

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.83.06

К. А. Бычинский, А. В. Капитонов

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ ПОВОДКОВЫХ УСТРОЙСТВ ТОРЦОВОГО ТИПА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

UDC 621.83.06

K. A. Bychinsky, A. V. Kapitonov

THE DEVELOPMENT OF DESIGNS OF WORK CARRIER DEVICES OF THE END TYPE AND THE INVESTIGATION INTO THEIR MANUFACTURING CAPABILITIES

Аннотация

Разработаны конструкции поводковых устройств, отличающиеся способностью передачи больших вращающих моментов, повышающих точность обработки и расширяющих технологические возможности обработки на токарных станках. На основе теоретических и экспериментальных исследований установлены зависимости вращающего момента, передаваемого поводками, и глубины их внедрения в заготовку от осевой силы, твердости заготовок и геометрических параметров поводков. Установлены максимальные вращающие моменты, передаваемые поводками, и оптимальные режимы резания при обработке деталей с помощью поводковых устройств. Получены эмпирические зависимости глубины внедрения поводков и вращающего момента от осевой силы.

Ключевые слова:

поводковые устройства, глубина внедрения поводков, максимальные вращающие моменты, точность обработки.

Abstract

Designs of work carrier devices are developed that are able to transfer high running torques, increasing the machining accuracy and expanding the manufacturing capabilities of turning machines. Based on theoretical and experimental researches, it is established how the torque transferred by the work carriers and the depth of their penetration into the workpiece depend upon the axial force, the workpiece hardness and geometrical parameters of work carriers. Maximum running torques transferred by lathe carriers and optimum cutting conditions during the machining with the help of work carrier devices are determined. Empiric dependences of both the depth of work carrier penetration and the running torque upon the axial force are obtained.

Key words:

work carrier devices, depth of work carrier penetration depth, maximum running torques, machining accuracy.

Поводковые устройства с плавающими центрами для обработки на токарных и шлифовальных станках широко используются на производстве. Их преимущества по сравнению с поводковыми патронами или хомутиками оче-

видны, т. к. последние не позволяют обрабатывать все поверхности детали за один установ. Токарные станки с ЧПУ позволяют обрабатывать валы за один установ по программе с автоматической сменой режущих инструментов, если

обработке поверхности вала не препятствует поводковый патрон. Поэтому представляется наиболее эффективным использование поводковых устройств с плавающими центрами на токарных станках с ЧПУ, обеспечивающих возможность обработки детали с двух торцов и тем самым повышающих производительность обработки.

Для анализа существующих конструкций поводковых устройств были проведены патентные исследования, на основе которых были разработаны поводковые устройства для обработки на токарных станках, отличающиеся простотой конструкции, передачей больших крутящих моментов, возможностью точной

установки обрабатываемых заготовок.

На рис. 1 представлено поводковое устройство, которое состоит из корпуса 1, внутри которого расположен центр 2, пружины 3, конических поводков 4, размещенных на расстоянии, равном радиусу R . Обрабатываемая заготовка устанавливается центровым отверстием на подпружиненный базирующий центр и поджимается пинолью задней бабки осевой силой Q . Поводки внедряются в заготовку и передают вращающий момент. Данное устройство предполагает точное изготовление поводков по длине для обеспечения одинакового внедрения поводков в торец заготовки.

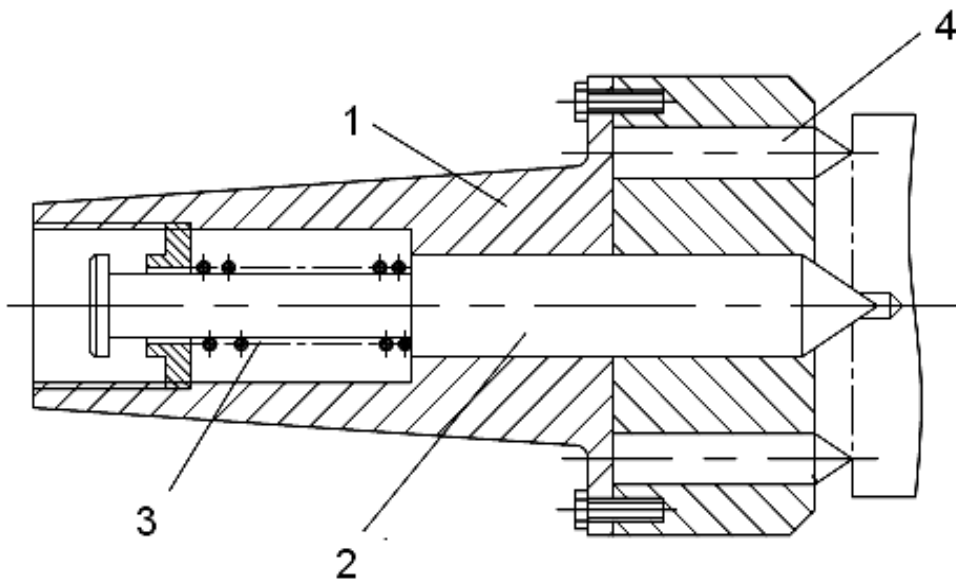


Рис. 1. Поводковый центр с коническими поводками

На рис. 2 представлено поводковое устройство с клиновыми поводками, которое имеет шпонки 1 для направления поводков 2 и расположения их лезвий радиально по отношению к центру, пружины 3 для равномерного внедрения поводков в заготовку. В устройстве несколько рядов поводков, и это дает возможность обрабатывать детали разных диаметров или устанавливать большее число повод-

ков, а также за счет увеличения осевой силы Q получать большие крутящие моменты. В данных поводковых устройствах конические и клиновые наконечники должны быть изготовлены из материала высокой твердости для уменьшения их поломок и пластических деформаций и увеличения вращающих моментов.

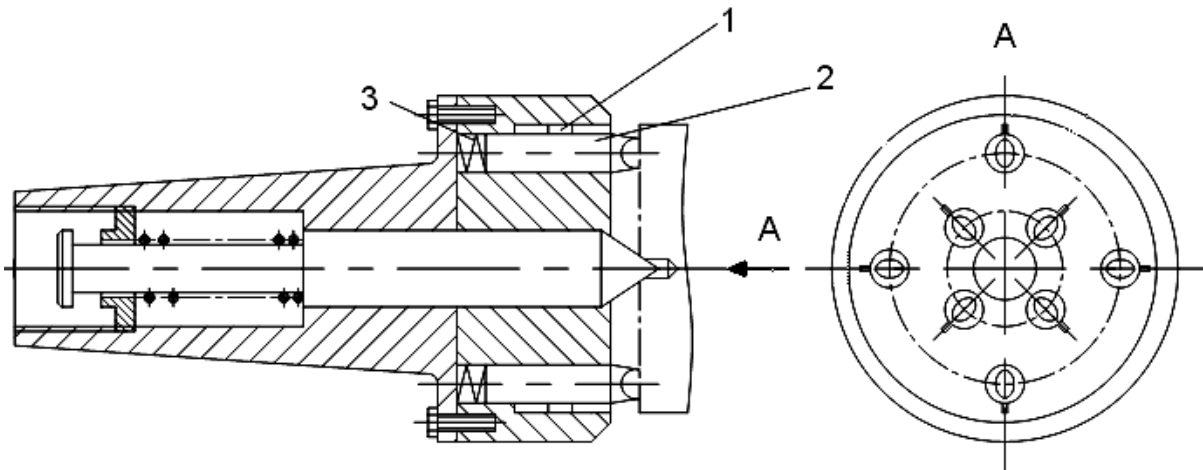


Рис. 2. Поводковый центр с клиновыми поводками

Исследования зависимостей глубины внедрения поводков и крутящих моментов, передаваемых поводками, от осевой силы, твердости заготовок и геометрических параметров поводков

Для определения силы закрепления деталей Q с помощью поводковых устройств и вращающих моментов, развиваемых поводками, может быть положено решение задачи о внедрении симметричного недеформируемого клина или конуса с углом 2β в полубесконечное жесткопластическое пространство. Для расчета основных характеристик поводковых центров воспользуемся [1, 2].

Определим глубину внедрения клинового поводка в материал заготовки:

$$H = \frac{F}{4 \cdot k \cdot (1 + \psi) \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot B}, \quad (1)$$

где F – сила, действующая на один поводок; k – напряжение текучести при сдвиге, величина которого зависит от принятого условия пластичности; ψ – угол центрированного веера; β – угол клина; B – длина клина.

Значение $k = \sigma_{TC} / 2$, если принять, что выполняется условие пластичности Треска. Если принято условие пластичности Мизеса, то

$$k = \sigma_{TC} / \sqrt{3}, \quad (2)$$

где σ_{TC} – напряжение текучести материала заготовки при его одноосном сжатии,

$$\sigma_{TC} = 14 + 0,34HB. \quad (3)$$

Момент, развиваемый одним поводком, размещенным на расстоянии R от оси вращения поводкового устройства, определяется как

$$\bar{M}_B = 2k(1 + \psi)H \cdot B \cdot R. \quad (4)$$

Если поводков n и все они внедрены в металл заготовки на одинаковую глубину, то суммарный момент, передаваемый этими поводками,

$$M_B = \bar{M}_B \cdot n. \quad (5)$$

Исследования влияния геометрических параметров и твердости заготовок на глубину внедрения поводков и вращающий момент, передаваемый поводками, проводились с использованием приведенных выше зависимостей (представлены на рис. 3...5).

Представленные графики (см. рис. 3...5) характеризуют зависимости глубины внедрения поводков от твердости материала заготовок, числа поводков и угла клина при их вершине. Глубина внедрения поводков H влияет на

максимальную величину передаваемого ими вращающего момента. При малых значениях $H < 0,1$ мм может произойти смятие или поломка поводков при больших моментах резания. Поэтому для обеспечения надежности работы поводковых устройств не рекомендуется обрабатывать детали при малых значениях глубины врезания поводков.

На рис. 5 представлены графики зависимостей вращающего момента от осевой силы закрепления при разных углах клина поводков. График 3 характеризует зависимость момента резания M_p от тангенциальной силы резания P_z (при обработке заготовки диаметром

60 мм). Из графиков видно, что при углах заострения поводков $2\beta = 15^\circ$ и $2\beta = 30^\circ$ при любых моментах резания и равенстве сил закрепления детали Q и силы резания P_z обработка деталей обеспечивается. При больших углах заострения поводков необходимо увеличивать осевую силу Q (что не всегда возможно) или уменьшать силу резания P_z . Таким образом, как показывают графики, черновая обработка с помощью разработанных поводковых устройств с силами резания от 2 кН и выше возможна, а при углах заострения поводков $2\beta = 15^\circ$ и $2\beta = 30^\circ$ возможна обработка с большими вращающими моментами.

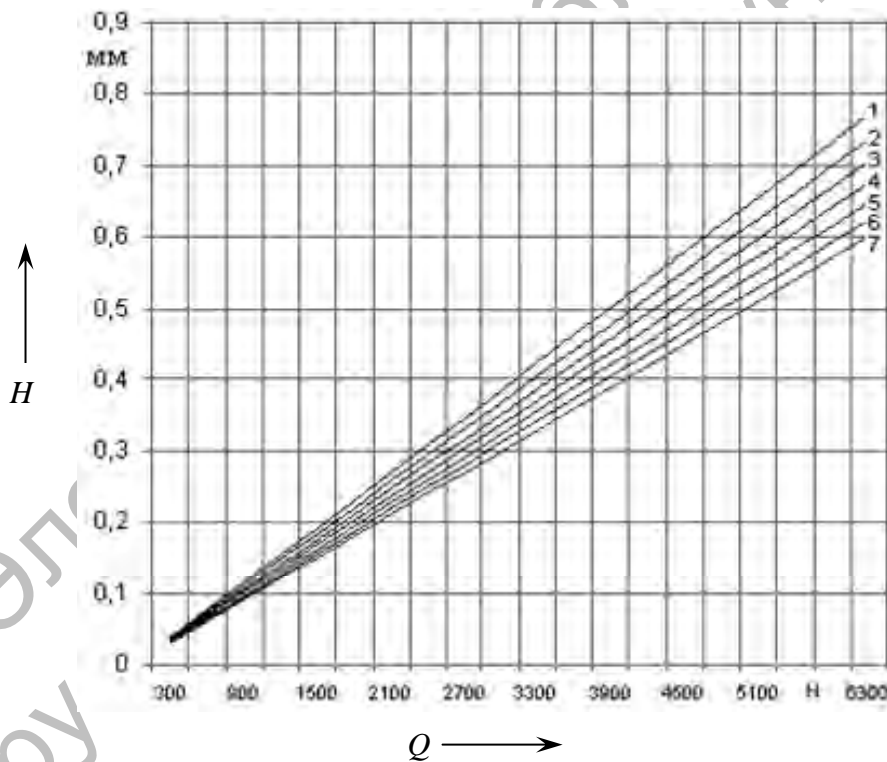


Рис. 3. Графики, характеризующие глубину внедрения поводков в торец заготовки от осевой силы Q и твердости заготовки HB: 1 – HB 170; 2 – HB 180; 3 – HB 190; 4 – HB 200; 5 – HB 210; 6 – HB 220; 7 – HB 230

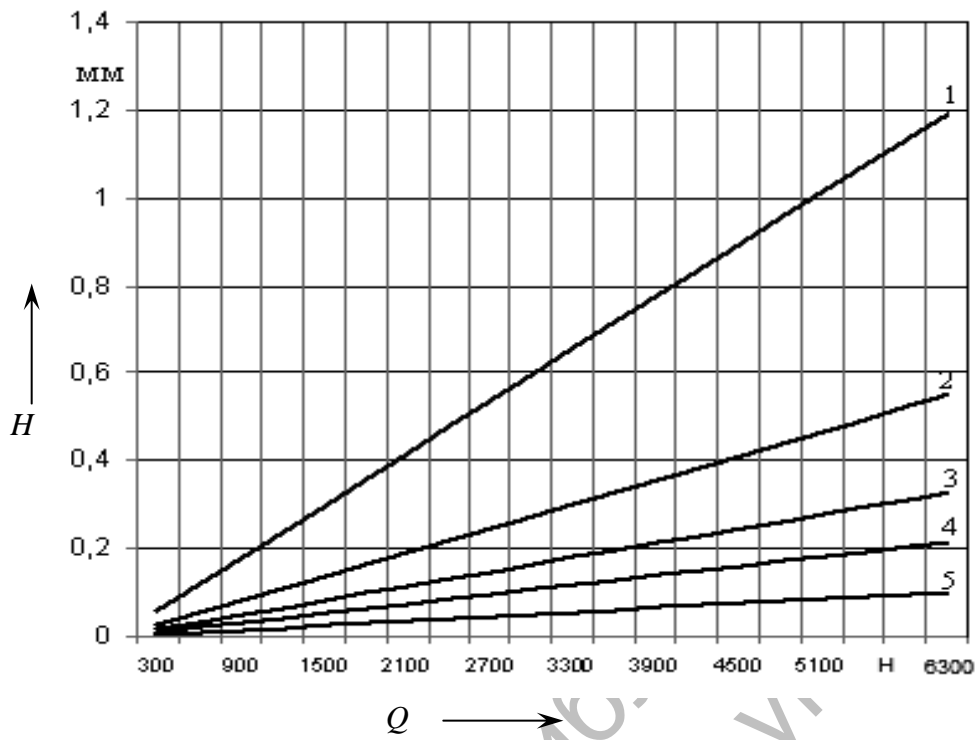


Рис. 4. Графики, характеризующие глубину внедрения поводков в торец заготовки от осевой силы Q и угла клина поводка 2β : 1 – $2\beta = 15^\circ$; 2 – $2\beta = 30^\circ$; 3 – $2\beta = 45^\circ$; 4 – $2\beta = 60^\circ$; 5 – $2\beta = 90^\circ$

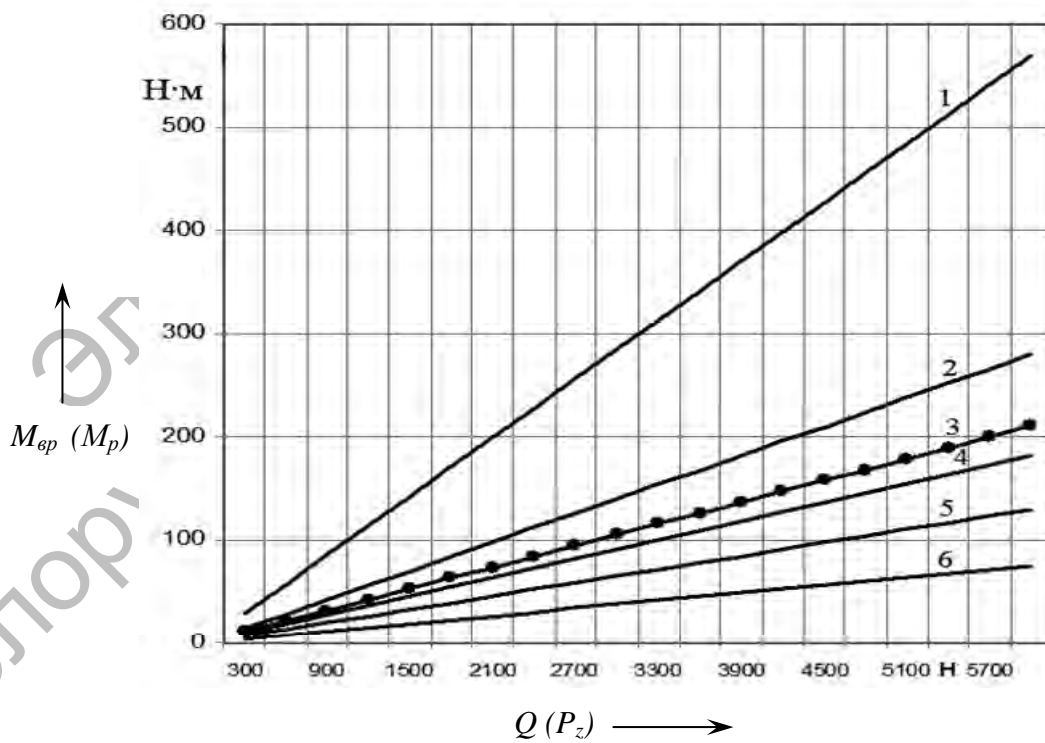


Рис. 5. Зависимости вращающего момента $M_{ср}$, передаваемого клиновыми поводками, от осевой силы Q и углов заострения поводков 2β : 1 – $2\beta = 15^\circ$; 2 – $2\beta = 30^\circ$; 4 – $2\beta = 45^\circ$; 5 – $2\beta = 60^\circ$; 6 – $2\beta = 90^\circ$

**Разработка стенда для измерения
крутящих моментов
от осевых сил закрепления заготовок**

Экспериментальные исследования поводковых устройств проводились с использованием установки, собранной на базе токарно-винторезного станка 16К20 (рис. 6). В трехкулачковом патроне

установлено поводковое устройство, в данном случае – ведущий центр 13, взаимодействующий с центровым гнездом заготовки 12, установленной на специальной оправке 11. Заготовка 12 установлена с помощью двух торцовых шпонок 2 на оправке без возможности свободного вращения.

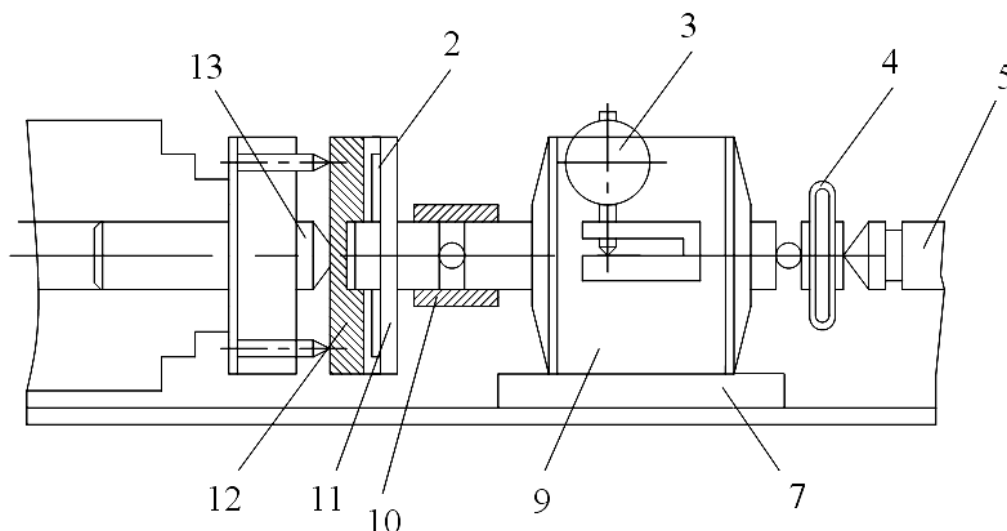


Рис. 6. Установка для исследования поводковых центров

На суппорте закреплен порошковый электромагнитный тормоз 9 типа ПТ16М1 с возможностью свободного продольного вращения по направляющим 7. Оправка 11 неподвижно связана с валом электромагнитного тормоза жесткой муфтой 10. Правый конец тормоза может взаимодействовать с вращающимся центром 5, расположенным в задней бабке станка, через динамометр сжатия 4 типа ДОСМ.

Данная наладка дает возможность обеспечить силовое взаимодействие заготовки 12 с ведущим центром 13 путем поджатия заготовки к этому центру задней бабкой через вращающийся центр 5, динамометр 4, электромагнитный тормоз 9 и оправку 11. Осевая сила поджатия Q измеряется с помощью динамометра 4 по показаниям индикатора, которым снабжен динамометр. В зависимости от величины силы Q жесткий

центр 13 может передать вращающий момент $M_{вр}$, который измеряется с помощью электромагнитного тормоза 9.

С помощью задней бабки создается нагрузка системы силой Q . Включается вращение шпинделя станка, при котором в силу наличия сил трения на поверхности контакта ведущего центра 13 с деталью 12 происходит вращение детали. Стрелка индикатора 3 электротормоза устанавливается на ноль. Затем подачей напряжения на обмотку электромагнитного тормоза создается возрастающий тормозной момент, препятствующий вращению заготовки совместно с центром 13. В момент времени, соответствующий повороту заготовки относительно центра, фиксируется показание индикатора 3 и определяется наибольший вращающийся момент, который могут передать поводки при заданном значении осевой силы.

Исследование глубины внедрения поводков и максимальных крутящих моментов, передаваемых поводковыми устройствами

Экспериментальные исследования поводковых устройств проводились по двум направлениям: исследование глубины внедрения поводков в обрабатываемый материал и исследование влияния различных факторов на вращающий момент, развиваемый поводками. Исследования проводились на установке, представленной на рис. 6.

Оценка глубины внедрения поводков осуществлялась с помощью индикаторного устройства, состоящего из стойки, индикатора часового типа с ценой деления 0,001 мм и остроконечного щупа индикатора. Устанавливались глубины H внедрения клиновых поводков из твердого сплава Т15К6 с длиной

лезвия $B = 4$ мм в стальные заготовки из стали 45 и чугунные из серого чугуна СЧ20 в зависимости от твердости заготовок НВ и осевой силы F , приходящейся на один поводок.

На рис. 7 и 8 представлены результаты исследований глубины внедрения поводков в стальные заготовки с твердостью поверхности НВ 220, НВ 240, НВ 255 и НВ 320 при угле клина поводка $2\beta = 45^\circ$. Проведена аппроксимация полученных экспериментальных данных полиномом второй степени и получены математические зависимости.

Исследования наибольшего вращающего момента от клиновых поводков из твердого сплава Т15К6, имеющих углы при вершине $2\beta = 45^\circ$ при разной твердости заготовок, представлены на рис. 9 и 10.

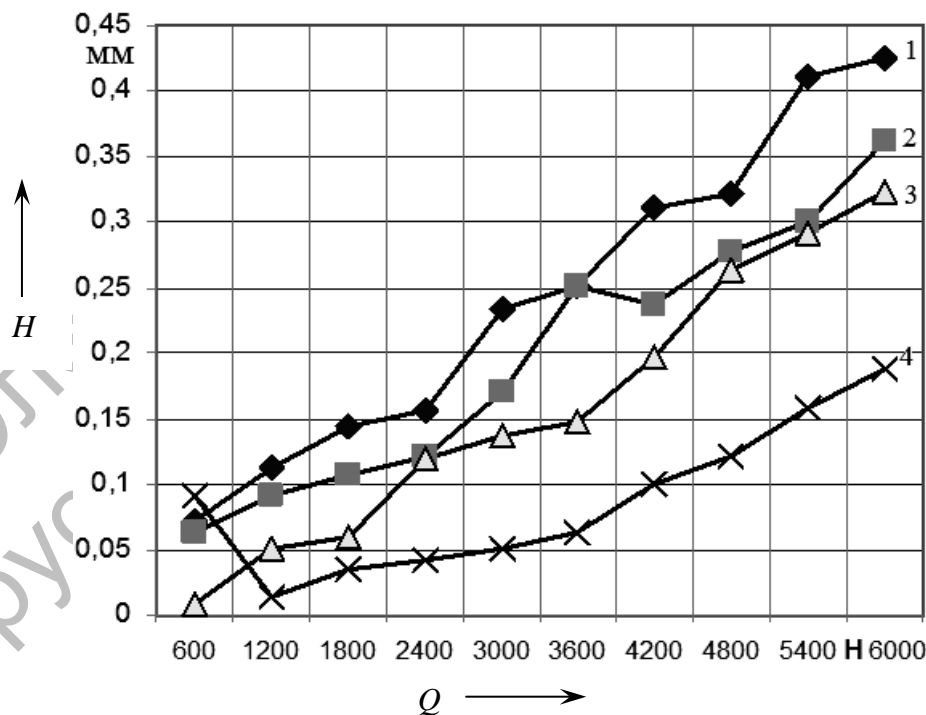


Рис. 7. Графики, характеризующие глубину внедрения поводков в торец заготовки от осевой силы Q и твердости заготовки НВ: 1 – НВ 220; 2 – НВ 240; 3 – НВ 255; 4 – НВ 320

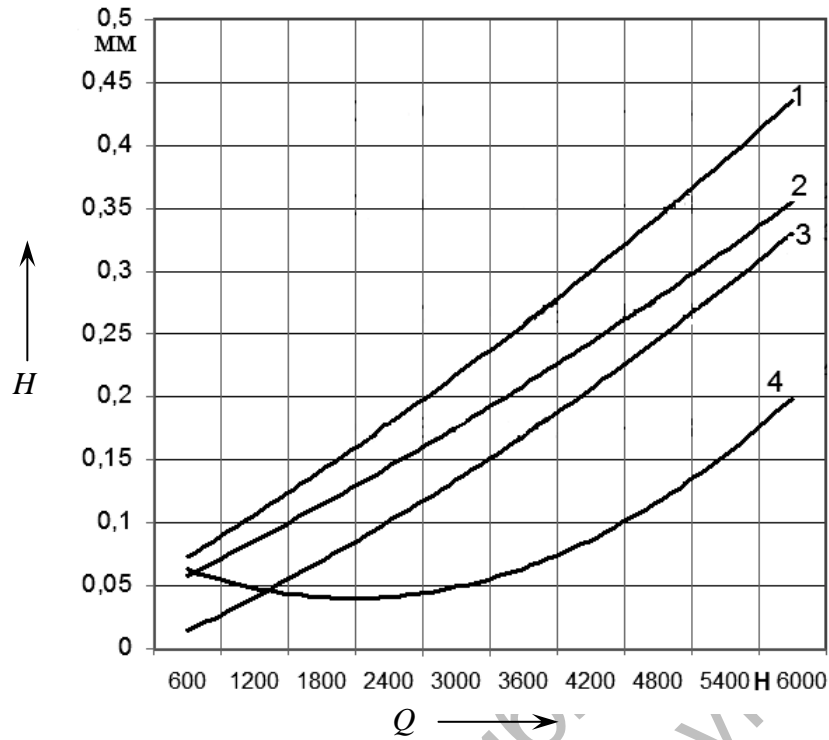


Рис. 8. Аппроксимация графиков, представленных на рис. 7: 1 – $y = 0,0008x^2 + 0,0311x + 0,0412$; 2 – $y = 0,0007x^2 + 0,0252x + 0,0329$; 3 – $y = 0,001x^2 + 0,0238x - 0,0102$; 4 – $y = 0,0037x^2 - 0,0258x + 0,085$

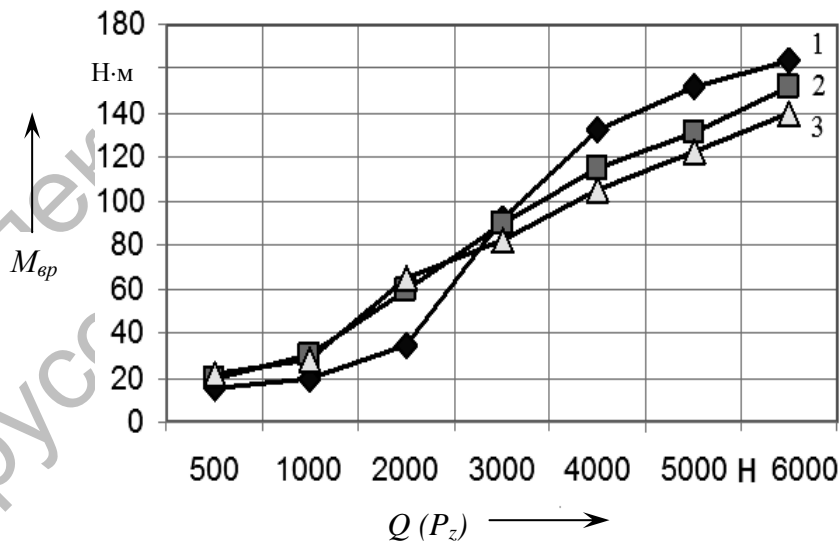


Рис. 9. Зависимости вращающего момента $M_{вр}$, передаваемого клиновыми поводками, от осевой силы Q и углов заострения поводков 2β : 1 – $2\beta = 45^\circ$; 2 – $2\beta = 60^\circ$; 3 – $2\beta = 90^\circ$

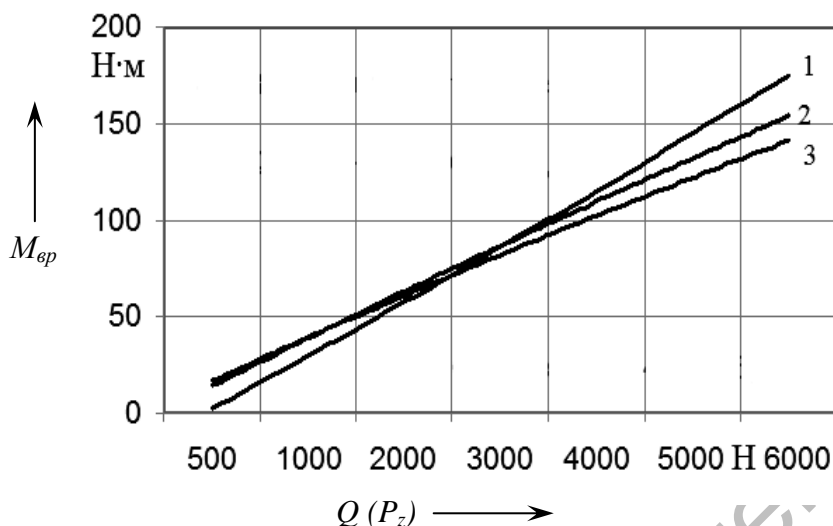


Рис. 10. Аппроксимация графиков, представленных на рис. 9: 1 – $y = 0,3095x^2 + 26,381x - 24,571$; 2 – $y = -0,2976x^2 + 25,702x - 11,429$; 3 – $y = -0,3333x^2 + 23,452x - 6,5714$

Исследования момента, развиваемого поводковыми устройствами с клиновыми и коническими поводками, показали, что предельная величина момента, передаваемого на заготовку как клиновыми, так и коническими поводками определяется их поломкой или пластическим деформированием. Поэтому поводки изготавливались из твердого сплава Т15К6, т. к. было установлено, что поводки из этого материала способны передавать большие вращающие моменты. Как показали исследования, притупленные при вершине конические поводки являются более прочными, чем клиновые, и в ряде случаев передают большие крутящие моменты, т. к. больше внедряются в заготовку. Конические поводки с острыми вершинами менее надежны.

Экспериментальные результаты, представленные на графиках, подтверждают теоретические исследования и доказывают возможность обработки с помощью рассматриваемых поводковых устройств с большими моментами резания.

Проверка адекватности теоретических и экспериментальных результатов исследований поводковых устройств

Проверим адекватность теоретических и экспериментальных результатов [3–5]. Для проверки моделей были проведены три параллельных эксперимента, результаты которых представлены в табл. 1.

Табл. 1. Связь теоретических и экспериментальных значений вращающих моментов, передаваемых клиновыми поводками при НВ 255, $2\beta = 45^\circ$

Осевая сила Q, Н	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000
M_T , Н·м	18	27	63	90	117	153	181
M_{31} , Н·м	15	20	35	92	132	152	164
M_{22} , Н·м	20	22	43	91	128	150	170
M_{33} , Н·м	17	25	50	94	131	151	162

Измерения осуществлялись на стенде (см. рис. 6). В табл. 1 значения моментов M_T соответствуют расчетным значениям, представленным на рис. 5. Значения моментов $M_{\beta 1}, \dots, M_{\beta 3}$ соответствуют экспериментальным значениям.

По этим результатам была построена модель первого порядка, согласно которой

$$M_{\beta} = -23,85 + 28,25M_T; \quad r = 0,85. \quad (6)$$

Полученный результат свидетельствует о том, что связь экспериментальных и теоретических данных весьма тесная (коэффициент корреляции $r = 0,85$).

Для проверки значимости и адекватности уравнения (6), что эквивалентно проверке адекватности теоретических и экспериментальных результатов, были рассчитаны суммы квадратов и соответствующие им степени свободы:

$$S_0^2 = \sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^u (A_{ij} - \bar{A})^2;$$

$$S_{ou}^2 = \sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^u (A_{ij} - \bar{A}_i)^2; \quad f_{ou} = i(u-1);$$

$$S_{pez}^2 = S_0^2 \cdot r^2; \quad f_{pez} = k = 1;$$

$$S_{ocm}^2 = S_0^2 \cdot (1 - r^2); \quad f_{ocm} = ui - k - 1,$$

где i – число уровней изменения независимой переменной (равно числу гармоник), $i = 7$; k – порядок модели, $k = 1$; u – число дублирующих экспериментов $u = 3$; S_0^2 – общая сумма квадратов; S_{ou}^2 – сумма квадратов, характеризующая ошибку наблюдений; S_{ocm}^2 – остаточная сумма квадратов; S_{pez}^2 – сумма квадратов, характеризующая регрессионную связь; f_{ou} , f_{pez} , f_{ocm} – соответствующие числа степеней свободы сумм квадратов.

Для данных, представленных в табл. 1, были получены значения

$$S_0^2 = 326,6; \quad S_{pez}^2 = 239,6;$$

$$S_{ocm}^2 = 85,1; \quad S_{ou}^2 = 3,8.$$

Таким образом, полученная модель значима на уровнях значимости 0,05 и 0,01, т. к. расчетное F -отношение $F_{расч}$ превышает табличное значение критерия Фишера для этих условий.

$$F_{расч} = \frac{S_{pez}^2 / f_{pez}}{S_{ocm}^2 / f_{ocm}} = 53,6 > F_{\alpha; f_{pez}; f_{ocm}};$$

$$F_{0,05; 1; 19} = 4,38; \quad F_{0,01; 1; 19} = 8,18.$$

Анализируемая модель также адекватна экспериментальным результатам, т. к. на уровнях значимости 0,05 и 0,01 выполняется условие

$$F_{расч} = \frac{S_{ocm}^2 / f_{ocm}}{S_{ou}^3 / f_{ou}} = 16,5 > F_{\alpha; f_{ocm}; f_{ou}},$$

потому что $F_{0,05; 19; 14} = 2,39$; $F_{0,01; 19; 14} = 3,51$.

Таким образом, регрессионная модель (6), связывающая теоретические и экспериментальные данные, значима и адекватна.

Заключение

1. Разработаны конструкции поводковых устройств, отличающиеся способностью передачи больших вращающих моментов, повышающих точность обработки за счет равномерного внедрения в заготовку и расширяющих технологические возможности обработки на токарных станках.

2. На основе теоретических и экспериментальных исследований установлены зависимости вращающего момента, передаваемого поводками, и глубины их внедрения в заготовку от осевой силы, твердости заготовок и геометрических параметров поводков.

3. Установлены максимальные вращающие моменты, передаваемые поводками, и оптимальные режимы резания при обработке деталей с помощью поводковых устройств.

4. Получены эмпирические зависимости глубины внедрения поводков и вращающего момента от осевой силы.

5. Установлены возможность черновой обработки деталей с помощью разработанных конструкций и, следовательно, возможность обработки деталей за один установ, что позволяет умень-

шить время на переустановку деталей, повысить точность расположения их поверхностей, уменьшить припуски на обработку и получить значительный экономический эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Качанов, Л. М.** Основы теории пластичности : учеб. пособие для университетов / Л. М. Качанов. – М. : Изд-во технико-теоретической лит-ры, 1956. – 324 с.
2. Технологическая оснастка: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / М. Ф. Пашкевич [и др.]. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2002. – 320 с.
3. **Солонин, И. С.** Математическая статистика в технологии машиностроения / И. С. Солонин. – М. : Машиностроение, 1972. – 215 с.
4. **Пустыльник, Е. И.** Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е. И. Пустыльник. – М. : Наука, 1968. – 288 с.
5. **Драйпер, Н.** Прикладной регрессионный анализ / Н. Драйпер, Г. Смит. – М. : Физматгиз, 1973. – 326 с.
6. **Герасимович, А. И.** Математическая статистика / А. И. Герасимович, Л. И. Матвеева. – Минск : Выш. шк., 1978. – 200 с.

LIST OF LITERATURE

1. **Kachanov, L. M.** Fundamentals of plasticity theory : tutorial for Universities / L. M. Kachanov. – M. : Izd-vo tekhniko-teoreticheskoy lit-ry, 1956. – 324 p.
2. Production tooling: textbook for mechanical engineering students of HEI / M. F. Pashkevich [et al.]. – Minsk : Adukatsiya i vykhavanne, 2002. – 320 p.
3. **Solonin, I. S.** Mathematical statistics in machine-building technology / I. S. Solonin. – M. : Mashinostroenie, 1972. – 215 p.
4. **Pustyl'nik, E. I.** Statistical methods of analysis and processing of observations / E. I. Pustyl'nik. – M. : Nauka, 1968. – 288 p.
5. **Drajper, N.** Applied regression analysis / N. Drajper, G. Smith. – M. : Fizmatgiz, 1973. – 326 p.
6. **Gerasimovich, A. I.** Mathematical statistics / A. I. Gerasimovich, L. I. Matveyeva. – Minsk : Vysh. shk., 1978. – 200 p.

LIST OF LITERATURE (TRANSLITERATION)

1. **Kachanov, L. M.** Osnovy teorii plastichnosti : ucheb. posobie dlya universitetov / L. M. Kachanov. – M. : Izd-vo tekhniko-teoreticheskoy lit-ry, 1956. – 324 s.
2. Tekhnologicheskaya osnastka: uchebnik dlya studentov mashinostr. spets. vuzov / M. F. Pashkevich [i dr.]. – Minsk : Adukatsiya i vykhavanne, 2002. – 320 s.
3. **Solonin, I. S.** Matematicheskaya statistika v tekhnologii mashinostroeniya / I. S. Solonin. – M. : Mashinostroenie, 1972. – 215 s.
4. **Pustyl'nik, E. I.** Statisticheskie metody analiza i obrabotki nablyudenij / E. I. Pustyl'nik. – M. : Nauka, 1968. – 288 s.
5. **Drajper, N.** Prikladnoj regressionnyj analiz / N. Drajper, G. Smith. – M. : Fizmatgiz, 1973. – 326 s.
6. **Gerasimovich, A. I.** Matematicheskaya statistika / A. I. Gerasimovich, L. I. Matveyeva. – Minsk : Vysh. shk., 1978. – 200 s.

Статья сдана в редакцию 7 октября 2011 года

Константин Александрович Бычинский, ведущий инженер, Белорусско-Российский университет.
Александр Валентинович Капитонов, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-029-240-34-89.
Konstantin Alexandrovich Bychinsky, engineer, Belarusian-Russian University.
Alexander Valentinovich Kapitonov, PhD, Associate Professor, Belarusian-Russian University. Tel.: 8-029-240-34-89.