Эффективность применения эмульсии гидрофобизатора при токарной обработке капролона

The effectiveness of the use of a water repellent emulsion when turning machining of caprolon

О.Ю. ЕРЕНКОВ, И.Я. ЛОПУШАНСКИЙ, Е.В. ЯВОРСКАЯ, Д.О. ЯВОРСКИЙ

O.YU. ERENKOV, I.YA. LOPUSHANSKII, E.V. YAVORSKAYA, D.O. YAVORSKII

Тихоокеанский государственный университет, Россия, Хабаровск

Pacific State University, Russia, Khabarovsk

erenkov@list.ru

В статье представлены результаты экспериментальных исследований токарной обработки капролона с применением смазочно-охлаждающей жидкости. Научно обосновано применение в качестве смазочно-охлаждающей жидкости водной эмульсии с добавками гидрофобизатора при токарной обработке капролона. На этой основе разработан и запатентован новый способ токарной обработки заготовок из капролона. Установлен экспериментальным путем факт снижения водопоглощительной способности капролона в случае его точения с подачей в зону резания водной эмульсии пальмитата калия. При этом токарная обработка капролона традиционным способом приводит к активизации процесса водопоглощения. Экспериментально доказано, что точение капролона с подачей в зону резания водной эмульсии пальмитата калия обеспечивает получение более качественной обработанной поверхности детали по сравнению с традиционным способом точения. Об этом свидетельствуют более равномерный профиль отклонений впадин и выступов обработанной поверхности и численные значения параметров шероховатости. Приведены результаты микроструктурных исследований стружки капролона. Установлено экспериментальным путем, что точение капролона с применением водной эмульсии пальмитата калия способствует формированию непрерывной сливной стружки. Точение капролона традиционным способом приводит к образованию суставчатой стружки.

Ключевые слова: капролон, точение, водопоглощение, эмульсия гидрофобизатора, шероховатость, стружкообразование

The article presents the results of experimental studies of caprolon turning machining with the cutting fluid use. It is scientifically substantiated the use of an aqueous emulsion with the addition of a water repellent as a cutting fluid during caprolon turning machining. On this basis a new method for turning caprolon blanks was developed and patented. The fact of decrease in the water absorption capacity of caprolon in the case of its turning with the supply of an aqueous emulsion of potassium palmitate to the cutting zone has been established experimentally. At the same time, turning caprolon in the traditional way leads to the activation of the water absorption process. It has been experimentally proven that turning caprolon with the supply of an aqueous emulsion of potassium palmitate to the cutting zone provides a better processed surface of the part compared to the traditional turning method. This is evidenced by a more uniform deviation profile of the depressions and protrusions of the treated surface and the numerical values of the roughness parameters. The results of microstructural studies of caprolon shavings are presented. It has been established experimentally that turning machining of caprolon using an aqueous emulsion of potassium palmitate contributes to the formation of continuous flow chips whereas turning caprolon in the traditional way leads to the formation of segmented chips.

Keywords: caprolon, turning, water absorption, water-repellent emulsion, roughness, chip formation

DOI: 10.35164/0554-2901-2020-11-12-58-60

Введение

Для обеспечения качественных рабочих поверхностей деталей из полимерных материалов разработаны оригинальные технические решения [1, 2]. Однако их реализация не в полной мере учитывает такую особенность полимерных материалов как их склонность к поглощению влаги. Это свойство проявляется ввиду неоднородности структуры материала и наличия в объеме материала поверхностных и внутренних трещин различного масштаба, появление которых обусловлено особенностями технологического процесса производства ПКМ [3, 4]. Изменение размеров деталей и изделий, снижение физико-механических характеристик – следствие проявления эффекта влагопоглощения, что негативно влияет на комплекс эксплуатационных свойств. Ранее проведенными исследованиями [5] установлен факт повышения степени водопоглощения ПКМ после проведения механической обработки заготовки. В случае применения смазочно-охлаждающих технических сред (СОТС) при обработке заготовок из ПКМ наблюдается резкая интенсификация процесса водопоглощения материала.

При этом ПКМ обладают низкой теплостойкостью, которая составляет 160–300°C. При превышении указанных температур про-

исходит оплавление поверхностного слоя материала, образование на нем прижогов, что, безусловно, снижает качество обработанной поверхности детали. Таким образом, для обеспечения качественной обработанной поверхности детали из ПКМ необходимо снизить температуру в зоне резания при обработке. Однако применение для этой цели известных СОТС считается нецелесообразным ввиду вышеуказанной причины, в связи с чем в настоящее время механическая обработка ПКМ производится без применения СОТС [5].

Разработка технических решений, направленных на разрешение данного противоречия, является актуальной научно-практической задачей, решение которой позволит обеспечить требуемое качество деталей и изделий из ПКМ при одновременном повышении производительности технологического процесса обработки.

Целью данной работы является экспериментальная проверка эффективности нового способа токарной обработки заготовок из капролона с применением СОТС.

Описание нового способ токарной обработки

В данной работе представлен оригинальный способ токарной обработки заготовок из капролона, техническая сущность которо-

го защищена патентом на изобретение [6]. Технической задачей, на решение которой направлено изобретение, является повышение качества и производительности токарной обработки заготовки и обеспечение требуемых физико-механических свойств деталей и изделий.

Указанная задача решается тем, что одновременно с точением заготовок из капролона в зону резания производят подачу СОТС в виде потока эмульсии гидрофобизатора.

Пример реализации способа. Заготовку из капролона закрепляют в токарном станке известным способом. Затем производят токарную обработку заготовки режущим инструментом с одновременной подачей в зону резания потока эмульсии гидрофобизатора, в качестве которой могут использоваться, например, следующие эмульсии: кремнийорганическая жидкость, водная эмульсия парафина, водоуглеводородная эмульсия на основе асфальтенов, водные эмульсии микровоска, водные эмульсии натриевых и калиевых солей жирных кислот и др.

При точении капролона работа резания превращается в тепловую энергию, значительная часть которой поглощается режущими кромками инструмента, что приводит к их интенсивному нагреву и впоследствии к износу [7, 8]. Износ режущих кромок приводит к увеличению шероховатости и образованию различных поверхностных дефектов на обработанной поверхности капролона.

При этом одновременная обработка заготовки резанием и подача потока эмульсии гидрофобизатора в зону резания позволит снизить температуру нагревания поверхностного слоя заготовки, образующейся стружки и рабочих кромок режущего инструмента. В результате снижается степень износа режущего инструмента, повышается качество обработанной поверхности, а также точность обработки за счет снижения показателя поглощения влаги капролоном из эмульсии и окружающего воздуха благодаря наличию в эмульсии гидрофобизирующего компонента.

Наличие в эмульсии добавок гидрофобизатора обеспечивает гидрофобность обрабатываемой поверхности капролона, что не позволяет капролону поглощать влагу из эмульсии и из окружающего воздуха и тем самым обеспечивает стабильность физико-механических характеристик, точность линейных размеров изделия и устраняет причину образования дефектов в виде поверхностных и внутренних трещин.

Методика экспериментальных исследований

В качестве исследуемого материала выбран капролон – термопластичный полимерный материал, широко применяемый в различных отраслях промышленности в качестве конструкционного материала для изготовления широкой номенклатуры деталей различного служебного назначения.

Точение проводили на токарном патронно-центровом станке с ЧПУ модели РТ755Ф311. Рациональные значения основных параметров процесса резания, материал и геометрия режущей части инструмента были выбраны на основе ранее проведенных исследований [9].

В качестве СОТС применялась водная эмульсия калиевой соли пальмитиновой кислоты или пальмитата калия.

В работе производили контроль шероховатости обработанной поверхности с использованием профилометра TR 200. В качестве выходных параметров из номенклатуры параметров шероховатости согласно ГОСТ 2789-73 выбраны: среднее арифметическое отклонение профиля R_a , высота неровностей профиля по десяти точкам R_z , наибольшая высота неровностей профиля R_{max} , средний шаг неровностей профиля S_m . Также определялись наиболее значимые параметры шероховатости в соответствии с международным стандартом ISO 4288-2014: расстояние от вершины наибольшего выступа профиля до средней линии R_p , расстояние от дна наибольшей впадины профиля до средней линии R_v , асимметрия профиля R_{sk} .

Исследование стружки, полученной при точении заготовок из капролона, проводилось на электронном микроскопе Primo Star.

При проведении токарной обработки заготовок производили измерение составляющей P_z силы резания при помощи балочного датчика силы СВ1А-К3, закрепленного под резцом, рис. 2, а данные измерений высвечивались на жидкокристаллическом экране индикатора DN-10 [9].

В данной работе проводились исследования параметров водопоглощения образцов капролона в соответствии с требованиями ГОСТ 4650-80. Результаты данных исследований имеют практический интерес, так как позволяют ответить на вопрос о целесообразности токарной обработки заготовок из капролона с применением СОТС.

Результаты экспериментальных исследований

Как известно [4, 9], для визуального и оперативного контроля качества процесса токарной обработки успешно применяются профилограммы обработанной поверхности. На рис. 1 представлены профилограммы обработанной поверхности капролона для двух случаев точения: без СОТС и с применением СОТС. Сравнительный анализ данных профилограмм показывает, что вариант токарной обработки заготовок капролона с применением СОТС (рис. 1б) более предпочтителен по сравнению с вариантами обычного точения капролона, без СОТС (рис. 1а). Об этом свидетельствует более равномерный профиль отклонений впадин и выступов обработанной поверхности и показатели значений параметров шероховатости, сведенных в таблицу 1.

Рис. 1. Профилограммы обработанных поверхностей деталей из капролона: а – точение без СОТС; б – точение с СОТС.

Анализ численных значений исследуемых параметров шероховатости, сведенных в таблицу 1, подтверждает факт обеспечения более качественной обработанной поверхности капролона в случае точения заготовок с применением СОТС. Об этом свидетельствует характер изменения контролируемых параметров шероховатости. Так, параметр R_a снижается в 1,7 раза; параметр R_z – в 1,9 раза; параметр R_{max} – в 2,7 раза. Остальные параметры шероховатости также имеют меньшие значения по сравнению с вариантом точения без применения водной эмульсии пальмитата калия, что убедительно свидетельствует о повышении качества обработанной точением деталей в случае применения выбранной СОТС при точении капролона.

Таблица 1. Результаты исследования шероховатости поверхности капролона.

Вид обработки	Параметры шероховатости обработанной поверхности, мкм						
	R_a	R_z	R_{max}	R_p	R_v	S_m	R_{sk}
Точение без СОТС	8,39	16,68	29,01	9,32	13,69	0,38	-0,17
Точение с СОТС	4,92	8,70	10,75	5,52	8,23	1,27	-0,57

В таблице 2 сведены результаты исследования составляющей P_z силы резания при точении капролона, при этом глубина резания варьировалась от 1 до 6 мм.

Таблица 2. Результаты исследования составляющей P_z силы резания при точении капролона.

Вид обработки	Составляющая P_z силы резания, Н					
	Глубина резания, мм					
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Точение без СОТС	225	236	249	265	280	303
Точение с СОТС	198	206	223	244	261	289

Анализ экспериментальных данных (таблица 2) показывает устойчивую тенденцию повышения силы резания с увеличением глубины резания. Данная тенденция проявляется как при точении

капролона без водной эмульсии пальмитата калия, так и при точении с ней. При этом её применение обеспечивает снижение силы резания во всем диапазоне значений глубины резания. В свою очередь, снижение силы резания приводит к появлению таких положительных эффектов как повышение скорости резания при точении и, соответственно, производительности всего процесса обработки, а также снижение энергосиловых параметров процесса.

Эффект повышения силы резания с увеличением глубины резания объясняется увеличением объема деформированного материала при точении за счет увеличения длины контакта режущих кромок с обрабатываемым материалом [7, 8].

В таблице 3 сведены результаты исследования водопоглощения капролона для различных состояний внешней поверхности заготовок.

Таблица 3. Результаты исследования водопоглощения капролона.

Исследуемый параметр	Состояние поверхности образца		
	Исходное	После точения без СОТС	После точения с СОТС
Среднее значение массы поглощенной воды, мг	32,4	33,5	30,6
Среднее значение массы воды, поглощенной на единицу поверхности образца, мг/см ²	1,24	1,38	1,16
Среднее значение массовой доли воды, поглощенной образцом, %	0,57	0,46	0,41

Анализ сведенных в таблицу 3 экспериментальных данных позволяет сделать заключение о том, что токарная обработка без применения СОТС приводит к активизации процесса водопоглощения капролоном. Данный эффект обусловлен увеличением капиллярности материала при удалении поверхностного слоя заготовки. Степень активности процесса водопоглощения зависит от активной площади материала, участвующей в водопоглощении. Активная площадь материала зависит от значений параметров шероховатости. Таким образом, чем выше шероховатость поверхности капролона, тем интенсивнее происходит процесс водопоглощения. Этим объясняется факт снижения водопоглотительной способности капролона в случае его точения с водной эмульсией пальмитата калия. Экспериментальные данные, приведенные в таблице 1, служат подтверждением данного эффекта, так как точение капролона с водной эмульсией пальмитата калия обеспечивает более низкую шероховатость обработанной поверхности.

При этом интенсивность влагопоглощения капролона после точения с СОТС ниже, чем у исходной необработанной заготовки. Об этом свидетельствуют значения всех исследуемых в данной работе параметров водопоглощения для исходного материала (таблица 3). Этот факт объясняется гидрофобной способностью водной эмульсии пальмитата калия, применяемой в качестве СОТС при точении капролона.

Микрофотографии стружек капролона, полученные при различных условиях точения (рис. 2 а, б) являются экспериментальным подтверждением вышеизложенного.

Рис. 2. Стружка капролона: а – точение без СОТС; б - точение с СОТС.

Традиционное точение капролона без применения СОТС приводит к формированию суставчатой стружки (рис. 2а). Образование суставчатой 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.

Точение капролона с подачей в зону резания водной эмульсии пальмитата калия способствует формированию непрерывной сливной стружки (рис. 2б). Образование сливной стружки с постоянными размерами поперечного сечения по всей длине свидетельствует о стабильности технологической системы при обработке капролона точением [10]. В свою очередь, стабильность процесса обработки обеспечивает качество обработанной поверхности, что и подтверждается экспериментальными данными, приведенными на рис. 1 и в таблице 1.

Выводы

Научно обосновано применение в качестве смазочно-охлаждающей жидкости водной эмульсии с добавками гидрофобизатора при токарной обработке капролона. На этой основе разработан и запатентован новый способ токарной обработки заготовок из капролона.

Установлен экспериментальным путем факт снижения водопоглотительной способности капролона в случае его точения с подачей в зону резания водной эмульсии пальмитата калия. При этом токарная обработка капролона традиционным способом приводит к активизации процесса водопоглощения.

Экспериментально доказано, что точение капролона с подачей в зону резания водной эмульсии пальмитата калия обеспечивает получение более качественной обработанной поверхности детали по сравнению с традиционным способом точения. Об этом свидетельствуют более равномерный профиль отклонений впадин и выступов обработанной поверхности, численные значения параметров шероховатости и характер процесса стружкообразования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-00039.

Литература

- Еренков О.Ю. Новый подход к высокопроизводительной механической обработке термопластов резанием /О.Ю. Еренков// Пластические массы. 2017. №5–6. С. 53–55–64. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_29823034_23953683.pdf
- 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. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_28949546_85738046.pdf
- Бартенев Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров/ Г.М. Бартенев. – М.: Химия, 1984. – 223 с.
- Карташов Э.М., Цой Б., Шевелев В.В. Структурно-статистическая кинетика разрушения полимеров. – М.: Химия, 2002. – 736 с.
- Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных материалов/А.А. Степанов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 176 с.
- Патент №2612283 Российская федерация, (51) МПК В 29 С 37/00. Способ токарной обработки заготовок из капролона / О.Ю. Еренков, М.А. Козлова – № 2015142306/06; заявл. 05.10.2015; Оpubл. 06.03.2017, Бюл. № 7. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_38260174_12971475.pdf
- Верещака А.С. Режущий инструмент с износостойким покрытием/ А.С. Верещака., И.П. Третьяков М.: Машиностроение, 1986. 192 с.
- Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/М.Ф.Полетика. – М.: Машиностроение, 1969. 149 с.
- Еренков О.Ю. Комбинированные способы токарной обработки полимерных композиционных материалов /О. Ю. Еренков. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. – 277 с. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_25290224_23402993.pdf
- Кабалдин Ю. Г. Самоорганизующиеся процессы в технологических системах обработки резанием. Диагностика и управление / Ю.Г. Кабалдин, А.М. Шпилев. – Владивосток : Дальнаука, 1998. – 296 с.