

ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.91.01-36

Лавриненко С.Н., канд. техн. наук; Омельченко В.Н., канд. техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ОБЪЕМЕ ОПТИЧЕСКОГО ПОЛИМЕРА ПРИ АЛМАЗНОЙ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ

На качество формируемой оптической поверхности, образующейся при контролируемом направленном разрушении срезаемого слоя обрабатываемого материала при алмазной лезвийной обработке, большое влияние оказывает стабильность установившегося процесса резания и связанное с ней состояние материала приповерхностного слоя готового изделия и наличие в нем остаточных внутренних напряжений [1,2].

На основании качественной и количественной оценки результатов проведенных исследований предложена модель процесса деформации обрабатываемого материала и стружкообразования при алмазном микрорезании оптических полимеров. Согласно этой модели процесс микроразрушения обрабатываемого материала под воздействием режущего клина можно разбить на три характерных этапа.

На рис. 1 представлены типовые картины распространения напряженного состояния в зоне резания для инструмента со значением переднего угла $\gamma = 10^\circ$ для каждого из трех этапов: этапе врезания; этапе пластических и сдвиговых деформаций и этапе стружкообразования (квазиустановившегося процесса резания). Изохромы (границы серой и черной зон), полученные в проникающем поляризованном свете благодаря фотоупругим свойствам полимера, позволяют определить глубину распространения напряженного состояния в тело заготовки и, следовательно, определить глубину распространения остаточных напряжений в поверхностном слое обработанного изделия.

Первый этап - этап врезания инструмента в заготовку (рис. 1,а) – характеризуется отсутствием или низким уровнем микродеформаций и, следовательно, микроразрушений в снимаемом слое материала. С момента контакта режущего клина с обрабатываемым материалом под действием возникающих напряжений происходит накопление субмикродефектов – образование субмикротрещин и слияние их в микротрещины, как следствие термофлуктуационного разрыва полимерных цепей и микроразрушения в зоне действия критических напряжений. Эта зона на рис. 1 ограничена изохромой – линией равных напряжений (граница серого поля на микрофотографии в поляризованном свете).

Второй этап – этап пластического течения материала и переход к сдвиговым деформациям (рис. 1,б) – характеризуется тем, что обрабатываемый материал в зоне при вершине режущего клина подвергается значительным растягивающим деформациям. При значении переднего угла $\gamma = 0^\circ$ уровень главных деформаций растяжения и сжатия примерно одинаков на всех участках передней поверхности инструмента и по величине значительно превышает уровень главных деформации для инструмента с передним углом $\gamma = 10^\circ$. Дальнейшее уменьшение значения переднего угла ($\gamma = -5^\circ$) приводит к тому, что зона высокого уровня главных растягивающих деформаций перемещается из тела заготовки от вершины режущего клина в тело срезаемого слоя. Таким образом, ес-

ли в случае $\gamma = 10^\circ$ обрабатываемый материал разрушается главным образом в зоне, расположенной вблизи вершины режущего клина и русло магистральной трещины при этом распространяется вдоль направления главного движения резания, то при значениях переднего угла $\gamma = 0^\circ$ и $\gamma = -5^\circ$ разрушение материала идет преимущественно в толщине снимаемого слоя, что приводит к увеличению энергетических затрат на процесс стружкоотделения, и, следовательно, к росту силы резания, температуры и другим неблагоприятным последствиям. При этом значительно увеличивается уровень остаточных напряжений в приповерхностном слое готового изделия.

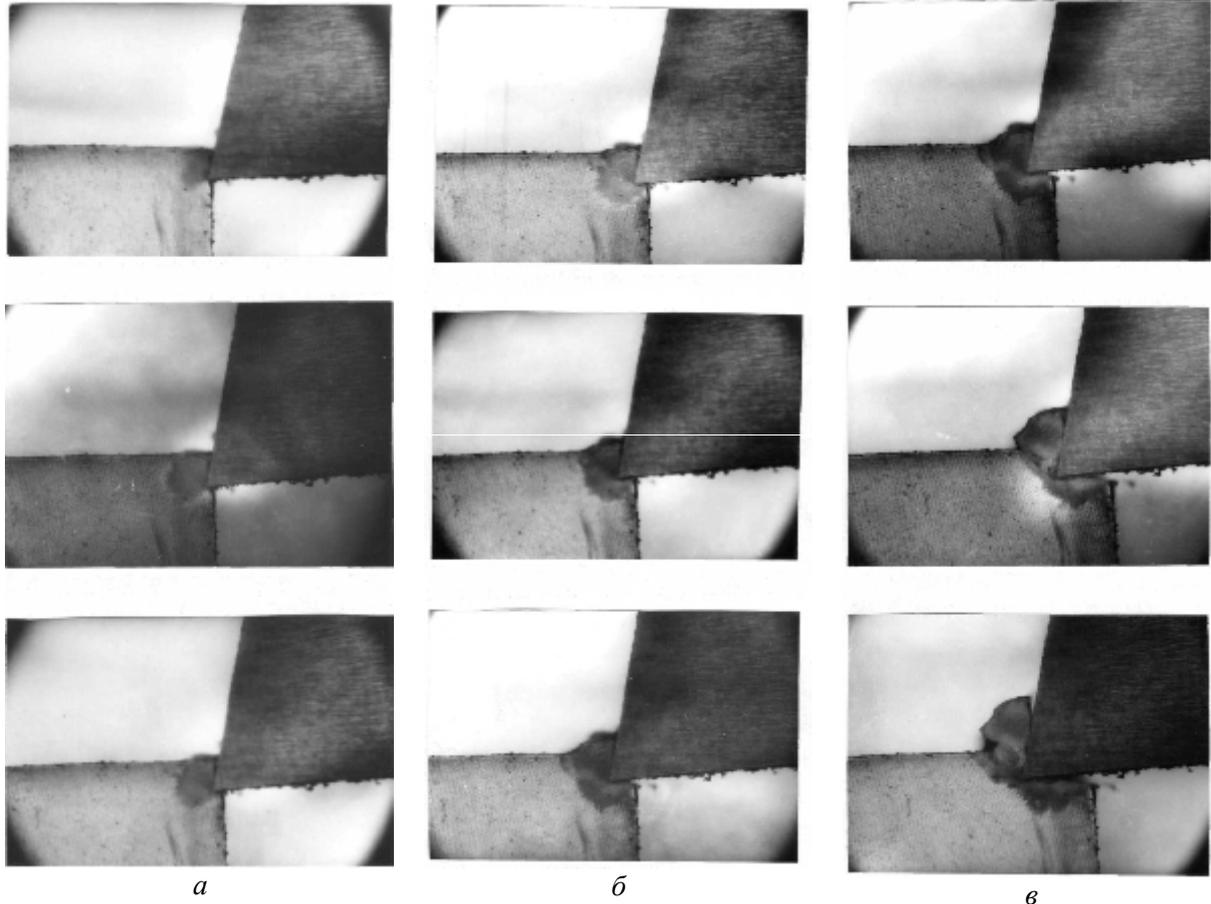


Рис. 1. Зона напряженного состояния обрабатываемого материала:
а – на этапе врезания; б – на этапе пластического деформирования;
в – на этапе стружкоотделения

Следует отметить, что направление распространения деформации зависит от геометрических параметров режущего инструмента, а величина ее распространения – от условий режима обработки. При этом более низкий уровень значений главной деформации сжатия в области при вершине режущего клина объясняется разрушением материала в результате образования и роста магистральной трещины. Существенно то, что зона напряжений распространяется в тело заготовки на расстояние, равное глубине резания t вдоль направления главного движения резания и на глубину $(0,5...0,6) \cdot t$ в перпендикулярном направлении. Эти напряжения приводят к образованию микродефектов в поверхностном слое обработанного изделия и являются составной частью остаточных напряжений, приводящих к преждевременному «старению» поверхности оптических полимеров и нарушению эксплуатационных свойств готовых изделий.

Третий этап – этап стружкоотделения (рис. 1,в) характеризует установившийся процесс резания. Образовавшийся на предыдущем этапе уровень главных деформаций

последовательно увеличивается по величине и его максимум смещается в зону поверхностных сдвига. С момента отделения первого элемента стружки уменьшается глубина распространения зоны напряженного состояния как в направлении главного движения резания ($0,5t \dots 0,7t$), так и в перпендикулярном направлении в глубину поверхностного слоя ($0,3t \dots 0,5t$). Уменьшение глубины распространения зоны напряженного состояния при установившемся процессе резания объясняется влиянием так называемого «краевого эффекта» и тем фактом, что для начала разрушения материала уровень напряжений должен превысить некоторый критический предел, соответствующий пределу прочности материала. Величина превышения этого предела и отражается в увеличении зоны распространения напряженного состояния в начальный период процесса стружкообразования.

Данные других исследований поверхностного слоя полимеров после механической обработки в поляризованном проникающем свете [3] приводят значения толщины зоны деформации до $0,5t \dots 0,9t$ в зависимости от значений подачи, переднего угла и скорости резания. Однако эти данные, как показали наши исследования, нуждаются в корректировке по глубине распространения остаточных напряжений, которые в процессе эксплуатации готового изделия приводят к увеличению глубины дефектного слоя за счет зарождения новых микродефектов и их разрастания.

Результаты исследования распространения напряженного состояния в объеме обрабатываемого материала и глубины проникновения напряжений в поверхностный слой обработанного оптического изделия при изменении наиболее существенного фактора процесса стружкообразования – переднего угла инструмента – представлены в таблице 1.

Таблица 1

Распространение напряженного состояния в обрабатываемом материале при резании оптических полимеров при $t = 0,1$ мм

Варьируемые факторы		Параметры распространения напряжений		
Обозначение	Величина	Глубина распространения остаточных напряжений, мм	Общая площадь распространения, мм ²	Площадь ниже обработанной поверхности, мм ²
γ, град.	+10	0,09	0,32	0,1
	0	0,15	0,52	0,18
	-5	0,23	0,64	0,21

Выводы:

1. В результате обработки и анализа экспериментальных данных представлена модель процесса деформации обрабатываемого материала и стружкообразования при алмазной лезвийной обработке полимерных материалов и композиций на их основе, обладающих свойством фотоупругости.

2. Предложенная модель позволяют прогнозировать реальную толщину дефектного слоя обработанной поверхности с учетом возможности уменьшения уровня остаточных напряжений, вносимых на этапе механической обработки, с целью обеспечения высокого качества и долговечности производимой полимерной оптики.

Литература: 1. Дюбнер Л., Грай К., Пипер Г.–Ю., Лавриненко С.Н. Трехмерный компьютерный анализ поверхности оптических изделий после прецизионной механической обработки // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. – 1998. – Вып.6. – ч.4. – С. 66–69. 2. Лавриненко С.Н. Обеспечение низкого уровня дефектности поверхностей прецизионных и ультрапрецизионных изделий из аморфных полимерных мате-

риалов // *Резание и инструмент в технологических системах*. – 2001. – № 60. – С. 117–120.
3. Цуг Г. *Резание пластмасс*. В кн.: *Справочник по технологии резания материалов*. Кн.2. М.:
Машиностроение, 1985. – 688 с.

Bibliography (transliterated): 1. Djubner L., Graj K., Piper G.–Ju., Lavrinenko S.N. *Trehmernyj komp'juternyj analiz poverhnosti opticheskikh izdelij posle precizionnoj mehanicheskoy obrabotki* // *Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e*. – 1998. – Вып.6. – ch.4. – С. 66–69. 2. Lavrinenko S.N. *Obespechenie nizkogo urovnja defektnosti poverhnostej precizionnyh i ul'traprecizionnyh izdelij iz amorfnyh polimernyh materialov* // *Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah*. – 2001. – № 60. – С. 117–120. 3. Cug G. *Rezanie plastmass*. V kn.: *Spravochnik po tehnologii rezanija materialov*. Кн.2. М.: *Mashinostroenie*, 1985. – 688 s.

Лавриненко С.М., Омельченко В.М.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШИРЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В ОБСЯЗІ ОПТИЧНОГО ПОЛІМЕРУ ПРИ АЛМАЗНІЙ ЛЕЗОВІЙ ОБРОБЦІ

Якість сформованої оптичної поверхні після алмазної лезової обробки визначається станом матеріалу приповерхневого шару готового виробу і наявністю в ньому залишкових внутрішніх напружень. Запропоновано модель процесу деформації матеріалу, що оброблюється, та стружкоутворення при алмазному мікрорізанні, згідно з якою процес мікроруйнування полімеру під впливом ріжучого клина можна розбити на три характерних етапи: етап вривання; етап пластичного деформування; етап стружковідділення. Запропонована модель дозволяє прогнозувати реальну товщину дефектного шару обробленої поверхні з урахуванням можливості зменшення рівня залишкових напруг, які вносяться на етапі механічної обробки, що забезпечить високу якість виробленої полімерної оптики.

Lavrynenko S.N., Omelchenko V.N.

INVESTIGATION OF STRESSES PROPAGATION IN VOLUME OF OPTICAL POLYMER BY DIAMOND CUTTING PROCESS

The quality of optical surfaces formed by diamond cutting depends on the state of the material of the surface layer of the finished product and the presence in it of residual internal stresses. A model of the cut material deformation and chip formation in diamond microcutting is presented, and according to which the process of microfractures of the polymer under the influence of the cutting wedge can be divided into three characteristic stages: stage of incision, stage of plastic deformation, phase of chip forming. The proposed model can predict the actual thickness of the defective layer of the machined surface with the possibility of reducing of the level of residual stresses, which introduced during machining, and providing of high quality of polymer optics.
