

ТЕХНОЛОГІЯ **МАШИНОБУДУВАННЯ**

УДК 621.91.01-36

Лавриненко С.Н., д-р техн. наук

ОСОБЕННОСТИ СИММЕТРИЧНОЙ И АССИМЕТРИЧНОЙ ИНДЕНТАЦИИ И ВЛИЯНИЕ КРАЕВОГО ЭФФЕКТА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ПОЛИМЕРНОЙ ЗАГОТОВКИ

Введение. В настоящее время возрастают объемы промышленного производства ультрапрецизионных изделий из аморфных термопластичных полимерных материалов, которые находят широкое применение в космической и ядерной технике, биоинженеринге и медицине и других областях науки и техники. Наиболее эффективным методом формообразования прецизионных функциональных поверхностей полимерных изделий с низким уровнем дефектности и напряженности поверхностного слоя является однолезвийная алмазная механическая обработка резанием – точение, фрезерование, а также комбинированные методы обработки, которые позволяют снизить уровень дефектности формируемого поверхностного слоя за счет управления качеством процесса контролируемого направленного разрушения.

Исследование особенностей зарождения и распространения напряжений во вновь образуемом поверхностном слое в результате воздействия большего числа физических и технологических параметров реального процесса контролируемого направленного разрушения при ультрапрецизионном резании является очень сложной и трудоемкой задачей, решение которой возможно осуществить при моделировании этого процесса посредством микроиндентации.

В результате комплексного исследования процессов микроиндентации были определены особенности воздействия симметричного и асимметричного индентора, а также выявлено влияние краевого эффекта на характер распространения напряжений в объеме полимерной заготовки.

Анализ публикаций. Основой разработанной методики физического моделирования процесса ультрапрецизионной лезвийной обработки полимеров посредством микроиндентации являются два направления проведения исследований. Первое направление - это интерпретация классической процедуры индентации, применяемой, например, при измерении твердости. При этом симметричный двухсторонний индентор при приложении постоянной внешней нагрузки внедряется в образец исследуемого материала [1-5].

Второе направление - это симуляция процесса резания, когда индентор с постоянной небольшой скоростью, которая в данном случае является эквивалентом скорости деформации, внедряется в образец обрабатываемого материала [6-7]. В этом случае алмазный индентор имеет асимметричное рабочее тело с геометрическими параметрами, сходными с параметрами реального режущего инструмента с нулевым передним углом.

Цель работы. Разработка методики тестирования наличия и характера внутренних напряжений в полимерной заготовке для биоинженерной ультрапрецизионной оп-

тики с целью определения оптимальных технологических параметров алмазной лезвийной механической обработки при производстве высококачественных ультрапрецизионных оптических и биоинженерных изделий.

Физическое моделирование процесса ультрапрецизионной лезвийной обработки полимеров посредством микроиндентации. В процессе индентации индентор (см. рис. 1) имеет возможность перемещения в двух направлениях - в направлении, перпендикулярном поверхности образца, и в направлении, параллельном поверхности с различной скоростью, что позволяет имитировать продольную подачу при осуществлении единичного реза.

В качестве экспериментального стенда использовалась установка TriboScope™ производства фирмы HYSITRON INC., оснащенная атомно-силовым микроскопом – Atomic Force Microscope (вид рабочего стола установки представлен на рис. 2).

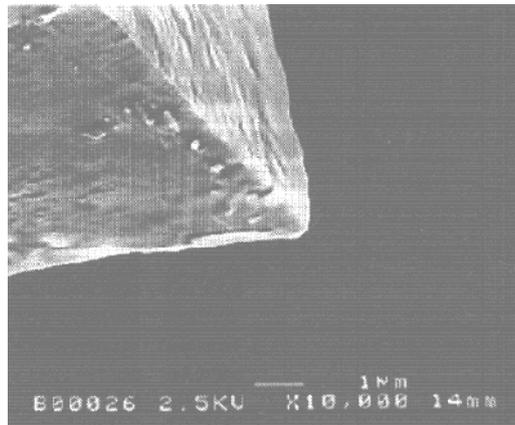


Рис. 1. Алмазный асимметричный микроиндентор в виде режущего клина инструмента с нулевым передним углом



Рис. 2. Общий вид рабочего стола экспериментальной установки для осуществления процесса микроиндентации

Трехмерная картина воздействия индентора на поверхность полимерной заготовки при микроиндентации, полученная при помощи методики атомно-силовой микроскопии (AFM) представлена на рис. 3.

В результате комплексного исследования процессов микроиндентации были определены особенности воздействия симметричного и ассиметричного индентора, а также влияние краевого эффекта на характер распространения напряжений в теле полимерной заготовки. На рисунке 4 представлены результаты графической обработки данных, полученных при помощи поляризационно-оптического метода, характеризую-

ших распространение напряжений в объеме заготовки при использовании симметричных и ассиметричных инденторов с различными радиусами при вершине.

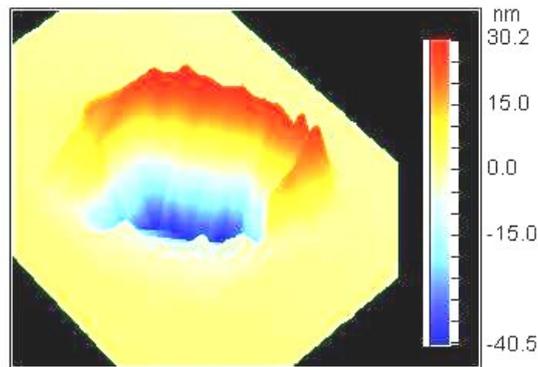


Рис. 3. 3D модель профиля поверхности заготовки из полиметилметакрилата после микроиндентации, полученная методом AFM

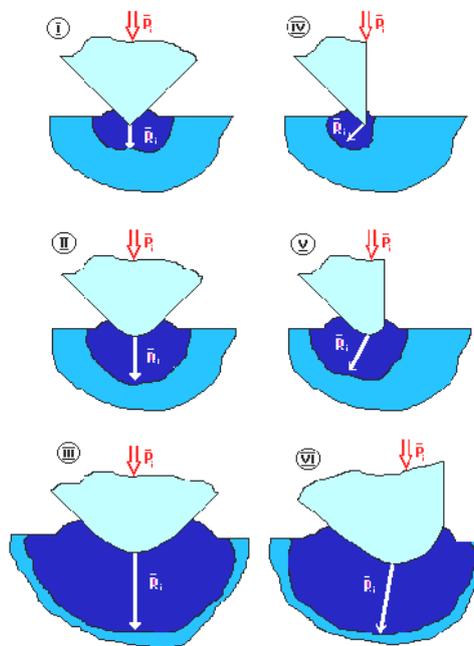


Рис. 4. Распространение напряжений в объеме заготовки при использовании симметричных и ассиметричных инденторов с различным радиусом при вершине

Очевидно, что радиус при вершине режущего клина, внедряющегося в заготовку, влияет не только на глубину проникновения напряжений в поверхностный слой полимера (темное поле на рисунке), но также влияет на направление вектора результирующей критической силы R_i , которая является причиной направленного разрушения и, как результат, формирования новой поверхности. Значительное увеличение радиуса округления режущей кромки (радиуса при вершине клина) уменьшает различия в направлении и характере распространения напряжений при направленном разрушении материала симметричным (рис. 4, III) и ассиметричным (рис. 4, VI) индентором.

При минимальных значениях радиуса округления вершины индентора на характер распространения напряжений в обрабатываемом полимере влияет не только форма рабочей части индентора, но и место приложения нагрузки. Чем ближе место приложения нагрузки к краю заготовки, тем отчетливее проявляется влияние так называемого

"краевого эффекта" (см. рис. 5). Смещение направления вектора результирующей силы в сторону "свободной поверхности" на краю заготовки, являющееся причиной отделения нагруженного слоя материала (т.е. его срезания), в значительной степени зависит от места приложения нагрузки и от геометрических параметров самого индентора, моделирующего режущий клин. Чем ближе расстояние от вершины индентора до края заготовки, тем больше смещение вектора результирующей силы. Соответствующим образом уменьшение "заднего угла" у асимметричного клина индентора также приводит к смещению результирующего вектора и отделению слоя нагруженного материала.

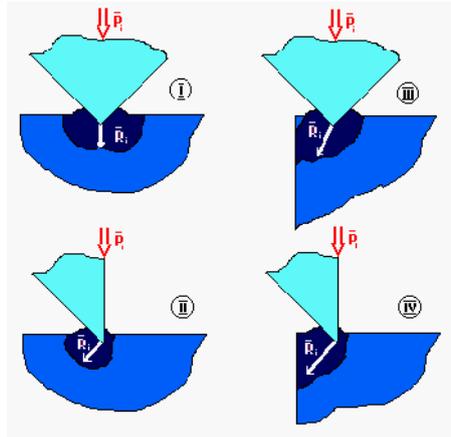


Рис. 5. Влияние "краевого эффекта" на характер распространения напряжений в полимере

В реальном процессе ультрапрецизионной лезвийной обработки с малыми значениями глубины резания и подачи на зуб инструмента имеет место срезание слоя материала, поперечное сечение которого сравнимо со средним значением радиуса округления режущей кромки инструмента в общем понимании этого термина. Однако, в реальном процессе направленного разрушения и формировании новой поверхности участвуют острые микронеровности – микролезвия главной режущей кромки резца, работающие как отдельные или объединенные микрокромки.

Выводы.

1. В результате комплексного исследования процессов микроиндентации были определены особенности воздействия симметричного и асимметричного индентора, а также влияние краевого эффекта на характер распространения напряжений в теле полимерной заготовки.

2. Для усовершенствования представленной разработки необходимо создание программного обеспечения для количественной оценки уровня напряжений и цифровой обработки полученных результатов с учетом показателей фотоупругости конкретных обрабатываемых оптических полимеров.

3. Методика моделирования процесса зарождения и распространения остаточных напряжений в полимерных заготовках на этапе механической лезвийной обработки и дальнейшее совершенствование технологического процесса производства высококачественных полимерных биоинженерных изделий позволит обеспечивать новый уровень функциональных свойств готовых изделий и повысит их стабильность в процессе эксплуатации.

Литература: 1. Подзей А.В. Технологические остаточные напряжения / Подзей А.В., Сулима. А.М., Евстигнеев М.И., Серебренников Г.З. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
2. Ренне И.П. Экспериментальные методы исследования пластического формоизменения в про-

цессах обработки металлов давлением с помощью делительной сетки. - Тула: ТПИ, 1970. – 146 с. 3. Розенберг А.М. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания / А.М.Розенберг, О.А.Розенберг. – Киев: Наук. думка, 1990. – 320 с. 4. Рыжов Э.В. Контактное твердых тел при статических и динамических нагрузках / Рыжов Э.В., Колесников Ю.В, Суслов А.Г. – К.: Наукова думка, 1982. - 168 с. 5. Kent R. Indentation Processes in Polymethylmetacrylate / PhD Diss., Surrey Univ., UK, 1979. – 185 p. 6. Lavrynenko S. Modelling of High-Precision Single-Point Micromachining of Optical and Bioengineering Polymers by Microindentation // Proc. of the MICRO.tec 2000 VDE World Microtechnologies Congress "Applications - Trends – Visions" - Germany, 2000, Vol. 2. - P. 717-720. 7. Lucca D.A., Aspects of Surface Generation in Orthogonal Ultraprecision Machining /Lucca D.A., Seo Y.W., Rhorer R.L. // Annals of the CIRP, 1994, Vol. 43(1) - P. 43-46.

Bibliography (transliterated): 1. Podzej A.V. Tehnologicheskie ostatochnye naprjazhenija / Podzej A.V., Sulima. A.M, Evstigneev M.I., Serebrennikov G.Z. – M.: Mashinostroenie, 1973. – 216 s. 2. Renne I.P. Jeksperimental'nye metody issledovanija plasticheskogo formoizmenenija v pro-cessah obrabotki metallov davleniem s pomoshh'ju delitel'noj setki. - Tula: TPI, 1970.–146 s. 3. Rozenberg A.M. Mehanika plasticheskogo deformirovanija v processah rezanija i de-formirujushhego prot-jagivaniya / A.M.Rozenberg, O.A. Rozenberg. – Kiev: Nauk. dumka, 1990. – 320 s. 4. Ryzhov Je.V. Kontaktirovanie tverdyh tel pri staticheskikh i dinamicheskikh nagruz-kah / Ryzhov Je.V., Kolesnikov Ju.V, Suslov A.G. – K.: Naukova dumka, 1982. - 168 s. 5. Kent R. Indentation Processes in Polymethylmetacrylate / PhD Diss., Surrey Univ., UK, 1979. – 185 p. 6. Lavrynenko S. Modelling of High-Precision Single-Point Micromachining of Optical and Bioengi-neering Polymers by Microindentation // Proc. of the MICRO.tec 2000 VDE World Microtechnologies Congress "Applications - Trends – Visions" - Germany, 2000, Vol. 2. - R. 717-720. 7. Lucca D.A., Aspects of Surface Generation in Orthogonal Ultraprecision Machining /Lucca D.A., Seo Y.W., Rhorer R.L. // Annals of the CIRP, 1994, Vol. 43(1) - P. 43-46.

Лавриненко С.М.

ОСОБЛИВОСТІ СИМЕТРИЧНОЇ І АСИМЕТРИЧНОЇ ІНДЕНТАЦІЇ ТА ВПЛИВ КРАЙОВОГО ЕФЕКТУ НА ПОШИРЕННЯ НАПРУЖЕНЬ У ВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ПОЛІМЕРНОЇ ЗАГОТОВКИ

Дослідження особливостей зародження та поширення напружень у знову утвореному поверхневому шарі в результаті впливу великого числа фізичних і технологічних параметрів реального процесу контрольованого спрямованого руйнування при ультрапрецизійному різанні є дуже складним і трудомістким завданням, рішення якого можливо здійснити при моделюванні цього процесу за допомогою мікроіндентації.

У результаті комплексного дослідження процесів мікроіндентації були визначені особливості впливу симетричного і асиметричного індентора, а також виявлено вплив крайового ефекту на характер поширення напружень в обсязі полімерної заготовки.

Лавриненко С.Н.

ОСОБЕННОСТИ СИММЕТРИЧНОЙ И АССИМЕТРИЧНОЙ ИНДЕНТАЦИИ И ВЛИЯНИЕ КРАЕВОГО ЭФФЕКТА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ПОЛИМЕРНОЙ ЗАГОТОВКИ

Исследование особенностей зарождения и распространения напряжений во вновь образуемом поверхностном слое в результате воздействия большего числа физических и технологических параметров реального процесса контролируемого направленного разрушения при ультрапрецизионном резании является очень сложной и трудоемкой задачей, решение которой возможно осуществить при моделировании этого процесса посредством микроиндентации.

В результате комплексного исследования процессов микроиндентации были определены особенности воздействия симметричного и асимметричного индентора, а

также выявлено влияние краевого эффекта на характер распространения напряжений в объеме полимерной заготовки.

Lavrynenko S.N.

FEATURES OF SYMMETRIC AND ASYMMETRIC INDENTATION AND EDGE EFFECT ON STRESS DISTRIBUTION IN SURFACE LAYER OF POLYMER WORKPIECE

Investigation of the features of stresses nucleation and propagation in the surface layer of the newly formed surfaces by impact of a larger number of physical and technological parameters of the real controlled directional fracture process in ultraprecision cutting is a very complex and time-consuming task that can be realized in the simulation of this process by microindentation.

As a result of a comprehensive study of the microindentation processes was identified features of the symmetric and asymmetric indenter action and revealed the influence of the edge effect on stress propagation in volume of the polymer workpiece.

УДК 623.438: 539.3.

Литвиненко А.В., канд. техн. наук; Ткачук Н.А., докт. техн. наук;

Литвин Б.Я., Шейко А.И.

ОБЩИЙ ПОДХОД К ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЗАЩИЩЕННОСТИ БРОНЕКОРПУСОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Введение. Широкое распространение в армиях различных стран боевых бронированных машин легкой категории по массе определяет повышенный интерес к созданию научно обоснованных методик определения проектно-технологических параметров их бронекорпусов как основных защитных элементов. При этом, с одной стороны, требуется учет возросшего разнообразия, мощности и условий применения средств поражения, а с другой, – совместное определение и конструкторских решений, и технологии их изготовления «в металле». Таким образом, проблема обеспечения защищенности может быть определена только на стыке и с учетом проектных разработок, технологической подготовки производства и режимов боевого применения боевых бронированных машин. При этом требуется сбалансированный уровень защищенности по различным поражающим факторам. В частности, данное требование без потери общности можно проиллюстрировать на примере защищенности от действия кинетических боеприпасов и ударной волны, которые и были приняты в работе в качестве базовых.

Отдельные частные вопросы сформулированной проблемы нашли решение в работах Чепкова И.Б., Ткачука Н.А., Гриценко Г.Д., Шаталова О.Е., Васильева А.Ю., Пелешко Е.В., Пономарева Е.П., Малакея А.Н., Миргородского Ю.Я., Карапейчика И.Н., Бруля С.Т., Веретельника Ю.В. и др. исследователей [1-16]. Однако в полной мере все факторы, определяющие уровень бронезащищенности, при этом действующие в совокупности, в работах данных авторов учтены не были. Таким образом, противоречие между возрастающими потребностями бронетанкостроения и недостаточностью развития средств расчета порождают актуальную проблему совершенствования методов обеспечения защищенности бронекорпусов на этапе проектирования и технологической подготовки их производства.