

# Исследование характера стружкообразования при точении термопластов

## Research the chip formation process thermoplastic turning

О.Ю. ЕРЕНКОВ

O.YU. ERENKOV

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия

Pacific National University, Khabarovsk, Russia

erenkov@list.ru

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по установлению взаимосвязи между значениями режимов резания заготовок из термопластов и характером стружкообразования. В качестве исследуемых материалов использованы термопласты капролон и фторопласт-4. Доказано экспериментально, что на характер стружкообразования при точении заготовок из исследуемых полимерных материалов максимальное влияние оказывает глубина резания.

**Ключевые слова:** полимерные материалы, точение, стружкообразование, режимы резания, деформация сдвига, коэффициент усадки

The article presents the results of experimental studies of the relationship between the characteristics of cutting modes and nature of chip formation for thermoplastics blanks. Caprolon and fluoroplast-4 were used as the studied materials. It has been experimentally proved that the cutting depth has the maximum effect on the chip formation character when turning blanks from the studied polymer materials.

**Keywords:** polymeric materials, turning, cutting parameters, chip, shear deformation, shrinkage, chip formation

DOI: 10.35164/0554-2901-2020-3-4-46-48

### Введение

Качество поверхности при точении полимерных материалов во многом зависит от характера и величины деформации обрабатываемого материала в процессе обработки. Внешним проявлением процесса деформирования при наличии значительных пластических деформаций является, как известно [1], усадка стружки. Это физическое явление, связанное с возникновением сложнопластического состояния материала, со спецификой его разрушения, с изменением его структуры и физико-химических свойств. Степень усадки стружки оценивают посредством соответствующих коэффициентов усадки, которые представляют собой соотношения линейных размеров стружки и срезаемого слоя материала заготовки. Известны следующие коэффициенты: коэффициент укорочения  $K_L = L_0/L_{стр}$ , коэффициент уширения  $K_B = b_{стр}/b_0$ , коэффициент утолщения  $K_a = a_{стр}/a_0$ . Так как объем пластически деформированного материала не изменяется, то  $K_L = K_a$ .

При резании различных материалов и в разных условиях эти коэффициенты могут принимать различные значения и служить базой для сравнительного качественного анализа влияния тех или иных факторов на характер стружкообразования. Многочисленными исследованиями [2, 3, 4, 5] процесса резания различных конструкционных материалов установлено, что при резании пластичных материалов коэффициент усадки больше, чем при резании материалов хрупких. Например, при резании углеродистой стали величина  $K_L$  колеблется от 2 до 6, при обработке чугуна – от 1,5 до 2,5.

Как известно, при резании полимерных материалов образуется стружка нескольких различных типов: простая прерывистая стружка скальвания, сложная прерывистая стружка скальвания, прерывистая стружка с трещинами [5, 6, 7]. Таким образом, по виду стружки также можно косвенно оценить процесс стружкообразования.

### Экспериментальные исследования

Цель данной работы – экспериментальное исследование влияния режимов резания при точении заготовок из термопластичных полимерных материалов типа фторопласт-4 и капролон на характер стружкообразования и тип получаемой стружки.

В первой серии экспериментов величины подачи и глубины резания поддерживались постоянными и составляли соответственно:  $s = 0,1$  мм/об,  $t_p = 1$  мм. Скорость резания варьировалась в пределах от 50 до 300 м/мин для фторопласта-4 и от 100 до 400 м/мин при точении капролона. Коэффициент усадки определялся экспериментальным способом путем измерения толщины элементов стружки. Полученные значения коэффициентов усадки для различных скоростей резания представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Значения коэффициентов усадки при различных скоростях резания.**

Материал заготовок	Коэффициент усадки							
	Скорость резания, м/мин							
	50	100	150	200	250	300	350	400
Капролон	–	1,98	1,91	1,85	1,85	1,84	1,55	1,5
Фторопласт-4	2,04	2,06	2,04	1,98	1,86	1,78	–	–

Целью следующей серии экспериментов является установление влияния глубины резания заготовок из фторопласта-4 и капролона на характер стружкообразования и тип получаемой стружки. Подача поддерживалась постоянной и составляла 0,1 мм/об, скорость резания для фторопласта-4 равнялась 100 м/мин, при точении капролона – 250 м/мин. Глубина резания варьировалась в пределах от 0,5 до 5 мм. Полученные экспериментальные данные приведены в таблице 2.

**Таблица 2. Значения коэффициентов усадки при различных глубинах резания.**

Материал заготовок	Коэффициент усадки						
	Глубина резания, мм						
	0,50	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	
Капролон	1,9	1,85	1,78	1,67	1,41	1,24	
Фторопласт-4	2,86	2,70	2,27	1,96	1,55	1,32	

Целью последней серии экспериментов является установление влияния глубины резания заготовок из фторопласта-4 и капролона на характер стружкообразования и тип получаемой стружки. Глубина резания поддерживалась постоянной и составляла 1,0 мм, скорость резания для фторопласта-4 равнялась 100 м/мин, при точении капролона – 250 м/мин. Подача варьировалась в пределах от

0,08 до 0,28 мм/об. Полученные экспериментальные данные приведены в таблице 3.

**Таблица 3. Значения коэффициентов усадки при различных значениях подачи.**

Материал заготовок	Коэффициент усадки					
	Подача, мм/об					
	0,08	0,11	0,17	0,2	0,25	0,28
Капролон	2,3	1,85	1,8	1,76	1,71	1,64
Фторопласт-4	2,6	2,50	2,16	1,84	1,39	1,22

#### Обсуждение полученных результатов

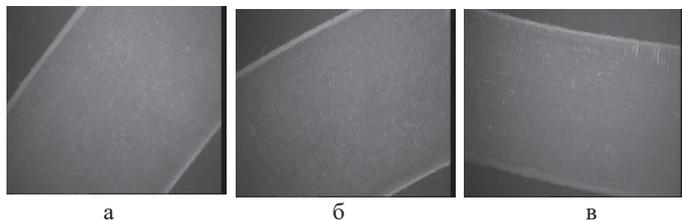
Анализ данных из таблицы 1 показывает, что скорость резания оказывает некоторое влияние на процесс стружкообразования, о чем свидетельствует снижение значений коэффициента усадки во всем исследуемом диапазоне скоростей для обоих материалов. Такой характер зависимости коэффициента усадки от скорости резания можно объяснить следующим образом.

Разрушение материалов, включая и полимерные, при механической обработке происходит либо путем развития пластического деформирования до некоторого критического состояния, либо путем образования и роста трещин, т.е. хрупкого разрушения [6, 7]. Поэтому отделение срезаемого слоя и образование стружки при резании полимерных материалов может происходить посредством двух типов разрушения: путем среза, осуществляемого касательными напряжениями, и путем отрыва, осуществляемого нормальными напряжениями.

Возникновение того или иного вида нагружения в значительной степени обусловлено реологическими свойствами материала, важнейшее из которых – временная зависимость, т.е. реакция полимерного материала на скорость деформации. В работе [8] представлены результаты исследований, подтверждающих тот факт, что при низкой скорости деформации наблюдается тенденция к пластичному излому с вязкой деформацией, а хрупкое разрушение имеет место при высокой скорости деформации. Таким образом, один и тот же материал в зависимости от характера напряженного состояния при резании и скорости деформации может проявить себя и как хрупкий, и как пластичный, о чем свидетельствует вид получающейся стружки – наличие сдвиговых полос.

Согласно данным, представленным в таблице 1, значение коэффициента  $K_L$  уменьшается с увеличением скорости резания. Такое изменение связано со сменой механизма разрушения: от вязкого к хрупкому, с переходом непрерывной сливной стружки к непрерывной сужавчатой (элементной), что подтверждается фотографиями стружек капролона и фторопласта-4, рис. 1 и 2.

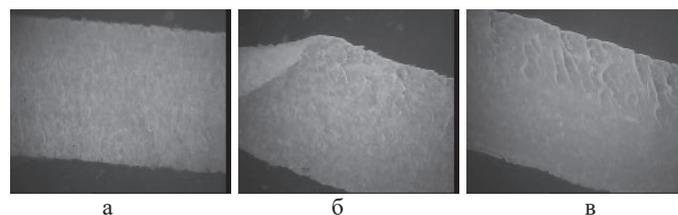
В данном случае можно говорить только о тенденции такого перехода, коэффициент  $K_L$  изменяется в небольших пределах, что коррелирует с незначительными отличиями в строении стружек данных материалов при повышении скорости резания.



**Рис. 1. Типы стружек при точении капролона ( $\times 500$ ): а – скорость резания 100 м/мин; б – скорость резания 200 м/мин; в – скорость резания 400 м/мин.**

С ростом скорости резания происходит запаздывание пластической деформации, в результате увеличивается угол сдвига, снижается общая величина степени деформации срезаемого слоя. Это обуславливает уменьшение доли деформации сжатия в деформационном цикле «сжатие – сдвиг», и толщина элементов стружки уменьшается, а основной объем элемента стружки оказывается малодеформированным. В результате создаются условия для локализованного сдвига, который сопровождается большей долей хрупкого разрушения, т.е. доля вязкого механизма роста трещин в окрестности режущего лезвия при сдвиге элемента стружки сокращается, что и является причиной некоторого изменения вида стружки с ростом скорости резания.

Из анализа данных таблицы 2 следует, что характер стружкообразования при точении заготовок из исследуемых полимерных материалов меняется с увеличением глубины резания. Об этом свидетельствует динамика изменения коэффициента усадки, а именно: с ростом глубины резания значение коэффициента снижается.

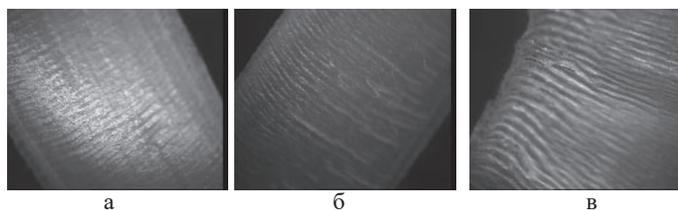


**Рис. 2. Типы стружек при точении фторопласта-4 ( $\times 500$ ): а – скорость резания 50 м/мин; б – скорость резания 100 м/мин; в – скорость резания 200 м/мин.**

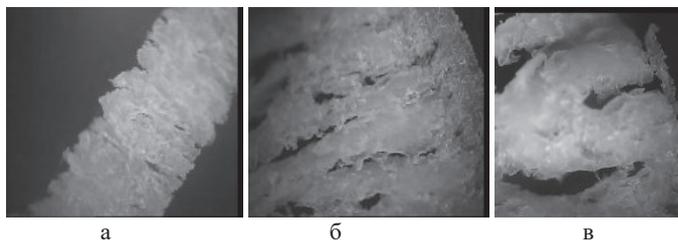
При увеличении глубины резания растет объем деформированного материала. Это происходит за счет увеличения длины контакта режущих кромок с обрабатываемым материалом. Кроме того, с ростом глубины резания происходит рост силы резания  $P_z$ . Взаимное действие указанных факторов приводит к тому, что в объеме срезаемого материала уменьшается доля деформации сдвига и увеличивается доля деформации сжатия. Как уже неоднократно отмечалось, твердые полимерные тела являются неоднородными как на макро-, так и на микроскопическом уровне. В жестких полимерах всегда имеются различные дефекты, из которых самыми распространенными являются микротрещины, пустоты, включения. Действуя на неоднородный полимер, поле напряжений сжатия становится также неоднородным и создает концентрации напряжений в окрестности любого дефекта.

Таким образом, в результате неоднородной деформации сжатия и локализации сдвиговой деформации на стыках аморфной и кристаллической фаз полимерных материалов при их токарной обработке имеет место тенденция формирования сужавчатой стружки с увеличением глубины резания.

Подтверждением такого вывода служат электронные микрофотографии стружек, рис. 3 и 4, полученных при точении капролона и фторопласта-4 с разными глубинами резания.



**Рис. 3. Типы стружек при точении капролона ( $\times 500$ ): а – глубина резания 2 мм; б – глубина резания 3 мм; в – глубина резания 5 мм.**



**Рис. 4. Типы стружек при точении фторопласта ( $\times 500$ ): а – глубина резания 2 мм; б – глубина резания 3 мм; в – глубина резания 5 мм.**

Образование сужавчатой стружки при увеличении глубины резания свидетельствует об ухудшении условий стружкообразования, росте энергоемкости процесса резания. Рост размеров отдельных элементов, формирующих стружку, происходит вследствие такого изменения условий обработки, при котором возрастают, прежде всего, напряжения сжатия. Все это ведет к снижению качественных показателей обработанной поверхности деталей.

Анализ экспериментальных данных, представленных в таблице 3, позволяет сделать заключение о том, что подача также оказывает влияние на протекание процесса стружкообразования. Это заключение подтверждается характером изменения коэффициента усадки с изменением подачи, величина которого снижается с понижением значения подачи.

Как известно [6, 7], с увеличением подачи возрастает также объем деформированного материала и сила резания, аналогично тому, что имеет место при увеличении глубины резания. Следовательно, причины изменения характера стружкообразования при повышении подачи аналогичны причинам изменения при увеличении глубины резания.

#### *Вывод*

Экспериментально доказано, что на характер стружкообразования при точении заготовок из исследуемых полимерных материалов максимальное влияние оказывает глубина резания; об этом свидетельствует динамика изменения коэффициента усадки, а именно: с ростом глубины резания значения коэффициента снижаются. Установлено, что в результате неоднородной деформации сжатия и локализации сдвиговой деформации на стыках аморфной и кристаллической фаз полимерных материалов при их токарной обработке имеет место тенденция формирования суставчатой стружки с увеличением глубины резания

#### **Литература**

1. Кудинов В.А. Схема стружкообразования (динамическая модель процесса резания)/ В.А. Кудинов // Станки и инструменты. 1992. – № 10. С. 14–17. № 11. С. 26–29.
2. Еренков О.Ю. Повышение эффективности обрабатываемости заготовок из пластмасс//О.Ю. Еренков// Пластические массы. 2006. – № 6. – С. 52–55.
3. Еренков О.Ю. Новый подход к высокопроизводительной механической обработке термопластов резанием/ О.Ю. Еренков// Пластические массы. 2017. №5–6. С. 53–55.
4. Еренков О.Ю. Инновационные технологии механической обработки полимерных материалов резанием / О.Ю. Еренков. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. – 202 с.
5. Еренков О.Ю. Технология получения и обработка резанием полимерных композиционных материалов / О.Ю. Еренков. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. – 143 с.
6. Ивахненко А.Г. Моделирование напряженно-деформированного состояния полимерного материала при резании с учетом взаимодействия/ О.Ю. Еренков, А.Г. Ивахненко// Вестник машиностроения. 2007. – № 5. – С. 54–57.
7. Ивахненко А.Г. Комбинированный способ токарной обработки заготовок из полимерных материалов/О.Ю. Еренков, А.Г. Ивахненко// Справочник. Инженерный журнал. 2006. – № 5. – С. 23–28.
8. Карташов Э.М. Структурно-статистическая кинетика разрушения полимеров. / Э.М. Карташов, Б. Цой, В.В. Шевелев. – М.: Химия. 2002. – 736 с.