

ПРИМЕНЕНИЕ CAE-СИСТЕМ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ

Власов С.Н.¹, Багаутдинов Р.Р.² Email: Vlasov636@scientifictext.ru

¹Власов Станислав Николаевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой;

²Багаутдинов Рустам Рямилевич – магистрант,
кафедра технологии машиностроения,

Димитровградский инженерно-технологический институт (филиал)

Национальный исследовательский ядерный университет Московский инженерно-физический институт,
г. Димитровград

Аннотация: в статье представлены результаты применения системы автоматизированного инжиниринга (CAE – системы) при моделировании напряженного состояния инструментальной композиции. Для проведения подобных расчетов в программной системе конечно-элементного анализа ANSYS создана модель напряжённо-деформированного состояния режущего клина в процессе резания, что позволяет установить закономерности формирования поля напряжений при упрочнении режущего инструмента импульсным лазерным излучением и определить режимы упрочняющей лазерной обработки.

Ключевые слова: система автоматизированного инжиниринга, лазерная термообработка, моделирование.

APPLICATION OF CAE SYSTEMS FOR MODELING THE STRESS STATE OF INSTRUMENTAL COMPOSITIONS

Vlasov S.N.¹, Bagautdinov R.R.²

¹Vlasov Stanislav Nikolaevich – PhD in Engineering sciences, Associate Professor, Head of the Department;

²Bagautdinov Rustam Ramilevich – Graduate Student,

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL AND MANUFACTURING ENGINEERING,

DIMITROVGRAD ENGINEERING AND TECHNOLOGICAL INSTITUTE (BRANCH)

NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY MOSCOW ENGINEERING PHYSICS INSTITUTE,
DIMITROVGRAD

Abstract: the article presents the results of the application of computer aided engineering (CAE) in modeling the stress state of the instrumental composition. To carry out such calculations in the software system finite-element analysis of ANSYS to create the model of the stress-strain state of cutting wedge during the cutting process, which allows to establish regularities of formation of stress fields for hardening cutting tools by pulsed laser radiation and to determine the modes of hardening laser treatment.

Keywords: computer-aided engineering, laser treatment, modeling.

УДК 67.05

Одной из актуальных проблем машиностроительного производства является повышение работоспособности режущего инструмента (РИ). Одним из существующих методов является комбинированная обработка режущего инструмента – нанесение износостойких покрытий с последующей лазерной обработкой. При обработке режущим инструментом с износостойкими покрытиями повышается точность обработанной поверхности, снижается стоимость обработки резанием и увеличиваются параметры режимов резания. Лазерная обработка (ЛО) имеет ряд особенностей и преимуществ по отношению с другими методами:

- высокая концентрация подводимой энергии и локальность действия позволяют производить закалку только поверхностного слоя материала режущего инструмента или самого покрытия без нагрева инструментальной основы и нарушения его структуры и свойств. Кроме того, высокая концентрация лазерного излучения позволяет провести нагрев и охлаждение обрабатываемого объема материала с большими скоростями при очень малом времени воздействия;

- широкий интервал параметров лазерной закалки делают возможным разрабатывать целый ряд процессов лазерного термоупрочнения, в которых можно регулировать структуру поверхностного слоя и его свойства – твердость, шероховатость, геометрические размеры обработанных участков и др.;

- возможность лазерной обработки на воздухе, автоматизации процессов, исключение вредных отходов при обработке и т.д.;

- возможность подвода лазерного луча на необходимые расстояния в труднодоступные места благодаря применению специальных оптических систем делает возможным производить упрочнение в тех случаях, когда применение других источников энергии затруднительно или невозможно.

Материал инструмента с материалом износостойкого покрытия могут иметь отличие в физико-механических и теплофизических свойствах. Поэтому инструментальная основа с покрытием существенно устойчива к микро- и макроразрушению; покрытие может способствовать уменьшению контактных нагрузок, снижению мощности тепловых источников и благоприятному перераспределению тепловых потоков, тем самым, уменьшая термомеханическую напряженность режущей части инструмента. Термопластические деформации режущей части, недостаточная адгезия к инструментальной основе снижают работоспособность режущего инструмента. Также причиной снижения работоспособности режущего инструмента с покрытием является недостаточная прочность самого покрытия. Данную причину можно устранить ЛО поверхностного слоя, которая делает возможным сочетание «хрупкой» и «пластичной» прочности режущей части.

Для достижения необходимой износостойкости режущего инструмента необходимо достаточно правильно назначить режимы упрочняющей импульсной ЛО. Это может быть достигнуто за счёт конечно-элементного моделирования температурного поля в пластине режущего инструмента [1].

Большинство систем автоматизированного инжиниринга (CAE – Computer Aided Engineering) созданы на основе метода конечных элементов (МКЭ). На основе данного метода эти системы позволяют оптимизировать существующие технологические процессы, при изучении контактного взаимодействия и трибологических характеристик процесса резания; при оценке работоспособности металлообрабатывающего инструмента; при анализе температурного поля и напряженного состояния инструмента при различных видах механической обработки.

Применение CAE систем еще не является определяющим в ряде областей машиностроения и во многом присуще высокопроизводительным ресурсосберегающим технологиям, использующих высококонцентрированные источники энергии для повышения работоспособности режущего инструмента. Благодаря этим системам возможно использование МКЭ при выборе режимов упрочняющей импульсной ЛО режущего инструмента и при исследовании влияния лазерного упрочнения на контактное взаимодействие инструментального и обрабатываемого материалов. Результаты анализа позволят в итоге оптимизировать технологический процесс лазерного термоупрочнения.

Программа ANSYS является одной из таких систем, где может быть получена модель напряженно-деформированного состояния режущего клина в процессе резания. Для проведения подобных расчетов необходимо создать трехмерную модель режущего инструмента. Область лазерного воздействия моделируется в виде конечных элементов в виде тетраэдров, что соответствует процессу упрочнения с использованием фокусирующего призматического раstra. Полученные зоны необходимо разбить на сетки, со сгущением у главной и вспомогательной режущих кромок [2, с. 98].

В качестве материала основы в исследованиях использовали быстрорежущую сталь P6M5. Покрытия TiN, (Ti,Zr)N и (Ti,Zr)CN наносили на установке «Булат-6».

Анализ изнашивания инструментальной композиции показывает, что покрытие разрушается в результате пластического течения материала основы и последующего вырыва отдельных частиц покрытия. Это свидетельствует о необходимости исследования напряженно-деформированного состояния режущего клина инструмента.

Анализ напряженного состояния режущего клина в процессе резания позволяет отметить некоторое смещение поверхностей равных напряжений к главной режущей кромке, а также увеличение абсолютной величины экстремальных напряжений в режущем клине инструмента после комбинированной упрочняющей обработки по сравнению с инструментом с покрытием TiN, что объясняется более высокими значениями контактных напряжений и меньшими значениями длины контакта стружки с передней поверхностью (см. рис. 1).

Хорошо видно, что в покрытии за пределами площадки контакта стружки с передней поверхностью действуют значительные напряжения растяжения как для инструмента с покрытием TiN, так и для инструмента после комбинированной упрочняющей обработки. Именно этот факт обуславливает появление трещин в покрытии, параллельных главной режущей кромке. Можно отметить, что зона напряжений растяжения для инструмента после комбинированной упрочняющей обработки расположена ближе к главной режущей кромке, чем для инструмента с покрытием TiN.

Анализ распределения эквивалентных напряжений (по Мизесу) позволяет отметить, что зона вблизи главной режущей кромок находится в более неблагоприятном напряженном состоянии, что объясняется меньшей длиной контакта стружки с передней поверхностью. Этим же объясняется и изменение формы поверхностей равных напряжений. В среднем для инструмента из быстрорежущей стали после комбинированной упрочняющей обработки увеличение экстремальных напряжений в режущем клине составило 18% по сравнению с инструментом с покрытием КИБ.

Результатом анализа полученных распределений напряжений в режущем клине инструмента является инструментальная композиция, состоящая из инструментального материала, покрытия и адгезионного подслоя, снижающего уровень остаточных напряжений.

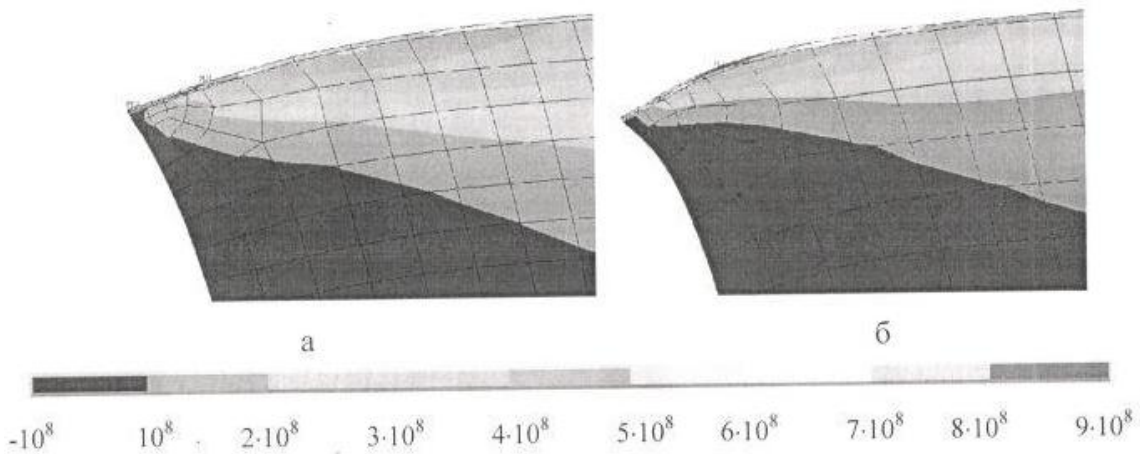


Рис. 1. Распределение напряжений (в проекции на горизонтальную ось, Па) в режущем клине инструмента из быстрорежущей стали Р6М5 с покрытием TiN (а) и после комбинированной упрочняющей обработки, включающей нанесение покрытия TiN и последующую лазерную обработку (б), $\times 10$

При исследовании влияния адгезионных слоев на работоспособность быстрорежущего инструмента в качестве последних использовали мягкие слои, состоящие из элементов материалов покрытия и инструментальной основы и твердые слои на основе сложного нитрида данных элементов, а также сочетание мягкого и твердого адгезионных слоев. Исследованиями установлено, что наличие адгезионных слоев повышает прочность сцепления покрытия с инструментальной основой, влияет на величину остаточных напряжений и практически не изменяет периода кристаллической решетки, ширины рентгеновской линии и микротвердости износостойкого покрытия. Нанесение мягкого адгезионного слоя несколько снижает величину остаточных напряжений, а наличие твердого и сочетание мягкого и твердого адгезионных слоев повышает величину остаточных напряжений. Установлены оптимальные соотношения толщин адгезионных слоев и покрытия, обеспечивающее максимальное повышение периода стойкости инструмента. Проведенные стойкостные испытания быстрорежущих пластин с разработанными составами покрытий показали, что наличие твердого адгезионного слоя и сочетание мягкого и твердого адгезионных слоев повышает период стойкости пластин с покрытием TiN в 1,5-2,2 раза в зависимости от режимов резания и свойств обрабатываемого материала. При этом наибольшее повышение периода стойкости имеет место при снижении скорости резания и увеличении подачи особенно при использовании покрытий с сочетанием мягкого и твердого адгезионных слоев

В целом конечно-элементное моделирование является эффективным средством разработки технологий лазерной упрочняющей обработки металлов и сплавов. В результате данного моделирования можно установить закономерности формирования поля напряжений при упрочнении РИ импульсным лазерным излучением и определить режимы упрочняющей ЛО, обеспечивающие наилучшие значения периода стойкости.

В результате исследований на износостойкость выявлено, что лазерная обработка композиции «покрытие - сталь Р6М5» позволяет достичь снижения износостойкости в 1,7 ÷ 2,2 раза по сравнению с инструментом, не обработанным лазерным излучением. Причем большую эффективность инструмент имеет при обработке стали 30ХГСА, а меньшую - при обработке стали 12Х18Н10Т.

По критерию минимальной интенсивности изнашивания определены оптимальные режимы комбинированной упрочняющей обработки, причем для каждой конкретной композиции «покрытие - инструментальная основа» необходимо корректировать как плотность мощности лазерного излучения, так и толщину покрытия КИБ.

Анализируя результаты, можно также отметить, что:

- максимальную работоспособность имеют инструменты с покрытием после импульсно-лазерной обработки всех рабочих поверхностей инструмента, причем обработка передней поверхности режущего клина оказывает более значительное влияние на стойкость при жестких режимах обработки, чем обработка главной и вспомогательной задних поверхностей;

- лазерная обработка композиции «покрытие - основа» на 20% ÷ 60% снижает макронапряжения в поверхностном слое инструментальной композиции и на 10% ÷ 20% повышает ее микротвердость, что является основной причиной повышения стойкости инструмента.

Тем не менее, следует учесть, что при больших значениях плотности мощности лазерного излучения наблюдается диссоциация покрытия TiN. Полученный результат свидетельствует о необходимости разработки специальных типов покрытий, наиболее приспособленных к перестройке структуры под воздействием лазерного импульсного излучения.

Список литературы / References

1. *Табаков В.П.* Комбинированная упрочняющая обработка режущего инструмента / В.П. Табаков, С.Н. Власов; под ред. Е.М. Бульжева. Дмитровград: ДиТУД, 2003. 124 с.
2. *Ярьско С.И.* Разработка технологий импульсной лазерной обработки режущего инструмента с применением метода конечных элементов [Текст] / С.И. Ярьско, Д.С. Горяинов // Новые материалы и технологии в машиностроении: сб. статей / БГИТА. Брянск, 2013. № 17. С. 97-104.