

УДК 621.7.01

С. Н. Яковлев, кандидат технических наук, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ, ЧИСТОВАЯ И ФИНИШНАЯ ОБРАБОТКА ПОЛИУРЕТАНОВОГО ПОКРЫТИЯ ДЕТАЛЕЙ ВРАЩЕНИЯ

Приведены режимы обработки полиуретанового покрытия резцами на токарном станке. Рассмотрены методы полирования с помощью абразивных кругов, игольчатых фрез, абразивных лент, и даны рекомендации для выбора соответствующего метода обработки.

**Ключевые слова:** режимы обработки резцами, режимы полирования, игольчатые фрезы, абразивное полотно, дефекты поверхности.

Современное машиностроение предъявляет высокие требования к деталям вращения с полиуретановым покрытием, в частности к печатным валам для полиграфии. Учитывая тот факт, что эксплуатационные скорости в современной полиграфии приближаются к 6 м/с, сильно ужесточаются требования по цилиндричности и радиальному бою, предъявляемые к печатным валам. Допустимая разность диаметров на концах вала не должна превышать величину 0,15 мм, а радиальный бой – 0,02 мм. Помимо этого полиуретановое покрытие печатного вала должно иметь шероховатость не выше Ra 1,0. Вполне очевидно, что представленные требования по геометрии, радиальному бою и шероховатости полиуретанового покрытия может обеспечить шлифование. Однако вопросы обработки полиуретанового покрытия начнем с рассмотрения черновой токарной обработки.

Предварительная обработка рабочей поверхности деталей вращения после их отливки может производиться на стандартных токарных станках. В связи с высокой податливостью слоя полиуретана твердостью менее 65 ShA, удаляемого с поверхности вращения заготовки детали, обычные лезвийные резцы не

пригодны. При работе они не режут полиуретан, а сдвигают, мнут и рвут его. Исключение представляет подрезка торцев тонким резцом. Для черновой обработки сравнительно мягких полиуретанов, и особенно для удаления отработанного слоя эластомера с целью повторного использования арматуры, эффективными оказались резцы кольцеобразной формы [1, 2].

Данные резцы при работе формируют сливную стружку, обеспечивают большие продольные подачи при радиальном заглублении, достаточном для обработки за один проход. Обработанная кольцевыми резцами поверхность имеет волнистость большой амплитуды. И для получения требуемой цилиндричности и минимизации радиального боя полиуретанового слоя при вращении необходима финишная обработка.

Для обработки полиуретана твердостью 90 ShA могут использоваться стандартные лезвийные резцы. Из производственной практики обработки валов для полиграфии и других деталей вращения были получены рекомендуемые ниже режимы обработки резцами полиуретанового покрытия.

Рекомендуемые режимы обработки резцами представлены в табл. 1.

Таблица 1. Режимы обработки полиуретанового покрытия валов резцами

Тип резца	Твердость 65 ShA			Твердость 90 ShA		
	Заглубление $a$ , мм	Окружная скорость $V$ , м/с	Продольная подача $v$ , мм/об	Заглубление $a$ , мм	Окружная скорость $V$ , м/с	Продольная подача $v$ , мм/об
Кольцевой	5...10	1,2...1,5	6...8	–	–	–
Лезвийный	–	–	–	5...10	1,2...1,5	0,3...0,4

Точность формы деталей вращения типа колеса или ролика обычно обеспечивают шлифованием. Качество поверхности должно обеспечиваться специализированными методами шлифования или полирования. Однако процессы шлифования эластомеров разработаны недостаточно, и в этой связи был выполнен анализ рациональных технологий и инструментов.

С помощью керамических абразивных кругов на основе оксида алюминия или карбида кремния опытный шлифовщик может добиться сравнительно гладкой поверхности эластомера, но абразивные круги мало пригодны для предварительной обработки заготовки. В процессе такой обработки часто возникают прижоги, в результате выделяется дым и рас-

пространяется неприятный запах. Шлифовка эластомеров керамическими кругами возможна для твердых покрытий  $\geq 90$  ShA на жесткой арматуре.

Значительные силы резания заставляют предъявлять к жесткости шлифовального станка повышенные требования. Использование шлифовальных головок на обычных токарных станках обеспечивает приемлемую точность формы, но невысокие параметры шероховатости. Если допустимая частота вращения круга ограничена, то диаметр круга должен быть увеличен, чтобы обеспечить приемлемую производительность процесса.

Рекомендуемые режимы обработки полиуретана абразивными кругами указаны в табл. 2

Таблица 2. Режимы шлифования полиуретанового покрытия

Тип инструмента	Твердость 65 ShA			Твердость 90 ShA		
	Заглубление $a$ , мм	Окружная скорость $V$ , м/с	Продольная подача $V_f$ , мм/об	Заглубление $a$ , мм	Окружная скорость $V$ , м/с	Продольная подача $V_f$ , мм/об
Абразивный круг	2...4	20	0,35	1	22	0,5
Игольчатая фреза	4	22	0,28	4	22	0,28
Абразивная лента	–	0...25	–	–	–	–

Игольчатые фрезы на стальной основе были разработаны, чтобы преодолеть некоторые ограничения, присущие керамическим кругам. Они могут работать при очень больших окружных скоростях и производить более грубую обработку, но при этом требуют большой мощности привода. В процессе их работы выделяется много тепла и дыма, становится необходимым использование смазочно-охлаждающих жидкостей.

В производственной практике широко используется игольчатая фреза типа SSG диаметром 10" (254 мм), рекомендованная для чистовой обточки материалов средней твердости. Процессы резания игольчатой фрезой весьма специфичны. Вооружение фрезы фирмы «Робберхог» в виде открытых конических карбид-вольфрамовых игл имеет открытую структуру, в результате чего механическая обработка только в некоторой степени схожа с фрезерованием. Обычное вооружение SSG – иглы, размещенные в случайном порядке по режущей поверхности фрезы (рис. 1).

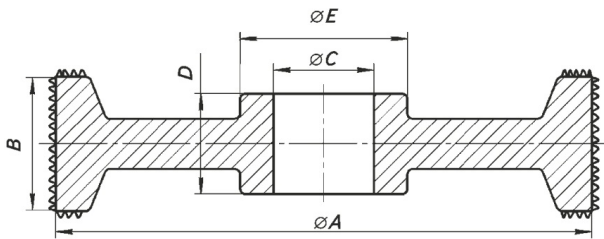


Рис. 1. Игольчатая фреза фирмы «Робберхог»

Более совершенно вооружение MCM, состоящее из одинаковых конических игл, равномерно размещенных ровными рядами. Иглы типа SSG или MCM приварены к центру, изготовленному из высокопрочной закаленной стали, что позволяет использовать фрезы на больших окружных скоростях. Срок службы фрез превышает срок службы абразивных кругов, но наиболее важное их достоинство – повышение производительности.

При частоте вращения 3000 об/мин при обработке валов, покрытых полиуретаном «Монотан» 40...90 ShA, была получена шероховатость не выше Ra 1,0. Во избежание возникновения колебательных процессов, особенно при недостаточно жесткой арматуре изделия, целесообразно предусмотреть привод (по типу шлифовальной головки) с переменной частотой вращения игольчатой фрезы.

При обработке полиуретана выявлены следующие преимущества игольчатых фрез.

1. При обработке эластомеров игольчатыми фрезами выделяется меньше тепла, и требуется меньшая

мощность привода, чем при шлифовании абразивным кругом.

2. Фреза эффективна при окружных скоростях от 30 до 100 м/с, соответственно, для высоких и низких показателей твердости полиуретана.

3. Правка фрезы может быть выполнена с высокой точностью, и поэтому за один проход может производиться как черновая, так и чистовая обточка.

4. Благодаря обработке за один проход значительно экономится время, затрачиваемое на смену инструмента при использовании других методов обработки.

Рекомендуемые режимы обработки игольчатыми фрезами приведены в табл. 2.

Абразивные ленты в принципе более эффективны, чем керамические круги. Первоначально изделие может быть обработано крупнозернистой лентой, а затем окончательно отшлифовано более мелкозернистой. Особенно эффективно, согласно [3], использование бесконечных абразивных лент для малоотходных заготовок колес и валов, получаемых литьем. Однако не все технические способы могут быть использованы.

При шлифовке по методу фирмы «Метабо» (рис. 2, а) прижимной ролик, даже обрешиненный, чрезмерно деформирует обрабатываемую поверхность. Налипание стружки эластомера на прижимной ролик приводит к возникновению вибраций и вызывает сход ленты с направляющих роликов. Абразивная лента обычно не позволяет получить большую глубину врезания за один проход, а смена ленты занимает время.

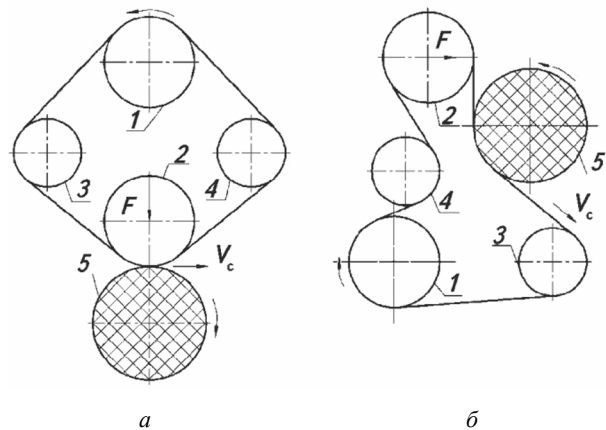


Рис. 2. Способы финишной обработки полиуретановых поверхностей вращения абразивными лентами: а – шлифовальный станок фирмы «Метабо»: 1 – ведущий ролик; 2 – прижимной ролик; 3, 4 – натяжные ролики; 5 – полиуретановая поверхность; б – шлифовальная головка фирмы «Ремко»: 1 – ведущий ролик; 2, 3 – прижимной ролик; 4 – натяжные ролики; 5 – полиуретановая поверхность

Более перспективен метод фирмы «Ремко» (рис. 2, б), где используется свободная ветвь полотна абразивной ленты. Особенно эффективен процесс полирования доводочной лентой, проблематичный при других способах финишной обработки.

Основные преимущества полирования полиуретанов по методу «Ремко»:

1. Жесткость станка практически не влияет на качество обработки, поэтому становится возможным использование обычных токарных станков.

2. Малые силы резания позволяют производить полирование полиуретанового покрытия, нанесенного на маложесткую арматуру.

3. Низкая теплonaпряженность процесса обеспечивает наивысшие показатели шероховатости, что важно для печатных валов.

По результатам исследования были сформулированы требования к шлифовально-полировальной головке. Во избежание прижогов полиуретана линейная скорость полотна абразивной ленты  $V = 0...25$  м/с, число пробегов ленты длиной  $L$ , м,  $U = V/L < 15$ , давление в контакте  $p = 0,5...1$  МПа в зависимости от твердости полиуретана и требований к шероховатости изделия. Для твердых полиуретанов может быть целесообразным использование смазочно-охлаждающих жидкостей или обдувка воздухом.

При ручной притирке может быть достигнута шероховатость до  $Ra\ 0,63...0,32$ , но качество нестабильно даже в пределах одной детали, а производительность труда низка.

При визуальном контроле качества финишной обработки поверхности деталей с полиуретановым покрытием довольно часто выявляются рисунки сложного вида. Пятна, видимые лучше на твердом покрытии, ухудшают товарный вид детали даже тогда, когда класс шероховатости остается в допустимых пределах. Надрывы на полиуретановой поверхности печатных валов, характерные для мягких профилей, являются безусловным браком. Анализ рисунка в виде полос на поверхности обрабатываемой детали вращения весьма информативен для диагностики состояния инструмента и станка, а также для подбора рациональных режимов обработки. Выделены однократные дефекты и причины, приводящие к их возникновению (в реальности имеются комбинированные дефекты и консолидированные источники их возникновения).

Для игольчатых фрез характерные дефекты обрабатываемой поверхности печатного вала представлены на рис. 3.

Исходя из производственной практики шлифовки печатных валов игольчатыми фрезами были сформулированы следующие причины возникновения того или иного дефекта обрабатываемой поверхности и приведены рекомендации по их устранению.

1. Царапины – фреза не заточена, или иглы слишком грубые для данной твердости материала (рис. 3, а).

2. «Апельсиновая корка» – следствие натягивания и надрыва чешуек мягкого материала (рис. 3, б). Для устранения этого дефекта следует увеличить окру-

ную скорость фрезы или использовать фрезу с более мелкими иглами.

3. Вырывы – чаще встречаются на твердых материалах, но они нередки и при средней твердости (рис. 3, в). Причина – затупление игл фрезы.

4. Спирали продольной подачи – скорость продольной подачи не соответствует частоте вращения детали (рис. 3, г). Следует синхронизировать скорость продольной подачи и окружную скорость фрезы.

5. Спирали отскока фрезы – иглы фрезы на передней кромке неравномерно изношены и вызывают колебания упругого слоя (рис. 3, д).

6. Спирали поперечной подачи – глубина поперечной подачи превышает режущую способность игл фрезы (рис. 3, е). Следует уменьшить заглублиение фрезы в полиуретановый слой.

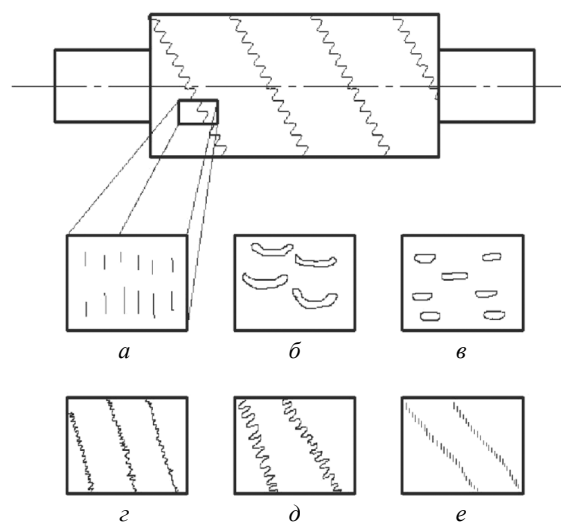


Рис. 3. Типы рисунка на обрабатываемой поверхности полиуретанового покрытия вала: а – царапины; б – «апельсиновая корка»; в – вырывы; г – спирали продольной подачи; д – спирали отскока фрезы; е – спирали поперечной подачи

Примерно аналогичные дефекты поверхности наблюдаются и при шлифовании абразивными кругами.

Сравнение выбранных методов финишной обработки полиуретанового покрытия позволяет сделать следующие выводы.

1. Для обработки мягких полиуретановых покрытий (40 ShA и ниже) рекомендуется использование игольчатых фрез с коническими произвольно расположенными иглами.

2. Для твердых поверхностей рекомендуется тщательный подбор пористости и зернистости абразивного круга для предотвращения появления дефектов на обрабатываемой поверхности.

3. В том случае, когда предъявляются повышенные требования по шероховатости полиуретанового покрытия ( $Ra\ 0,63...0,32$ ) рекомендуется обработка абразивной лентой по методу «Ремко».

#### Библиографические ссылки

1. Кобаяши А. Обработка пластмасс резанием. – М. : Машиностроение, 1974. – 204 с.

2. Тихомиров Д. А., Николаев В. И. Механическая обработка пластмасс. – Л. : Машиностроение, 1967. – 205 с.

3. Паньков Л. А., Костин Н. В. Обработка инструментами из шлифовальной шкурки. – Л. : Машиностроение, 1988. – 236 с.

S. N. Yakovlev, PhD in Engineering, Saint Petersburg State Polytechnic University

### Rough Finish and Final Polishing of Polyurethane Coating of Turned Part

*Chiselling conditions of polyurethane coating on lathe are provided. Methods of sanding, polishing by abrasive wheels, needlelike millers and abrasive belts are considered and recommendations for choosing the corresponding processing technique are given.*

**Key words:** chiselling conditions, modes of polishing, needlelike miller, abrasive cloth, surface defects.

УДК 621.69

**К. А. Михалев**, аспирант, Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова

**А. Н. Шельпяков**, кандидат технических наук, доцент, Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ В ВИХРЕВЫХ УСТРОЙСТВАХ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

*Рассматривается возможность применения современных средств вычислительной гидродинамики к моделированию вихревых потоков. Проведен анализ и сравнение прикладных математических моделей.*

**Ключевые слова:** вихревое течение, моделирование, инженерный анализ, эжекторное устройство.

**В**ихревые устройства находят широкое применение в процессах опреснения и очистки воды; дегазации, осушки и обеспыливания; охлаждения, кондиционирования и теплоутилизации; смешения и гомогенизации. Известны работы по исследованию вихревых эжекторных устройств и вакуум-насосов, но до настоящего времени нет единой методики проектирования высокоэффективного вихревого эжекторного устройства [1].

Исследование вихревого потока представляет собой сложную задачу, так как он является трехмерным, высокоскоростным и турбулентным. Так, при исследовании вихревых камер больших размеров возникает необходимость создания больших расходов и давлений подаваемой на питание среды. При исследовании вихревых камер малых размеров аппаратные средства вносят существенные возмущения в поток, что нарушает достоверность проводимых исследований [2]. Кроме того, для проведения натурных исследований возникает необходимость изготовления экспериментальных образцов с различными геометрическими и аэродинамическими параметрами, что связано с большими временными и материальными затратами.

В настоящее время в качестве альтернативы экспериментальным и теоретическим исследованиям появилась возможность исследования с помощью вычислительных методов имитационного моделирования гидродинамических процессов с использова-

нием конечноэлементного анализа на основе системы уравнений Навье – Стокса [3]. Благодаря этому, прикладные пакеты вычислительной гидродинамики, такие как Ansys CFX, Fluent, FlowVision, Autodesk Simulation CFD, Siemens NX CAE и Gas Dynamics Tool нашли широкое применение в промышленности.

Процесс исследования при использовании программных комплексов можно разделить следующих основных этапов.

1. Разработка конструкции исследуемого объекта с помощью САД-систем и создание 3D-модели.
2. Разработка объемной модели проточной части исследуемого объекта.
3. Наложение на объемную модель сетки (разбивка на конечные элементы).
4. Назначение начальных условий расчетов: указание входов, выходов, характера сред и пр.
5. Проведение расчетов и получение картины течения.
6. Анализ результатов моделирования: физической картины течения, параметров потоков и др.

Исследование вихревого эжекторного устройства с помощью прикладных программ позволит выявить влияние геометрических параметров на характеристики устройства, определить параметры потока в вихревой камере.

Для проведения моделирования процесса работы вихревого эжекторного устройства использованы два программных комплекса – Ansys CFX и FlowVision.