

УДК 621.937.1

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ СТРЕЛЫ РАСПИЛОВОЧНОЙ СЕКЦИИ НА ПАРАМЕТРЫ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ЗАГОТОВКИ

М. Г. КИСЕЛЕВ⁺, А. В. ДРОЗДОВ, Д. А. ЯМНАЯ

УО «Белорусский национальный технический университет», пр. Независимости, 65, 220013 г Минск, Беларусь

Приведены результаты исследования влияния условий возбуждения колебательной системы модернизированной распиловочной секции на характер и размеры двумерного циркуляционного движения закрепленной заготовки. Показано, что в основном заготовка совершает одномерное горизонтальное колебательное движение, однако в ряде режимов наблюдается резкое возрастание амплитуды вертикальных перемещений. Предложено дополнительно установить верхний ограничитель и за счет изменения величины зазора между стрелой и верхним ограничителем обеспечить требуемые параметры колебательного движения заготовки для различных переходов операции ее распиливания.

Введение

На рис. 1 приведена принципиальная схема колебательной системы модернизированной распиловочной секции станка модели ШП-2, предназначенной для механического распиливания монокристаллов алмаза на части (полуфабрикаты).

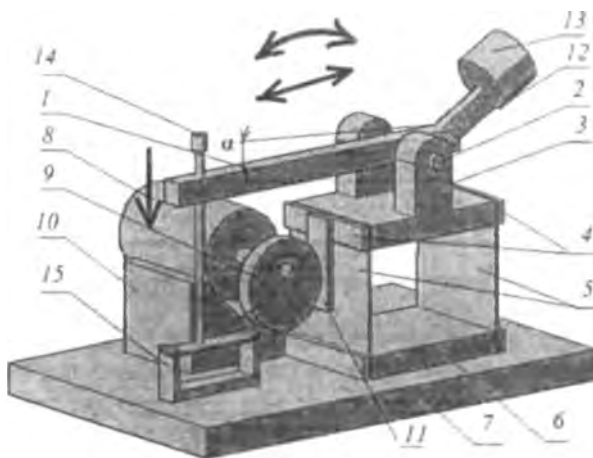


Рис 1 Схема распиловочной секции, релизующей двумерное циркуляционное движение заготовки

Стрела 1 с помощью шариковой опоры 2 устанавливается в стойке 3 и имеет возможность с минимальным трением поворачиваться вокруг своей оси качания. К боковым сторонам стойки с помощью винтов и накладок 4 закреплены тонкие

(толщиной 0,5 мм) стальные (сталь 65Г) упругие пластины 5, противоположные концы которых аналогичным образом закреплены на опорной пластине 6, которая жестко связана с основанием распиловочной секции 7. Таким образом, эти пластины образуют плоский параллелограмный подвес, допускающий перемещение стойки со стрелой в горизонтальном направлении.

Для обеспечения ее колебательного движения, т.е. с целью возбуждения колебаний распиловочной секции используется электромеханический вибратор. Он представляет собой электродвигатель 8 постоянного тока с встроенным редуктором, на валу которого закрепляется сменный эксцентрик 9. Двигатель с помощью хомута крепится в установочной призме 10 таким образом, чтобы наружная поверхность эксцентрика контактировала в центре контактной пластины 11, прикрепленной к боковой поверхности стойки.

На одном конце стрелы закреплена обрабатываемая заготовка (на рисунке не показана), а на другом – поворотный рычаг 12 с противовесом 13. За счет изменения углового положения рычага относительно горизонтальной оси (угол α) регулируется величина статического усилия прижатия опорного винта 14 к упругой прокладке (опоре) 15. В процессе распиливания винт периодически выворачивается, чем обеспечивается плавная подача заготовки к наружной (режущей) поверхности вращающегося распиловочного диска (условно направление подачи показано стрелкой).

⁺ Автор, с которым следует вести переписку

Ранее [1–3] установлено, что при сообщении оси качания стрелы вынужденных гармонических колебаний, заготовка в процессе распиливания может совершать двухмерное периодическое циркуляционное движение. Оно является результатом сложения двух одномерных синусоидальных колебаний, совершающихся в одной плоскости (плоскости распиливания) с равными или находящимися в рациональном отношении частотами. Одно из них заготовка совершает вдоль горизонтальной оси за счет вынужденных колебаний оси качания стрелы, а второе – вдоль вертикальной оси в результате поворота стрелы вокруг оси ее качания под действием переменного динамического момента. В зависимости от соотношения величин этих колебательных смещений и разности их начальных фаз, заготовка может совершать двухмерное циркуляционное движение, траектория которого имеет форму близкую к эллипсу или иметь место ее одномерное (в случае синхронности слагаемых колебаний) колебательное движение.

По сравнению с традиционными условиями выполнения операции придание заготовке такого движения позволит существенно интенсифицировать процесс распиливания образцов из твердых и сверхтвердых материалов и значительно повысить качество поверхности площадок распиленных полуфабрикатов [4].

Известно [5], что параметры двухмерного периодического циркуляционного движения подвижного звена определяются ее структурой, инерционно-упругими и диссипативными свойствами, условиями возбуждения, включая амплитуду и частоту вынужденных колебаний, а также величиной предварительного натяга, т.е. деформацией упругой прокладки, обусловленной статическим прижатием к ней опорного винта стрелы. Поэтому для обеспечения наибольшей эффективности положительного влияния сообщаемых заготовке колебаний в процессе распиливания необходимо располагать данными, отражающими влияние условий возбуждения колебательной системы модернизированной распиловочной секции на параметры ее двухмерного периодического циркуляционного движения. В частности, на траекторию этого движения, величину колебательных смещений в двух взаимноперпендикулярных направлениях и на угол между направлением действия наибольших колебательных смещений и горизонтальной осью.

Наличие таких данных позволит, во-первых, решить задачу управления параметрами этого движения в процессе выполнения операции распиливания, а, во-вторых, определить необходимые структурные изменения в колебательной системе, расширяющие ее технологические возможности. Исследованию этих вопросов посвящена данная работа.

Методика проведения экспериментальных исследований

Для определения указанных параметров двухмерного периодического циркуляционного движения заготовки использовалась методика [6], основанная на визуализации траектории движения светящейся точки, принадлежащей заготовке. Для этого в отверстие оправки, на которой закреплялась заготовка, устанавливался светодиод и диафрагма, имеющая проходное отверстие диаметром 0,5 мм. Изменение положения светящейся точки в плоскости колебательных смещений заготовки фиксировалось с помощью цифрового фотоаппарата при выдержке 1,5 сек. Полученное изображение увеличивалось на компьютере и распечатывалось (рис. 2), после чего определялись параметры двухмерного периодического циркуляционного движения заготовки с учетом масштаба при известном диаметре распиловочного диска равном 74 мм.



Рис. 2. Фотография траектории движения заготовки

С использованием данной методики в ходе проведения экспериментов определялись параметры движения заготовки при различных условиях возбуждения и нагружения модернизированной распиловочной секции. В частности, при неизменной амплитуде вынужденных колебаний равной 3 мм, их частота изменялась от 2,8 до 3,6 Гц; статическое усилие прижатия опорного винта к упругой прокладке $P_{ст}$ принимало значения 1,2, 2,2, 4,2 и 6,2 Н; жесткость упругой прокладки γ регулировалась и составляла 3560, 5600, 8175, 19600 Н/м. В ходе выполнения экспериментов определялись параметры движения заготовки при отсутствии ее взаимодействия с распиловочным диском.

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

Для удобства и наглядности описания траектории и параметров двумерного периодического циркуляционного движения заготовки, соответствующих указанным режимам распиливания, воспользуемся схемой, представленной на рис. 3.

На ней показана траектория движения заготовки с указанием ее основных параметров. В частности, угол λ – угол между направлением действия наибольших колебательных смещений и горизонтальной осью; $2a$ – величина размаха наибольших колебательных смещений; $2b$ – величина размаха колебательных смещений, направленных

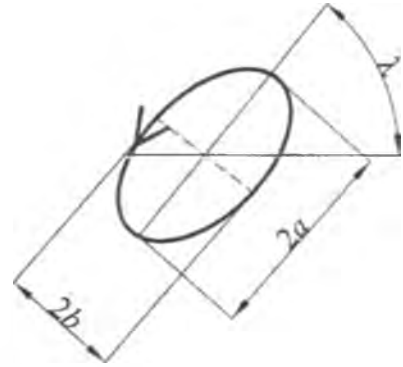


Рис 3. Схема, поясняющая определяемые параметры циркуляционного движения заготовки

Таблица 1. Параметры двумерного циркуляционного движения заготовки при различных условиях возбуждения колебательной системы распиловочной секции

Условия возбуждения колебательной системы			Параметры траектории колебательного движения заготовки		
Нагрузка $P_{ст}$, Н	Частота f , Гц	Жесткость γ , Н/м	$2a$, мм	$2b$, мм	Угол λ , град
6,2	2,8	3560	5	2	26
	3,2		5	2	20
	3,6		4	1	0
	2,8	5600	4	1	3
	3,2		5	2	19
	3,6		4	1	2
	2,8	8175	5	1	6
	3,2		выброс	выброс	выброс
	3,6		выброс	выброс	выброс
	2,8	19600	4	1	4
	3,2		5	2	14
	3,6		выброс	выброс	выброс
4,2	2,8	19600	4	1	0
	3,2		5	1	17
	3,6		выброс	выброс	выброс
	2,8	8175	4	1	12
	3,2		5	1	14
	3,6		выброс	выброс	выброс
	2,8	5600	4	2	29
	3,2		выброс	выброс	выброс
	3,6		6	1	41
	2,8	3560	5	1	32
	3,2		5	1	27
	3,6		1	6	34
2,2	2,8	3560	выброс	выброс	выброс
	3,2		5	1	12
	3,6		5	1	12
	2,8	5600	3	10	108
	3,2		5	1	0
	3,6		5	1	15
	2,8	8175	3	1	105
	3,2		5	1	5
	3,6		5	1	9
	2,8	19600	6	2	22
	3,2		5	1	0
	3,6		5	1	0
1,2	2,8	19600	5	2	15
	3,2		5	1	0
	3,6		выброс	выброс	выброс
	2,8	8175	выброс	выброс	выброс
	3,2		5	1	8
	3,6		5	2	15
	2,8	5600	выброс	выброс	выброс
	3,2		5	1	0
	3,6		5	1	12
	2,8	3560	выброс	выброс	выброс
	3,2		5	1	5
	3,6		5	1	17

перпендикулярно направлению действия наибольших колебательных смещений.

В табл. 1 приведены экспериментальные значения параметров траектории движения заготовки от частоты вынужденных колебаний f , жесткости упругой прокладки γ и усилия ее статического нагружения $P_{ст}$. Словом «выброс» обозначен режим работы колебательной системы, при котором происходит отрыв опорного винта от упругой прокладки с возрастающей амплитудой вертикальных колебаний заготовки (рис. 4).



Рис. 4. Фотография траектории движения заготовки при отрыве опорного винта стрелы от упругой прокладки («выброс»)

Из анализа полученных данных следует, что в безотрывном режиме взаимодействия опорного винта с упругой прокладкой за счет изменения ее жесткости, статического усилия ее нагружения и частоты вынужденных колебаний можно влиять на значение угла λ . Вместе с тем, в подавляющем большинстве случаев движение заготовки в принципе является одномерным, т.е. значение $2a$ значительно превышает величину $2b$, а его траектория представляет прямую линию с различным углом наклона λ к горизонтальной оси. В процессе распиливания в зависимости от значения угла λ такой характер движения может обеспечивать либо безударный или виброударный режим ее взаимодействия с наружной (режущей) поверхностью распиловочного диска. Вместе с тем, с точки зрения интенсифицирующего воздействия на процесс распиливания предпочтительным является двумерное колебательное движение заготовки, обеспечивающее ударно-фрикционное ее взаимодействие с распиловочным диском.

Для обеспечения такого движения заготовки проанализируем режим работы колебательной системы, обеспечивающий отрыв опорного винта

от упругой прокладки, т.е., так называемый «выброс». Условием его наступления является режим работы колебательной системы, при котором амплитуда вертикальных колебаний опорного винта, обусловленная действием на стрелу переменного динамического момента, превышает величину предварительного натяга, т.е. деформацию упругой прокладки за счет статического прижатия к ней опорного винта стрелы. При этом в условиях основного или кратного резонанса происходит «затягивание» колебательной системы на виброударный режим по амплитуде [7]. В результате такого «затягивания» значительно возрастает амплитуда вертикальных колебательных смещений заготовки (рис. 4), что в нашем случае приводит к опрокидыванию стрелы, т.е. когда она переходит в нерабочее состояние.

Для предотвращения этого, а также целенаправленного технологического использования данного явления авторы настоящей работы предложили изменить структуру колебательной системы, дополнительно установив верхний ограничитель, который в совокупности с нижним обеспечивают режим двухстороннего виброударного взаимодействия с ними стрелы распиловочной секции. Дополнительный ограничитель (рис. 5) представляет собой регулировочный винт 1 со сферическим концом, установленный в резьбовом отверстии кронштейна 2, который неподвижно прикреплен к основанию 3 секции. На верхней поверхности стрелы в месте ее контакта с винтом приклеена резиновая прокладка 4 (упругий упор).

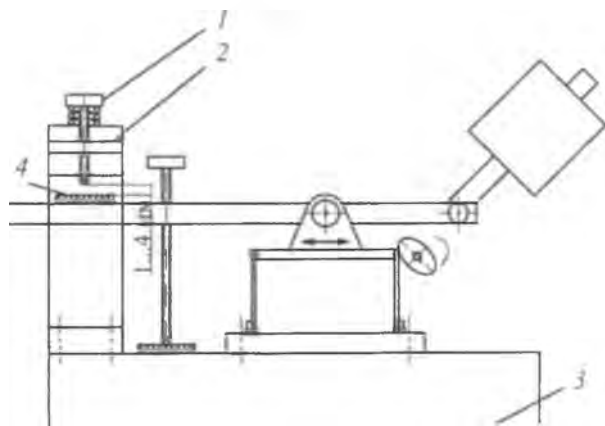


Рис. 5. Схема распиловочной секции с использованием дополнительного верхнего ограничителя

Таким образом, по сравнению с ранее рассмотренным (рис. 1), в данном варианте колебательной системы вертикальное перемещение стрелы ограничивается двумя упругими упорами: верхним и нижним. При этом нижний устанавливается с гарантированным (предварительным) натягом, а верхний – с гарантированным зазором, величина которого изменяется с помощью регулировочного винта. Характерной особенностью таких виброударных систем является то, что при

постоянных условиях их возбуждения за счет изменения величины зазора можно целенаправленно влиять на значения амплитуды и частоты колебаний подвижного звена. Поэтому оправдано полагать, что в сочетании с колебательным смещением заготовки в горизонтальном направлении, это позволит придать ей двухмерное периодическое циркуляционное движение, траекторией и параметрами которого можно легко управлять путем регулирования величины зазора между стрелой и верхним упором.

С помощью цифровой камеры Canon A590IS была проведена видеосъемка (20 кадров в секунду) поведения стрелы распиловочной секции при виброударном режиме ее взаимодействия с упругими ограничителями. По результатам последующего покадрового анализа видеосъемки (с временным интервалом между кадрами 0,05 с) определены характерные стадии поведения стрелы за период ее циркуляционного движения. На рис. 6, а показано положение стрелы в исходном (без сообщения оси ее качания колебаний) состоянии. За счет ее статического нагружения опорный винт стрелы упруго деформирует нижнюю резиновую опору, величина которой соот-

ветствует предварительному натягу в колебательной системе. При возбуждении последней на режимах, обеспечивающих воздействие на стрелу знакопеременного динамического момента, по амплитуде превышающего величину статического момента, происходит отрыв опорного винта от нижней упругой опоры (рис. 6, б). Следующая стадия циркуляционного движения опорного винта стрелы, с закрепленной на ее рабочем конце заготовки, характеризуется одновременным их перемещением в одной плоскости по вертикали вверх и в сторону по горизонтали (рис. 6, в). Эта стадия продолжается до момента соударения стрелы с верхним упругим ограничителем, в результате которого направление скорости ее вертикального перемещения скачкообразно изменяется на противоположное. Поэтому в течение следующей стадии циркуляционное движение заготовки определяется суммарным ее перемещением вниз по вертикали и в сторону по горизонтали (рис. 6, г). Окончанию этой стадии соответствует наступление момента соударения опорного винта с нижней упругой опорой. Оно сопровождается очередным скачкообразным изменением направления скорости его вертикального движения, которое закан-

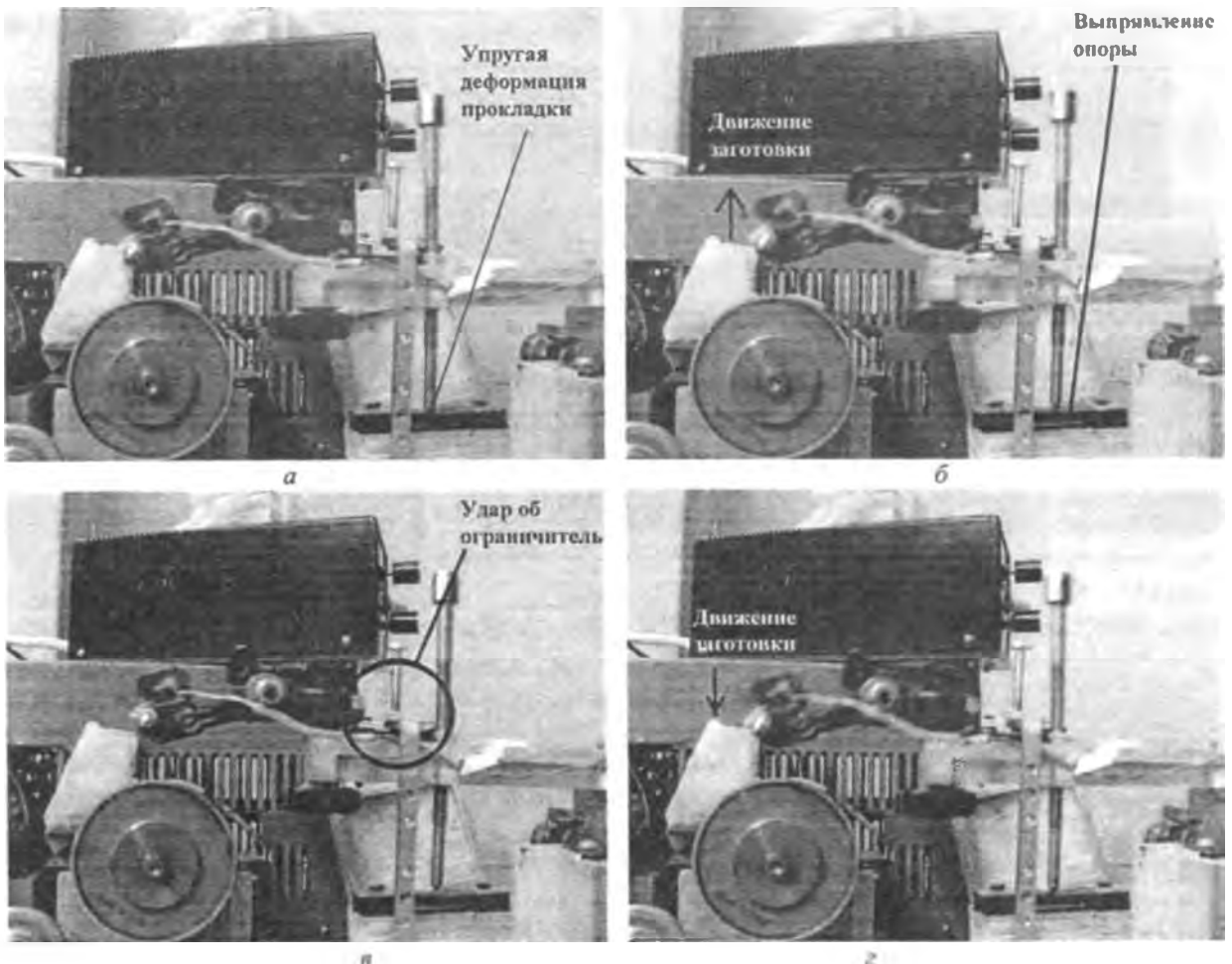


Рис. 6. Серия покадровых фотографий (время между соседними кадрами 0,05 с), полученная в режиме видеосъемки процесса работы распиловочной секции с встроенным верхним ограничителем

чивается отрывом винта от нижней опоры, что соответствует наступлению первой (рис. 6, б) из рассмотренных стадий двухмерного периодического циркуляционного движения заготовки.

Таким образом установлено, что однократный цикл этого движения характеризуется последовательным протеканием следующих четырех основных стадий. Первая – это отрыв опорного винта стрелы от нижней упругой опоры; вторая – это двухмерное движение заготовки, обусловленное ее одновременным перемещением по вертикали вверх и в сторону по горизонтали; третья – это соударение стрелы с верхним упругим ограничителем и четвертая – это двухмерное движение заготовки при ее одновременном перемещении вниз по вертикали и в сторону по горизонтали, которое заканчивается ударным взаимодействием опорного винта стрелы с нижней упругой опорой и его последующим отрывом от нее. Отмеченные стадии двухмерного периодического циркуляционного движения заготовки при виброударном режиме работы колебательной системы четко видны на фотографии траектории ее перемещения, приведенной на рис. 7. Как видно, она имеет несколько отличную от эллипса форму, что обусловлено наличием соударений стрелы с нижним и верхним ограничителями. Вместе с тем, для количественной оценки траектории движения заготовки оправдано аппроксимировать ее форму в виде эллипса, как показано на рис. 3.

Влияние величины зазора между стрелой и верхним ограничителем (Δ) на параметры траектории колебательного движения заготовки отражают экспериментальные данные, приведенные в табл. 2. Они получены в виброударном режиме работы колебательной системы распиловочной секции при следующих значениях параметров ее возбуждения: $P_{ст} = 1,2$ Н; $\gamma = 3560$ Н/м.

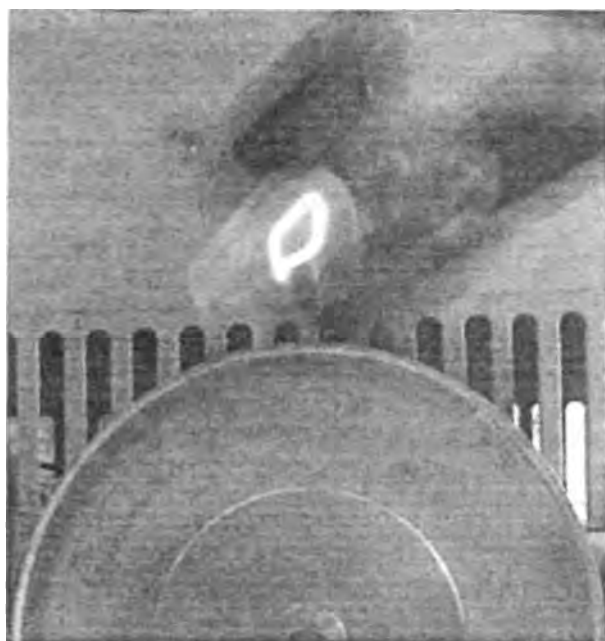


Рис. 7. Фотография траектории движения заготовки при двухстороннем виброударном режиме

Из анализа приведенных данных следует, что величина зазора между стрелой и верхним ограничителем существенным образом влияет на параметры двухмерного циркуляционного движения заготовки. Так, наибольшим значениям λ , $2a$, $2b$ соответствует максимальная величина зазора $\Delta = 4$ мм. По мере его уменьшения происходит снижение значений параметров траектории движения заготовки, а при $\Delta = 0$ она совершает практически одномерное колебательное смещение вдоль горизонтальной оси. Таким образом установлено, что применение в колебательной системе распиловочной секции верхнего ограничителя позволяет при виброударном режиме ее работы за счет регулирования зазора между ним и стрелой управлять параметрами двухмерного периодического циркуляционного движения заготовки. В

Таблица 2. Значение параметров траектории колебательного движения заготовки при различной величине зазора между стрелой и верхним ограничителем

Условия возбуждения колебательной системы		Параметры траектории колебательного движения заготовки		
Величина зазора Δ , мм	Частота вынужденных колебаний f , Гц	Угол λ , град	$2a$, мм	$2b$, мм
4	2,8	4	9	2
	3,2	45	10	6
	3,6	49	12	4
3	2,8	3	9	2
	3,2	3	8	4
	3,6	42	10	4
2	2,8	4	8	2
	3,2	17	8	3
	3,6	37	11	4
1	2,8	3	7	2
	3,2	9	8	2
	3,6	29	9	3
0	2,8	5	6	2
	3,2	8	7	2
	3,6	12	8	2

практическом плане это позволяет довольно просто только за счет изменения положения регулировочного винта верхнего ограничителя обеспечивать требуемые параметры колебательного движения заготовки на различных переходах выполнения операции ее распиливания, включая врезание, непосредственно распиливание и окончание операции.

Выводы

1. На основании анализа полученных экспериментальных данных, отражающих влияние условий возбуждения колебательной системы распиловочной секции с одним нижним упругим ограничителем, установлено, что в безотрывном режиме взаимодействия с ним опорного винта стрелы заготовка совершает в основном одномерное колебательное движение, а при отрывном – происходит опрокидывание стрелы («выброс»), когда она переходит в нерабочее положение.

2. Показано, что опрокидывание стрелы («выброс») при отрывном взаимодействии ее опорного винта с нижним упругим ограничителем связан с проявлением эффекта «затягивания» колебательной системы на виброударный режим по амплитуде, который возникает в условиях основного или кратного резонанса.

3. С целью эффективного технологического использования этого эффекта и предотвращения опрокидывания стрелы предложено изменить структуру колебательной системы распиловочной секции, дополнительно установив верхний упругий ограничитель, который в совокупности с нижним обеспечивают режим двухстороннего виброударного взаимодействия с ними стрелы распиловочной секции.

4. На основании покадрового анализа видеосъемки (20 кадров в секунду) процесса движения стрелы распиловочной секции в режиме ее двухстороннего виброударного взаимодействия с упругими ограничителями установлено, что однократный цикл этого движения характеризуется последовательным протеканием следующих четырех основных стадий. Первая – это отрыв опорного винта стрелы от нижнего упругого ограничителя; вторая – это двухмерное движение заготовки, обусловленное ее одновременным перемещением по вертикали вверх и в сторону по горизонтали; третья – это соударение стрелы с верхним упругим ограничителем и четвертая – это двухмерное движение заготовки при ее одновременном перемещении вниз по вертикали и в сторону по горизонтали, которая заканчивается ударным взаимодействием опорного винта стрелы с нижним упругим ограничителем

5. На основании анализа полученных экспериментальных данных, отражающих влияние величины зазора между стрелой и верхним упругим ограничителем на параметры двухмерного периодического циркуляционного движения заготовки,

установлено, что за счет ее изменения можно управлять видом траектории этого движения, ее размерами и положением относительно горизонтальной оси. В частности, максимальной величине зазора ($\Delta = 4$ мм) соответствует наиболее выраженное двухмерное периодическое циркуляционное движение заготовки, степень проявления которого по мере уменьшения зазора снижается, а при $\Delta = 0$ заготовка совершает в основном одномерное колебательное движение вдоль горизонтальной оси.

6. Показано, что в практическом плане это позволяет только за счет изменения положения регулировочного винта верхнего ограничителя, обеспечивать требуемые параметры колебательного движения заготовки с учетом различных переходов при выполнении операции ее распиливания, включая врезание, непосредственно распиливание и окончание операции.

Обозначения

$P_{ст}$ – статическая нагрузка опорного винта на упругую прокладку, Н; α – угол между горизонтальной и положением стрелы, вызванным ее поворотом за счет действия статической нагрузки, град; γ – жесткость упругой прокладки, Н/м; f – частота горизонтальных перемещений колебательной системы распиловочной секции, Гц; λ – угол наклона траектории двумерного циркуляционного движения заготовки к горизонтальной оси, град; $2a$ – величина большего размаха колебаний заготовки, мм; $2b$ – величина меньшего размаха колебаний заготовки, мм.

Литература

1. Киселев, М.Г. Обоснование возможности обеспечения циркуляционного колебания заготовки в процессе ее механического распиливания / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, Д. А. Ямная // Международный симпозиум «Перспективные материалы и технологии» 24–26 мая 2011 года. Витебск, Беларусь: Сборник статей / УО «ВГТУ». – Витебск, 2011. – С. 41–43.
2. Киселев, М.Г. Установка для распиливания монокристаллов алмаза при сообщении заготовке периодического циркуляционного движения / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, Д. А. Ямная // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2011. – № 2. – С. 3–9
3. Киселев, М.Г. Экспериментальные исследования эффективности придания двухмерного циркуляционного движения заготовке в процессе распиливания твердых и сверхтвердых материалов / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, Д. А. Ямная // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: VI Междунар. науч.-техн. конф. (Минск 14–16 сентября 2011 г.): сб. материалов. – В 3 кн. – Кн. 2. Высокоэнергетические технологии получения и обработки материалов. Технологии и оборудование инженерии поверхностей / ред. коллегия: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2011. – С. 413–421.
4. Киселев, М.Г. Повышение интенсивности и качества распиливания твердых и сверхтвердых материалов путем сообщения заготовке двухмерного циркуляционного движения / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, Д. А. Ямная // Вестник БНТУ. – 2011. – № 5. – С. 36–40.
5. Быховский, Н. Н. Основы теории вибрационной техники / Н. Н. Быховский. – М.: Машиностроение, 1968. – 362 с.

6. Киселев, М.Г. Методики определения пространственно-временных параметров контактного взаимодействия колеблющейся заготовки с распиловочным диском / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, Д.А. Ямная // Метрология и приборостроение. – 2012. – № 2. – С. 26–29
7. Киселев, М.Г. Ультразвук в поверхностной обработке материалов / М.Г. Киселев, В.Т. Минченя, В.А. Ибрагимов, под ред. М.Г. Киселева. – Минск: Тесей, 2001. – 344 с

Kiselev M. G., Drozdov A. V., and Yamnaya D. A.

Effect of excitation conditions of sawing section arm on parameters of oscillating motion of the work piece.

There is the influence research of oscillatory system excitation conditions of modernized sawing section on character and the sizes of fixed preparation bidirectional circulating movement in the article. It is shown, that for the most part preparation makes one-dimensional horizontal oscillatory movement, however in a number of modes preparation vertical moving amplitude sharp increasing is observed. For this effect technological use it is offered to rig up the top stop in addition. By results of the thus modernized section researches it is established, that due to change of a gap size between boom and the top stop, it is possible to provide required parameters of preparation oscillatory movement during its sawing.

Поступила в редакцию 25.02.2013.

© М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная, 2013