

Зинченко А. М., *Кучма С. Н., Стародубов С. Ю.
 Донбасский государственный технический университет
 *E-mail: kuchmalana@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ВАЛОВ РОТАЦИОННЫМ РЕЗЦОМ С ЧАШЕЧНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

Работа посвящена токарной обработке нежестких валов. Предложен способ высокоскоростной токарной обработки нежесткого вала ротационным резцом с чашечным элементом. Установлено, что использование такого резца позволяет повысить точность обработки и качество обработанной поверхности нежесткого вала; увеличить период стойкости инструмента на 10...15 %.

Ключевые слова: нежесткий вал, токарная обработка, безвершинный резец, брьющее точение, ротационный резец, высокоскоростная обработка, смазывающе-охлаждающая жидкость, стойкость резца.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Одними из наиболее трудоемких при изготовлении являются детали, обладающие малой жесткостью, особенно нежесткие валы.

В виду малой жесткости обрабатываемого нежесткого вала технологическая система «станок — приспособление — инструмент — заготовка» оказывается крайне чувствительной к действию внешних поперечных сил и динамических факторов, сопутствующих процессу резания.

В связи с этим обработка нежестких валов связана со значительными трудностями, обусловливаемыми деформацией обрабатываемой детали под действием сил резания, а также возникновением вибраций детали в процессе обработки, которые бывают настолько интенсивными, что на практике вынуждают существенно снижать режим резания, прибегать к многопроходной обработке, приводят к снижению стойкости и долговечности режущего инструмента [1].

Важным условием при обработке нежестких валов инструментом с явной вершиной является необходимость точной установки вершины по центру заготовки. Это связано с тем, что фактические значения переднего и заднего углов зависят не

только от заточки, но и от погрешности установки инструмента на станке [2].

Смещение лезвия выше или ниже линии центров приведет к тому, что режущая кромка коснется поверхности заготовки нежесткого вала в некоторой точке А (рис. 1), в которой вектор скорости резания будет повернут относительно его исходного положения [3].

Следовательно, произойдет поворот статической основной плоскости вместе с вектором скорости резания, что вызовет изменение положения статической системы координат.

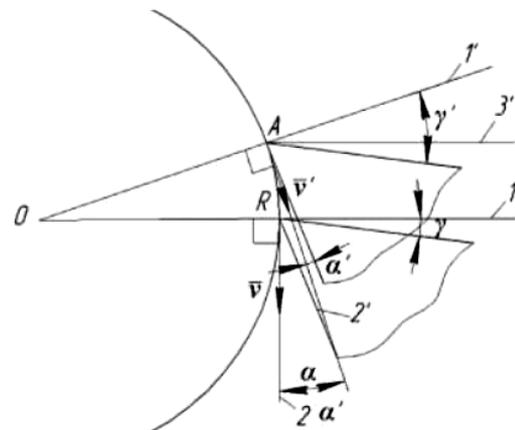


Рисунок 1 — Изменение переднего и заднего углов при различной установке резцов

Таким образом, при неправильной установке резца произойдет изменение его геометрических параметров относительно обрабатываемой заготовки нежесткого вала, в результате чего характеристики процесса (сила резания, трение) и результаты обработки (шероховатость, точность) могут не совпадать с заложенными на стадии проектирования технологического процесса. Одним из существенных недостатков резцов с вершиной в плане является сама вершина, которая будет слабым местом режущего лезвия. Вследствие быстрого её износа размерная точность обработки будет нарушена, также снизится качество обработанной поверхности, что является недопустимым при чистовой обработке нежесткого вала. Исключить вершину из процесса обработки можно, используя резцы с широкой главной режущей кромкой, наклоненной к оси вращения заготовки, которые также называют безвершинными резцами. Они имеют различное конструктивное исполнение и работают по различным технологическим схемам [1, 2, 4–6]. Вместе с тем они имеют ряд принципиальных сходств: вершина (как материальная точка) отсутствует, вспомогательные режущие кромки отсутствуют, в работе участвует одна протяженная главная режущая кромка.

Одним из вариантов реализации косоугольного точения безвершинными резцами является продольное точение широким резцом с перемещаемой кромкой [1, 7], у которого главный угол в плане φ равен нулю. Схема такого точения представлена на рисунке 2.

Как отмечено в работе [1], подобный способ чистовой токарной обработки нежестких валов обладает рядом преимуществ по сравнению с обычными резцами, имеющими вершину. Основные из них:

1) инструмент работает по принципу свободного резания, когда в работе участвует только прямолинейная главная режущая кромка (без вершины и вспомогательных режущих кромок);

2) отсутствие вершины позволяет повысить стойкость режущей кромки;

3) меньшее значение толщины срезаемого слоя по сравнению с обычными резцами, в результате чего возможна обработка с большими значениями подачи;

4) уменьшение толщины срезаемой стружки в направлении к обработанной поверхности;

5) при обработке прерывистых поверхностей достигается плавность врезания;

6) поскольку у режущей кромки отсутствует работающая вершина, существует возможность обновления калибрующего участка лезвия за счет перемещения резца вдоль режущей кромки.

Наряду с вышеперечисленными достоинствами стоит отметить и существенный недостаток — область применения ограничена, поскольку возможна лишь обработка наружных поверхностей нежестких валов с достаточным выходом для резца, а при обработке ступенчатых поверхностей будет образовываться протяженная галтель между двумя ступенями детали.

Необходимо отметить, что для токарной обработки нежестких валов применяются резцы, в державке которых на подшипниках установлен шпиндель с закрепленным чашечным режущим элементом, вращающимся под действием сил резания [8]. Однако отсутствие возможности регулирования подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) негативно влияет на долговечность резца.

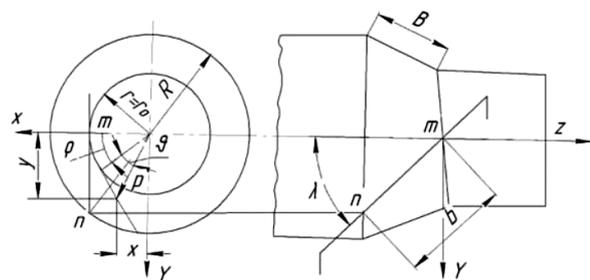


Рисунок 2 — Схема продольного точения резцом с перемещаемой режущей кромкой [2]

Постановка задачи. Таким образом, для высокоскоростной токарной обработки нежестких валов необходимо усовершенствовать конструкцию ротационного резца с чашечным элементом, которая обеспечит повышение его износостойкости и долговечности.

Объект исследования — токарная обработка нежестких валов: валов с отношением длины L к приведенному диаметру D более 12 ($L/D > 12$).

Предмет исследования — процесс высокоскоростной токарной обработки нежестких валов ротационным резцом с чашечным элементом.

Задачей исследования является повышение точности высокоскоростной токарной обработки нежестких валов путем применения ротационного резца с чашечным элементом.

Методика исследования. Представленные в работе результаты получены путем проведения теоретических исследований с использованием современного программного обеспечения и средств вычислительной техники на основе векторного исчисления, математического анализа и компьютерного моделирования. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях с использованием методик, приборов и установок для определения силовых зависимостей процесса резания, характеристик деформации обрабатываемого материала, точности и шероховатости обработанной поверхности.

Изложение материала. Поставленная в работе задача повышения точности высокоскоростной токарной обработки нежестких валов решается применением ротационного резца с чашечным элементом. Конструкция ротационного резца может включать корпус, шпиндель, установленный в корпусе на подшипниках, чашечный режущий элемент, закрепленный на шпинделе, имеющем центральное отверстие и устройство для подачи охлаждающей жидкости. Резец оборудован гидростатическими подшипниками, регулируемым устройством в виде золотника,

расположенного в центральном отверстии шпинделя с возможностью осевого перемещения регулировочного винта, пружины и шариков, расположенных между конической поверхностью и золотником. Причем между карманами гидростатического подшипника и центральным отверстием расположена дросселирующая щелевая перемычка, а между центральным отверстием и чашечным режущим элементом — специальные каналы. Кроме того, для подвода смазочно-охлаждающей жидкости в конструкции резца предусмотрен подводящий канал, расположенный непосредственно между насосом и центральным отверстием в шпинделе.

Сопротивление дросселирующей перемычки выбирается из условия обеспечения давления в кольцевой расточке, величина которого гарантировала бы преодоление центробежных сил, а именно:

$$p \geq 1,2\rho(nR)^2,$$

где ρ — плотность рабочей жидкости;
 n — частота вращения шпинделя в резце;
 R — радиус шпинделя в гидростатическом подшипнике.

Каналы, соединяющие центральное отверстие шпинделя с охлаждаемой поверхностью чашечного режущего элемента, выполнены в виде спиральных канавок переменного сечения, а в качестве рабочей жидкости гидростатического подшипника используется смазочно-охлаждающая жидкость.

Резец (рис. 3) состоит из корпуса 1, подшипниковых втулок 2 и 3 с радиальными и торцевыми карманами, которые вместе со шпинделем 4 создают гидростатические подшипники, в которые через дроссели А и Б подается рабочая жидкость. На шпинделе 4 с помощью гайки 5 закреплен чашечный режущий элемент 6. В шпинделе имеется центральное ступенчатое отверстие 7, в которое вставлен золотник 8. На торце гайки 5 имеются специальные спиральные каналы 9 переменного сечения, предназначенные для подачи смазочно-охлаждающей жидкости в зону обработки. Каналы 9 с помощью коль-

цевой канавки 10 и каналов 11 соединяются с левой частью центрального ступенчатого отверстия 7 шпинделя 4. В подшипниковой втулке 3 выполнена кольцевая расточка 12, соединенная с центральным ступенчатым отверстием 7 радиальными каналами 13. Между расточкой 12 и радиальными карманами втулки 3 расположена дросселирующая перемычка 14. Дренажная кольцевая канавка 15 соединена со сливной полостью каналом 16. Между левой и правой частями центрального ступенчатого отверстия расположена коническая поверхность 17, к которой в нерабочем положении (при отсутствии вращения резца), прижимается конус золотника 8. На правом торце шпинделя 4 расположена коническая поверхность 18, на которой размещены шарики 24, которые взаимодействуют с торцевой поверхностью золотника 8.

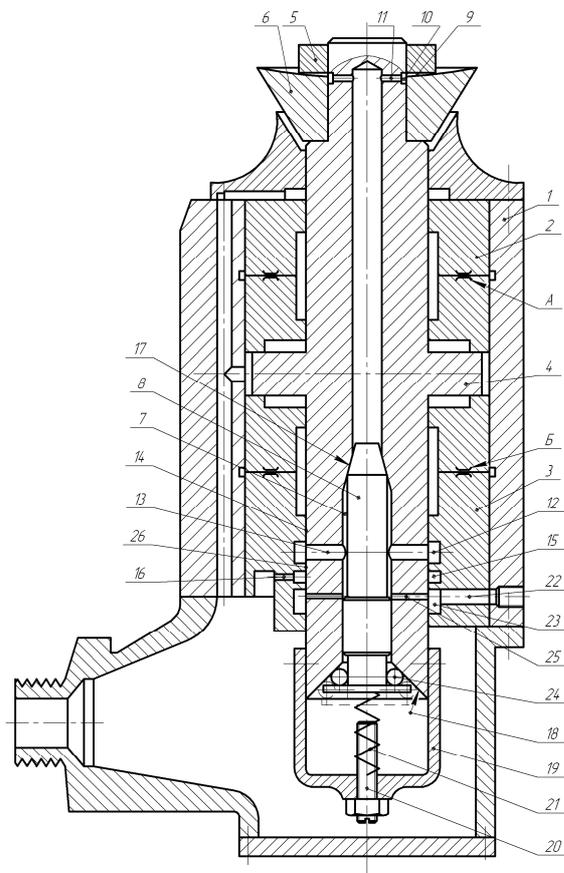


Рисунок 3 — Ротационный резец для высокоскоростной токарной обработки нежестких валов

На правом конце шпинделя закреплен стакан 19 с регулировочным винтом 20. Между стаканом 19 и золотником 8 установлена пружина 21. Дополнительно предусмотрен канал 22, кольцевая проточка 23 и каналы 25, соединенные с правой полостью центрального ступенчатого отверстия 7 шпинделя 4. Между проточкой 23 и канавкой 15 расположена кольцевая щель 26. Резец работает следующим образом. Рабочая жидкость от источника давления подается через дроссели А и Б в карманы подшипниковых втулок 2 и 3 гидростатических подшипников, далее через дросселирующую перемычку 14 в кольцевую расточку 12, из которой по каналам 13 попадает в правую полость центрального ступенчатого отверстия 7 шпинделя 4. Перед началом работы чашечного режущего элемента 6 золотник 8 своей конической частью прижимается пружиной 21 к конусу 17 в центральном ступенчатом отверстии 7 шпинделя 4, перекрывая попадание жидкости в левую полость центрального ступенчатого отверстия 7 и в зону резания, а рабочая жидкость из правой полости центрального ступенчатого отверстия 7 через кольцевую щель 26 попадает в кольцевую канавку 15 и далее по каналу 16 в сливную полость.

При вращении шпинделя 4 с чашечным режущим элементом 6 под действием центробежных сил шарики 24 перемещаются к периферии конической поверхности 18. Движение происходит в радиальном и осевом направлениях. Упираясь в торцевую поверхность золотника 8, шарики 24 обеспечивают его сдвиг вправо, открывая рабочей жидкости доступ в левую часть центрального ступенчатого отверстия 7, далее по каналам 9 в гайке 5 в зону охлаждения. При увеличении скорости резания, и, соответственно, частоты вращения шпинделя 4 возрастает величина центробежной силы, которая действует на шарики 24. Соответственно, шарики 24 смещают золотник 8 вправо, зазор между конусом золотника 8 и конической поверхностью 14 увеличивается. Вследствие этого увеличивается по-

дача жидкости в левую часть центрального ступенчатого отверстия 7 и в зону охлаждения. Предельная величина сдвига золотника 8 регулируется винтом 20, расположенным в торцевой стенке стакана 19. Выполнение каналов 9 в виде спирали (например, спирали Архимеда) увеличивает продолжительность контакта смазочно-охлаждающей жидкости с рабочей поверхностью чашечного режущего элемента, а переменное сечение канала позволяет повысить скорость утечки и распыления смазочно-охлаждающей жидкости.

В случае необходимости отключения подачи смазочно-охлаждающей жидкости в зону резания винт 20 вкручивается до упора в поверхность золотника 8, сдвигает его влево и перекрывает подачу смазочно-охлаждающей жидкости. Для увеличения объема подачи смазочно-охлаждающей жидкости и интенсификации охлаждения, а также с целью обеспечения возможности использования различных видов смазочно-охлаждающей жидкости, которые отличаются от рабочей жидкости, используемой в гидростатическом подшипнике, или при установке шпинделя ротационного резца в обычных опорах скольжения смазочно-охлаждающая жидкость может подаваться по отдельному каналу 22 непосредственно от насоса в кольцевую проточку 23 и далее в центральное ступенчатое отверстие 7 и в зону охлаждения. Автоматическая регулировка подачи смазочно-охлаждающей жидкости на рабочие поверхности чашечного режущего элемента и в зону обработки позволит обеспечить надежное охлаждение как участка режущей кромки, непосредственно участвующего в резании, так и прилегающих частей инструмента, способствуя более интенсивному отводу тепла из зоны ре-

зания. Особенно актуальным вопрос охлаждения инструмента становится при высокоскоростном резании, поскольку с ростом скорости резания возрастают тепловыделения, и температура инструмента может превысить температуру красностойкости инструментального материала, приводя к интенсивному износу резца.

Постоянное жидкостное трение, высокое демпфирование гидростатических подшипников и практическое отсутствие внешних динамических воздействий, за исключением процесса резания, позволяют повысить долговечность резца, качество и точность обработки.

Экспериментальные исследования, проведенные на образце из стали 40Х ГОСТ 4543-2016 с размерами $\varnothing 70 \times 1350$ мм, показали, что применение такого ротационного резца для высокоскоростной токарной обработки обеспечивает высокую точность обработки и шероховатость поверхности. Износостойкость высокоскоростного ротационного резца увеличивается от 10 до 15 % по сравнению со стандартными универсальными резцами.

Таким образом, выполненные исследования позволили сделать следующие **выводы**:

1. В результате применения ротационного резца с чашечным элементом повышаются точность обработки и качество обработанной поверхности нежесткого вала.

2. Такой ротационный резец может быть также использован в конструкциях с принудительным вращением резца при достаточной скорости его вращения.

3. Усовершенствованная конструкция ротационного резца позволяет увеличить его износостойкость по сравнению со стандартными универсальными резцами.

Список источников

1. Филиппов А. В. *Повышение точности обработки нежестких валов путем оптимизации параметров бегущего течения* : дисс. ... канд. техн. наук. Юрга, 2015. 194 с.
2. Полетика М. Ф. *Теория резания*. Томск. : Изд-во ТПУ, 2001. Ч. 1 : *Механика процесса резания*. 202 с.

3. Минасян Г. С. Шероховатость поверхности при точении безвершинным резцом БРМ-1 // Известия академии наук АССР. 1970. № 4. С. 3–6.

4. Бобро В. Ф., Иерусалимов Д. Е. Резание металлов самовращающимися резцами. М. : Машиностроение, 1972. 110 с.

5. Галоян Г. П. Теоретические основы нового процесса диагонального точения с обоснованием путей его реализации : дисс. ... канд. техн. наук. Ленинакан, 1986. 157 с.

6. Зелинский В. В., Карпов А. В. Совершенствование чистовой токарной обработки путём применения инструментов безвершинных конструкций // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2011. № 3. С. 73–76.

7. Филиппов А. В. Косоугольное точение бреющими резцами // Актуальные проблемы в машиностроении : сб. науч. тр. I междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2014. С. 236–241.

8. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов : а. с. 730483 СССР. № 26649884/25-08 ; заявл. 18.09.78 ; опубл. 30.04.80, Бюл. 16. 3 с.

© Зинченко А. М., Кучма С. Н., Стародубов С. Ю.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. ЛГУ им. В. Даля Витренко В. А.,
к.т.н., доц., зав. каф. ММК ДонГТУ Денисовой Н. А.**

Статья поступила в редакцию 11.12.2024.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Зинченко Андрей Михайлович, канд. экон. наук, доцент, зав. каф. технологии и организации машиностроительного производства
Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Россия

Кучма Светлана Николаевна, канд. техн. наук, доцент каф. технологии и организации машиностроительного производства
Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Россия,
e-mail: kuchmalana@mail.ru

Стародубов Сергей Юрьевич, старший преподаватель каф. технологии и организации машиностроительного производства
Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Россия

Zinchenko A. M., *Kuchma S. N., Starodubov S. Yu. (Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia, *e-mail: kuchmalana@mail.ru)

INCREASING THE EFFICIENCY OF TURNING NON-RIGID SHAFTS BY A ROTARY CUTTER WITH A CUP ELEMENT

The work deals with turning of non-rigid shafts. A method of high-speed turning of a non-rigid shaft by a rotary cutter with a cup element is proposed. It has been found that the use of such cutters allows to increase the accuracy of machining and the quality of machined surface of the non-rigid shaft; to increase the tool life by 10...15 %.

Key words: non-rigid shaft, turning, peakless cutter, shaving turning, rotary cutter, high-speed processing, rolling solution, cutting-tool life.

References

1. Filippov A. V. Increase of machining accuracy of non-rigid shafts by optimization of shaving turning parameters : diss. ... cand. of tech. sciences [Povyshenie tochnosti obrabotki nezhestkih valov putem optimizacii parametrov breyushchego tocheniya : diss. ... kand. tekhn. nauk]. Yurga, 2015. 194 p. (rus)
2. Poletika M. F. Theory of cutting : Part 1 : Mechanics of cutting process [Teoriya rezaniya : Ch. 1 : Mekhanika processa rezaniya]. Tomsk : Izd-vo TPU, 2001. 202 p. (rus)
3. Minasyan G. S. Surface roughness during turning with a peakless cutter BRM-1 [Sherohovatost' poverhnosti pri tochenii bezvershinnyim rezcom BRM-1]. Izvestiya akademii nauk ASSR. 1970. No. 4. Pp. 3–6. (rus)
4. Bobro V. F., Ierusalimov D. E. Cutting of metals with self-rotating cutters [Rezanie metallov samovrashchayushchimisya rezcami]. M. : Mashinostroenie, 1972. 110 p. (rus)
5. Galoyan G. P. Theoretical foundations of a new process of diagonal turning with justification of ways for its realization : diss. ... cand. of tech. sciences [Teoreticheskie osnovy novogo processa diagonal'nogo tocheniya s obosnovaniem putej ego realizacii : diss. ... kand. tekhn. nauk]. Leninsk, 1986. 157 p. (rus)
5. Zelinskij V. V., Karpov A. V. Using peakless design tools to improve finishing turning [Sovershenstvovanie chistovoj tokarnoj obrabotki putyom primeneniya instrumentov bezvershinnykh konstrukcij]. Mechanical engineering and life safety. 2011. No. 3. Pp. 73–76. (rus)
7. Filippov A. V. Bevel turning with shaving cutters [Kosougol'noe tochenie breyushchimi rezcami]. Aktual'nye problemy v mashinostroenii : sbornik nauchnykh trudov I mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Novosibirsk : Izd-vo NGTU, 2014. Pp. 236–241. (rus)
8. Progressive schemes of rotary cutting of metals : a. s. 730483 USSR. No. 26649884/25-08 ; submitted 18.09.78 ; published 30.04.80, Bull. 16. 3 p.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zinchenko Andrey Mikhailovich, PhD in Economic Sciences, Assistant Professor, Acting Head of the Department of Technology and Machine-building Production
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia

Kuchma Svetlana Nikolayevna, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Technology and Machine-building Production
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia,
e-mail: kuchmalana@mail.ru

Starodubov Sergey Yuriyevich, Senior lecturer of the Department of Technology and Machine-building Production
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia