

Обеспечение качества токарной обработки заготовок из фторопласта на основе выбора рациональных режимов резания

О.Ю. Еренков

д.т.н., профессор, зав. кафедрой Технологии машиностроения Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета; г. Комсомольск-на-Амуре

М.А. Козлова

аспирант кафедры Технологии машиностроения Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета; г. Комсомольск-на-Амуре

А.Г. Ивахненко

д.т.н., профессор кафедры Управления качеством, метрологии и стандартизации Юго-Западного государственного университета; г. Курск

Известно, что качество обработанной поверхности детали зависит от характера и параметров относительных колебаний инструмента и заготовки, которые вызывают периодическое изменение толщины срезаемого слоя и сил резания, что в свою очередь ведет к изменению размеров и появлению геометрических погрешностей у обработанных деталей, а также к снижению стойкости режущего инструмента [1].

На примере токарной обработки полимерных материалов показано [2], что колебания технологической системы «станок – приспособление – инструмент – заготовка» (СПИЗ) могут привести к переходу системы в потенциально нестабильное состояние и, как следствие, к ухудшению параметров качества обработанной поверхности. При этом причинами перехода системы в нестабильное состояние также являются неоднородность обрабатываемого материала заготовки и внешние воздействия на материал заготовки, приводящие к изменению его структуры.

Для снижения уровня колебаний в технологической системе уменьшают режимы резания,

вследствие чего существенно снижается производительность обработки и, соответственно, всего технологического процесса изготовления деталей и изделий.

В данной работе целью исследования поставлена экспериментальная проверка правильности выбора режимов резания при точении заготовок из фторопласта, а также установление характера взаимосвязи между режимом резания, видом предварительной подготовки заготовок и уровнем шероховатости обработанной точением поверхности.

Методика проведения экспериментальных исследований

Эксперименты проводились в несколько этапов. На первом этапе посредством моделирования [3] определены зоны стабильного и нестабильного состояний динамической системы при точении заготовки из фторопласта, а также проведены экспериментальные исследования процесса стружкообразования при обработке в зонах стабильного и нестабильного состояний.

Второй этап экспериментов содержал исследование изменения шероховатости обработанной поверхности детали из фторопласта в зависимости от величины продольной подачи, которая варьировалась в диапазоне от 0,08 до 0,28 мм/об. Экспериментальные исследования данного этапа проводились в соответствии с разработанным способом [4]. Исследовались следующие варианты токарной обработки капролона:

- 1) токарная обработка заготовок без применения какого-либо предварительного воздействия на материал;
- 2) деформирование заготовки путем сжатия и растяжения и последующая токарная обработка.

Величина усилия деформирования выбиралась с помощью механической диаграммы нагружения фторопласта [2] и составляла 12 МПа.

В качестве выходного параметра из номенклатуры параметров шероховатости (ГОСТ 2789-73*) выбрано среднее арифметическое отклонение профиля R_a .



На заключительном этапе проводилась регистрация колебаний технологической системы при точении заготовок из фторопласта при значениях продольной подачи s от 0,12 до 0,28 мм/об. Параметры режима резания: скорость резания $v=120$ м/мин; глубина резания $t = 1$ мм; продольная подача $s=0,1$ мм/об., при этом глубина резания и скорость резания поддерживались постоянными на протяжении всех исследований.

При проведении исследований применялась экспериментальная установка, в состав которой входит универсальный токарный патронно-центровой станок модели РТ755Ф311 и измерительный комплекс.

Измерительный комплекс использовался для регистрации колебаний, возникающих в технологической системе, он включает измеритель шума и вибрации ВШВ-003 с пьезоэлектрическим преобразователем ДН-4, который был закреплен на резцедержателе станка. Принятый электрический сигнал после аналого-цифрового преобразования поступал на ЭВМ для дальнейшего корреляционного и спектрального анализа. Для корреляционного и спектрального анализа колебаний [5] технологической системы использовалась свободно распространяемая версия программы *Power Graph 3.2*.

При проведении спектрального анализа определялась спектральная плотность энергии виброускорения $u(t)$, также называемая энергетическим спектром $V(f)$, определяемым как [6]:

$$V_u(f) = |U(f)|^2, \quad (1)$$

где f – частота колебаний, Гц; $U(f)$ – спектральная плотность (комплексный амплитудный спектр) виброускорения, равная [7]

$$U(f) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)e^{-j2\pi ft} dt, \quad (2)$$

где j – мнимая единица, t – время.

Физический смысл энергетического спектра состоит в том, что энергия сигнала (виброускорения) E_u равна:

$$E_u = \int_{-\infty}^{\infty} u^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} V(f) df, \quad (3)$$

то есть энергия сигнала является результатом суммирования вкладов от различных интервалов частотной оси, а сам энергетический спектр отражает распределение энергии сигнала по частотам колебаний.

Результаты экспериментальных исследований

На *рис. 1* и *2* представлены границы зон стабильности, полученные при моделировании процесса точения заготовок из фторопласта. Экспериментальная проверка возможности появления нестабильности при обработке фторопласта выполнялась при следующих технологических режимах обработки: продольная подача $s=0,1$ мм/об., глубина резания $t=1$ мм. Фотографии полученных стружек представлены на *рис. 3*.

Анализ полученных данных показал соответствие характера процесса стружкообразования зонам стабильности и нестабильности технологической системы. Так, фотография стружки, представленная на *рис. 3а*, соответствует процессу обработки в зоне стабильности, а стружка является сливной. Фотография стружки, представленная на *рис. 3б*, соответствует процессу обработки в области перехода от зоны стабильности к зоне нестабильности, при этом стружка может считаться суставчатой. А фотография стружки, представленная на *рис. 3в*, соответствует процессу обработки фторопласта в зоне нестабильности технологической системы, что наглядно подтверждается типом стружки, которую можно считать элементной или стружкой скалывания.

На *рис. 4* графически представлены зависимости параметра шероховатости Ra от величины подачи в случае применения предварительного сжатия

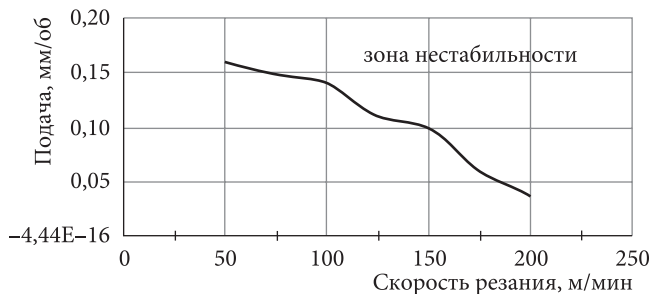


Рис. 1. Зоны нестабильности при обработке фторопласта при глубине резания 1,0 мм

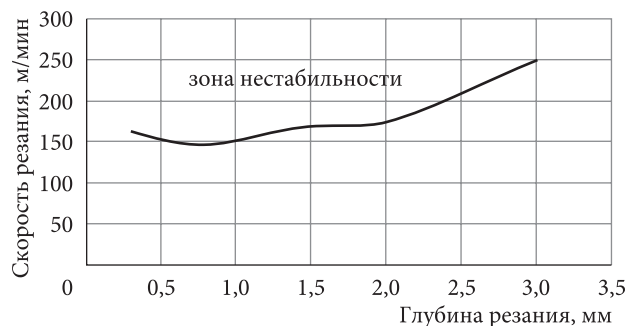
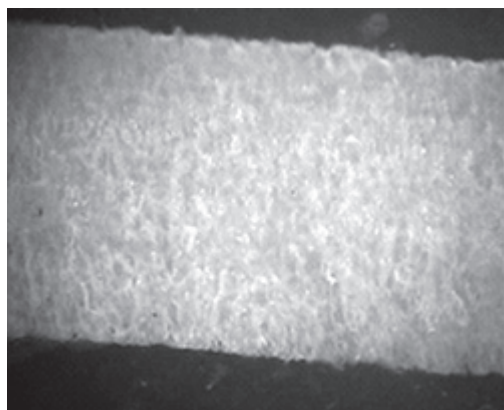
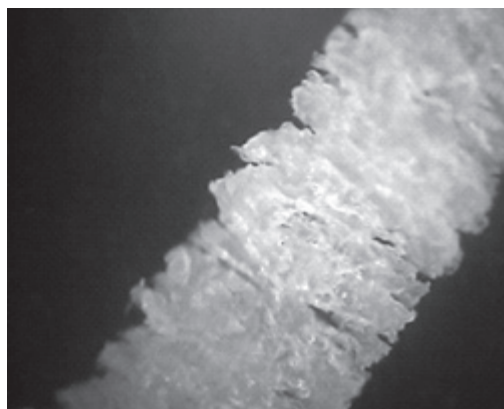


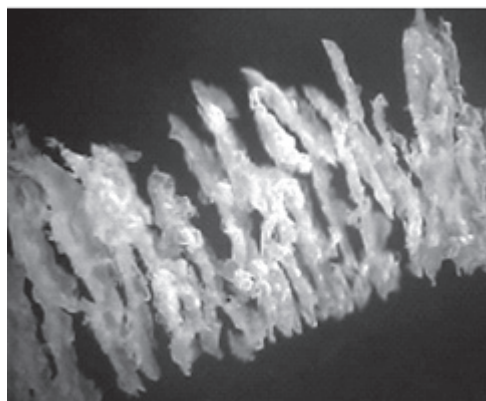
Рис. 2. Зоны нестабильности при обработке фторопласта при продольной подаче 0,1 мм/об.



а



б



в

Рис. 3. Фотографии стружек при обработке фторопласта:

а – скорость резания 100 м/мин;
б – скорость резания 150 м/мин;
в – скорость резания 200 м/мин

обрабатываемых заготовок (кривая 1) и для случая традиционного точения заготовок (кривая 2). Скорость резания составляла 120 м/мин. Как видно из рис. 4, рост величины подачи до 0,16 мм/об. не приводит к значительным изменениям шероховатости поверхности обрабатываемых заготовок для обоих случаев обработки, так как значения параметра Ra остаются приблизительно одинаковыми. В интервале подач от 0,16 до 0,28 мм/об. наблюдается резкое снижение качества обработанной поверхности, о чем

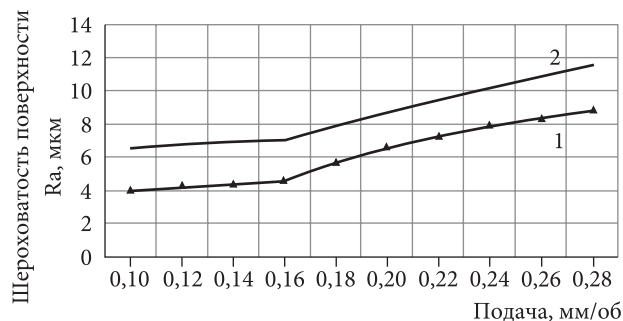


Рис. 4. Шероховатость обработанной поверхности фторопласта:

1 – точение после предварительного сжатия;
2 – базовый вариант обработки

свидетельствует рост значений параметра Ra . При этом характер зависимости примерно одинаковый.

Такой характер изменения качества обработанной поверхности объясняется с помощью результатов моделирования процесса точения [3]. Согласно рис. 1, реализация процесса при скорости резания 120 м/мин, глубине резания 1 мм и подаче 0,16 мм/об. приводит к нестабильному состоянию технологической системы «станок – приспособление – инструмент – заготовка» (СПИЗ), что сопровождается ухудшением условий стружкообразования и, соответственно, снижением качества обработанной поверхности.

Сравнительный анализ представленных данных позволяет сделать заключение о положительном эффекте от применения предварительного деформирования заготовки путем сжатия. Об этом свидетельствует заметное (до 1,7 раза) снижение величины шероховатости обработанной поверхности предварительно нагруженной заготовки относительно величины шероховатости поверхности для базового варианта.

Общую тенденцию снижения шероховатости обработанной точением поверхности после предварительного деформирования путем сжатия можно объяснить следующим образом. После снятия сжимающей нагрузки на заготовку в объеме материала действуют остаточные растягивающие напряжения, наличие которых обеспечивает эффект двойного разупрочнения поверхностного слоя заготовки. Во-первых, появляются поверхностные дефекты в виде микротрещин. Во-вторых, в вершинах имеющихся и появившихся микротрещин образуются зоны перенапряжения или зоны пластической деформации. В данных зонах имеет место частичное разрушение как химических, так и межмолекулярных связей полимера [6, 7], что и является основой улучшения условий дальнейшей токарной обработки и повышения качества обработанной поверхности в соответствии с технической сущностью разработанного исследуемого способа [4].

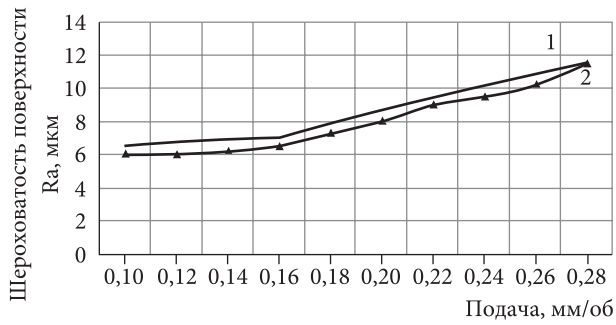
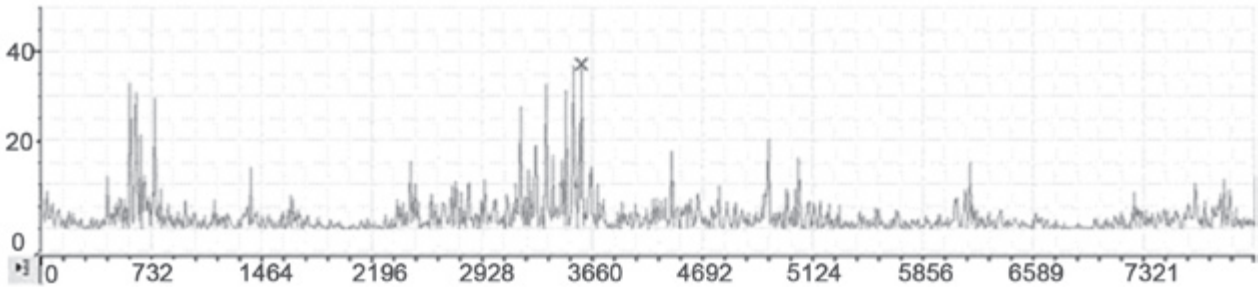
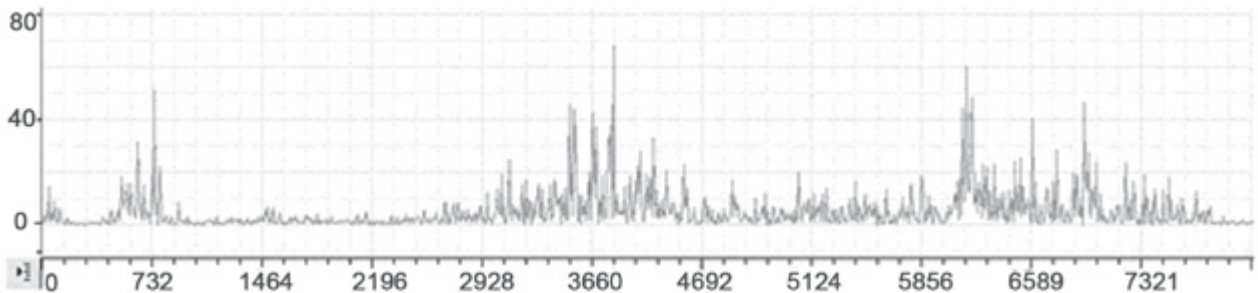


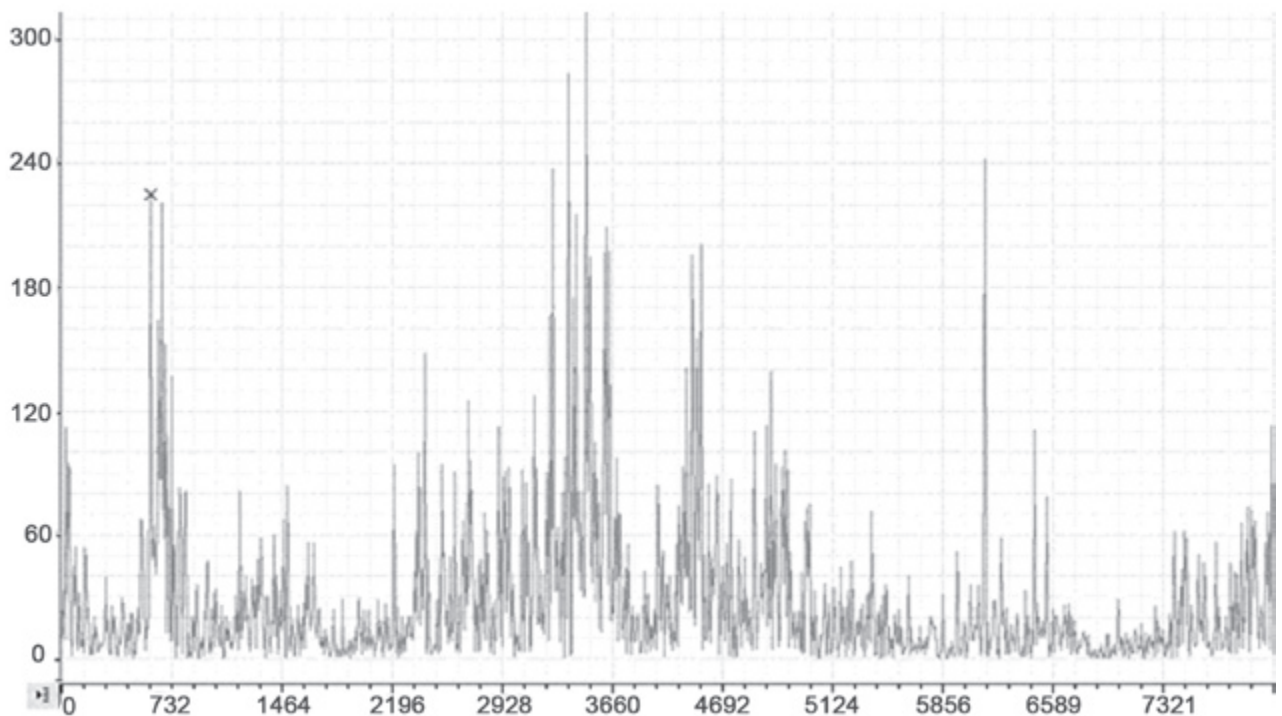
Рис. 5. Шероховатость обработанной поверхности фторопласта:
 1 – базовый вариант обработки;
 2 – точение после предварительного растяжения



а



б



в

Рис. 6. Энергетический спектр виброускорения при обработке фторопласта (по оси абсцисс отложены значения частоты колебаний f , Гц; по оси ординат отложены значения энергетического спектра $V(f)$, $(\text{м}/\text{с}^2)^2 \cdot \text{с}$): а – продольная подача 0,10 мм/об.; б – продольная подача 0,14 мм/об.; в – продольная подача 0,28 мм/об.

Далее проводилась токарная обработка заготовок из капролона после предварительного растяжения. Результаты исследования зависимости параметра шероховатости R_a поверхности капролона с учетом предварительного растяжения представлены на рис. 5.

В случае точения заготовок после предварительного растяжения качество обработанной поверхности улучшается незначительно по сравнению с базовым вариантом обработки заготовок во всем диапазоне реализуемых подач (рис. 5). При этом также наблюдается интенсивный рост значений параметра шероховатости R_a после подачи 0,16 мм/об., что свидетельствует о нерациональности данных режимов резания, так как технологическая система находится в зоне неустойчивости.

Общую тенденцию некоторого снижения шероховатости обработанной точением поверхности после предварительного деформирования путем растяжения можно объяснить наложением двух противоположных по своей технической сущности эффектов. После снятия растягивающей нагрузки в материале возникают, как известно, сжимающие напряжения. Данные напряжения, с одной стороны, приводят к смыканию части имеющихся микротрещин и блокируют их развитие. С другой стороны, эти напряжения, в соответствии с термофлуктуационной теорией прочности, обеспечивают напряжения химических и межмолекулярных связей, т.е. некоторое технологическое ослабление поверхностного слоя заготовки. Эти эффекты, по всей видимости, преимущественно компенсируют друг друга. Однако некоторое ослабление материала все же наличествует в конечном итоге за счет образования зон перенапряжения в вершинах имеющихся трещин. Это и является причиной незначительного увеличения качества последующей токарной обработки заготовок.

Анализ всех, представленных на рис. 4 и 5, данных позволяет сделать вывод о том, что характер формирования шероховатости обработанной поверхности для всех случаев обработки не изменяется, при подаче 0,16 мм/об. технологическая система СПИЗ переходит в неустойчивое состояние.

На рис. 6 представлены энергетические спектры колебаний технологической системы при обработке заготовки из фторопласта со следующими параметрами режима резания: скорость резания 120 м/мин; глубина резания 1 мм; продольные подачи 0,1, 0,14 и 0,28 мм/об. Сравнительный анализ полученных энергетических спектров колебаний показывает, что спектральная плотность виброускорений колебаний технологической системы имеет примерно одинаковые значения для величин подачи 0,10 и 0,14 мм/об. С дальнейшим увеличением подачи до 0,28 мм/об.

наблюдается резкий рост спектральной плотности виброускорений, что можно объяснить переходом технологической системы в зону неустойчивости [2]. Факт перехода также подтверждается увеличением шероховатости обработанной поверхности соответствующих заготовок из фторопласта, как следует из данных на рис. 4 и 5.

Вывод

Посредством моделирования процесса точения заготовок из полимерных материалов определены зоны стабильного и неустойчивого состояний технологической системы СПИЗ при точении заготовок из фторопласта. Экспериментально подтвержден факт существования таких режимов точения фторопласта, реализация которых приводит к переходу технологической системы СПИЗ в неустойчивое состояние, о чем свидетельствует характер процесса стружкообразования, резкое повышение шероховатости обработанной поверхности и рост спектральной плотности виброускорений колебаний системы СПИЗ.

Литература

1. Кудинов В.А. Схема стружкообразования (динамическая модель процесса резания) // Станки и инструмент. – 1992. № 10. – С. 14-17, № 11. – С. 26–29.
2. Еренков О.Ю. Обработка полимерных материалов резанием на основе обеспечения устойчивости технологической системы и предварительных внешних воздействий на заготовки / О.Ю. Еренков, А.Г. Ивахненко., Ри Хосен, А.В. Гаврилова. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – 270 с.
3. Еренков О.Ю. Математическая модель нелинейных колебаний и определение условий неустойчивости технологической системы при точении / О.Ю. Еренков, А.Г. Ивахненко // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2010. № I-1(1). – С. 45–51.
4. Патент № 2317196 Российская федерация, (51) МПК В 29 С 37/00. Способ обработки заготовок из пластмасс / О.Ю. Еренков, А.В. Гаврилова; опубликовано 20.02.2008, Бюл. №5. – 3 с.
5. Дженкинс Г. Спектральный анализ и его приложения / Г. Дженкинс, Д. Ваттс. – Москва, 1971. 316 с.
6. Erenkov O.Yu. Modeling the SSS of a Polymer Material in Cutting with Account for Crack Interaction / O.Yu. Erenkov, A.G. Ivakhnenko // Russian Engineering Research, 2007, Vol. 27, No. 5, pp. 271–274. DOI: 10.3103/S1068798X07050073.
7. Еренков О.Ю. Инновационные технологии механической обработки полимерных материалов резанием / О.Ю. Еренков. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. – 202 с.