

УДК 621.9

Е.А. Кудряшов, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: kea-swsu@mail.ru)

И.С. Крылов, инженер, АО «Научно-исследовательский инженерный институт» (Балашиха, Московская область, Россия) (e-mail: maggott2301@rambler.ru)

Н.А. Хижняк, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: kraxmall@yandex.ru)

О РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ТОЧЕНИЯ КОНСТРУКТИВНО СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Актуальной научной и практической задачей является повышение эффективности проектирования технологических процессов изготовления деталей сложной конструктивной формы. Трудоемкость проектных работ связана с обширным разнообразием форм и размеров создаваемых изделий, применением широкого круга конструкционных материалов и их сочетаний, наличием на обрабатываемых поверхностях разных размеров и расположения второстепенных отверстий, пазов, выточек, лысок и других элементов, разрывающих контур базовой поверхности заготовки и являющихся причиной возникновения прерывистости процесса точения.

Целью данной работы является использование возможностей комплексной детали для проектирования групповой технологии механической обработки. Комплексная деталь, состоящая из полного набора всех основных и второстепенных конструктивных элементов, является объектом, искусственно созданным для моделирования условий прерывистого резания достаточно большой группы однотипных конструктивно сложных деталей класса Тела вращения. Состояние конструкции детали, вызывающее прерывистое резание, отрицательно сказывается на прочности режущего элемента, вследствие возможного хрупкого разрушения при соударении с поверхностью разрыва контура базовой поверхности заготовки.

Для сохранения работоспособности режущей части инструмента разработан способ, при котором первоначальная встреча вершины режущего элемента с заготовкой заменяется на плоскостной контакт в зоне передней поверхности, максимально возможно удаленной от хрупкой вершины и режущих кромок.

Таким образом, выявление у комплексной детали элементов прерывистости и на их базе условий безударного точения конструктивно сложных поверхностей деталей позволяет расчетным путем определить настроенные углы резца и тем самым практически минимизировать отрицательные факторы прерывистого резания, неблагоприятным образом сказывающиеся на работоспособности инструмента.

Наличие объективной информации о рациональных условиях безударного точения позволяет вносить изменения, улучшающие технологичность комплексной детали, унифицировать готовую операцию точения и извлечь конкретный технологический процесс для любой детали группы, исключая возможные ошибки, которые могли бы иметь место при обычном проектировании.

Ключевые слова: технологический процесс, комплексная деталь, прерывистая поверхность, резец, хрупкая вершина, способ точения.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-1-34-44

Ссылка для цитирования: Кудряшов Е.А., Крылов И.С., Хижняк Н.А. О рациональных условиях точения конструктивно сложных поверхностей деталей // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 1(76). С. 34-44.

Введение

В машиностроении, при разработке прогрессивных методов изготовления деталей машин высокой конструктивной и технологической сложности, ключевая роль принадлежит металлообработке. Об-

работка лезвийным инструментом стабильно обеспечивает показатели производительности, точности и качества деталей, изготовленных из различных конструкционных материалов. Использование технологий лезвийной обработки в сочетании с особыми технологическими

приемами и инструментами из современных инструментальных материалов отвечает требованиям разработчиков наукоемкой конкурентной техники, имеющей тенденции дальнейшего повышения конструктивной сложности. Существующее многообразие конструктивных форм заготовок существенно увеличивает трудоемкость разработки технологических процессов, а наличие на образующей поверхности элементов разрыва и их связей часто является причиной отказа от применения точения из-за низкой работоспособности инструмента. Использование метода группового производства деталей, разработанного проф. С. П. Митрофановым, существенно сокращает многовариантность и, в сочетании со способом управления положением режущей частью резца, позволяет создать необходимые условия безударного резания прерывистых поверхностей, что представляет собой как научный, так и практический интерес. Следовательно, совершенствование процессов резания деталей, имеющих в своей конструкции элементы разрыва, за счет создания условий, исключающих негативное влияние ударных нагрузок на режущую часть, является актуальной задачей.

Целью данной работы является использование возможностей комплексной детали для моделирования в ее конструкции различных вариантов разрыва базовой поверхности с последующим устранением негативных факторов прерывистого резания перераспределением ударной нагрузки от хрупкой вершины и режущих кромок резца на наиболее отдаленную прочную область его передней поверхности.

Метод группового производства деталей основан на классификации с выде-

лением групп деталей [1-3]. Метод актуален и в наше время для установления однотипных высокопроизводительных методов обработки групп однородных по конструктивно-технологическим признакам деталей.

В условиях единичного и мелкосерийного механообрабатывающего производства Балашихинского научно-исследовательского инженерного института, данный метод имеет все необходимые предпосылки для организации группового производства широкой номенклатуры конструктивно сложных деталей.

В классификационную группу вошли однотипные детали класса Тела вращения, в технологическом цикле изготовления которых имеется общая для всех деталей группы операция точения базовой (образующей) поверхности вращения (поз. 1, рис. 1). В сочетании с второстепенными конструктивными элементами, полученными на предшествующих операциях, эта общая операция осуществляется на одном токарно-винторезном станке, одним и тем же инструментом – резцом – из инструментального материала композит и при единой наладке (рис. 1, а – г).

При создании классификационной группы выбран метод группирования деталей по элементарным обрабатываемым поверхностям с выделением особой детали, которую принято называть комплексной деталью (поз. А, рис. 2). Отличительной особенностью комплексной детали является наличие в ее конструкции всех основных геометрических элементов и элементарных поверхностей, встречающихся на деталях, входящих в данную классификационную группу. Под основными элементами понимаем базовую (образующую) поверхность вращения в сочетании с конструктивными элемента-

ми, составляющими конфигурацию деталей и определяющих характер процесса резания, в том числе и прерывистость обработки.

Кроме комплексной детали на рис. 2 представлен ряд конкретных деталей, состоящих из таких же геометрических элементов, но в различной их конфигурации.

На базе конструкции комплексной детали разработан технологический процесс производства деталей данной классификационной группы, включающий групповую операцию окончательного точения базовой (образующей) поверхности вращения в сочетании с конструктивными элементами, придающими резанию прерывистый характер (табл. 1 и 2).

Анализ вышеперечисленных требований, предъявляемых к содержанию разработанного маршрутного технологического процесса (табл. 1), позволяет утверждать, что, при единой наладке, одним и тем же режущим инструментом, на одном высокопроизводительном оборудовании, принятая последовательность должна обеспечивать выполнение групповой отделочной токарно-винторезной

операции (табл. 2) любой детали различной конструктивной сложности данной классификационной группы в соответствии с ее чертежом и техническими условиями.

Вместе с тем, следует иметь ввиду, что специфические особенности прерывистого резания, возникающие на участках точения элементов разрыва базовой образующей поверхности (см. поз. 2, 6, 7 и 8 рис. 2, табл. 2), неоднозначно влияют как на показатели работоспособности режущего инструмента, так и на формирование заданных качественных характеристик процесса [4-7].

Способ управления положением режущей части инструмента позволяет создать безударное резание. Он защищен несколькими патентами Российской Федерации [8-9], действие которых заключается в настройке инструмента на расчетную величину угла β таким образом, чтобы врезание и последующее резание прерывистой поверхности происходили не хрупкой вершиной, а отдаленной от нее частью более прочной передней поверхности [10,11].

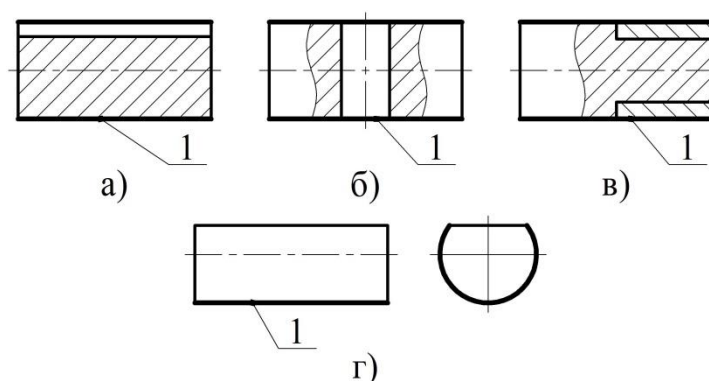


Рис. 1. Группа деталей с общей операцией точения базовой поверхности:

1 – обрабатываемая базовая (образующая) поверхность вращения детали; а – точение поверхности, разделенной продольным пазом; б – точение поверхности, разделенной отверстием; в – точение поверхности из двух конструкционных материалов; г – точение поверхности, разделенной лыской

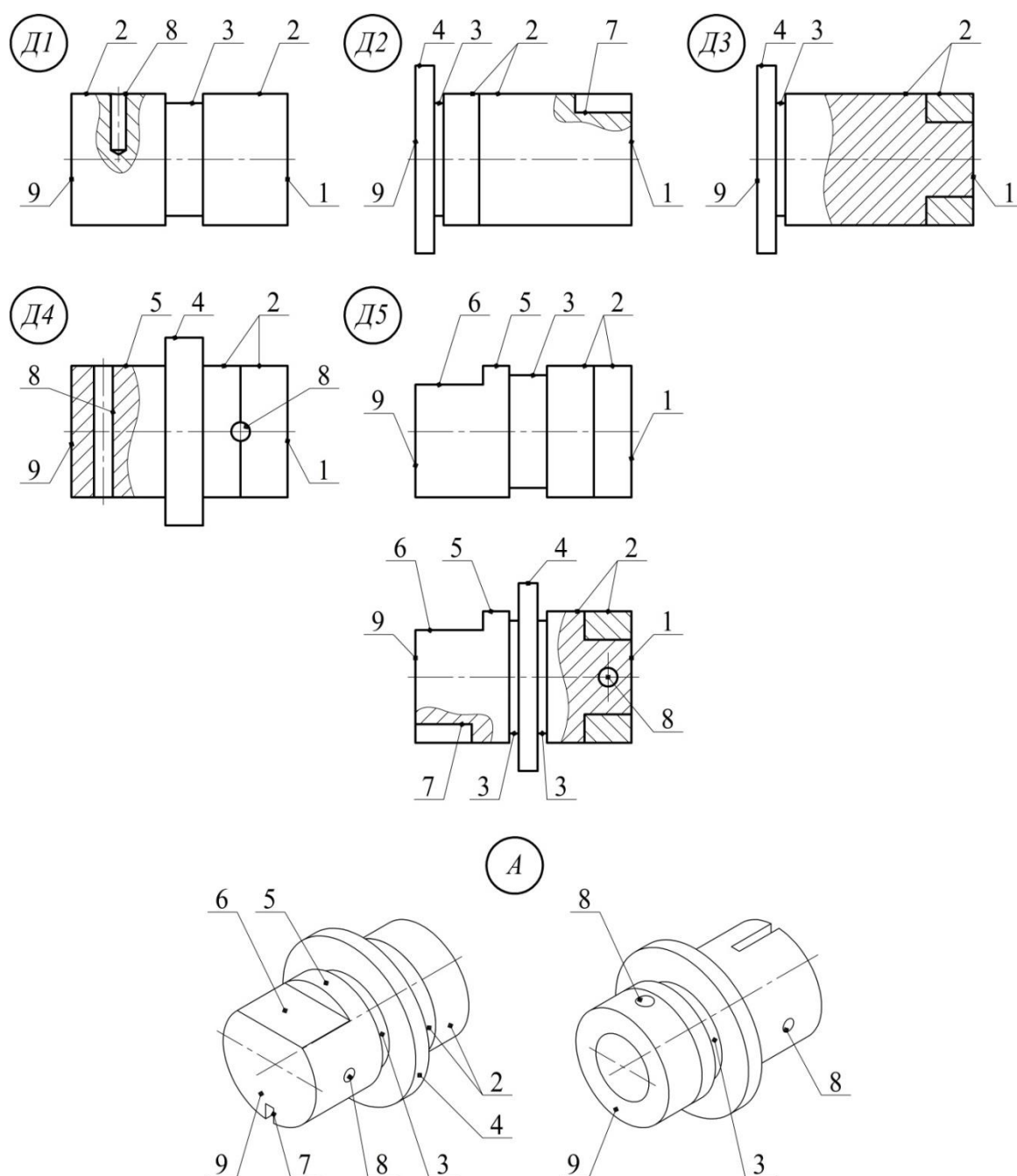


Рис. 2. Комплексная деталь А и детали классификационной группы Д1–Д5:
1–9 – элементы разрыва поверхности вращения

В настроенном положении главная режущая кромка и передняя поверхность устанавливается под углами λ и γ к основной плоскости резания. Значения углов находятся из соотношения:

$$\left. \begin{aligned} \lambda &> -\arctg(\operatorname{tg}\beta \cdot \sin\varphi) \\ \gamma &< -\arctg(\operatorname{tg}\lambda \cdot \operatorname{ctg}\varphi) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где λ – угол наклона главной режущей кромки; γ – передний угол; φ – главный угол в плане резца, составленный проекцией главной режущей кромки на основную плоскость резания с направлением подачи; β – угол настройки передней поверхности резца на безударное точение прерывистой поверхности заготовки (рис. 3).

Таблица 1

Маршрутный технологический процесс обработки комплексной детали
с групповой операцией отделочной токарной обработки

№ операции	Наименование и содержание операции	Технологические базы	Оборудование
005	<i>Фрезерно-центровальная</i> Фрезерование торцов заготовки 1 и 9, центрование	Наружные поверхности и торец	Фрезерно-центровальный станок
010	<i>Токарно-винторезная</i> Черновая обработка точением наружных поверхностей 2, 4 и 5	Поверхности центровых отверстий	Токарно-винторезный станок
015	<i>Токарно-винторезная</i> Получистовая обработка точением наружных поверхностей 2, 4 и 5. Точение канавок 3	Поверхности центровых отверстий	Токарно-винторезный станок
020	<i>Шпоночно-фрезерная</i> Фрезерование шпоночной канавки 7	Наружные поверхности	Шпоночно-фрезерный станок
025	<i>Вертикально-фрезерная</i> Фрезерование лыски 6	Наружные поверхности	Вертикально-фрезерный станок
030	<i>Вертикально-сверлильная</i> Сверление отверстий 8	Наружные поверхности	Вертикально-сверлильный станок
035	<i>Термическая</i> Закалка	—	Электрическая печь
040	<i>Центрошлифовальная</i> Восстановление центральных отверстий	Поверхности наружные и центровых отверстий	Центрошлифовальный станок
045	<i>Токарно-винторезная групповая операция</i> Отделочная обработка точением базовой (образующей) поверхности 2, 4 и 5	Поверхности центровых отверстий	Токарно-винторезный станок

$$\beta = \left(\frac{\pi}{2} - \delta - \alpha \right). \quad (2)$$

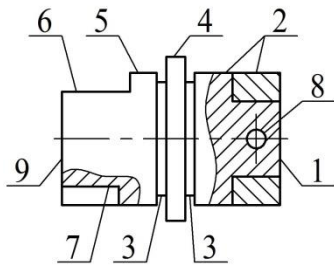
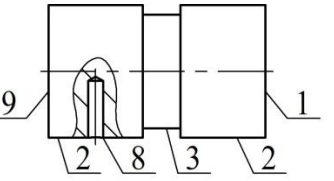
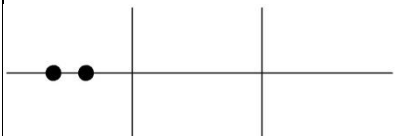
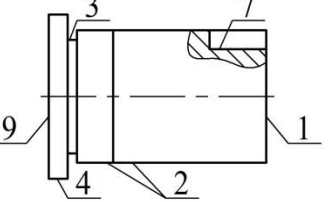
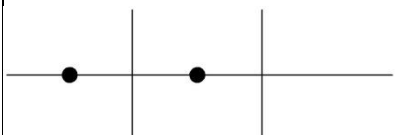

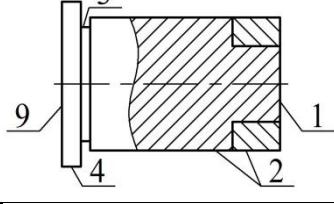
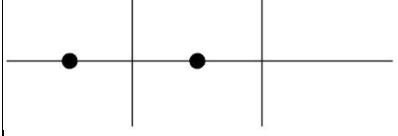

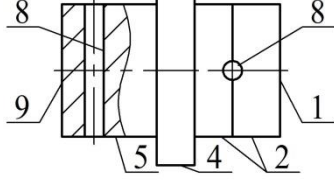
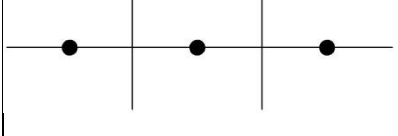
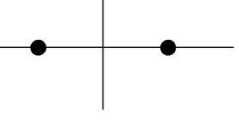
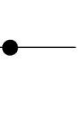
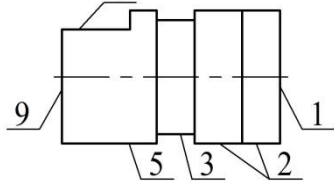
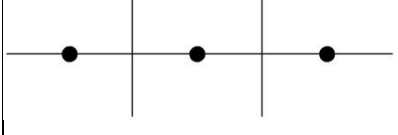
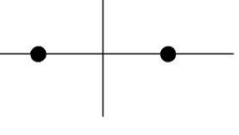
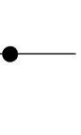
$$\beta = \frac{r \cdot b - a \sqrt{r^2 + a^2 + b^2}}{r \sqrt{r^2 + a^2 + b^2} + a * b} = \frac{\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \delta \right) - \operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \delta \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha}, \quad (3)$$

где α – задний угол резца; $OR=r-t$; r – радиус заготовки; t – глубина резания; a – смещение точки врезания от вершины к

периферии передней поверхности резца; S – точка первоначального контакта вершины резца с прерывистой поверхностью заготовки (элементом разрыва); b – величина разрыва базовой (образующей) поверхности заготовки, например, для детали Д 2 (см. табл. 2 и рис. 3) она равна ширине шпоночной канавки. Следует иметь в виду, что при наличии нескольких элементов разрыва их площадь следует суммировать, тем самым устанавливая, в зависимости от общей площади обработки, степень прерывистости ее резания.

Таблица 2

Схема построения групповой отделочной токарно-винторезной операции 045

Комплексная деталь		Переходы			Наличие фактора прерывистости резания
		Точить поверхность 2	Точить поверхность 4	Точить поверхность 5	
Д 1					Поверхность 8 – отверстие
Д 2					Поверхность 7 – шпоночная канавка
Д 3					Поверхность 2 – комбинация двух разных конструктивных материалов
Д 4					Поверхность 8 – комбинация отверстий
Д 5					Поверхность 6 – лыска

Следовательно, для создания условий безударного резания необходимо и достаточно определить площадь элементов разрыва и по формуле (3) для каждой конкретной детали классификационной

группы рассчитать соответствующее значение угла настройки β для выполнения групповой отделочной токарно-винторезной операции 045 (табл. 2).

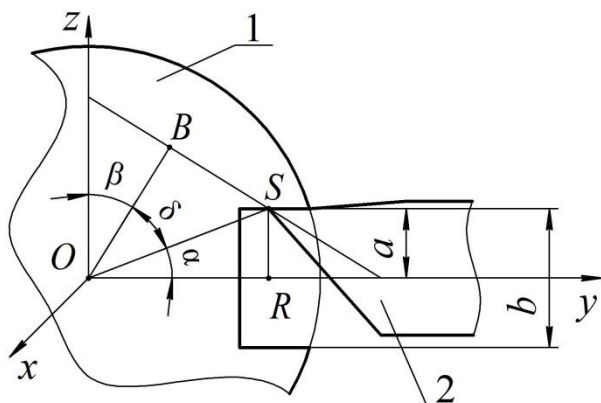


Рис.3. Схема настройки: 1 – заготовка; 2 – резец

Обобщение и результаты

Примером рациональных условий, найденных с применением метода группового проектирования операций механической обработки конструктивно сложной поверхности, может являться отделочное точение базовых поверхностей вращения детали Клапан породопогрузочной машины. Согласно техническим условиям наружный диаметр и конусная поверхность, при наличии элементов разрыва (продольные пазы), должны быть выполнены с соблюдением следующих требований: 1) отклонение от перпендикулярности оси наружного диаметра $\varnothing 90h7$ относительно торца; 2) отклонение от цилиндричности в продольном сечении; 3) отклонение от круглости – не грубее 0,005 мм и шероховатостью обработанных поверхностей наружного диаметра, конуса и торца не хуже $Ra\ 0,4\ \mu\text{м}$ (рис. 4).

Учитывая значительную программу изготовления изделий (всего в классификационной группе три однотипных конструктивно схожих детали, при общей форме отличающихся только размерами), проблемы переналадки оборудования на новые исполнительные размеры при перезапуске деталей решены построением групповой операции точения (аналогично

табл. 2), что потребовало нового инструментального обеспечения.

Применение резцов из твердых сплавов невозможно из-за низкой работоспособности, поэтому применялось шлифование наружных поверхностей вращения на универсальном круглошлифовальном станке модели 3140 с применением СОЖ. Наличие на обрабатываемых поверхностях пазов приводило к быстрому изнашиванию круга, потере им геометрической точности и возникновению в детали значительных температурных деформаций.

Анализ физико-механических характеристик лезвийных инструментальных материалов (как альтернатива шлифовальной технологии), отдает приоритет композитам (табл. 3) и, в частности, композиту 10.

К отличительным особенностям композитов относится не только наивысшая твердость. Этим инструментальным материалам свойственны высокая износостойкость, низкий коэффициент трения и, следовательно, малый износ, инструментальная стойкость, теплопроводность, коррозионная устойчивость, надежность, долговечность и большой ресурс, а имеющийся существенный недостаток – высокая хрупкость инструментального материала, компенсируется способом настройки резца на безударное резание.

Преимущества физико-механических характеристик композитов перед другими инструментальными материалами позволяют повысить производительность различных методов металлообработки, в том числе: при токарной обработке деталей разной конструктивной сложности.

При внедрении групповой технологии круглошлифовальный станок заменен универсальным токарно-винторезным станком повышенной точности с возможностью проводить обработку не грубее 7-го качества точности (рис. 4).

Таблица 3

Физико-механические характеристики инструментальных материалов

№ п/п	Физико-механические характеристики	Марка инструментального материала									
		Композиты						Твердые сплавы		Керамика	ПТНБ
		01	02	03	05	09	10	T15K6	BK8	ЦМ332	Киборит
1	Предел прочности на сжатие, $\delta_{сж}$ (ГПа)	1,47-3,15	0,36-0,38		0,96-0,98	0,98-3,90	1,96-4,00	3,82-4,50	3,92-4,50	0,88-1,47	2,60-3,20
2	Предел прочности на изгиб, $\delta_{изг}$ (ГПа)	0,70-0,98	0,68-0,70		0,48-0,49	0,48-1,19	0,70-1,50	1,10-1,15	1,55-1,60	0,30-0,64	0,55-0,65
3	Плотность, ρ , кг/м ³	3,31-3,50	3,42-3,50	3,30-3,45	3,17-3,30	3,59-3,60	3,28-3,62	11,0-11,7	8,0-15,0	3,50-4,60	3,20-3,34
4	Модуль упругости, E , ГПа	680-840	720	720	620-700	500	650-780	55	59		850-910
5	Твердость, ГПа	32-38	36-38		18,8		30-38	88-90	87,5-88	90-94	32-36
6	Теплопроводность, Вт/М·К	30-80	80			60-70	60-80	27,21	58-58,7	4,2	100
7	Термостойкость на воздухе, K	1200-1473	900-1323	1000-1200	1000-1100	1000-1100	1000-1500	600-1070	700-1170	1200-1500	1200-1573

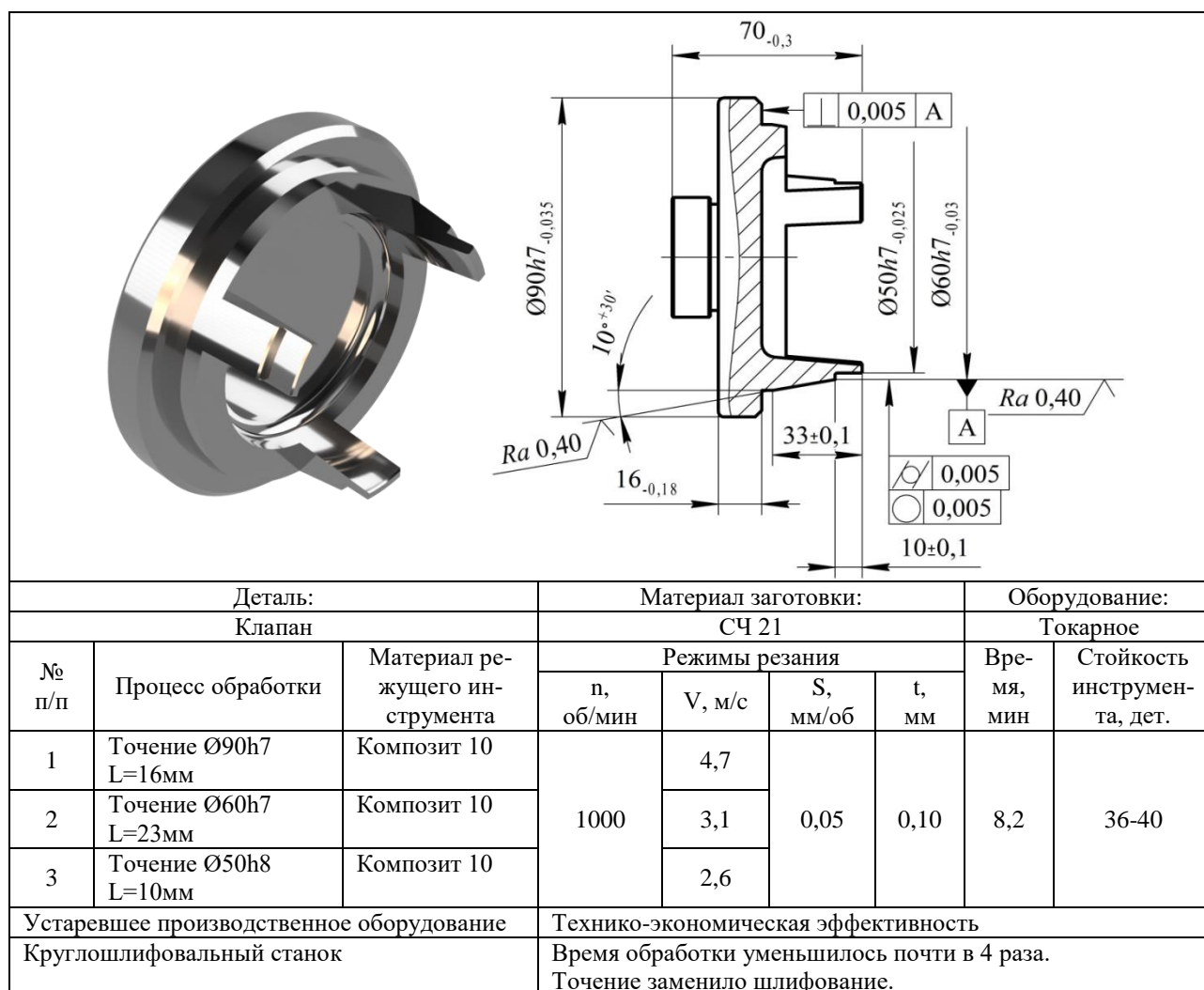


Рис. 4. Информационно-технологическая карта механической обработки

Режимы резания: скорость 4,7; 3,1 и 2,6 м/с – соответственно, при обработке композитом 10 поверхностей $\varnothing 90h7$; $\varnothing 60h7$ и $\varnothing 50h7$; подача 0,05 мм/об; глубина резания 0,10 мм.

В результате настройки положения резца на безударное резание для всех деталей данной классификационной группы достигнуты заданные показатели качества и снижение трудоемкости в 4 раза (по сравнению со шлифованием).

Выводы

Установлено, что существующая научная проблема обработки конструктивно сложных поверхностей деталей требует поиска эффективных путей ее решения. При этом доказано, что решение указанной проблемы заключается в использовании потенциальных возможностей инструментального материала композит 10, за счет управляющего воздействия на положение режущей части инструмента в условиях прерывистого резания, в том числе:

- применением метода управления положением режущей части, позволяющего за счет особого расположения резца относительно обрабатываемой поверхности практически исключить негативное влияние динамических нагрузок процесса прерывистого резания на стойкость инструмента;

- на примере точения конструктивно сложных поверхностей деталей определены углы резания, при которых врезание режущего элемента в обрабатываемую поверхность детали происходит в наиболее отдаленной от вершины точке передней поверхности инструмента.

Список литературы

1. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства: в 2 т. Т.1. Организация группового производства. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1983. 407 с.

2. Организация группового производства / под общей редакцией С.П. Митрофанова и В.А. Перова. Л.: Лениздат, 1980. 288 с.

3. Кудряшов Е.А., Смирнов И.М., Яцун Е.И. Применение группового метода ремонта деталей класса Тела вращения инструментом из композита // Ремонт, восстановление, модернизация. М.: Наука и технологии, 2017. №4. С. 7-10.

4. Kudryashov E. A., Nikonov A. M., Rogovskii V.S., Stetsurin A. V. Using superhard tools in discontinuous cutting. Russian Engineering Research, 2009, vol. 29, no. 2, pp. 210-213.

5. Характерные особенности процессов резания прерывистых поверхностей деталей / Е.А. Кудряшов, И.М. Смирнов, Т.Е. Каменева, Н.А. Хижняк // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. Вып. 8 (ч.2). С. 204-209.

6. Совершенствование инструментального обеспечения процессов точения конструктивно сложных поверхностей / Е.А. Кудряшов, И.М. Смирнов, Е.В. Павлов, Е.И. Яцун // СТINH. Станки. Инструмент. 2017. №9. С. 23-28.

7. Carou D., Rubio E. M., Davim J.P. Discontinuous cutting: failure mechanisms, tool materials and temperature study – a review. Reviews on Advanced Materials Science, 2014, vol. 38, no. 2, pp. 110–124.

8. Кудряшов Е.А., Каменева Т.Е. Способ обработки винтовых поверхностей резанием с ударом. Пат. №2633815

С2 РФ. Заявл. 25.03.2016г, опубл. 18.10.2017г.

9. Алтухов А.Ю., Кудряшов Е.А., Яцун Е.И., Павлов Е.В., Смирнов И.М. Способ обработки поверхностей резанием с ударом. Пат. №2013103125/02 РФ, 2014, бюл. № 21.

10. Кудряшов Е.А., Смирнов И.М. Применение метода управления режущей частью инструмента для повышения эффективности процесса прерывистого резания // Известия Юго-Западного госу-

дарственного университета. Серия: Техника и технологии. 2013. №4. С. 23-28.

11. Кудряшов Е.А., Смирнов И.М., Каменева Т.Е. Исследование работоспособности инструментального материала композит 10 в условиях прерывистого резания // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. Вып. 5. С. 362-370.

Поступила в редакцию 20.12.17

UDC 621.9

E.A. Kudryashov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: kea-swsu@mail.ru)

I.S. Krylov, Engineer, JSC «Scientific Research Engineering Institute» (Balashikha, Moscow Region, Russia) (e-mail: maggot2301@rambler.ru)

N.A. Khizhnyak, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: kraxmalll@yandex.ru)

RATIONAL CONDITIONS OF COMPLEX SURFACES OF PARTS

An important scientific and practical task is to increase the efficiency of designing technological processes for manufacturing parts of a complex form. The labour intensity of design work is connected with a wide variety of shapes and sizes of products created, the use of a wide range of structural materials and their combinations, presence on the machined surfaces of secondary holes of different sizes and locations, grooves, flats, recesses, and other elements that break the contour of the base surface of the workpiece and cause intermittence of the turning process.

The purpose of this work is to use the complex part capabilities for the design of the group technology of machining. A complex part consisting of a complete set of all major and minor structural elements is an object artificially created for modeling the conditions of interrupted cutting of a sufficiently large group of similar complex parts of the Rotary body class. The condition of the part design causing intermittent cutting adversely affects the strength of the cutting element, due to possible brittle fracture in collision with the surface of the contour break of the base surface of the workpiece.

To keep the operability of the active part of a cutting tool, a method is developed in which the initial meeting of the tip of the cutting element with the workpiece is replaced with a flat contact in the front surface area as far (distant) as possible from the brittle tip and cutting edges.

Thus, the detection of elements of intermittences in the complex part and the conditions of shock-free turning of structurally complex surfaces of parts based on them allow us to determine the adjusted angles of the cutter by calculation and thereby minimize the negative factors of intermittent cutting that adversely affect the tool performance.

The presence of objective information about rational conditions of shock-free turning allows us to make changes that improve the complex part machineability, unify the turning operation and use a specific technological process for any part of the group, excluding possible errors that could occur during usual design.

Key words: technological process, complex part, intermittent area, cutter, brittle tip, method of turning.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-1-34-44

For citation: Kudryashov E.A., Krylov I.S., Khizhnyak N.A. Rational Conditions of Complex Surfaces of Parts. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 1(76), pp. 34-44 (in Russ.).

References

1. Mitrofanov S.P. Gruppovaja tehnologija mashinostroitel'nogo proizvodstva. Vol. 1. Organizacija gruppovogo proizvodstva. 3-e izd., pererab. i dop. Leningrad, 1983, 407 p.
2. Organizacija gruppovogo proizvodstva / pod obshhej redakciej S.P. Mitrofanova i V.A. Perova. Leningrad, Lenizdat Publ., 1980. 288 p.
3. Kudrjashov E.A., Smirnov I.M., Jacun E.I. Primenenie gruppovogo metoda remonta detalej klassa Tela vrashhenija instrumentom iz kompozita. Remont, vosstanovlenie, modernizacija, 2017, no.4, pp. 7-10.
4. Kudryashov E. A., Nikonov A. M., Rogovskii V.S., Stetsurin A. V. Using superhard tools in discontinuous cutting. Russian Engineering Research, 2009, vol. 29, no. 2, pp. 210-213.
5. Kudrjashov E.A., Smirnov I.M., Kameneva T.E. Hizhnyak N.A. Harakternye osobennosti processov rezanija preryvistykh poverhnostej detalej. Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki, 2017, vyp. 8 (ch.2), pp. 204-209.
6. Kudrjashov E.A., Smirnov I.M., Pavlov E.V., Jacun E.I. Sovershenstvovanie instrumental'nogo obespechenija processov tochenija konstruktivno slozhnyh poverhnostej. STIN. Stanki. Instrument, 2017, no.9, pp. 23-28.
7. Carou D., Rubio E. M., Davim J.P. Discontinuous cutting: failure mechanisms, tool materials and temperature study – a review. Reviews on Advanced Materials Science, 2014, vol. 38, no. 2, pp. 110–124.
8. Kudrjashov E.A., Kameneva T.E. Sposob obrabotki vintovykh poverhnostej rezaniem s udarom. Pat. №2633815 S2 RF. Zajavl. 25.03.2016g, opubl. 18.10.2017g.
9. Altuhov A.Ju., Kudrjashov E.A., Jacun E.I., Pavlov E.V., Smirnov I.M. Sposob obrabotki poverhnostej rezaniem s udarom. Pat. №2013103125/02 RF, 2014, bjul. № 21.
10. Kudrjashov E.A., Smirnov I.M. Primenenie metoda upravlenija rezhushhej chast'ju instrumenta dlja povyshenija jeffektivnosti processa preryvistogo rezanija. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii, 2013, no.4, pp. 23-28.
11. Kudrjashov E.A., Smirnov I.M., Kameneva T.E. Issledovanie rabotosposobnosti instrumental'nogo materiala kompozit 10 v uslovijah preryvistogo rezanija. Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki, 2017, vyp. 5, pp. 362-370.