

АНТИВИБРАЦИОННАЯ ДЕРЖАВКА**Яцун Елена Ивановна****Зубкова Оксана Сергеевна****Карнаухов Иван Сергеевич****Гордейков Александр Владимирович***Юго-Западный государственный университет, г.Курск, Россия**e-mail: el.yatsun@gmail.com*

Известно, что державки режущего инструмента под действием сил резания подвержены изгибу, кручению, сжатию и растяжению, что приводит к вибрации державки и инструмента, снижению чистоты и точности обработки поверхностей, снижению стойкости режущего инструмента, требует понижения режимов резания.

Перечисленные недостатки, причиной которых является недостаточная жесткость державок инструмента, преодолеваются в большей или меньшей мере выполнением их сборными и из различных материалов, а также выполнением их предварительно напряженными. Так как рабочие скорости современных станков постоянно возрастают, то вибрации возникают все чаще.

Для устранения этих недостатков державки инструментов снабжаются различными средствами гашения колебаний, позволяющими адаптировать их жесткость к условиям работы.

Ключевые слова: вибрации, вынужденные колебания, автоколебания, демпфирующее устройство

В настоящее время в области механической обработки существует множество типов демпфирующих устройств для подавления колебаний, возникающих при резании металла.

Вибрации в процессе резания бывают двух типов [1, 2]:

- *вынужденные колебания*, причиной возникновения которых является периодически действующая возмущающая сила;
- *автоколебания* — колебания, возникающие без действия внешней силы. Причиной автоколебаний является самовозбуждение в процессе струж- кообразования.

Вынужденные низкочастотные колебания при резании могут быть вызваны дисбалансом вращающихся частей станка, приспособлений, заготовки и инструмента, неравномерным припуском или самим процессом резания. Способ борьбы с ними — балансировка инструмента и заготовок.

С автоколебаниями бороться сложнее, так как сила, поддерживающая эти колебания, вызывается самим движением и исчезает при его прекращении. Автоколебания определяются источниками энергии, которые не обладают колебательными свойствами. Частота автоколебаний почти не зависит от режимов резания, а определяется жесткостью системы.

Интенсивность вибраций зависит от режимов резания, геометрии режущего инструмента, жесткости технологической системы резания, демпфирующих способностей материалов режущего инструмента и заготовки. С увеличением ширины и уменьшением толщины режущей кромки инструмента интенсивность вибраций растет. Увеличение угла в плане приводит к уменьшению амплитуды автоколебаний. Существует критическая зона скоростей резания, в пределах которых автоколебания усиливаются [3].

В металлорежущем станке обычно рассматривают две основные колебательные системы: систему заготовки и систему режущего инструмента. Обе системы имеют различную частоту собственных колебаний, поэтому автоколебания при резании бывают двух видов:

- *вибрации первого рода* — низкочастотные (50...300 Гц) колебания заготовки;
- *вибрации второго рода* — высокочастотные (800...3000 Гц) колебания режущего инструмента [4].

Режущий инструмент для механической обработки, в целом, является динамическим устройством, в котором при работе возникают оба типа колебаний.

Эти колебания могут классифицироваться по их динамической жесткости.

Динамическая жесткость металлорежущего инструмента является мерой его сопротивляемости деформации и способностью демпфирования при конкретном типе деформации. Преобладающий динамический режим колебаний будет определять характеристики устройства для механической обработки.

В случае упругих вынужденных колебаний динамическая жесткость металлорежущего инструмента является мерой сопротивляемости деформации. При вынужденных упругих колебаниях пределом устойчивости является наибольшая глубина резания до потери устойчивости и начала вибрации.

При возникновении свободных колебаний в процессе обработки происходит неконтролируемое смещение положения режущей кромки инструмента и это является доминирующим при образовании микронеровностей поверхности.

Инструментальные системы для механической обработки, как правило, подвержены упругим вынужденным колебаниям, например, расточные и фрезерные державки с большим вылетом. Также вибрации возникают при прерываемом резании. В таких случаях общие характеристики устройства для механической обработки могут быть в значительной степени улучшены увеличением динамической жесткости режима упругих вынужденных колебаний.

Способы борьбы с автоколебательными вибрациями:

- рациональная геометрия режущего инструмента - применение виброгасящей фаски на передней поверхности;
- повышение демпфирующей способности колебательной технологической системы резания применением демпфирующих прокладок, специальных демпфирующих устройств — виброгасителей;
- повышение жесткости колебательной технологической системы резания: с увеличением жесткости повышается собственная частота колебательной системы и снижается вероятность возникновения вибраций, так как с увеличением частоты возрастает работа затухания системы;
- уменьшение массы колебательных систем, позволяющее повысить частоту и снизить интенсивность вибраций.

Таким образом, для увеличения динамической жесткости устройств для механической обработки:

- максимально уменьшают вылет режущего инструмента, что не всегда возможно из-за требуемой геометрии обрабатываемой поверхности;
- корпус инструмента изготавливают из более прочного материала, например, карбид вольфрама;
- в корпус инструмента включают поглотитель динамических колебаний в сочетании с упомянутыми выше мерами или без них.

Инструменты с большим вылетом часто используются при обработке на обрабатывающих центрах. Вибрации, возникающие при этом можно значительно уменьшить используя антивибрационные оправки.

Известна конструкция борштанги для растачивания глубоких отверстий (Рис.1) [5]. В кольцевой полости корпуса 1 установлена гильза 3. Между поверхностями трубы 4 и гильзы 3 с ребрами 14 и создан зазор. Зазор заполнен виброгасящей жидкостью. В процессе резания возникают крутильные колебания, которые вызывают относительные угловые перемещения гильзы 3 и трубы 4, что изменяет зазор между боковыми поверхностями ребер 14 и 15, вызывая перетекание жидкости 13, вследствие чего и происходит гашение крутильных колебаний (Рис. 1, б).

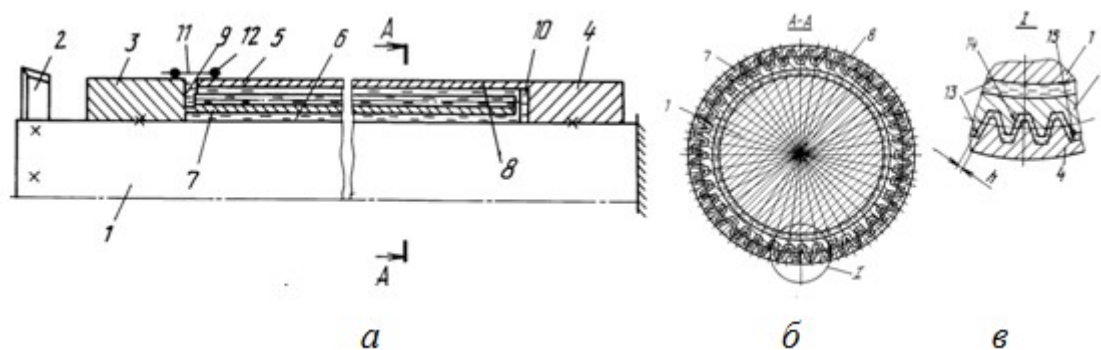


Рис. 1 Борштанга для растачивания глубоких отверстий

Аналогичным образом происходит гашение изгибных колебаний в любой плоскости, чему способствует также изменение объема кольцевых камер 9 и 10. Эффективность гашения колебаний пропорциональна величине боковых площадей ребер 14 и 15, вязкости виброгасящей жидкости 13 и величине зазора h .

Известен расточной инструмент [6], который содержит рабочую часть с режущей пластиной. С рабочей частью соединен корпус, имеющий полость. В полости размещено демпфирующее устройство. Устройство состоит из опорного полого стержня, на крайних частях которого зафиксированы опорные шайбы. К шайбам присоединены упругие элементы. На средней части опорного полого стержня установлен демпфирующий элемент с возможностью перемещения. Торцы демпфирующего элемента соединены с упругими элементами. При этом одна из крайних частей опорного полого стержня закреплена в корпусе, а другая - размещена в базовой части. Для увеличения демпфирующей способности демпфирующий элемент соединен со средней частью опорного полого стержня посредством резьбового соединения, причем во впадинах профиля резьбы средней части опорного полого стержня выполнен сквозной винтовой паз, а торцы демпфирующего элемента, соединенные с упругими элементами, выполнены ступенчатыми (Рис. 2).

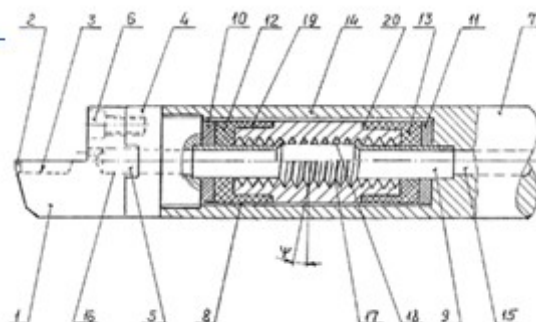


Рис. 2 Расточной инструмент

Для увеличения демпфирующей способности расточного инструмента угол подъема резьбы в соединении демпфирующего элемента со средней частью опорного полого стержня может быть выполнен больше угла самоторможения.

Известна расточная оправка [7] к выдвижным шпинделям расточных станков (Рис. 3).

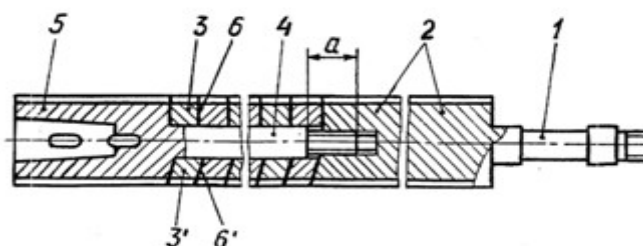


Рис. 3. Оправка к выдвижным шпинделям расточных станков

Задачей изобретения является получение предварительно напряженного держателя инструмента с высокими характеристиками жесткости на изгиб, кручение, сжатие и растяжение. Держатель содержит хвостовик, к которому стяжками присоединен элемент для закрепления режущего инструмента. На стяжках установлены наборы втулок или колец из жесткого и высокопрочного материала или материалов (Рис. 4).

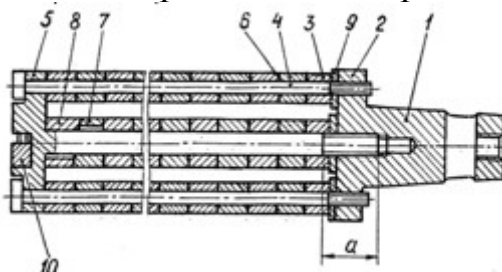


Рис. 4. Держатель инструмента

Известен держатель инструмента, такой как расточная головка или фрезерная оправка [8] с демпфирующим элементом в виде удлиненного тела, установленного в полости и закрытой на своем конце приемным корпусом (Рис. 5, поз. 4) расточной головки или элементом фрезерной оправки.

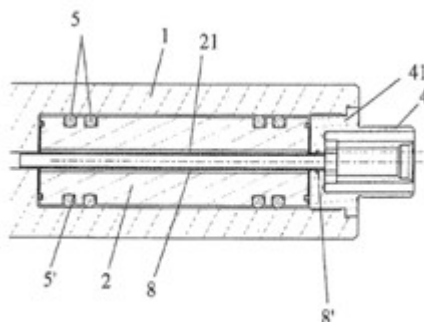


Рис. 5 Держатель с демпфирующим средством

Демпфирующий элемент представляет собой средство только радиального поглощения и снабжен по меньшей мере одним упругодеформируемым элементом вблизи каждого конца.

Известна оправка для чистовой обработки отверстий [9]. Оправка содержит корпус, в отверстии которого эксцентрично расположен резцедержатель, выполненный с возможностью поворота относительно продольной оси, резец и упругий элемент. При этом резцедержатель подпружинен в осевом направлении и в направлении поворота вокруг своей оси и другим концом взаимодействует с корпусом посредством резьбового соединения. Диск соединен со втулкой посредством тяги, шаг резьбового соединения втулки с корпусом выполнен большим, чем шаг резьбового соединения резцедержателя с корпусом (Рис. 6).

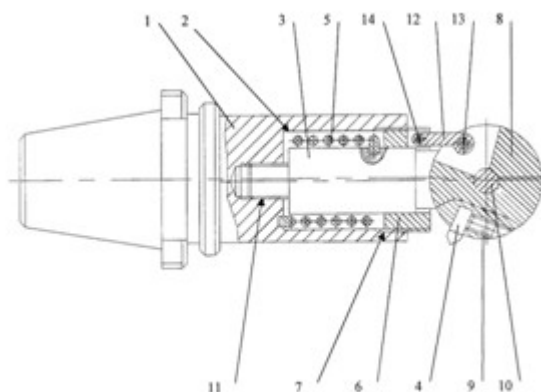


Рис. 6 Оправка для чистовой обработки отверстий

Известно демпфирующее устройство для успокоения колебаний [10].

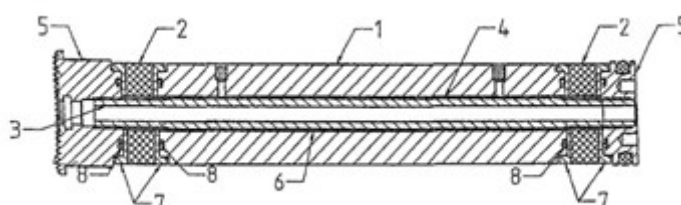


Рис. 7 Демпфирующее устройство для успокоения колебаний

Устройство содержит цилиндрическое демпфирующее тело со сквозным отверстием и продольный центральный корпус, размещенный в указанном отверстии и предназначенный для жесткого соединения с объектом, колебания которого необходимо успокоить. Демпфирующее тело соединено с продольным центральным корпусом через два упругих элемента с отверстиями для прохода продольного центрального корпуса и две кольцевые шайбы, жестко соединенные с продольным центральным корпусом. Демпфирующее тело расположено между указанными кольцевыми шайбами. Для повышения демпфирующей способности упругие элементы имеют две противоположные торцовые поверхности, кольцевая шайба с каждой стороны демпфирующего тела и упругих элементов жестко соединена с продольным центральным корпусом.

Известны аналогичные демпфирующие устройства, например устройство, описанные в [11-14]. Демпфирующее устройство расположено в отверстии расточной оправки.

Выводы.

Увеличение отношения между длиной и диаметром инструментальных оправок приводит к уменьшению динамической жесткости инструментальной оправки, и в этом случае возникают новые требования, предъявляемые к демпфирующему устройству - должна быть уменьшена частота демпфирующего тела. Для достижения этого требуются либо

упругие элементы с более низким модулем упругости, либо демпфирующее устройство с более высокой массой [15].

1. Для увеличения массы необходимо увеличить объем демпфирующего тела. Это в результате приведет к проблемам, связанным с площадью, размером и ослаблением конструкции, где должно быть использовано демпфирующее устройство.

2. Для обеспечения возможности уменьшения модуля упругости необходимо либо принять материал упругого элемента с более низким модулем упругости или прочность упругого элемента должна быть соответственно уменьшена путем уменьшения размера элемента.

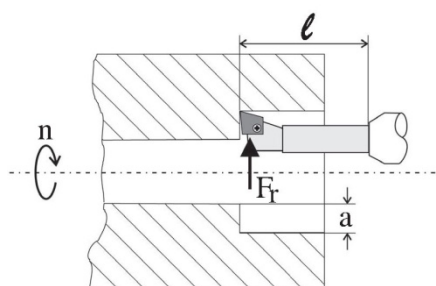


Рис. 8 Схема растачивания

$$\delta = \frac{F_r l^3}{3EI} = \frac{F_r}{k_r},$$

где F_r - радиальная сила, $k_r = (3EI)/l^3$ - радиальная жесткость расточной оправки.

Радиальное отклонение передается как погрешность формы растачиваемой поверхности, а его величина зависит от амплитуды силы резания и жесткости в радиальном направлении. Если используется цилиндрическая расточная оправка, $I = \pi d^4/64$ и $k_r = 3\pi E d^4/64 l^3$ [16].

В то же самое время, упругие элементы должны выдерживать воздействие тепла, выделяемого в течение технологического процесса резания с образованием стружки и в результате поглощения энергии материала, помимо этого имея размеры для противодействия силам, воздействию которых они также подвергаются. Это оказалось противоречивыми требованиями.

Следовательно, был сделан вывод, что известные решения, плохо пригодны для проведения разработки в направлении увеличенного соотношения длины и диаметра и более низкой собственной частоты для системы, колебания которой необходимо снизить, вследствие ограничений свойств материала, среди других причин [17].

При обработке материалов резанием часто используют высокие скорости вращения, и по этой причине также важно, чтобы демпфирующая система могла выдерживать быстрое вращение. Это также оказалось проблематичным при использовании устройств, соответствующих известному уровню техники.

Ведутся работы над новым демпфирующим устройством (Рис. 9), которое обеспечит возможность решения вышеупомянутых проблем для снижения самогенерируемых колебаний в расточных оправках, инструментальных оправках и аналогичных приспособлениях. Это решение основано на использовании технологии, в которой силы передаются от оправки к демпфирующему телу через упругие элементы, причем упругие элементы подвержены воздействию по существу сил сдвига, в противоположность тому, что имеет место в устройствах, соответствующих известному уровню техники, где соответствующие упругие элементы подвержены воздействию главным образом сил сжатия. Преимущество передачи сил как сил сдвига вместо сил сжатия заключается в том, что модуль упругости может быть уменьшен, и демпфирующие свойства материала увеличиваются при передаче сил в направлении сдвига (среза) в противоположность передаче сил в направлении сжатия.

Модуль упругости, который выражает жесткость эластомеров, подвергаемых воздействию сил сдвига, значительно меньше модуля сжатия, который выражает жесткость эластомеров, подвергаемых воздействию сил сжатия, и приблизительно составляет $1/3$ модуля растяжения.

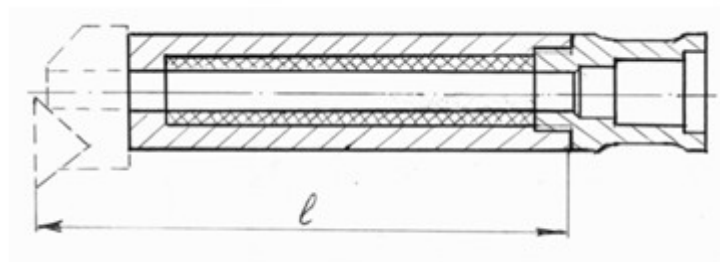


Рис. 9 Демпфирующее устройство

В демпфирующем устройстве, где упругие элементы подвержены воздействию сил сдвига, модуль упругости системы потенциально уменьшится и по этой причине возможно значительное уменьшение собственной частоты демпфирующего устройства без изменения материала упругого элемента и без уменьшения размера или прочности элемента. Масса демпфирующего тела не обязательно должна увеличиваться. В то же время, что размер упругого элемента, например, из резины, может быть увеличен, и благодаря этому в результате может быть получено снижение колебаний без увеличения собственной. Благодаря этому, демпфирующее устройство может обеспечить возможность большего изменения в отношении между длиной и диаметром. Одно из преимуществ этого заключается в том, что представляется возможным исключение использования демпфирующей жидкости в качестве демпфирующей среды, поскольку повышенного количества резины или

других упругих материалов достаточно в качестве единственного поглотителя энергии в этой системе.

Преимуществом обеспечения возможности получения более низкой частоты является то, что масса демпфирующего тела может быть уменьшена при достижении аналогичной собственной частоты, как и у существующих систем. Это делает предлагаемое решение более пригодным для использования в тех случаях, где демпфирующая система должна вращаться с высокой скоростью при возникновении значительных центробежных сил, например в случаях применения в технологических процессах высокоскоростного фрезерования.

Тот факт, что масса демпфирующего тела может быть уменьшена, является полезным в том отношении, что диаметр отверстия для внутреннего подвода смазочно-охлаждающей жидкости к режущей кромке, может быть увеличен. Преимуществом повышенного количества смазочно-охлаждающей жидкости является более эффективное отведение стружки от режущей кромки.

Список литературы

1. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара - Л.: Машиностроение, 1976. - 320 с.
2. Вибрации в технике: Справочник в 6-ти т. Том 6. Под ред. К.В.Фролова.- М.: Машиностроение, 1981.- 456 с.
3. Защита от вибрации и ударов/Под ред. К.В.Фролова. Ред. совет: В.Н.Челомей. – М.: Машиностроение, 1981.- 456 с.
4. Сирил М. Харрис, Чарльз И. Крид. Справочник по ударным нагрузкам. Сокр. пер. с англ. Н. А. Пэдуре. Л. Судостроение 1980. - 359 с.
5. Патент РФ №2014965 Борштанга для растачивания глубоких отверстий. Аслибекян С.Ф., Филин М.М., Ветров С.И., Мещеряков Р.К. 1994.
6. Патент РФ №2298456 Расточной инструмент Корюкина Н. А. 2007.
7. Патент РФ №2109599 Держатель инструмента. Вождаенко В. В.[UA], Рабштына М. М. 1998.
8. Патент Франция №519192 Держатель инструмента с демпфирующим средством. Остерман М., Фрейермут А.
9. Патент РФ 2227084 Расточная оправка. Балашов А.В., Черепанов А.А., Татаркин Е.Ю., Федоров В.А., Дудина Н.В., Буканова И.С. 2004.
10. Патент Норвегия №2293230 - Демпфирующее устройство для успокоения колебаний Дигернес Андерс patent/229/2293230.
11. Патент США № 3838936 Настраиваемое демпфирующее устройство и способ его использования. Вильям Т. Кобб (мл.)
12. Патент РФ № 2535196 Демпфирующий резец с управляемой жесткостью. С.Г. Новиков, В.В. Малыхин, Е.И. Яцун [и др.]. 2014.
13. Патент РФ № 2511193. С.Г. Новиков, В.В. Малыхин, Е.И. Яцун [и др.] Универсальный демпфирующий резец с регулируемой жесткостью. 2016.
14. Патент РФ № 2621939. С.Г. Новиков, В.В. Малыхин, Е.И. Яцун [и др.] Демпфирующий резец с управляемой жесткостью. 2017.
15. Учаев П.Н., Емельянов С.Г., Яцун Е.И. и др. Оптимизация прикладных задач. ТНТ. Старый Оскол. 2015.
16. Altintas Y. Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sˆao Paulo, Delhi, Tokyo, Mexico City: Cambridge University Press, 2012.

17. Яцун Е.И., Малыхин В.В., Зубкова О.С. и др. Инструментальное обеспечение процессов механической обработки твердыми сплавами и композитами: монография. ЗАО «Университетская книга». Курск. 2016.

18. Оценка качества измерений подшипников скольжения в процессе выполнения технологического процесса/ Василенко В.С., Малыхин В.В., Ремнев А.И., Рубанов Е.М., Яцун Е.И.// В сборнике: Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации, материалы IX-ой Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор: Горохов А.А.. 2012. С. 219-224.

19. Иллюстрация модели удержания алмазно-абразивного зерна в органических связках шлифовального инструмента/ Новиков С.Г., Малыхин В.В., Яцун Е.И., Фадеев А.А., Новиков Ф.В.// В сборнике: Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновацииматериалы IX-ой Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор: Горохов А.А.. 2012. С. 263-267.

20. Техничко-экономическая оценка алмазно-искрового шлифования твердосплавных инструментов/ Малыхин В.В., Родионова И.Н., Ткаченко Т.Б., Фадеев А.А.// Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2014. № 3. С. 23-28.

21. Разработка конструкции экспериментального образца демпфирующего резца/ Фадеев А.А., Малыхин В.В., Яцун Е.И., Новиков С.Г.// В сборнике: Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации, сборник научных трудов XI Международной научно-практической конференции: в 4-х томах. Ответственный редактор: Горохов А.А.. 2014. С. 234-238.

22. Инструментальное обеспечение процессов механической обработки твердыми сплавами и композитами/ Яцун Е.И., Малыхин В.В., Зубкова О.С., Новиков С.Г.// Курск, 2016.

23. Модельный ряд энергосберегающих инструментов/ Яцун Е.И., Ремнев А.И., Кудряшов Е.А., Павлов Е.В.// Компрессорное и энергетическое машиностроение. 2011. № 2 (24). С. 50-53.

24. Influence of buildup in lathe processes on tool life and surface quality/ Emel'yanov S.G., Yatsun E.I., Shvets S.V., Remnev A.I., Pavlov E.V.// Russian Engineering Research. 2011. T. 31. № 12. С. 1276-1278.

25. Эффективная работа инструмента из композита в условиях прерывистого резания/ Кудряшов Е.А., Алтухов А.Ю., Яцун Е.И.// Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011. № 6. С. 79.

26. Повышение эксплуатационных характеристик демпфирующих резцов/ Малыхин В.В., Яцун Е.И., Новиков С.Г.// Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2012. № 2-1. С. 043-046.

27. Способы достижения надежности работы гидроцилиндров высокого давления буровых установок/ Кудряшов Е.А., Яцун Е.И., Павлов Е.В., Алтухов А.Ю., Лунин Д.Ю.// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1-2. С. 401-403.

28. Напряженное состояние в зоне резания/ Емельянов С.Г., Яцун Е.И., Швеи С.В., Ремнев А.И., Павлов Е.В.// Технология машиностроения. 2011. № 12. С. 13-17.

29. Рационализация технологических процессов изготовления и сборки изделий при переходе от опытного к серийному производству/ Пономарев В.В.// В сборнике: Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации, материалы IX-ой Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор: Горохов А.А.. 2012. С. 290-294.

30. Организация технологической подготовки производства изделий с использованием поэтапной автоматизации проектирования/ Пономарев В.В.// В сборни-

ке: Машиностроение - основа технологического развития России (ТМ-2013) сборник научных статей V Международной научно-технической конференции. 2013. С. 523-527.

31. Анализ конструкции фрез и пластин фирмы TAEGUTEC/ Жердева Н.Д., Круговых К.В., Пономарев В.В.// В сборнике: Перспективное развитие науки, техники и технологий, сборник научных статей материалы IV Международной научно-практической конференции.. 2014. С. 98-102.

32. Determining the geometric parameters of a sheared layer in drilling of nonferrous metals and alloys with the use of axial vibrations/ Emel'yanov S.G., Sidorova V.V., Ponomarev V.V., Razumov M.S.// Chemical and Petroleum Engineering. 2017. Т. 52. № 11-12. С. 796-800.

33. Метод определения положения зубьев сборной дисковой фрезы с конструктивной радиальной подачей/ Куц В.В., Пономарев В.В.// Вестник Воронежского государственного технического университета. 2017. Т. 13. № 6. С. 81-85.

34. Сверление отверстий в напряженно-деформированном материале заготовки/ Куц В.В., Бышкин А.С., Разумов М.С.// Современные материалы, техника и технологии. 2018. № 3 (18). С. 20-23.

35. Решение задачи симметричного расположения зубьев с неравномерным шагом у охватывающей фрезы с радиальной конструктивной подачей для обработки рк-профильных валов/ Исаев А.В., Куц В.В., Сидорова М.А., Разумов М.С., Гречухин А.Н.// Современные материалы, техника и технологии. 2018. № 3 (18). С. 4-7.

36. Исследование погрешности профиля обработанного вала охватывающей фрезой с радиальной конструктивной подачей/ Исаев А.В., Куц В.В., Сидорова М.А., Разумов М.С., Гречухин А.Н.// Современные материалы, техника и технологии. 2018. № 2 (17). С. 42-48.

37. Исследование особенностей формирования погрешности обработки при планетарном формообразовании отверстий длинных тонкостенных деталей/ Гречишников В.А., Куц В.В., Ванин И.В., Разумов М.С., Гречухин А.Н.// Современные материалы, техника и технологии. 2018. № 1 (16). С. 11-15.

38. Математическое представление режущих кромок спирального сверла в системе MAPLE/ Зубкова О.С., Куц В.В., Лыкова Л.Н., Лыкова Н.Н.// Современные материалы, техника и технологии. 2017. № 7 (15). С. 21-28.

39. Моделирование номинальной поверхности тонкостенной детали с малыми углами конусности/ Куц О.Г., Емельянов С.Г., Горохов А.А.// Современные материалы, техника и технологии. 2015. № 2 (2). С. 74-80.

40. Моделирование профиля производящей поверхности набора фрез, предназначенного для обработки тонкостенной детали с малыми углами конусности/ Куц О.Г., Емельянов С.Г., Горохов А.А.// Современные материалы, техника и технологии. 2015. № 2 (2). С. 81-87.

Yatsun E. I., Zubkova O. S., Karnaukhov I. S., A. Gorchakov
Russia, Kursk, Southwest state University

ANTI-VIBRATION TOOL HOLDER

It is known that the cutting tool holders under the action of cutting forces are subject to bending, torsion, compression and tension, which leads to vibration of the tool holder and tool, reduce the purity and accuracy of surface treatment, reduce the resistance of the cutting tool, requires a reduction in cutting conditions.

To eliminate these shortcomings tool holders are equipped with various means of damping, allowing to adapt their rigidity to the working conditions.

Keywords: vibrations, forced oscillations, self-oscillations, damping device