

Новый способ обработки термопластов точением

New method of thermoplastic materials turning

О.Ю. ЕРЕНКОВ

O.YU. ERENKOV

Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

Pacific National University, Khabarovsk, Russia

erenkov@list.ru

В статье представлены результаты теоретического и экспериментального исследования нового способа токарной обработки полимерных материалов. Отличительной особенностью разработанного способа является предварительное деформирование материала путем скручивания заготовки. Теоретически показано, что максимальное значение напряжений при скручивании формируется на поверхностном слое заготовки. Экспериментально доказано, что деформирование заготовки путем скручивания приводит к изменению напряженно-деформированного состояния полимерной цепи. Применение скручивания заготовки позволяет получить впоследствии более качественный поверхностный слой детали, по сравнению с вариантом традиционного точения.

Ключевые слова: полимерные материалы, точение, скручивание, напряжения, шероховатость

The theoretical and experimental research results of the new method for polymeric materials turning are presented. A distinctive feature of the developed method is the preliminary deformation of the material by twisting the workpiece. It is theoretically shown that the maximum stresses value during twisting is formed on the workpiece surface layer. It has been experimentally proved that the workpiece deformation by twisting leads to changes in the stress-strain state of the polymer chain. The workpiece pre-deformation by twisting allows to obtain a higher quality surface layer compared to traditional turning.

Keywords: polymeric materials, turning, twisting, stress, roughness

DOI: 10.35164/0554-2901-2020-1-2-35-37

Введение

В настоящее время существует определенное количество технических решений по обеспечению условий для реализации высококачественной токарной обработки полимерных композиционных материалов, детали и изделия из которых успешно используются на химических и нефтегазовых предприятиях. Часть решений основана на применении перспективного режущего инструмента [1, 2, 3] и выборе рациональных режимов резания [4, 5, 6, 7, 8]. Техническая сущность другой части решений [9, 10, 11, 12, 13] заключается в применении различного вида предварительных воздействий на материал заготовки с целью получения высоких качественных показателей обработанной поверхности деталей. При этом, в большинстве случаев, предварительной обработке подвергается весь объем материала заготовки, что является причиной образования многочисленных внутренних дефектов (разрывов полимерных цепей, суб- и микротрещин), которые остаются и после токарной обработки.

Цель настоящей работы – разработать и исследовать эффективность нового способа токарной обработки заготовок из полимерных материалов на основе скручивания заготовок.

Теоретические предпосылки

Известно [14], что при скручивании заготовки под действием момента M в ней возникают условия чистого сдвига, в поперечных сечениях действуют только касательные напряжения, нормальные напряжения равны нулю.

Задача по установлению связи напряжений с внутренними усилиями решается в несколько этапов.

Рассмотрим поперечное сечение заготовки, расположенное на некотором расстоянии dx от зашпеченного, где $M = T$ (рис. 1, в). На элементарной площадке dA будет действовать элементарная сила τdA , элементарный крутящий момент которой относительно оси вала равен $\rho(\tau dA)$. Равнодействующий момент касательных напряжений T в сечении равен

$$T = \int_A \rho(\tau dA) \quad (1)$$

Для нахождения сдвигающих напряжений τ рассмотрим физическую сторону задачи, которая описывается законом Гука при сдвиге

$$\tau = G\gamma, \quad (2)$$

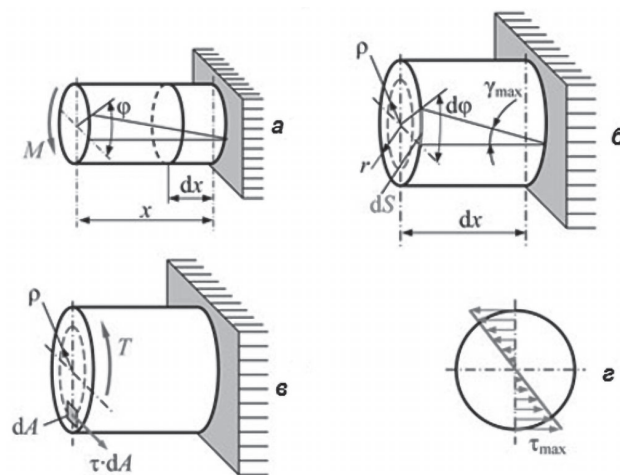


Рис. 1. Расчетные схемы: а – заготовка под действием внешнего скручивающего момента; б – деформация элементарного участка заготовки длиной dx ; в – внутреннее усилие T и напряжения τ в поперечном сечении; г – распределение касательных напряжений τ в поперечном сечении.

Данный закон устанавливает взаимосвязь между касательными напряжениями τ и деформацией сдвига γ . Деформацию сдвига γ найдем, рассмотрев геометрическую сторону задачи.

Левый торец заготовки длиной x (рис. 1, а) под действием внешнего скручивающего момента M повернется на угол φ . В элементе длиной dx аналогичным является элементарный угол $d\varphi$ (рис. 1, б). Образующая цилиндра отклоняется от исходного положения на угол γ . На поверхности элемента радиусом r угол γ принимает максимальное значение $dS/dx = rd\varphi/dx$.

В цилиндре произвольного радиуса ρ внутри элемента угол γ :

$$\gamma = \rho \frac{d\varphi}{dx}. \quad (3)$$

Далее, уравнение (3) подставляем в выражение (2) закона Гука и получаем выражение для касательных напряжений τ

$$\tau = G\rho \frac{d\varphi}{dx}. \quad (4)$$

Уравнение (4) вставим в уравнение (1) и получим выражение:

$$T = \int_A \rho^2 G \frac{d\varphi}{dx} dA = G \frac{d\varphi}{dx} \int_A \rho^2 dA.$$

Обозначая $\int_A \rho^2 dA = I_\rho$ как полярный момент инерции, получим:

$$T = I_\rho G \frac{d\varphi}{dx}, \text{ откуда } \frac{d\varphi}{dx} = \frac{T}{I_\rho G}. \quad (5)$$

Относительный угол закручивания элементарного участка $d\varphi/dx$ из выражения (5) подставим в (4) и получим окончательное выражение для оценки напряжения в произвольной точке сечения:

$$\tau = G\rho \frac{T}{GI_\rho} = \frac{T\rho}{I_\rho}. \quad (6)$$

Анализ выражения (6) позволяет сделать вывод о линейном законе распределения касательных напряжений, при этом в центре $\tau = 0$, так как $\rho = 0$, на периферии $\tau = \tau_{\max}$, так как $\rho_{\max} = r$ (рис. 1, г).

Описание нового способа токарной обработки

В данной работе представлен новый способ [13] токарной обработки полимерных материалов, техническая сущность которого заключается в том, что перед точением заготовку подвергают предварительной обработке путем ее скручивания. При этом скручивание заготовки производят до величины касательных напряжений не более 0,6–0,8 предела прочности материала заготовки. Схема способа представлена на рис. 2.

Способ реализуется следующим образом. Заготовку 1 из полимерного материала закрепляют в патроне 2 токарного станка известным способом. Затем на заготовку 1 устанавливают хомуты 3 и стягивают их стяжными шпильками 4, после производят предварительную обработку заготовки путем ее скручивания за счет проворачивания хомутов 3 относительно продольной оси заготовки 1. Между внутренней поверхностью хомутов 3 и внешней поверхностью заготовки 1 возникает фрикционное взаимодействие, в результате которого материал заготовки 1 испытывает сдвиговые деформации, что является причиной возникновения в сечении заготовки касательных напряжений, максимальное значение которых, как доказано выше, находится у края сечения, то есть в поверхностном слое заготовки 1.

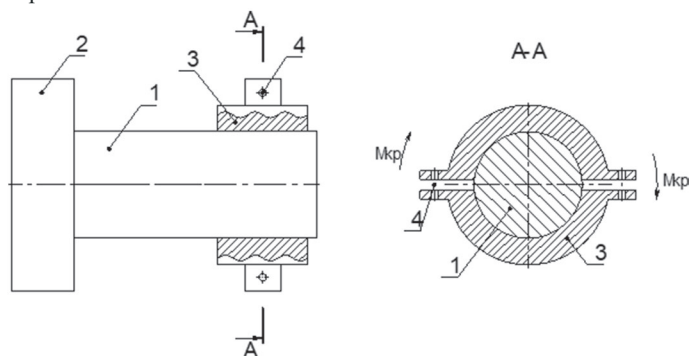


Рис. 2. Способ токарной обработки.

При этом образуется такая структура материала, в которой часть связей разрушена, а часть напряжена и имеет низкую энергию активации связей, что способствует разрыву части возбужденных связей в полимерных цепях тепловыми флуктуациями. Так как максимальные значения касательных напряжений находятся в поверхностном слое заготовки 1, то и наиболее технологически разупрочненный материал также находится именно в поверхностном слое. Затем производят точение заготовки 1 режущим инструментом. При взаимодействии поверхностного слоя заготовки с режущим клином инструмента облегчается процесс деформирования срезаемого слоя за счет образования зоны предразрушения. Магистральная трещина приобретает более устойчивое направление развития вдоль линии среза, что является предпосылкой повышения качественных показателей обработанной поверхности, так как снижается вероятность образования вырывов, сколов и подобных дефектов обрабатываемого резанием материала заготовки 1.

Соблюдение условия непревышения предварительными касательными напряжениями τ величины 0,6–0,8 предела прочности $\sigma_{\text{пр}}$ материала заготовки гарантирует стабильность размеров и формы заготовки 1 при ее деформировании, так как такой режим нагружения соответствует области упругой деформации, т.е. до развития явления вынужденной эластичности или момента образования на заготовке 1 участка с измененным поперечным сечением [5, 6].

При этом применение для предварительного скручивания заготовки 1 хомутов 3 со стяжными шпильками 4 является очень простым и экономичным конструктивным решением, для реализации которого требуется минимум материальных, трудовых и временных затрат.

Экспериментальным подтверждением изменения структуры полимерного материала после скручивания являются данные рентгеноструктурного анализа заготовок из капролона, проведенного на установке ДРОН-7.

Как известно [14, 15], из-за наличия в кристаллах различного рода дефектов (дислокаций, атомов внедрения, вакансий) при деформировании материала возникают статические напряжения. Данные напряжения приводят к статическим искажениям, которые связаны с отклонением атомов из положений равновесия, определяемых узлами решетки. Эти искажения охватывают группы атомов и молекул, участвующих в создании нарушений структуры. Статические искажения, вызванные смещением атомов из их нормальных положений, имеют такой же эффект, как и смещение атомов при тепловых колебаниях (последние называют динамическими искажениями).

Статические искажения не могут существовать в чистом виде, без динамических искажений, поэтому на интенсивность линий рентгенограммы влияют оба фактора. По уменьшению интенсивности можно оценить величину искажения.

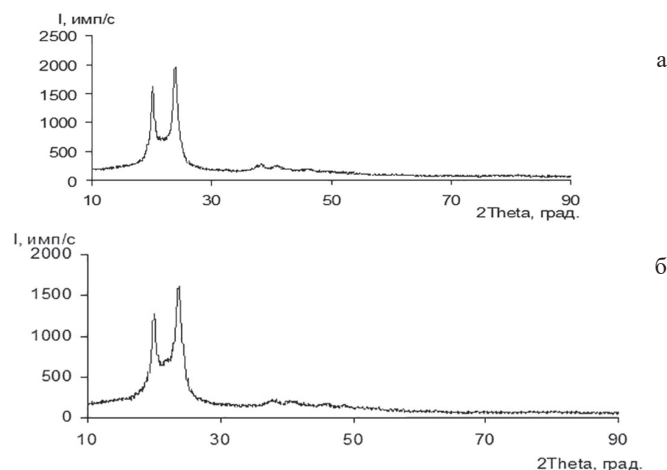


Рис. 3. Данные рентгеноструктурного анализа капролона: а – образец заготовки после скручивания; б – образец заготовки без скручивания.

Как видно из рис. 3, на примере испытания капролона, интенсивность колебаний атомов относительно положений равновесия для деформированного путем скручивания и недеформированного образцов заметно отличается, что и свидетельствует об изменении напряженно-деформированного состояния полимерной цепи.

Экспериментальные исследования

Цель экспериментальных исследований – получить новые данные по влиянию предварительного воздействия на заготовку путем скручивания на качество обработанной точением поверхности детали из полимерного материала.

В качестве исследуемых применялись такие полимерные композиционные материалы, из которых изготавливается широкая номенклатура деталей и изделий для оборудования химических и нефтегазовых производств [8, 9].

Токарную обработку проводили на токарном патронно-центровом станке с ЧПУ модели РТ755Ф311. Инструментальный материал и геометрия режущей части инструмента, а также рациональные значения основных параметров процесса резания заготовок из исследуемых материалов установлены на основании результатов анализа стабильности технологической системы [2, 3].

Таблица 1. Результаты исследования шероховатости поверхности деталей при различных видах токарной обработки.

Материал	Вид обработки	Параметры шероховатости, мкм						
		R_a	R_z	R_{max}	R_p	R_y	S_m	R_{sk}
капролон	точение после скручивания	4,393	5,68	9,016	5,320	3,696	1,3888	-0,170
	точение обычное	7,6	22,72	35,97	14,02	21,95	0,3378	0,276
фторопласт	точение после скручивания	3,136	14,34	18,032	9,112	8,920	0,5000	-0,121
	точение обычное	8,7	20,20	37,90	14,80	23,10	0,2016	-0,131
текстолит	точение после скручивания	3,756	16,14	22,80	10,99	11,81	0,2358	-0,232
	точение обычное	10,0	40,53	48,43	26,27	22,16	0,2194	0,560
гетинакс	точение после скручивания	4,375	16,52	23,73	11,04	12,69	0,2976	0,055
	точение обычное	10,0	37,93	56,48	26,02	30,46	0,255	0,699

В данных исследованиях качество обработанной поверхности оценивается по значениям параметров шероховатости. Номенклатура и характеристика параметров шероховатости подробно изложены в [1].

В таблице 1 сведены численные значения исследуемых параметров шероховатости. Проведем анализ основных параметров шероховатости для каждого исследуемого материала. Значения параметра R_{sk} для каждого материала и варианта обработки подтверждают правомерность оценки шероховатости обработанной поверхности по основным параметрам R_a , R_z и R_{max} [1].

Материал заготовки капролон. Анализ значений параметров R_a , R_z и R_{max} показывает эффективность применения предварительного скручивания заготовок, при этом параметр R_a снижается в 1,76 раза, параметр R_z в 4 раза, параметр R_{max} в 2,5 раза по сравнению с обычным точением.

Материал заготовки фторопласт. Анализ значений параметров R_a , R_z и R_{max} показывает эффективность применения предварительного скручивания заготовок, при этом параметр R_a снижается в 2,1 раза, параметр R_z в 1,44 раза, параметр R_{max} в 2,15 раза по сравнению с обычным точением.

Материал заготовки текстолит. Анализ значений параметров R_a , R_z и R_{max} показывает эффективность применения предварительного скручивания заготовок, при этом параметр R_a снижается в 2,6 раза, параметр R_z в 2,5 раза, параметр R_{max} в 2,47 раза по сравнению с обычным точением.

Материал заготовки гетинакс марки. Анализ значений параметров R_a , R_z и R_{max} показывает эффективность применения предварительного скручивания заготовок, при этом параметр R_a снижается в 2,1 раза, параметр R_z в 2,3 раза, параметр R_{max} в 2,1 раза по сравнению с обычным точением.

Численные значения остальных геометрических параметров шероховатости обработанной поверхности исследуемых материалов, указанных в таблице 1, также подтверждают тот факт, что применение предварительного скручивания заготовок обеспечивает значительное снижение уровня шероховатости.

Выводы

Теоретическим путем доказано, что при скручивании цилиндрической заготовки в объеме материала образуются касательные напряжения, максимальное значение которых находится в поверхностном слое заготовки, а в центре заготовки напряжения равны нулю. Таким образом, достигается эффект технологического разупрочнения именно поверхностного слоя обрабатываемой заготовки. Такой характер распределения напряжений сводит к минимуму возможность образования внутренних дефектов в материале заготовки при скручивании, что повышает надежность деталей и изделий при их эксплуатации.

Разработан новый способ токарной обработки полимерных композиционных материалов на основе предварительного деформирования заготовки путем ее скручивания. Экспериментально доказано, что деформирование заготовки путем скручивания приводит к изменению напряженно-деформированного состояния полимерной цепи.

Анализ результатов экспериментальных исследований шероховатости обработанной поверхности деталей из полимерных композиционных материалов позволяет сделать заключение о целесообразности применения предварительного деформирования

заготовок путем их скручивания, так как такая обработка позволяет получить впоследствии более качественный поверхностный слой детали по сравнению с вариантом традиционного точения.

Литература

1. Еренков О.Ю. Повышение эффективности обрабатываемости заготовок из пластмасс/О.Ю. Еренков// Пластические массы. 2006. № 6. – С. 52–55.
2. Еренков О.Ю. Влияние обработки заготовок из полимерных материалов поверхностно-активными веществами на качество их механической обработки/ О.Ю. Еренков// Пластические массы. 2017. №1–2. С. 62–64.
3. Еренков О.Ю. Химико-механические способы обработки полимерных материалов резанием/О.Ю. Еренков// Пластические массы. 2008. №1. С. 49–52.
4. Еренков О.Ю. Новый подход к высокопроизводительной механической обработке термопластов резанием/ О.Ю. Еренков// Пластические массы. 2017. №5–6. С. 53–54.
5. Еренков О.Ю. Способ токарной обработки заготовок из капролона. Патент от 20.02.2016. Б.И. № 5.
6. Еренков О.Ю. Исследование процесса токарной обработки заготовок из фторопласта/О.Ю. Еренков, С.И. Петрова, Е.В. Яворская// Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2016. №10. – С. 21–26.
7. Еренков О.Ю. Комбинированный способ токарной обработки заготовок из полимерных материалов / О.Ю. Еренков, А.Г. Ивахненко// Справочник. Инженерный журнал. 2006. № 5. – С. 23–28.
8. Еренков О.Ю. Моделирование напряженно-деформированного состояния полимерного материала при резании с учетом взаимодействия/ О.Ю. Еренков, А.Г. Ивахненко // Вестник машиностроения. 2007. № 5. – С. 54–57.
9. Еренков О.Ю. Эксплуатационные свойства полимерных материалов после поверхностного деформирования заготовок // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2017. №12. – С. 28–31.
10. Еренков О.Ю. Совершенствование технологии механической обработки заготовок из капролона/ О.Ю. Еренков, А.Г. Ивахненко, Е.В. Фалеева. – Хабаровск: ДВГУПС, 2011. – 146 с.
11. Еренков О.Ю. Способ обработки деталей из пластмасс. Патент на изобретение № 2203183 от 27.04.2003. Б.И. №12.
12. Еренков О.Ю. Способ обработки заготовок из пластмасс. Патент на изобретение № 2328374 от 10.07.2008 Бюл. №19.
13. Еренков О.Ю. Исследование твердости обработанной резанием поверхности термопластичных полимерных материалов/ О.Ю. Еренков// Вопросы материаловедения. №3(55), 2008. С. 25–30.
14. Федосеев В.И. Сопrotивление материалов: Учеб. для вузов. – 10-е изд., перераб. и доп. /В.И.Федосеев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 592 с.
15. Патент № 2638966 Российская федерация, (51) МПК В 29 С 37/00. Комбинированный способ токарной обработки заготовок из пластмасс / Еренков Олег Юрьевич, Яворский Даниил Олегович. – № 2016147757; заявл. 06.12.2016; Опубл. 19.12.2017, Бюл. № 35.
16. Карташов Э.М. Структурно-статистическая кинетика разрушения полимеров/ Э.М. Карташов, Б. Цой, В.В. Шевелев. – М.: Химия, 2002. 736 с.
17. Журков С.Н. Кинетическая природа прочности твердых тел/ С.Н. Журков //Физика твердого тела. 1987. Т.29 №1. С.15–16.