

Взаимодействие подсистем: первичной и синтеза в системе многоуровневой базовой групповой технологии

Часть 2

Ю. П. Ракунов, В. В. Абрамов, А. Ю. Ракунов

Приведены научные принципы разработки и совершенствования построения первичной подсистемы и синтеза многоуровневой базовой групповой технологии (МБГТ). Проведено развитие основных подсистем МБГТ. Дано описание методики параметрической оптимизации типажей унифицированного режущего инструмента (УРИ), спроектированных для групповой обработки и режимов оптимального резания конструкционных и труднообрабатываемых материалов на прецизионных токарных универсальных станках с ЧПУ и автоматах продольного точения.

Ключевые слова:

первичная подсистема, подсистема синтеза, типаж унифицированных резцов, методика и критерии параметрической оптимизации, методика назначения режимов резания, методы повышения стойкости инструмента

УДК 621.9 | ВАК 2.5.5

DOI: 10.22184/2499-9407.2024.34.1.50.59

На основании анализа, проведенного в статьях [6, 7], было принято решение об управлении процессом финишного точения посредством построения гаммы графиков стойкости типоразмеров унифицированных резцов в координатах Δr [мкм] – F (дм²), то есть зависимости размерного износа $\Delta r = f(F)$ от площади обработки поверхности заданного качества. В основу разработки режимов оптимального резания (РОР) положены режимы обработки элементарной поверхности, образуемой за один рабочий ход (проход). Процесс формирования конечных свойств поверхностей состоит из элементарных проходов, число которых зависит от требований, предъявляемых к исходной и окончательно обработанной поверхностям, то есть зависит от коэффициента уточнения на каждом проходе. Если исходная поверхность не удовлетворяет этим требованиям, число проходов увеличивают или ужесточают требования к заготовке.

Этапы выбора режимов оптимального резания (см. табл. 2)

1. Из группы пар материалов по марке обрабатываемого (ОМ) определяем марку ИМ.
2. По ТР обрабатываемой поверхности определяем ТР резца, геометрические параметры в плане: φ , R , φ_1 ; режущего клина (РК): γ , ρ , α , α_1 , а также угол наклона РК – λ .
3. Исходя из требований, предъявляемых к конечным свойствам формируемых поверхностей, определяем требования к исходным поверхностям и i -проходов.
4. Несоответствие свойств исходных поверхностей табличным требованиям приводит к введению еще одного, двух и т. д. проходов, то есть ($i = n - 1$) проходов.
5. Режимы прохода выбираются из строки режимов, соответствующей виду, типу и ТР обрабатываемой

поверхности (ОП) с конкретной номенклатурой ее свойств.

6. В зависимости от программы выпуска деталей режимы обработки могут быть выбраны исходя из максимальной стойкости инструмента или максимальной производительности. Первые две строки в каждом диапазоне шероховатости (кроме $R_a \leq 0,63$ мкм) – режимы максимальной стойкости (скорость V_0). Вторые две строки – это режимы максимальной производительности (скорость V_3). При изготовлении деталей малыми партиями рекомендуются режимы максимальной производительности.
7. Из выбранной строки режимов определяем ресурсостойкость резца или «удельную размерную стойкость» – дробь, в числителе которой площадь обработки (дм²) до переточки, соответствующая заданным значениям: погрешности формы, шероховатости поверхности, радиуса сопряжения цилиндрических и торцевых поверхностей, а в знаменателе размерный износ резца (мкм) в направлении к нормали к ОП. Максимальную стойкость и наилучшие перечисленные показатели качества ОП обеспечивает оптимальная скорость резания $V_0 = V_3$ при обработке ТОМ [13–17, 22].
8. После определения площадей обработки по названным выше параметрам производится их сравнение, и по лимитирующему параметру поверхности (для которого площадь обработки наименьшая) устанавливается окончательное значение достижимой площади обработки заданного качества, которая в каждом конкретном случае и будет являться ресурсостойкостью выбранной или синтезированной ПИН (см. табл. 2).
9. Каждому значению площади обработанной поверхности соответствует определенный радиальный размерный износ, который позволяет рассчитать величину и количество подналадок путем ввода коррекции инструмента, необходимой при формировании заданных свойств поверхности в автоматическом режиме.

Существуют полный набор (разработаны технологические рекомендации) Т–М назначения РОР на все типоразмеры УРИ, включенные в типы универсальных и специализированных (канавочных и резьбовых) резцов для станков с ЧПУ и АПТ.

Опубликованные Т–М являются главным достижением технологической мысли для автоматизированного назначения РОР, которые реализованы в технологической практике как точные знания в технологии механической обработки конструкционных и ТОМ. Это достижение сделано впервые в мире, данная методика и алгоритм доведен до практического использования в программном продукте: «САПР УРИ-РОР» (см. блок-схему 1, табл. 2 и рис. 2).

На рис. 2 приведены зависимости параметров качества обработанной поверхности и размерного износа

типоразмеров резцов унифицированных сквозных, врезных и контурных от их стойкости при режимах, указанных на рисунке.

Для удобства пользования графиками на них нанесены границы зон различного качества поверхности, определяемого шероховатостью (R_a или R_z), погрешностью формы поперечного сечения (некруглость, огранка), а также радиусом сопряжения поверхностей, который образуется методом врезания радиуса при вершине резца R .

При использовании данных графиков (рис. 2) в случаях обработки других материалов вводят поправочные коэффициенты [6, 7, 14] на изменение условий работы, учитывающие типоразмеры (марки) обрабатываемого материала и материала режущей части УРИ, отношение l_p/d_p , наличие охлаждения, способ охлаждения и методы повышения износостойкости инструмента (рис. 3).

Технологические рекомендации по режимам оптимального резания (ТР РОР) разработаны в двух вариантах: в графическом виде и в таблично-матричной форме. За критерий оптимизации принят ресурс инструмента, выраженный величиной площади F [дм²] обработанной поверхности при обеспечении заданных чертежом ее шероховатости, допускаемой погрешности формы в поперечном сечении (допуска на размер) и при необходимости радиуса сопряжения поверхностей (например, при обработке шейки вала под подшипник). В этих технологических рекомендациях содержатся группы пар материалов, геометрические параметры УРИ, РОР, значения ресурса и размерной стойкости резцов, взаимосвязанные в единую систему, состоящую из подсистем: первичной и синтеза многоуровневой базовой групповой технологии [6–12].

Заключение

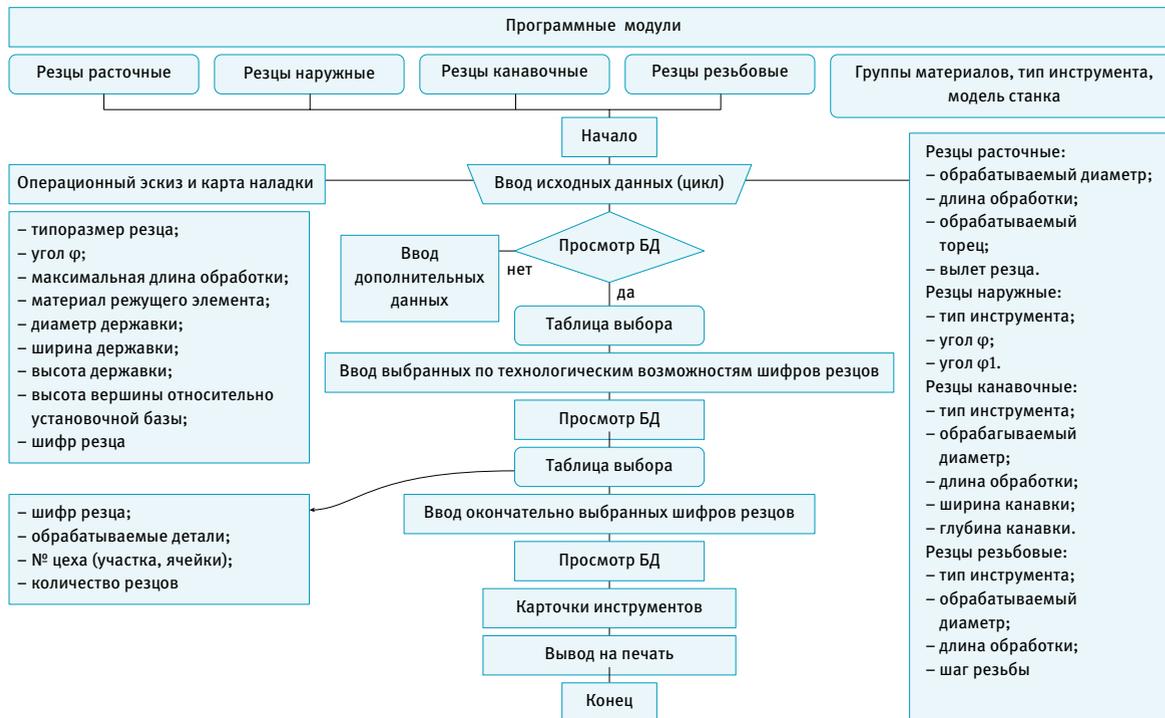
Метод синтеза может быть эффективно использован как при индивидуальной оптимизации обработки крупносерийных деталей, так и при групповой обработке деталей в условиях мелкосерийного многономенклатурного производства [3, 4, 6–12].

Применение метода синтеза для решения задачи перебора технически возможных вариантов интегрируемых переходов, позиций и установов (деталеопераций) на профессиональных ПК при правильном заполнении Т–М технологом средней квалификации дает возможность получения оптимального для производства ТП механической обработки любых токарных и корпусных деталей сложной формы.

Преимуществами предлагаемого подхода по сравнению с традиционными являются существенное повышение качества разработанной технологии и резкое сокращение сроков технологической подготовки производства.

Оптимизация синтеза ГИН для токарных универсальных и станков с ЧПУ позволяет минимизировать количество ТР УРИ в групповом производстве, добиваясь увеличения

Схема программного комплекса САПР – «Токарный инструмент»



Технолог, пользуясь программой выбора с помощью ЭВМ, может выбирать резцы, работая непосредственно с эскизом детали и вводя в ПК параметры поверхностей. Поиск расточных резцов. Введите параметры обрабатываемой поверхности заготовки из операционного эскиза.

Параметр	Значение
Диаметр обработки, мм	3,0
Длина обработки	6,0
Ширина обрабатываемого торца	5,0
Вылет резца из резцедержателя, мм	7,0

Информация о наличии инструмента в цехах (в таблицу введен шифр выбранного инструмента)

Шифр резца	Обрабатываемые детали	№ цеха (участка, ячейки)	Количество резцов
9Е 2140-4375	6В8034322	16 (3)	74
9Е 2141-4235	6Д8310331	7 (2,26)	–
9Е 2141-4235	6Д8310335	7 (2,26)	–

Перечень расточных резцов для обработки отверстия с заданными размерами. (Выберите шифр инструментов, допустимых для обработки на конкретном станке)

Типо-размер резца	Угол ф, °	Макс. длина обработки, мм	Материалы режущего элемента	Державка			Высота вершины относительно установочной базы, мм	Шифр резца
				Диаметр, мм	Ширина, мм	Высота, мм		
03ЦтПр	100°	6,0	Т30К4	–	12	16	8,15	9Е 2140-4375 Y
03ЦвПр	60°	13,0	ВК6М	–	10	10	5,05	9Е 2141-4109 N
03ЦвПр	90°	12,0	ВК100М	–	12	12	6,5	9Е 2141-4235 Y
02ЦвЛв	90°	14,0	Твердый сплав	–	10	10	10,0	9Е 2141-0006 N
02ЦтПр	105°	13,5	ВК100М	8	–	–	4,05 (0,05)	9Е 2146-4456 N
2,5ЦвЛв	90°	10,0	Твердый сплав	8	–	–	4,15 (0,15)	9Е 2146-1948 N

Выбор позиционных инструментальных наладок, являющихся материальным обеспечением первичной подсистемы многоуровневой базовой технологии, обеспечивает автоматизированное проектирование оптимальных ресурсосберегающих маршрутных и механообрабатывающих операционных технологических процессов обработки «токарных» деталей.

САПР – «Токарный инструмент» в диалоговом режиме позволяет определить по виду, типу, типоразмеру и соотношению параметров обрабатываемых поверхностей – тип, типоразмер и модель позиционной инструментальной наладки, включая геометрические параметры активной, промежуточной (несущей) и посадочной частей инструмента. Базовые позиционные инструментальные наладки разработаны для обработки деталей из труднообрабатываемых и конструкционных сталей, цветных металлов и сплавов на токарном автоматизированном оборудовании.

В основе САПР – «Товарный инструмент» находится оригинальная система описания инструмента, которая помогла создать структуру базы данных заводских резцов в производственных условиях, где отсутствует унификация инструмента.

САПР «Токарный инструмент» совместно с САПР «Режимы оптимального резания» образуют единую систему проектирования оптимальных условий на уровне рабочего хода (прохода) и создает необходимые условия для разработки управляющих программ на уровне перехода и установка (детале-операции групповой обработки).

Блок-схема 1. Система автоматизированного выбора позиционных инструментальных наладок и ГИН по типажам универсальных и специализированных резцов для токарного оборудования с ПУ

rosmould
& 3D-TECH

rosmould.ru

Международная выставка
пресс-форм и штампов,
оборудования
и технологий для
производства изделий

18–20 июня 2024

МВЦ «Крокус Экспо», Москва

3D-TECH

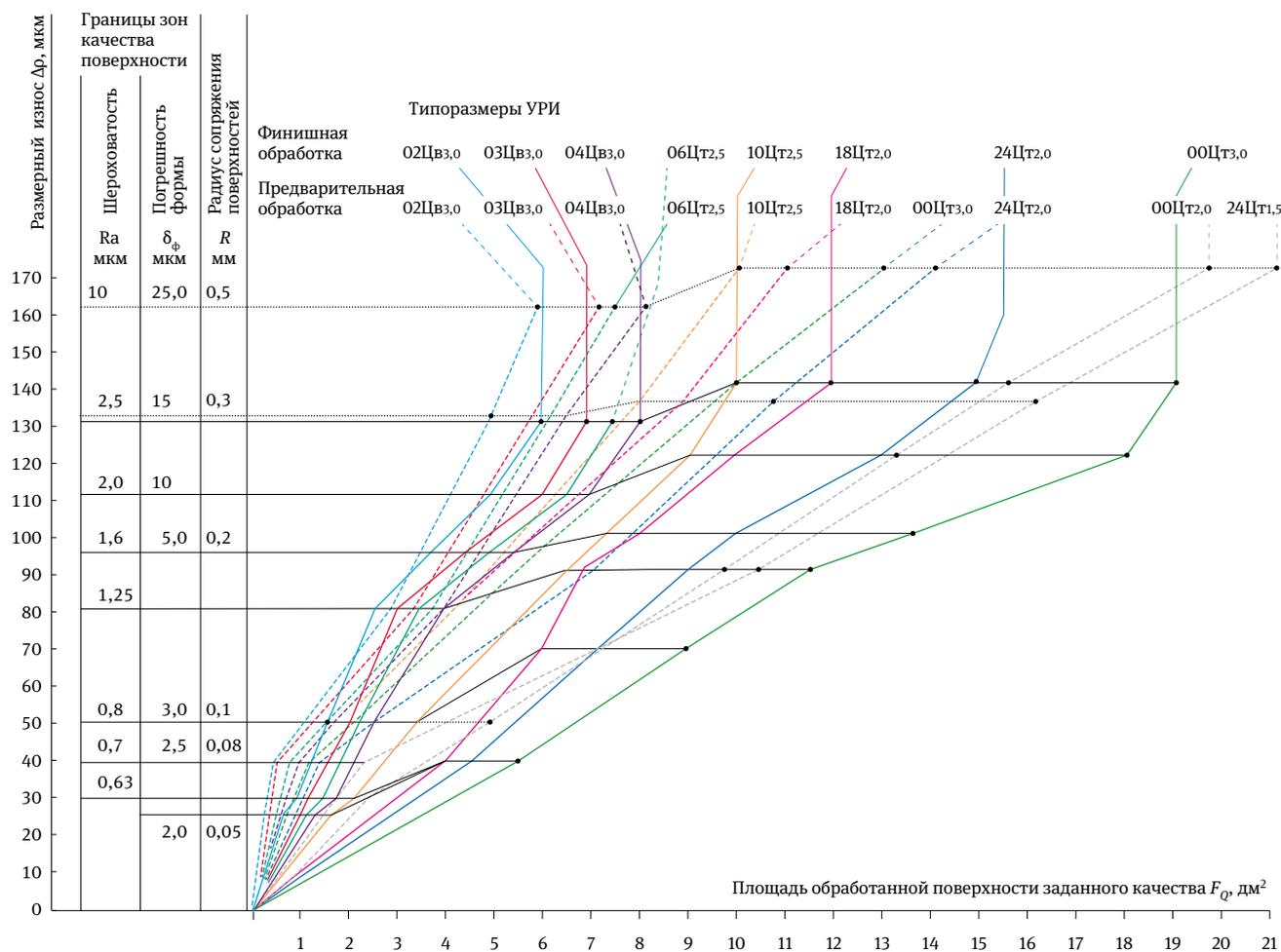
Специализированная
экспозиция аддитивных
технологий и 3D-печати



Промокод для получения
бесплатного билета

RM24-SUHRJ

АА GEFERA MEDIA



Типоразмеры унифицированных резцов	Режимы оптимального резания					
	Финишные проходы			Предварительные проходы		
	t	S_o	V	t	S_o	V
	мм	мм / об.	м / мин	мм	мм / об.	м / мин
02Цс;в3,0	0,05	0,02	10...30	0,15	0,05	10...30
03Цс;в3,0				0,25		
04Цс;в3,0				0,30		
06Цт2,5				0,03	0,07	
10Цт2,5	0,04	40				
18Цт2,0	0,04	45				
Материал детали ХН77ТЮР (З6НХТЮ)	24Цт2,0	0,05	55	0,50	0,10	40
Твердость HRC 28...32	00Цт3,0			0,05		
Материал РЭ УРИ ВК60М (ВК10ХОМ)	00Цт3,0	0,05	55	0,50	0,10	50

Рис. 2. Качество и площадь обрабатываемых поверхностей, соответствующих стойкости типоразмеров унифицированных универсальных резцов

ОРГАНИЗАТОР



МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВЫСТАВОЧНЫЙ ОПЕРАТОР



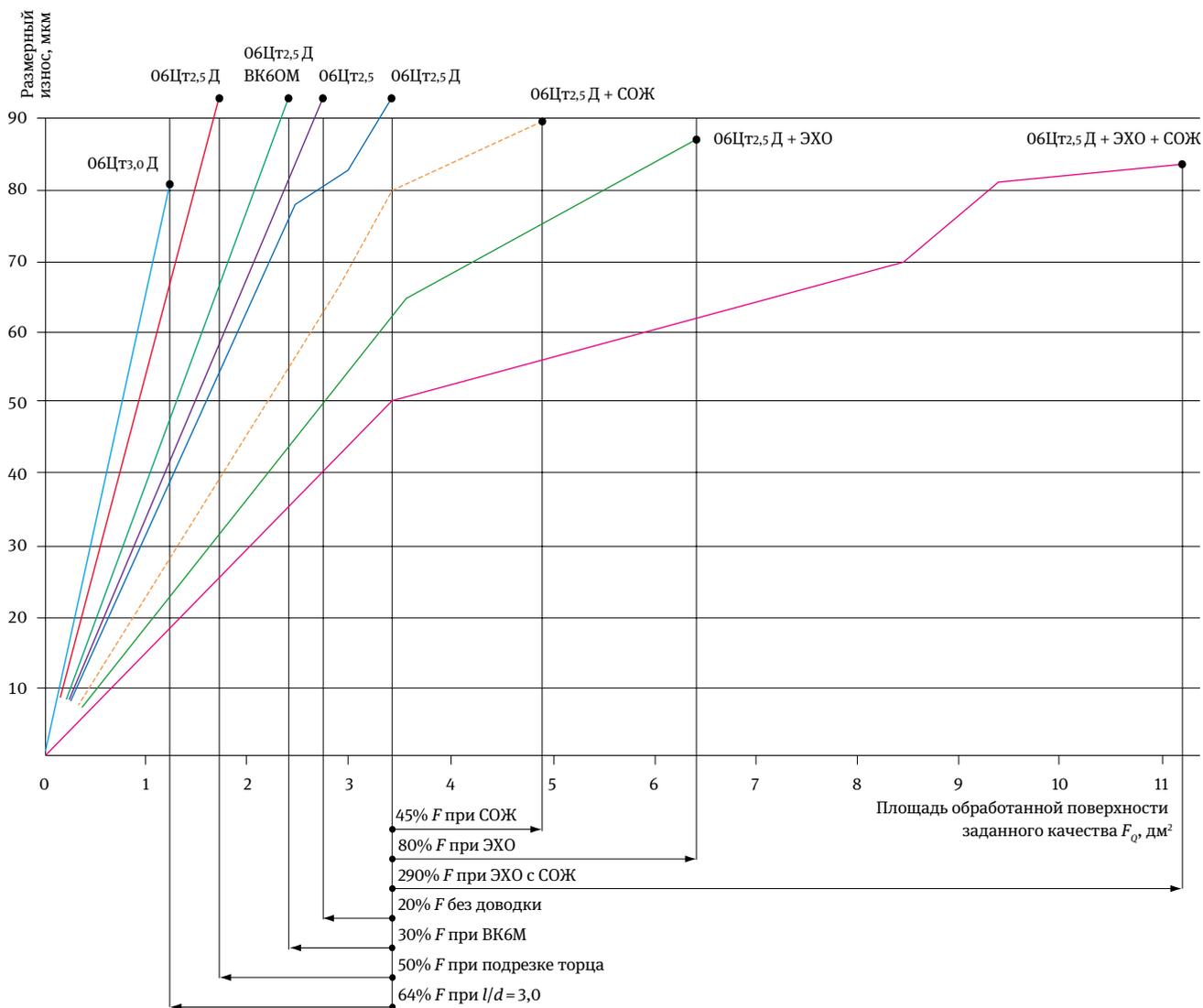
МКВ
МЕЖДУНАРОДНЫЕ
КОНГРЕССЫ И ВЫСТАВКИ



**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ФОРУМ «АРМИЯ-2024»**

**12–18 АВГУСТА
ПАТРИОТ ЭКСПО**

www.rusarmyexpo.ru



Поправочные коэффициенты на площадь обработки поверхности заданного качества в зависимости от условий работы				Отношение l/d по типоразмерам УРИ	02Цс,в; 03Цс,в	3,0	$K_{(l/d)}$	1,0
Группы материалов деталей	I	K_m	1,0–6,5					
	II		4,0–4,5	06Цт 10Цт	3,0	0,36		
	III		4,5–5,0		2,5	1,0		
	IV		0,8–1,0	2,0	1,2			
Группы пар материалов	I, II	K_p	1,0	18Цт 24Цт	2,5	$K_{(l/d)}$	0,4	
			0,7		2,0		1,0	
	III	K_p	1,0	Подрезка торца резцами	Цт	K_t	0,5	
			0,2		Цв		0,12	
			1,0		Повышение стойкости инструмента	Без доводки	K_d	0,8
	0,9	С доводкой	1,0					
	IV	K_p	1,0	ЭХО		$K_{ЭХО}$	1,8	
	0,9		СОЖ	$K_{СОЖ}$	1,4			
				ЭХО+СОЖ	$K_{ЭХО+СОЖ}$	2,9		

Рис. 3. Методы повышения размерной стойкости УРИ на примере расточного универсального резца типоразмера 06ЦТ2,5. Поправочные коэффициенты на площадь обработки заданного качества в зависимости от условий работы

общего количества высокоточных деталей, обрабатываемых до смены УРИ после достижения максимально допустимого износа каждого из них [8–14, 16–25].

Первичная подсистема обеспечивает выполнение правила кратчайшего пути и соблюдение принципа единства баз при индивидуальной и групповой обработке [12]. Подсистема синтезирования БГТ позволяет быстро и надежно синтезировать ГИН, обеспечивает максимальную размерную стойкость всех ТР УРИ в ГИН и гарантирует наилучшее качество обработанных поверхностей при минимальных затратах на изготовление деталей, входящих в группу. Таким образом, налаживается комплексное технологическое обеспечение автоматических линий, обрабатывающих центров, автоматов продольного точения, многоцелевых, универсальных и станков с ЧПУ, как при индивидуальной и групповой оптимизации механической обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Цырков А. В.** Методология проектирования в мультиплексной информационной среде. М.: ВИМИ, 1998. 281 с.
2. **Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф.** Базы знаний интеллектуальных систем. СПб: Питер, 2001. 384 с.
3. **Кондаков А. И.** САПР технологических процессов: учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Академия, 2007. 272 с.
4. **Норенков И. П.** Основы автоматизированного проектирования. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009.
5. **Митрофанов С. П., Братухин А. Г., Сироткин О. С. и др.** Технология и организация группового машиностроительного производства: в 2-х ч. Ч. 1 Основы технологической подготовки группового производства. М.: Машиностроение, 1992. 480 с.
6. **Ракунов Ю. П.** Разработка системы многоуровневой базовой технологии // Научные технологии в машиностроении. 2012. № 1. С. 40–46.
7. **Ракунов Ю. П.** Первичная подсистема многоуровневой базовой технологии // Научные технологии в машиностроении. 2012. № 3. С. 23–31.
8. Патент РФ № 2170160. Резец / Ракунов Ю. П., Калмыков В. И., Хрульков В. А., Петровская Т. М., Золотова Н. А., Борисенко Н. Н. Оpubл. 2000, Бюл. № 19.
9. Патент РФ № 2226453. Многократно перетачиваемый резец / Ракунов Ю. П., Хрульков В. А., Золотова Н. А., Тихонов Н. А. Оpubл. 2004, Бюл. № 10.
10. **Ракунов Ю. П., Золотова Н. А.** Методология построения подсистемы синтеза многоуровневой базовой технологии в групповом производстве: Сб. матер. науч.-практ. конф. «Технологическое обеспечение качества машин и приборов». Пенза, 2004.
11. **Ракунов Ю. П.** Подсистема синтеза многоуровневой базовой технологии // Научные технологии в машиностроении. 2012. № 10. С. 36–46.
12. **Ракунов Ю. П., Абрамов В. В.** Разработка САПР оптимальных групповых процессов токарной обработки на станках с ЧПУ // Справочник, Инженерный журнал, приложение. 2015. № 7. С. 1–29.
13. **Макаров А. Д.** Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение, 1976. 278 с.
14. **Ракунов Ю. П.** Управление качеством токарной обработки высокоточных деталей машин // Научные технологии в машиностроении. 2012. № 2. С. 36–48.
15. Справочник технолога / Под ред. А. Г. Сулова. М.: Машиностроение, 2019. 678 с.
16. **Ракунов Ю. П., Абрамов В. В.** Сравнение методов оптимизации режимов резания при механической обработке деталей машин // Механизация строительства. 2015. № 11. С. 22–26.
17. **Ракунов Ю. П., Абрамов В. В., Ракунов А. Ю.** Роль скорости резания и радиуса округления режущего клина в эффективности тонкой механической обработки труднообрабатываемых материалов // СТАНКОИНСТРУМЕНТ. 2020. № 1; 2. С. 66–72; 76–81.
18. **Васильев А. С., Дальский А. М., Золотаревский Ю. М. и др.** Направленное формирование свойств изделий машиностроения. М.: Машиностроение, 2005.
19. **Цырков А. В., Торпачев А. В.** Моделирование технологических операций // Информационные технологии. 1998. № 3. С. 69–72.
20. **Торпачев А. В.** Алгоритмический подход к формированию технологических баз данных // Ракетно-космические комплексы. М.: МАТИ-КБТМ, 2007. Вып. 1. С. 25–31.
21. **Торпачев А. В.** Применение восходящего метода проектирования технологических процессов механической обработки деталей аэрокосмической техники // Технология машиностроения. 2011. № 1. С. 12–16.
22. **Ракунов Ю. П., Абрамов В. В., Ракунов А. Ю.** Критерии обрабатываемости труднообрабатываемых материалов, оптимизация инструмента и режимов резания в прецизионном групповом производстве // СТАНКОИНСТРУМЕНТ. 2021. № 4. С. 62–72.
23. Machining: fundamentals and recent advances / Ed. J. Paulo Davim. Springer, 2008. 361 p.
24. **Klocke F.** Manufacturing Processes. Cutting. Springer, 2011. 500 p.
25. **Лелюхин В. Е., Колесникова О. В.** Метод формального проектирования технологии обработки на станках деталей судовых машин // Морские интеллектуальные технологии. 2021. Т. 3–4. С. 39–46.

Авторы

- Ракунов Юрий Павлович** – кандидат технических наук, доцент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета
- Абрамов Валерий Васильевич** – доктор технических наук, профессор Национального исследовательского Московского государственного строительного университета
- Ракунов Александр Юрьевич** – инженер Национального исследовательского Московского государственного строительного университета