

А. А. Жданов¹, И. В. Фирсов², А. А. Кожевникова¹, Е. В. Капиносова¹

**ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАНЫХ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН
ПРИ МНОГОПЕРЕХОДНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

¹Волгоградский государственный технический университет

²АО «Федеральный научно-производственный центр
«Титан-Баррикады»

E-mail: alex_128@mail.ru

Рассматриваются проблемы обеспечения заданных эксплуатационных свойств деталей машин при многопереходной механической обработке, а также причины расхождений и ошибок, закладываемых на этапе проектирования технологического процесса.

Ключевые слова: шероховатость, дефектный слой, токарная обработка, маршрутное проектирование, технологический процесс, режимы резания.

A. A. Zhdanov¹, I. V. Firsov², A. A. Kozhevnikova¹, E. V. Kapinosova¹

**THE PROBLEMS OF ENSURING SPECIFIED PERFORMANCE PROPERTIES
OF MACHINE PARTS DURING MULTITRANSIENT MACHINING**

¹Volgograd State Technical University

²JSC "Federal Research and Production Enterprise Center"

Titan-Barricady

The article considers the problems of ensuring the specified operating properties of machine parts during multitransient machining, and more precisely, the discrepancies and errors laid down at the stage of technological process design.

Keywords: roughness, defective layer, turning process, routes projecting, technological process, cutting conditions.

Перед инженером-технологом при разработке технологического процесса механической обработки стоит задача выполнить требования, заложенные конструктором при разработке рабочего чертежа детали. Помимо обеспечения требований по размерной точности, а также точности формы и взаимного расположения поверхностей, невыполнение которых может привести к невозможности сборки или функциональной непригодности узлов деталей машин, к поверхностям деталей предъявляются и другие требования. К характеристикам, кото-

рые определяют эксплуатационные свойства, можно отнести, в частности, параметр шероховатости, глубину дефектного слоя, показатели прочности, микротвердости, остаточных напряжений и т. д. Некоторые из них для конкретного материала определяются правильно подобранным режимом термообработки, на другие же во многом влияют маршрут и режимы механической обработки.

Рассмотрим более подробно некоторые проблемы, с которыми сталкивается технолог при маршрутном проектировании и назначении

режимов резания, на примере обработки цилиндрической поверхности детали типа вал диаметром $\varnothing 55\text{м}6$ с шероховатостью поверхности $Ra = 0,63 \text{ мкм}$ из стали 45. Показатели твердости согласно требованиям чертежа обеспечиваются термообработкой ТВЧ, после которой необходима окончательная механическая обработка.

В работах [1], [2] говорится о том, что количество альтернативных маршрутов обработки может быть очень велико, причем достижимая точность обработки различными методами может колебаться в некотором диапазоне по данным разных машиностроительных справочников. Аналогичная ситуация и с различными параметрами, характеризующими эксплуатационные свойства. Наиболее проработанным среди них является параметр Ra шероховатости поверхности, информация о достижимых показателях которого для каждого метода обработ-

ки имеется в большинстве справочников. Сведения о других параметрах шероховатости, глубине наклепа, микротвердости, остаточных напряжениях и т.д. при наружной обработке цилиндрических поверхностей приводятся только в некоторых (двух-трех) справочниках, при этом охвачены не все возможные методы обработки [1], [2] и не все параметры. Этот факт говорит о необходимости экспериментальных исследований в данном направлении и является одной из проблем проектирования.

Если вернуться, к примеру и считать, что при проектировании технологического процесса технологу достаточно выполнить требования по размерной точности и шероховатости, то маршруты обработки, которые с наибольшей вероятностью позволят выполнить требования, можно представить в виде ориентированного графа (рис. 1).

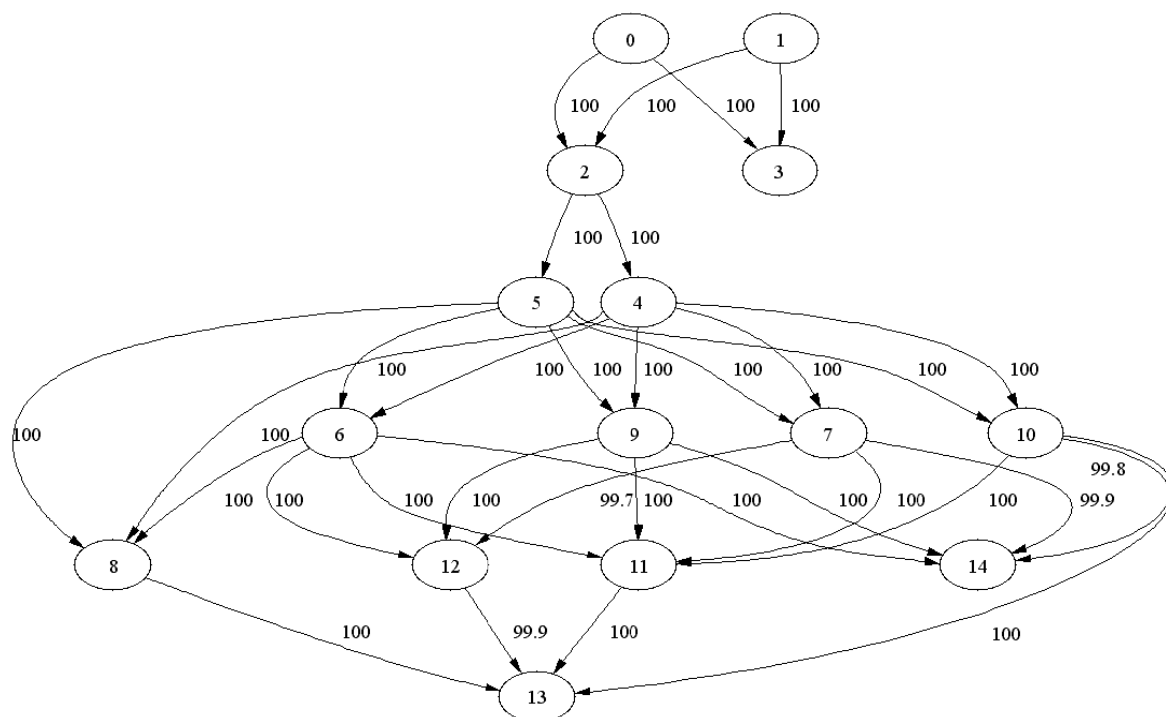


Рис. 1. Совокупность маршрутов обработки по параметрам точности IT и шероховатости Ra , представленная в виде ориентированного графа

Такой подход позволяет представить задачу технологического проектирования в виде задачи линейного программирования, которая является, по сути, формализованной. Разумеется, среди найденной совокупности решений технолога будут интересовать наиболее выгодные по выбранному критерию оптимизации, например,

по производительности. Результат подобной оптимизации и поиска решения представлен на рис. 2 в виде скриншота рабочего окна программы [3], а также в табл. 1 в виде ориентированного графа приблизительно равнозначных маршрутов обработки.

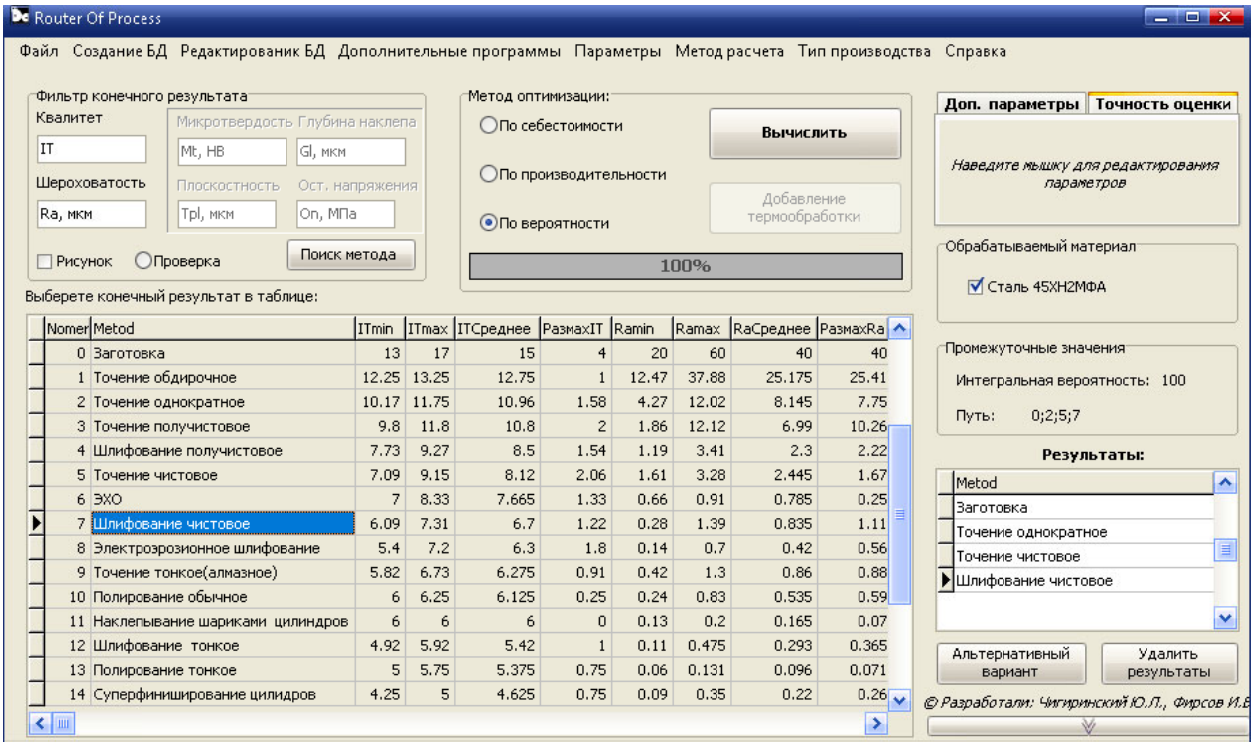


Рис. 2. Скриншот рабочего окна программы Router of Process: один из предлагаемых маршрутов обработки по параметрам размерной точности IT и шероховатости Ra

Таблица 1

Результат маршрутного проектирования

№	Метод обработки	Ориентированный граф
0	Заготовка	
1	Точение однократное	
2	Точение чистовое	
3	Шлифование чистовое	
4	Шлифование получистовое	
5	Точение тонкое (алмазное)	

Следует отметить, что данные маршруты по параметрам IT и Ra являются взаимозаменяемыми, т. е. в зависимости от оснащённости станочного парка, производительности и других показателей можно выбирать любой маршрут. Однако, одинаковы ли будут другие параметры, характеризующие эксплуатационные свойства? Этот вопрос требует детальной проработки и экспериментальных исследований.

Допустим, в результате описанного выше анализа принят некоторый маршрут обработки, например, заготовка – однократное точение – чистовое точение – чистовое шлифование. Одним из последующих вопросов технологического проектирования является выбор режимов обработки: глубины резания, подачи, скорости

резания, а также силы и мощности резания. Сравним рекомендации нескольких источников по назначению режимов резания для чистового точения (табл. 2, 3).

Понятно, что при расчете по одной принятой скорости результаты расчета сил резания и мощности по разным справочникам будут более адекватными и не будут давать такие расхождения, как в табл. № 3, однако, как показывают данные источников [9], [10] эти расхождения все равно могут быть очень существенными и могут достигать 100 % и более. В статье [10] показано, что ошибки при расчете радиальной составляющей силы резания пропорционально транслируются на результат обработки в виде погрешностей из-за нежесткости технологической систе-

мы, отжатий, прогиба заготовки и т. п., приводя к выходу за допускаемые значения не только по точности формы и взаимного расположения, но и по параметру размерной точности.

Таблица 2

Сравнение рекомендаций по выбору глубины резания и подачи при чистовом продольном точении стали 45 резцом из T15K6

Литература*	Параметры					
	Глубина, мм		Подача, мм/об		Шероховатость Ra, мкм	
	t_{min}	t_{max}	S_{min}	S_{max}	Ra_{min}	Ra_{max}
[4]	0,12	0,25	–	–	–	–
[5]	0,07	0,35	0,1	0,4	0,63	2,5
[6]	0,03	0,2	0,05	1	1,25	2,5
[7]	0,09	0,31	0,5	1,5	–	–
[8]	0,05	0,25	0,5	2	–	–
Размах, R	0,09	0,15	0,45	1,60	0,62	0
R/min, %	300	75	900	400	98	0

Таблица 3

Сравнение рекомендаций по расчету скорости и силы резания при чистовом продольном точении стали 45 резцом из T15K6

Литература*	T,	t,	S,	v,	Силы, Н			N,	n,
	мин	мм	мм/об	м/мин	P_z	P_x	P_y	кВт	мин ⁻¹
[4]	60	0,5	0,2	293	343	–	137	1,7	1697
[5]	60	0,5	0,2	302	170	89	68	0,5	1749
[6]	60	0,5	0,2	306	–	–	–	–	1772
[7]	60	0,5	0,2	395	567	340	207	3,7	2287
[8]	60	0,5	0,2	270	180	–	–	0,8	1563
[9]	60	0,5	0,2	158	265	127	182	0,7	915
Размах, R	–	–	–	237	397	251	139	3,2	1372
R/min, %	–	–	–	150	234	282	204	647	150

В результате работы можно сделать следующие выводы:

1. Требуется экспериментальные данные и математические модели, которые могут позволить на этапе проектирования технологического процесса выбирать маршруты обработки, которые обеспечат выполнение требований, характеризующих эксплуатационные свойства детали.

2. Необходимо разрабатывать адекватные и достоверные математические модели проектных расчетов режимов резания, которые позволят обеспечивать достижимые на каждой технологической операции и переходе параметры, характеризующие эксплуатационные свойства.

3. Ошибки, закладываемые при выборе режимов резания, влияют на точность и качество обработки, стойкость режущего инструмента и другие параметры, снижая эффективность обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чигиринский, Ю. Л. Информационный комплекс проектирования планов механической обработки / Ю. Л. Чигиринский, И. В. Фирсов, Н. В. Чигиринская // СТИН. – 2013. – № 6. – С. 18–21.
2. Фирсов, И. В. Состояние поверхностного слоя детали после черновой лезвийной обработки стали 45ХН2МФА / И. В. Фирсов, Ю. Л. Чигиринский // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 (187) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2016. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 55–59.
3. Свид. о регистрации программы для ЭВМ № 2013614279 от 26 апреля 2013 г. РФ Проектирование маршрута обработки наружных цилиндрических поверхностей / Ю. Л. Чигиринский, И. В. Фирсов ; ВолгГТУ. – 2013.
4. Режимы резания металлов. Справочник / под ред. Ю. В. Барановского. – М. : Машиностроение, 1972. – 364 с.
5. Справочник технолога / под общей ред. А. Г. Сулова. – М. : Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с.
6. Справочник в 2 т. Т. 1. Общемашиностроительные нормативы режимов резания / А. Д. Локтев, И. Ф. Гущин, В. А. Батуев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1991. – 640 с.

7. Справочник. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением / под ред. В. И. Гузеева. – М. : Машиностроение, 2005. – 368 с.

8. Справочник токаря-универсала / под ред. М. Г. Шеметова, В. Ф. Безъязычного. – 2-е издание., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2007. – 576 с.

9. *Плотников, А. Л.* Управление режимами резания на токарных станках с ЧПУ : монография / А. Л. Плотников,

А. О. Таубе ; ВолгГТУ. – Волгоград: Волгогр. науч. изд-во, 2003. – 184 с.

10. Анализ причин ошибок при расчете погрешностей из-за упругих перемещений элементов технологической системы при токарной обработке / А. А. Жданов, А. Л. Плотников, Ж. С. Тихонова, Р. И. Аржуханов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (248) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 12–15.