

ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.91.01-036

Лавриненко С.Н., канд. техн. наук; Ярмач Н.С., канд. техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ

Введение. Динамическое взаимодействие режущего инструмента, обрабатываемого материала и внешней среды при резании оптических полимеров является одним из определяющих факторов в процессе обеспечения заданного качества поверхностного слоя со стабильными эксплуатационными характеристиками готовых изделий. Основными показателями, отражающими характер этого взаимодействия, являются величина силы резания и уровень вибраций, возникающих в системе станок–приспособление–инструмент–заготовка при определенных условиях и режимах механической обработки и, в частности, при фрезеровании оптических полимеров на основе полистирола (ПС) и полиметилметакрилата (ПММА).

1. Сила резания при фрезеровании

При проведении исследований по изучению силы резания оптических полимеров на основе ПС и ПММА в процессе фрезерования учитывалось наличие двух периодов – переходного и квазиустановившегося.

Исследование переходного периода, в особенности в начальной его фазе базировалось на методике одновременной регистрации главной составляющей силы резания и интенсивности собственной механолюминесценции. При этом главная составляющая силы резания P_z регистрировалась с помощью пьезоэлектрического датчика (ПЭД) и регистратора однократных импульсов.

В ходе исследований было определено, что переходный период при фрезеровании оптических полимеров с оптимальными режимами резания ($v = 1200$ м/мин, $s_z = 0,01$ мм/зуб, $t = 0,05$ мм) занимает временной интервал в 1 ... 4 мкс. Значение главной составляющей силы резания в этот период увеличивается в прямо пропорциональной зависимости от времени воздействия режущего клина на обрабатываемый материал и достигает своего максимума в момент достижения предела прочности материала. Уровень максимальных значений силы резания в переходной период находится в пределах 8...11 Н, что практически соответствует уровню сил квазиустановившегося процесса [1-3].

Исходя из этого можно, сделать вывод, что основное силовое воздействие режущего инструмента на обрабатываемый материал при фрезеровании оптических полимеров происходит во время квазиустановившегося процесса. И именно этот период определяет все качественные изменения, происходящие в поверхностном слое материала.

При исследовании квазиустановившегося процесса регистрировались две составляющих силы резания: главная составляющая P_z и радиальная составляющая P_y . Тарирование динамометра производилось путем статического нагружения-разгружения с контрольным тарированием перед каждой серией опытов. При проведении

тарирования динамометра установлено, что взаимное влияние составляющих сил резания не превышает 5%.

Условия проведения однофакторного эксперимента по установлению силовых зависимостей приняты следующие: фреза однозубая диаметром $D = 200$ мм с механическим креплением режущих вставок, оснащенных природным монокристаллом алмаза, фрезерование торцевое, ширина фрезерования $B = 50$ мм.

Графики, показывающие влияние скорости резания v , подачи на зуб фрезы s_z и глубины резания t на главную составляющую силы резания P_z и радиальную составляющую P_y , представлены на рисунках 1, 2 и 3 соответственно.

Как видно из рис. 1, увеличение скорости резания в диапазоне от 10 м/мин до 100 м/мин для оптических полимеров на основе ПС приводит к уменьшению значения главной составляющей силы резания в 2,5 раза, а радиальной – в 2 раза. Для оптических полимеров на основе ПММА уменьшение составляющих силы резания наблюдается при увеличении скорости резания до значений $v = 70...80$ м/мин при меньшем уровне максимальных значений силы для главной составляющей в 1,5 и для радиальной в 2 раза по сравнению с ПС.

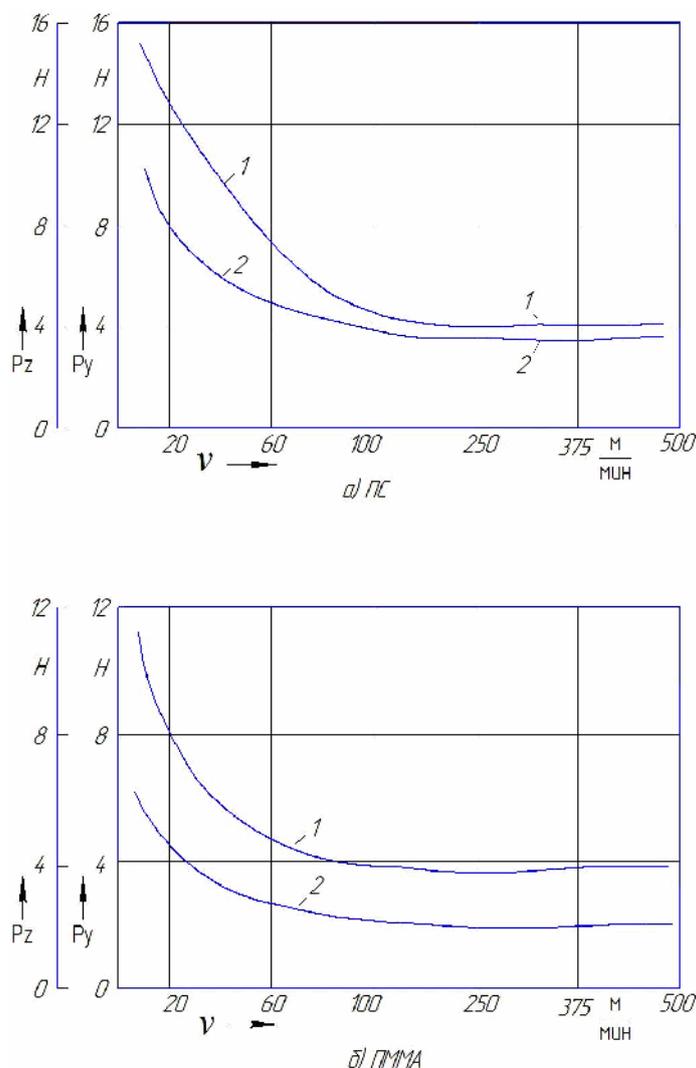


Рис. 1. Влияние скорости резания на составляющие силы резания при обработке оптических полимеров:
1 – главная составляющая; 2 – радиальная составляющая; а) ПС, б) ПММА.

Дальнейшее увеличение скорости существенного влияния на силу резания не оказывает. Уровень значений составляющих силы резания в диапазоне $v = 100...500$ м/мин находятся в пределах $P_z = 3,8...4,0$ Н и $P_y = 2,0...3,7$ Н для оптических полимеров различного состава.

Такой характер зависимости силы резания от скорости резания объясняется воздействием скоростного фактора процесса нагружения при механической обработке на прочностные свойства оптических полимеров, а также процессом расплавления материала под воздействием температур, превышающих температуру стеклования при скоростях резания $v > 50$ м/мин. Особенно это характерно для микрослоев прирезцової зоны, в которой композит переходит из состояния стеклования в более податливое состояние эластичности, за счет чего происходит уменьшение работы трения, что в совокупности с изменением прочностных свойств ведёт к уменьшению силы резания.

Как видно на рис. 2 увеличение подачи приводит к возрастанию силы резания. Это объясняется тем, что при увеличении подачи увеличивается площадь поперечного сечения срезаемого слоя материала. Возрастает работа, затрачиваемая на отделение элементов стружки и, следовательно, увеличивается напряженность процесса фрезерования.

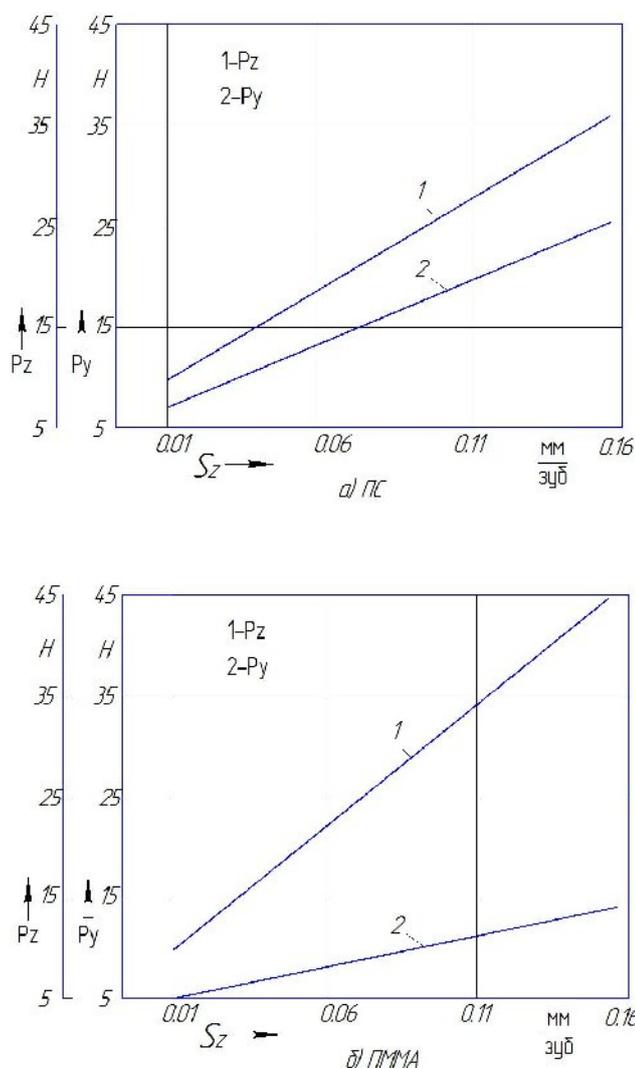


Рис. 2. Влияние подачи на составляющие силы резания при обработке оптических полимеров: а) на основе ОТПК, б) на основе ПММА.

Большой уровень сил для оптических полимеров на основе ПММА (главная составляющая $P_z = 30$ Н при подаче $s_z = 0,1$ мм/зуб) объясняется тем, что для ПММА характерен более вязкий характер разрушения по сравнению с хрупким разрушением ПС.

Учитывая тот факт, что увеличение подачи однозначно ухудшает качество обработки, следует отметить низкий уровень значений составляющих силы резания в этой области ($P_z = 10$ Н, $P_y = 5 \dots 7$ Н) для различных составов оптических полимеров.

Наибольшее влияние на составляющие силы резания оказывает глубина фрезерования (рис. 3).

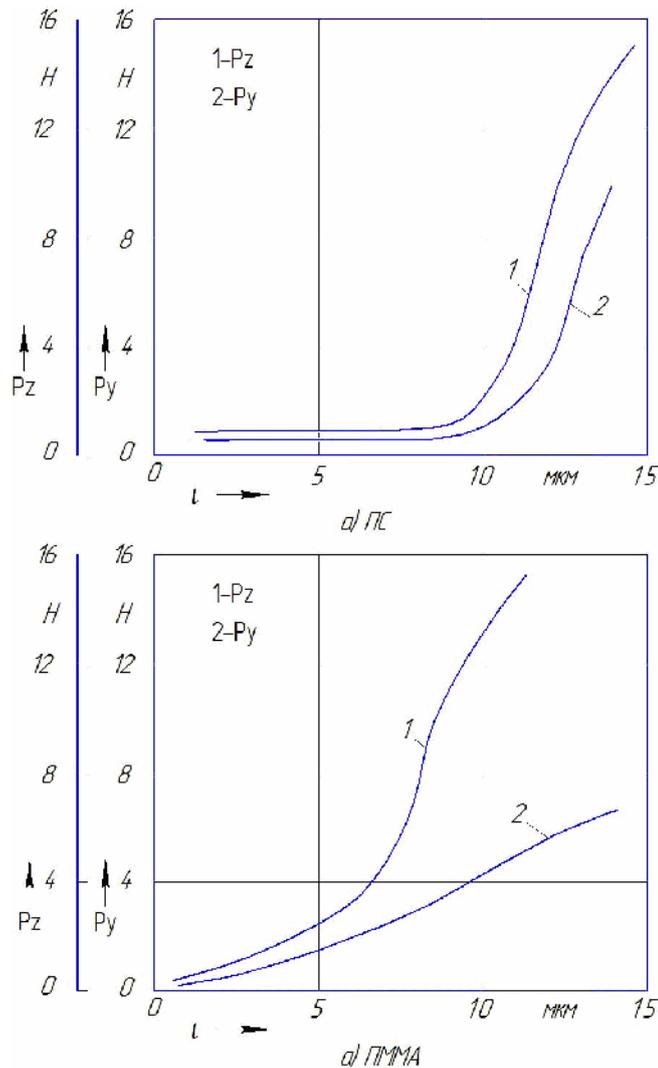


Рис. 3. Влияние подачи на составляющие силы резания при обработке оптических полимеров:
а) на основе ПС, б) на основе ПММА

С увеличением глубины резания возрастает ширина среза за счет увеличения длины контакта по главной режущей кромке зуба фрезы с обрабатываемым материалом, вследствие чего растет удельный расход энергии на отделение стружки. Следует отметить, что классическая прямопропорциональная зависимость роста составляющих силы резания от увеличения глубины для оптических полимеров носит иной характер и имеет точки перегиба для ПС при значении $t = 8 \dots 9$ мкм, для ПММА при значении $t = 6 \dots 7$ мкм. До этих точек рост значений составляющих силы резания идет более плавно и не превышает уровня 1...4 Н. После точек перегиба происходит

резкое возрастание значений составляющих силы резания до уровня 15 Н и более. Причем увеличение глубины резания в 1,5...2 раза приводит к увеличению силы резания в 4...6 раз.

2. Вибрации в процессе фрезерования

Колебание системы станок–приспособление–инструмент–заготовка неизбежны при любых видах механической обработки и являются суммарным результатом наложенных друг на друга колебаний каждого элемента системы. Однако при высоких нормах точности и жесткости используемого при обработке оптических полимеров оборудования с учетом условия получения высокого качества обработанной поверхности в первую очередь следует учитывать вибрацию в механической подсистеме инструмент–заготовка, особенно в переходный период процесса резания.

Измерение вибраций механической подсистемы инструмент - заготовка осуществлялось при помощи агрегатного комплекса средств измерения вибрации (АСИВ) непосредственно в процессе фрезерования оптических полимеров на фрезерно-расточном станке повышенной точности в широком диапазоне изменения режимов резания. В качестве регистрирующего прибора использовался преобразователь пьезоэлектрический виброизмерительный ДН-4, предназначенный для преобразований механических колебаний в электрические сигналы, пропорциональные ускорению колеблющегося объекта. Датчик при помощи резьбового соединения крепился непосредственно на обрабатываемый образец оптического полимера.

Регистрация сигналов, снимаемых с преобразователя, выполнялась измерителем шума и вибраций модели ВШВ-003, предназначенного для измерения и частотного анализа шума и вибрации при контроле качества изделий.

Динамический и частотный диапазон измерения средних квадратических значений виброускорения и виброскорости АСИВ с вибропреобразователем ДН-4 представлен в таблице 1.

Таблица 1

Динамический и частотный диапазон измерения средних квадратических значений виброускорения и виброскорости

Среднеквадратическое значение	Частотный диапазон, Гц	Динамический диапазон
Виброускорение	10 - 10000	(5.10 ⁻² - 103) м/с ²
Виброскорость	10 - 2800	(6,5 - 57) м/с ²
	10 - 16	(0,5 - 104) м/с ²

При измерении виброускорений при различных режимах фрезерования использовались частотные фильтры трех частотных полос:

$$f_1 = 1000 \text{ Гц}, \quad f_2 = 2000 \text{ Гц}, \quad f_3 = 4000 \text{ Гц}.$$

Как показали экспериментальные исследования, наибольшее влияние на величину вибраций в процессе фрезерования оптических полимеров на основе ПС и ПММА оказывает подача. На рис. 4 представлена графическая зависимость влияния продольной подачи s_z на величину виброускорения a_v . Характер этого влияния обусловлен увеличением толщины срезаемого слоя и ростом амплитуды колебаний режущего инструмента и заготовки с увеличением подачи. При этом растет динамическая напряженность процесса разрушения снимаемого слоя материала, приводящая к росту уровня вибрации системы.

Влияние скорости резания на величину виброускорения (рис. 5) носит неоднозначный характер. В диапазоне скоростей $v = 10...100$ м/мин. наблюдается снижение величины виброускорения в 4...4,2 раза. Это снижение объясняется

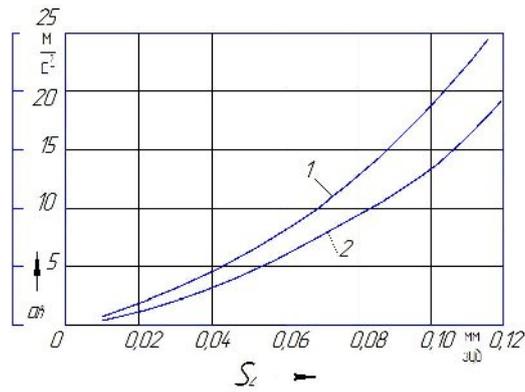


Рис. 4. Влияние подачи на величину виброускорения при фрезеровании оптических полимеров на основе ПС (1) и ПММА (2)

уменьшением силы резания за счет воздействия скоростного фактора процесса нагружения материала на прочностные свойства оптического полимера и процессом образования размягченного слоя материала при увеличении значения скорости резания и, следовательно, температуры в зоне обработки. При этом слой вязкого материала начинает гасить возникающую вибрацию.

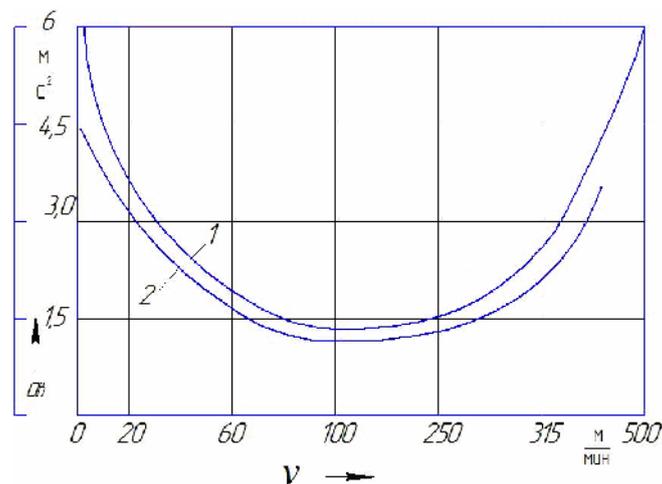


Рис. 5. Влияние скорости резания на величину виброускорения при фрезеровании оптических полимеров на основе ПС (1) и ПММА (2)

При дальнейшем увеличении скорости резания ($v = 80...270$ м/мин.) уровень вибрации остается практически неизменным, так как в этом диапазоне происходит интенсивное размягчение обрабатываемого материала под воздействием температурного фактора процесса резания с образованием налипков на обработанной поверхности и режущем инструменте. В прирезцовой зоне обрабатываемый материал находится в вязкотекучем состоянии, поглощая возникающие колебания системы.

При скоростях $v > 270$ м/мин. скорость продольного перемещения зоны резания относительно поверхности заготовки возрастает (за счет роста минутной подачи на высоких скоростях резания при неизменной подаче на зуб фрезы) и, вследствие низкой теплопроводности полимера, материал в зоне резания на некотором удалении от поверхности режущего клина не успевает прогреться выше температуры стеклования и находится в вязко-хрупком и хрупком состоянии. Условия для гашения колебаний ухудшаются, и происходит увеличение уровня вибраций.

Следует также отметить, что на высоких скоростях резания собственная частота колебаний подсистемы инструмент–заготовка попадает в резонансную частоту с

колебаниями электродвигателей привода главного движения и механизма подачи станка, что увеличивает уровень вибраций и ухудшает качество обработки поверхностей изделий.

Низкая теплостойкость обрабатываемого материала определяет также характер влияния глубины резания на величину виброускорения при фрезеровании оптических полимеров (рис. 6).

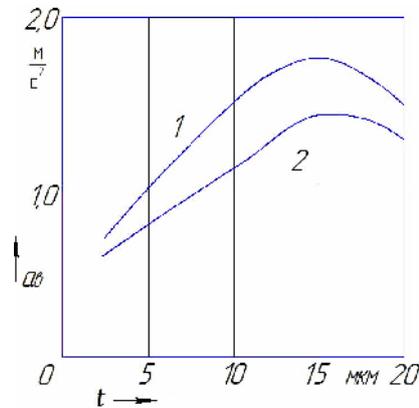


Рис. 6. Влияние глубины резания на величину виброускорения при фрезеровании оптических полимеров на базе ПС (1) и ПММА (2)

При увеличении глубины резания до значений $t = 2,5 \dots 13 \mu m$ происходит рост величины виброускорения за счет увеличения площади сечения срезаемого слоя материала. Однако при $t = 15 \mu m$ начинается термическое размягчение обрабатываемого материала, сопровождаемое снижением уровня вибраций в системе. При этом следует учитывать, что изменение глубины фрезерования оказывает незначительное влияние на вибрационные процессы, происходящие в подсистеме инструмент–заготовка (величина виброускорения изменяется в узком диапазоне $a_v = 0,7 \dots 1,75 \text{ м/с}^2$).

Выводы:

1. Увеличение скорости резания в диапазоне от 10 м/мин до 100 м/мин для оптических полимеров на основе ПС приводит к уменьшению значения главной составляющей силы резания в 2,5 раза, а радиальной – в 2 раза. Для оптических полимеров на основе ПММА уменьшение составляющих силы резания наблюдается при увеличении скорости резания до значений $v = 70 \dots 80 \text{ м/мин}$ при меньшем уровне максимальных значений силы для главной составляющей в 1,5 и для радиальной в 2 раза по сравнению с ПС.

2. Увеличение подачи ухудшает качество обработки при низком уровне значений составляющих силы резания в этой области - $P_z = 10 \text{ Н}$, $P_y = 5 \dots 7 \text{ Н}$.

3. На высоких скоростях резания собственная частота колебаний подсистемы инструмент–заготовка попадает в резонансную частоту с колебаниями электродвигателей привода главного движения и механизма подачи станка, что увеличивает уровень вибраций и ухудшает качество обработки поверхностей изделий.

4. Низкая теплостойкость обрабатываемого материала определяет также характер влияния глубины резания на величину виброускорения при фрезеровании оптических полимеров.

Литература: 1. Lavrynenko S.N. Distinctive Features of Polymeric Optical Components Precision Machining / Lavrynenko S.N. // Proceedings of the 1–st International Conference and General Meeting of the European Society for Precision Engineering and

Nanotechnology at Bremen – Germany, 1999. – Vol. 1. – P. 207–210. 2. Лавриненко С.Н. Некоторые аспекты квазистатического моделирования силового взаимодействия режущего клина и обрабатываемого материала посредством микроиндентации / С.Н. Лавриненко // Вестник Инж. Акад. Украины. – 2001. – КВ №2635. – С. 463–466. 3. Лавриненко С.Н. Критерий начала стружкоотделения при квазиустановившемся процессе микрорезания для моделирования методом конечных элементов / С.Н. Лавриненко, А.Г. Мамалис // Вестник НТУ «ХПИ». – 2005 – №24. – С. 122–127.

Bibliography (transliterated): 1. Lavrynenko S.N. Distinctive Features of Polymeric Optical Components Precision Machining / Lavrynenko S.N. // Proceedings of the 1–st International Conference and General Meeting of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology at Bremen – Germany, 1999. – Vol. 1. – P. 207–210. 2. Lavrynenko S.N. Nekotorye aspekty kvazistaticheskogo modelirovanija silovogo vzaimodejstvija rezhuwegο klina i obrabatyvaemogo materiala posredstvom mikroindentacii / S.N. Lavrynenko // Vestnik Inzh. Akad. Ukrainy. – 2001. – KV №2635. – S. 463–466. 3. Lavrynenko S.N. Kriterij nachala struzhkootdelenija pri kvaziustanovivshemsja processe mikrorezanija dlja modelirovanija metodom konechnyh jelementov / S.N. Lavrynenko, A.G. Mamalis // Vestnik NTU «HPI». – 2005 – №24. – S. 122–127.

Лавриненко С.М., Ярмач М.С.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ОПТИЧНИХ ПОЛІМЕРІВ

Динамічна взаємодія ріжучого інструменту та матеріалу, який оброблюється, при різанні оптичних полімерів є одним з визначальних факторів у процесі забезпечення заданої якості поверхневого шару зі стабільно високими експлуатаційними характеристиками готових виробів. Основними показниками, що відображають характер цієї взаємодії, є величина сили різання і рівень вібрацій, що виникають в системі верстат-приспособування-інструмент-заготовка при заданих умовах і режимах механічної обробки. У даній статті представлені результати дослідження динамічних характеристик процесу фрезерування оптичних полімерів на основі полістиролу (ПС) і поліметилметакрилату (ПММА).

Lavrynenko S.N., Jarmak N.S.

INVESTIGATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF OPTICAL POLYMERS CUTTING PROCESS

Dynamic interaction between cutting tool and machined material during the cutting of optical polymers is one of the defining factors in ensuring the specified quality of the surface layer with consistently high performance of finished products. The main indicators that reflect the nature of this interaction, are the magnitude of cutting forces and vibration encountered in the system machine-adjustment-tool-workpiece under given conditions and regimes of mechanical treatment. This article presents the results of dynamic characteristics investigation of the milling process of optical polymers based on polystyrene (PS) and polymethylmethacrylate (PMMA).
