



УДК 621.921.8(043)

© О. Ю. Еренков, А. Г. Ивахненко, 2006

РАЗРАБОТКА НОВОГО ПОДХОДА К ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Еренков О. Ю. – докторант, канд. техн. наук, доц. (ТОГУ); *Ивахненко А. Г.* – д-р техн. наук, проф. (КГТУ)

На основе моделирования поведения полимерного материала при резании, а также с учетом взаимодействия трещин предложен метод предварительной механической деструкции поверхностного слоя материала заготовки. Реализация данного метода позволит повысить качество токарной обработки за счет уменьшения шероховатости поверхности.

The preliminary mechanical destruction method of a polymeric material superficial layer is submitted. The method generalizes the results of the lead researches on the basis of modeling representations of a polymeric material behavior at cutting.

Несмотря на многообразие способов получения деталей из пластмасс, обработка резанием, в частности токарная, является необходимой, распространенной и одной из ответственных операций. Эффективность методов обработки резанием в основном зависит от используемого оборудования, инструмента и режимов обработки. Однако режущих инструментов, оборудования и технологических методов, специально предназначенных для пластмасс недостаточно, а существующие имеют невысокую эффективность. Получаемые при токарной обработке полимеров параметры шероховатости поверхности зачастую не соответствуют значениям, установленным в технических требованиях, что приводит к необходимости дополнительной обработки.

Таким образом, задача повышения качества токарной обработки является актуальной, и ее решение связано с разработкой новых подходов к обработке резанием полимерных материалов.

Для разработки нового технологического подхода к решению поставленной задачи необходимо провести анализ поведения полимер-

ных материалов при нагружении силами резания с учетом наличия поверхностном слое микротрещин.

В многочисленных экспериментальных исследованиях установлено, что под действием возникающих напряжений в процессе резания происходит сжатие и простой сдвиг обрабатываемого материала [1]. механике разрушения тел с трещинами рассматриваются три основные схемы частных видов деформаций [2]: I – нормальный отрыв, при котором поверхности трещины прямо расходятся одна от другой во взаимно противоположных направлениях; II – поперечный сдвиг, приводящий к скольжению поверхностей трещины одна относительно другой в плоскости деформации; III – продольный сдвиг (связан с антиплоской деформацией), при котором одна поверхность скользит относительно другой параллельно направляющему фронту трещины. В качестве модели для анализа поведения полимерного материала, содержащего трещину, выбрана схема II. В окрестности трещины для плоской деформации напряжения выражаются как

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{-K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \left(2 + \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \right); \\ \sigma_y &= \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \left(\cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \right); \\ \tau_{xy} &= \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right); \\ \sigma_z &= \nu(\sigma_x + \sigma_y), \quad \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где K_{II} – коэффициент интенсивности напряжений; r , θ – полярные координаты с полюсом в вершине трещины; ν – коэффициент Пуассона.

В качестве модельного примера принята пластина с трещиной, которая на бесконечном расстоянии от трещины находится в состоянии однородного плоского сдвига, $K_{II} = \tau\sqrt{\pi a}$, где τ – касательное напряжение; a – размер трещины.

Главные напряжения σ_1 , σ_2 и σ_3 описываются уравнениями

$$\begin{aligned} \sigma_{1,2} &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}; \\ \sigma_3 &= \nu(\sigma_1 + \sigma_2). \end{aligned}$$



При достижении предела текучести в окрестности трещины происходит пластическая деформация материала, а при дальнейшем увеличении нагрузки и достижении предела прочности будет происходить развитие трещины. В качестве условия достижения предельного состояния использовано условие Мизеса:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_T^2, \quad (3)$$

где σ_T – предел текучести.

На рис. 1 представлено распределение напряжений у вершины трещины, анализ которого показывает, что пластическая деформация локализована у вершины трещины, а на размер этой зоны, как следует из выражения (1), влияют приложенная нагрузка τ и размер трещины a .

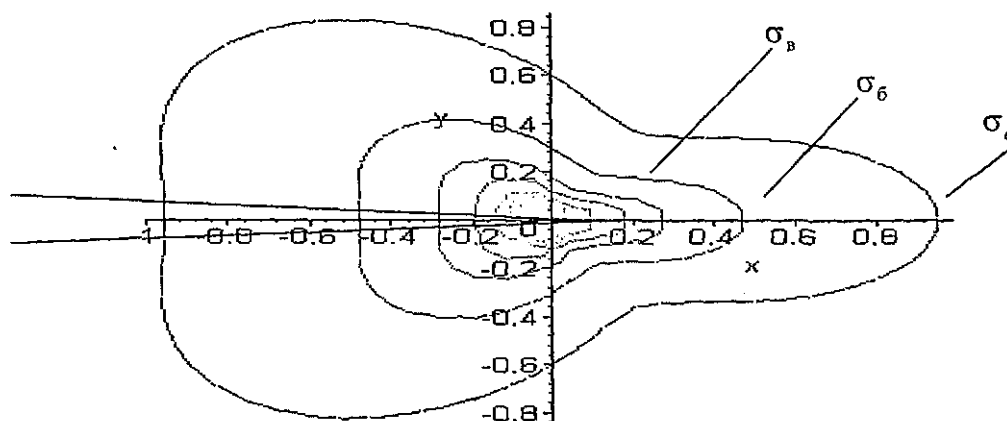


Рис. 1. Распределение напряжений у вершины трещины ($\sigma_a < \sigma_b < \sigma_a$)

В материале заготовки имеется большое число хаотически расположенных микротрещин, характерные размеры которых $a \approx 0,1 \div 10$ мкм, что связано с технологией получения полимерных материалов. Поэтому у вершин микротрещин зоны пластических деформаций, возникающих при резании, также будут расположены случайным образом. Вследствие этого могут образовываться дефекты обработанной поверхности – вырывы, сколы и т. п., что снижает качество поверхности.

На основании представленной модели предложен метод и устройство для осуществления предварительной механической деструкции поверхностного слоя деталей из полимерных материалов [3] в целях создания зон пластической деформации при взаимодействии напряжений, возникающих в вершинах соседних трещин. Сущность метода за-

ключается в том, что на поверхностный слой материала, перед обработкой резанием, наносят микроповреждения в виде глухих отверстий. Совокупность отверстий, в приближении, можно представить как систему трещин определенной глубины и расположенных на известном расстоянии друг от друга.

Таким образом, появляется возможность управления процессом направлением траектории развития опережающей трещины за счет задания размеров предварительно нанесенных повреждений и расстояния между ними. Механизм формирования зон пластической деформации от соседних трещин показан на рис. 2.

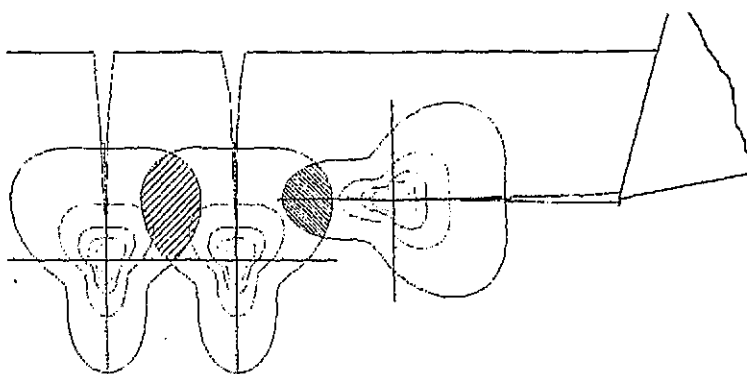


Рис. 2. Механизм формирования зон пластической деформации

При действии внешней нагрузки (силы резания) в заштрихованных на рис. 2 зонах будет происходить суммирование напряжений от соседних трещин и опережающей трещины, что приведет к развитию пластической деформации. Управление развитием зоны пластической деформации и опережающей трещины должно обеспечить ее распространение на требуемую глубину вдоль линии резания. Это позволит предотвратить образование дефектов на поверхностном слое обработанной детали, т. е. повысить качество обработки.

Проводились экспериментальные исследования эффективности предложенного метода в целях выявления зависимости качества обработанной поверхности полимерного материала от параметров предварительных микроповреждений и режимов резания.

В качестве исследуемых материалов приняты следующие представители термопластов и реактопластов, широко применяющиеся в производстве изделий машиностроения: гетинакс, текстолит, фторпласт – 4, органическое стекло и капролон. Обработка экспериментальных образцов производилась на универсальном токарном



винторезном станке модели 16К20. В качестве выходного параметра из номенклатуры параметров шероховатости выбрано среднее арифметическое отклонение профиля R_a . Геометрические параметры и материал режущего инструмента, а также значения скорости резания и подачи были приняты на основе ранее проведенных исследований [4] и поддерживались постоянными в течение данной серии экспериментов. Глубина резания варьировалась в диапазоне от 1 до 3 мм.

Экспериментальные исследования проводились в два этапа. На первом этапе выполнен предварительный эксперимент, цель которого – оценка качества поверхностей исследуемых полимерных образцов, обработанных при выбранных режимах резания.

На втором этапе обрабатывались образцы, на наружную поверхность которых предварительно были нанесены микроповреждения в виде глухих отверстий.

При проведении эксперимента использованы следующие уровни параметров микроповреждений: диаметр отверстия $d=2,0; 3,0; 4,0$ мм; глубина отверстия $h=1,0; 2,0; 3,0$ мм; шаг отверстий $t_o=2 \div 15$ мм.

На рис. 3–4 представлены результаты экспериментальных исследований по точению образцов из текстолита, проведенных на втором этапе. Глубина резания t для данных опытов поддерживалась равной глубине нанесения предварительных микроповреждений h и составляла соответственно 1 и 2 мм. На основании данных предварительного эксперимента для текстолита за базу сравнения принято значение параметра $R_a=10$ мкм.

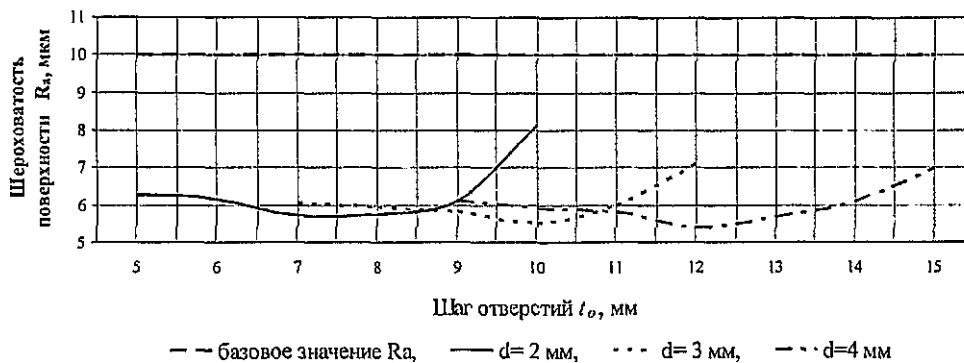


Рис. 3. Зависимость параметра шероховатости поверхности текстолита от шага нанесения микроповреждений при $t=h=1$ мм

Из анализа представленных результатов (рис. 3, 4) следует, что наличие микроповреждений в поверхностном слое обрабатываемой заготовки обеспечивает повышение качества получаемой поверхности, о чем свидетельствует снижение параметра R_a в среднем до 5,2 мкм. При

этом наблюдается тенденция снижения величины среднего арифметического отклонения профиля с увеличением диаметра микроповреждений. Характер распределения кривых $R_a=f(t_0)$ при исследуемых параметрах t и d позволяет сделать вывод о существовании диапазонов оптимальных значений параметра t_0 , соответствующих минимальным значениям R_a .

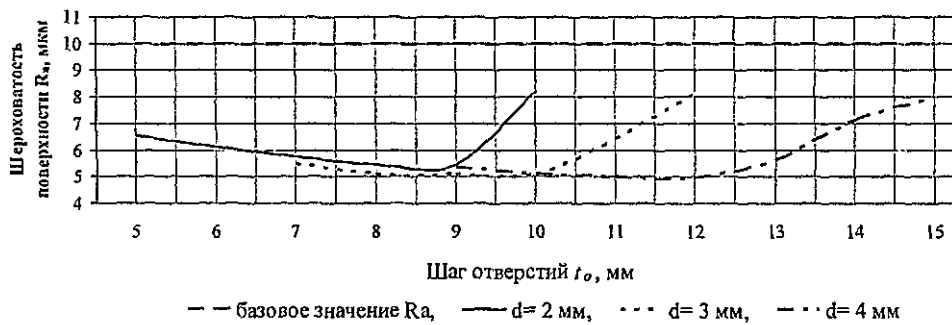


Рис. 4. Зависимость параметра шероховатости поверхности текстолита от шага нанесения микроповреждений при $t=h=2$ мм

Для проведения следующей серии экспериментов, цель которых выявление зависимости качества поверхности от величины глубины резания, были выбраны оптимальные сочетания диаметра и шага микроповреждений, реализация которых обеспечивает минимальные значения параметра R_a . Для текстолита такими сочетаниями являются следующие: 1) $d=3$ мм, $t_0=10$ мм, 2) $d=4$ мм, $t_0=12$ мм. Вариация глубины резания была выбрана из соотношения $t>h$. Результаты представлены на рис. 5, 6 соответственно для $h=1$ мм, $h=2$ мм.

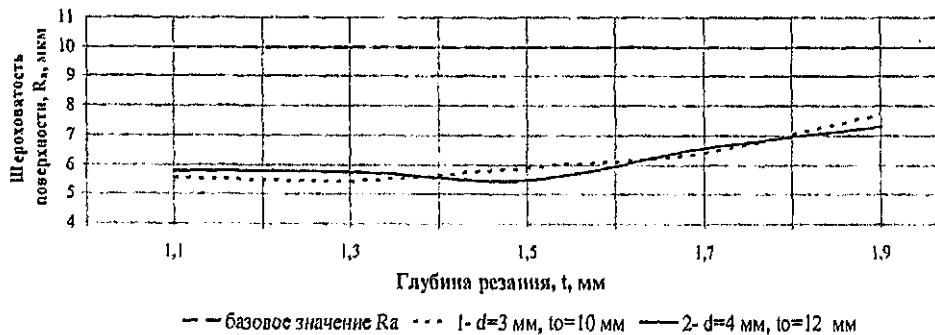


Рис. 5. Зависимость шероховатости поверхности текстолита от величины глубины резания (при $h=1$ мм)



Анализ представленных данных позволяет заключить, что обработку резанием допускается проводить при глубине резания, превышающей глубину предварительных микроповреждений, что обеспечивает как высокое качество обработанной поверхности, так и повышение производительности процесса токарной обработки. При этом наблюдается следующая зависимость изменения шероховатости поверхности текстолита: шероховатость обработанной поверхности уменьшается при увеличении глубины резания t до определенного, в каждом конкретном случае, значения, достигает минимума, и с дальнейшим увеличением t параметр R_a резко возрастает.

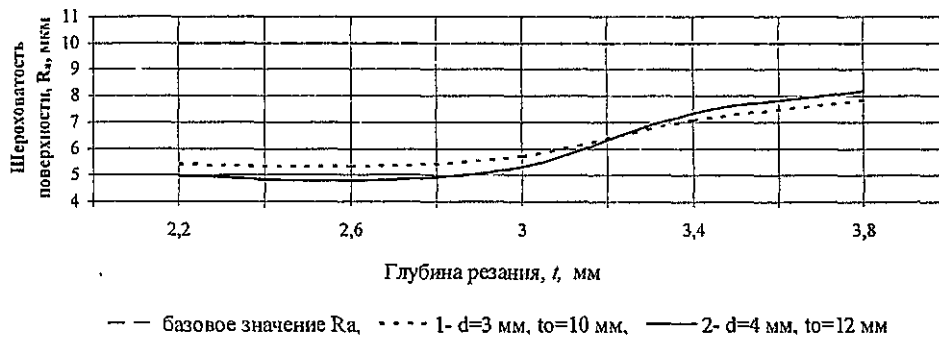


Рис. 6. Зависимость шероховатости поверхности текстолита от величины глубины резания (при $h=2$ мм)

Такая физическая картина изменения R_a в зависимости от параметров микроповреждений и глубины резания объясняется наличием в окрестности микроповреждений напряженно-деформированной зон, что совпадает с разработанными модельными представлениями.

Обобщая результаты проведенных в данной работе исследований, можно заключить, что на основе модельных представлений о поведении полимерного материала при резании с учетом взаимодействия трещин разработан метод предварительной механической деструкции поверхностного слоя материала; реализация метода обеспечивает повышение качества обработанной поверхности за счет снижения параметра шероховатости.

Существуют оптимальные сочетания параметров предварительных микроповреждений, обеспечивающих минимальные значения параметра шероховатости, а токарную обработку полимерных материалов допускается проводить при глубине резания превышающей глубину микроповреждений.

Влияние основных параметров предварительных микроповреждений на шероховатость обработанной поверхности при точении текстолита с применением способа, основанного на принципе деструкции поверхностных слоев, описывается зависимостью:

$$R_a = -1,45t + 1,71h + 56,68d + 3,72t^2 + 3,57h^2 - 4,59d^2 - 7,39th - 12,32t_0.$$

Коэффициенты регрессии математической зависимости были рассчитаны с помощью стандартной программы метода наименьших квадратов, входящей в математическое программное обеспечение для решения задач оптимизации Excel 7.0. Оценка достоверности уравнения регрессии, также выполненная в Excel 7.0, позволяет принять гипотезу об адекватности регрессионной модели.

Библиографические ссылки

1. Кабалдин Ю. Г. и др. Математическое моделирование самоорганизующихся процессов в технологических системах обработки резанием. Владивосток: Дальнаука, 2000.
2. Бартенев Г. М. Прочность и механизм разрушения полимеров. М. Химия, 1984.
3. Пат. № 2207937 РФ Устройство для предварительной обработки заготовок из пластмасс / О. Ю. Еренков, С. А. Ковальчук (РФ).
4. Штучный Б. П. Механическая обработка пластмасс: Справочник. М. Машиностроение, 1987.