах работы с динамическим виброгасителем из-за снижения уровня колебаний была выше, чем на смежных этапах работы без виброгасителя. В табл. 3 приведены значения чистоты поверхности при расточке стали 45 пятью резцами одной и той же борштангой с динамическим виброгасителем и без него.

Таблица 3

Условия эксперимента	Чистота поверхности $H_{СК}$ в мк и классе				
	№ резца				
	1	2	3	4	5
с виброгасителем	0,55 $\Delta 86$	0,53 $\Delta 86$	0,64 $\nabla 8a$	0,56 $\nabla 86$	0,85 $\Delta 76$
без виброгасителя	0,73 $\Delta 8a$	0,76 $\nabla 8a$	0,85 $\nabla 7b$	0,62 $\nabla 86$	1,05 $\nabla 76$

Из таблицы видно, что при снижении уровня колебаний происходит улучшение чистоты поверхности.

Волнистость поперечного сечения расточенного отверстия определяется нормальной составляющей колебаний борштанги Y . Частота, соответствующая волнистости, практически совпадает с частотой вибраций борштанги. Высота волны на поверхности хорошо согласуется со значением размаха (удвоенной амплитуды колебаний борштанги). Постановка динамического виброгасителя приводит к уменьшению колебаний борштанги, а следовательно, и к уменьшению волнистости.

Глава VI.

Влияние податливости системы борштанга — шпиндельный узел на виброустойчивость при применении динамических виброгасителей

Применение динамических виброгасителей дает возможность снизить уровень колебаний, но при увеличении вылета до резца амплитуды все же увеличиваются и при больших вылетах они значительно превышают 1 мк. Возникновение колебаний и их амплитуды зависят от многих факторов. Но если принять заданными: материал обрабатываемой детали, режимы резания, геометрию резания, а также наличие конкретного типа виброгасителей, то количество факторов, влияющих на виброустойчивость, значительно уменьшается. Среди факторов, значительно влияющих на виброустойчивость при резании, следует особо отметить податливость системы

борштанга—шпиндельный узел и затухание в ней. При применении виброгасителей с затуханием основное рассеяние энергии в системе будет происходить в виброгасителе. При изменении вылета до резца и сохранении параметров виброгасителя затухание в системе практически изменяться не будет и главным фактором, определяющим в этом случае виброустойчивость системы, будет ее податливость.

Изменение податливости системы борштанга-шпиндельный узел может быть достигнуто как за счет изменения размеров борштанги, так и за счет изменения размеров расточных шпиндельных головок, на которые эти борштанги устанавливаются. Исследования проводились на борштангах диаметром 16 мм, 25 мм, 50 мм и 70 мм с различными вылетами до резца, которые устанавливались на расточные головки трех размеров, что дало возможность изменять податливость системы борштанга—шпиндельный узел в довольно широких пределах. Опыты проводились при расточке стали 45 и чугуна СЧ 18—36.

На основании исследований было установлено, что как при расточке стали, так и при расточке чугуна с увеличением податливости уровень вибраций увеличивается, но при обработке стали их рост происходит более интенсивно.

При тонкой расточке можно получать вполне удовлетворительные результаты как по стойкости режущего инструмента, так и по чистоте поверхности, если амплитуды колебаний не будут превышать ~ 1 мк. В табл. 4 приведены полученные при экспериментах значения податливости системы борштанга—шпиндельный узел для различных диаметров борштанг и глубин резания, при которых в случае применения динамических виброгасителей амплитуды колебаний примерно равны 1 мк.

Таблица 4

Диаметр борштанги в мм	Податливость в мк/кг					
	сталь			чугун		
	$t=0,1$ мм	$t=0,2$ мм	$t=0,3$ мм	$t=0,1$ мм	$t=0,2$ мм	$t=0,3$ мм
16	2,0	2,0	1,8	2,0	2,8	2,8
25	2,2	2,2	1,5	3,0	3,0	2,3
50	1,9	1,9	1,9	2,5	2,5	2,5
70	1,7	1,7	1,7	2,5	2,5	2,5

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что амплитуды колебаний, примерно равные 1 мк, будут при расточке стали, если податливость составляет 1,7—2,0 мк/кг, а при расточке чугуна — 2,5—3,0 мк/кг. При увеличении податливости выше указанных значений независимо от того, вызва-

но ли это изменением размеров борштанги, или изменением размеров шпиндельной головки, или тем и другим вместе, происходит увеличение амплитуд колебаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При тонкой расточке консольными борштангами возникают изгибно-крутильные колебания. Частоты крутильной и изгибной составляющих отличаются примерно в десять раз. Величины периодических перемещений резца относительно обрабатываемой детали определяются главным образом изгибными колебаниями.

2. Уменьшение амплитуд колебаний может быть достигнуто путем применения виброгасителей. Проведенные исследования динамических виброгасителей, виброгасителей трения и сравнения с ними ударных виброгасителей показали, что более эффективными являются динамические виброгасители с затуханием, т. е. для заданных материала обрабатываемой детали, геометрии инструмента, режимов резания и прочих равных условий при применении динамического виброгасителя расточку можно вести при больших вылетах до резца, чем при применении ударных виброгасителей и виброгасителей трения. Рассмотренная конструкция динамического виброгасителя демпфирует как изгибные так и крутильные колебания.

3. При применении динамических виброгасителей амплитуды колебаний могут быть снижены до 0,6—1,0 мк, что приводит к повышению стойкости режущего инструмента, улучшению чистоты обработанной поверхности и уменьшению волнистости отверстия.

4. Величина амплитуд при расточке зависит от многих факторов как в отдельности, так и от их совокупности. Но если принять заданными материал обрабатываемой детали, режимы резания, а также наличие того либо иного конкретного типа виброгасителя, то в этих условиях наиболее удобно виброустойчивость связывать с изгибной податливостью системы борштанга—шпиндельный узел. Величина предельной податливости, ниже которой можно получить безвибрационную обработку (амплитуда не более 1 мк) при применении динамических виброгасителей составляет:

а) при расточке стали 45 — 1,7—2,0 мк/кг;

б) при расточке чугуна — 2,5—3,0 мк/кг.

5. На основании полученных в настоящем исследовании результатов в Специальном конструкторском бюро алмазно-расточных станков была разработана нормаль на динамические виброгасители. Динамические виброгасители установлены на целый ряд алмазно-расточных станков, находящихся в настоящее время в эксплуатации.

1. Ревва В. Ф. Применение динамических виброгасителей для устранения колебаний борштанг при тонком растачивании. «Станки и инструмент», № 7, 1962.

2. Ревва В. Ф. Исследование вибраций при тонком растачивании жесткими борштангами. «Станки и инструмент», № 4, 1963.

3. Ревва В. Ф. Влияние податливости инструмента на возникновение вибраций при тонком растачивании. «Станки и инструмент», № 12, 1963.

4. Ревва В. Ф. Применение виброгасителей сухого трения для уменьшения колебаний борштанг алмазно-расточных станков. Труды Одесского технологического института им. М. В. Ломоносова, том XIV, 1962.

5. Ревва В. Ф. Некоторые случаи конструктивного демпфирования низкоамплитудных колебаний. Труды Одесского технологического института им. М. В. Ломоносова, том XIII, 1960.

Доклады по результатам исследований сделаны:

на совещании по проблемам упругих колебаний механических систем в г. Риге в 1960 г.; на XXV (1963 г.) и XXVI (1964 г.) научных конференциях в Одесском технологическом институте им. М. В. Ломоносова.

Подписано к печати 29.XI.65 г. Формат бумаги 60×84/16.

1 печ. л. 1 уч.-изд. л. БР 08809. Заказ № 2072. Тираж 200.

Городская типография управления по печати Одесского Облсполкома,
ул. Чижикова, № 17.