

УДК 621.91.01

И. А. Петряева, канд. техн. наук, ассистент
Донецкий национальный технический университет, ДНР
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: irina_petryaeva@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕННОСТИ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ЗОНЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТВЕРДОСПЛАВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ С ФОС

В статье представлена разработанная на основе функционально-ориентированного подхода методика определения температур в зоне резания с использованием МКЭ, позволяющая оценить тепловое состояние твердосплавного инструмента с различными видами и вариантами структуры износостойких покрытий при обработке фасонных поверхностей с учетом переменных условий процесса резания.

Ключевые слова: фасонная поверхность, твердосплавная пластина, функционально-ориентированные покрытия, тепловые потоки

I. A. Petryaeva

INVESTIGATION OF THERMAL CONDITION VARIABILITY CUTTING ZONE AT PROCESSING OF SHAPED SURFACES BY CARBIDE-TIPPED TOOL WITH FOP

The article presents a technique developed on the basis of a functionally oriented approach to determine the temperatures in the cutting zone using an FEM, which makes it possible to evaluate the thermal state of a carbide tool with various types and variations in the structure of wear-resistant coatings when processing shaped surfaces, taking into account the variable conditions of the cutting process.

Keywords: shaped surface, carbide-tipped plate, functionally oriented coatings, heat flows.

1. Введение.

Эффективность использования современных инструментов с износостойкими покрытиями зависит от правильного выбора условий их эксплуатации. В связи с этим, представленная работа, анализу теплового состояния в зоне резания при точении фасонных поверхностей инструментами с износостойкими покрытиями с функционально-ориентированными свойствами (ФОС), весьма актуальна.

Существующие на сегодняшний день исследования не дают конкретных рекомендаций по выбору требуемых параметров инструмента [1 - 3, 6] и свойств инструментального материала покрытия в зависимости от конкретных условий обработки. Так, при обработке поверхностей вращения с криволинейной образующей имеются особенности, связанные с переменностью режимов резания, геометрических, силовых и тепловых характеристик процесса. Поэтому возникает необходимость установления взаимосвязи между геометрическими характеристиками поверхности детали и инструмента, свойствами материала детали и материала покрытия режущей части твердосплавной пластины, создания принципиально новой структуры инструментальных покрытий, способных обеспечить закономерно изменяющиеся параметры качества обрабатываемой поверхности.

Перспективным путем совершенствования режущего инструмента, оснащенного твердосплавными пластинами является применение функционально-ориентированных вакуумных ионно-плазменных покрытий [5]. При этом можно обеспечить отличительные свойства для каждой функциональной поверхности пластины, для отдельных частей и зон поверхности в соответствии с их функциональным назначением и условиями работы.

2. Основное содержание и результаты работы

В целом функционально-ориентированный подход базируется на комплексном анализе изделия и установлении особенностей действия эксплуатационных функций на его функциональные (исполнительные) части, элементы и зоны. Далее предусмотрено деление изделия на функциональные (исполнительные) части ФЧ, составляющие ФС, зоны ФЗ и определение необходимых параметров функциональных (исполнительных) частей, элементов и зон изделия. К этим параметрам можно отнести функциональные, геометрические, количественные, качественные и другие свойства функциональных частей, элементов и зон изделия.

На рисунке 1 показана иерархическая структура функциональных элементов резца с механическим креплением твердосплавной пластины, на каждом уровне деления располагаются различные виды функциональных элементов. Можно отметить, что в целом функционально-ориентированный подход в дополнительно предусматривает деление изделия еще по следующим уровням: уровень макрозон, уровень микрозон и уровень нанозон. В данной работе деление изделия будем выполнять по четырем уровням [5].

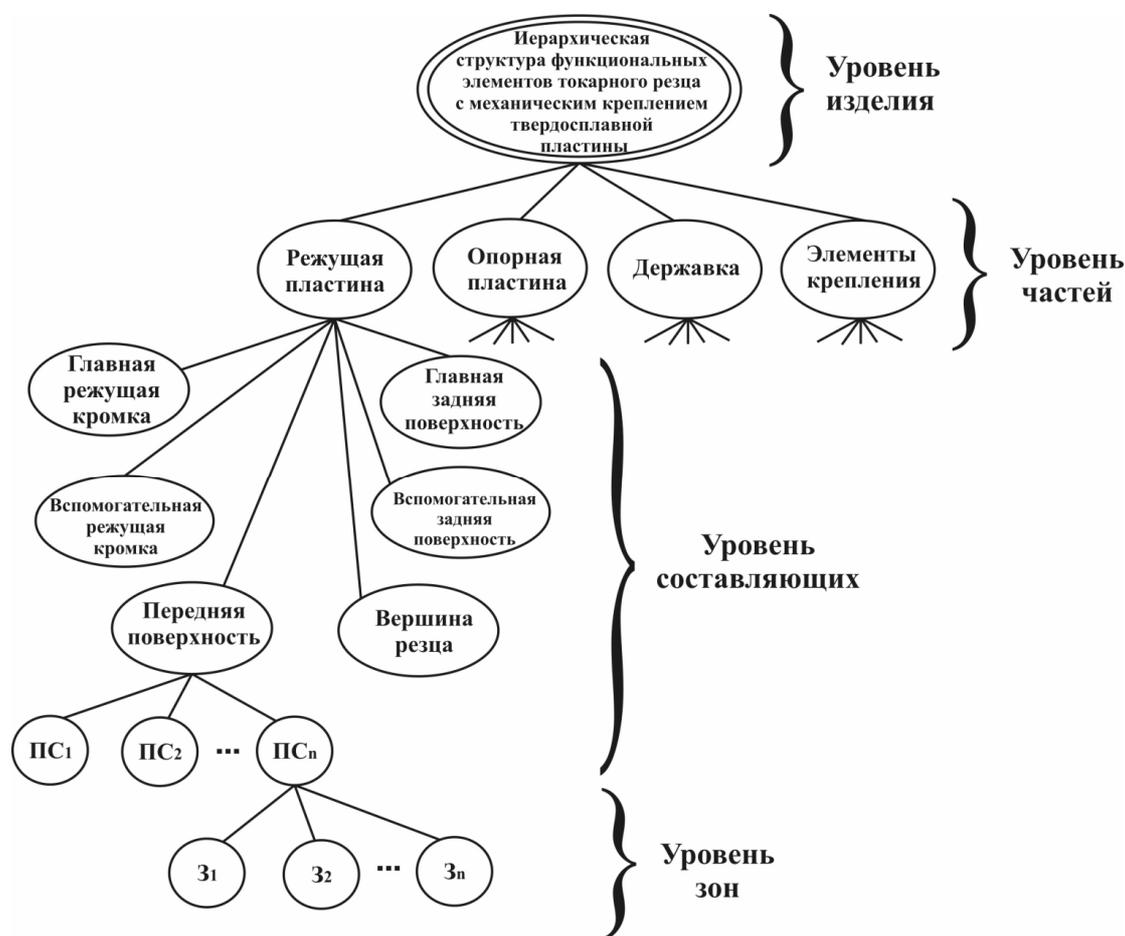


Рисунок 1. Иерархическая структура функциональных элементов изделия
 $ПС_n$ – n-й поверхностный слой, $З_n$ - зональные элементы

После деления изделия на функциональные элементы определяется способ реализации заданных свойств изделия на базе группы особых принципов ориентации. В данной работе предусмотрено обеспечение свойств твердосплавных резцов за счет на-

несения функционально-ориентированных покрытий. При этом, их тип, вид, вариант, количество и качество целенаправленно определяются, а также топологически, функционально и количественно ориентируются при их реализации в отдельные зоны инструмента в зависимости от заданных функциональных особенностей его эксплуатации. Применение функционально-ориентированных технологий для режущего инструмента позволяет максимально повысить его общие эксплуатационные параметры за счет местного увеличения технических возможностей и свойств отдельных элементов, поверхностей и/или зон в зависимости от функциональных местных особенностей их эксплуатации [5]. При этом инструмент максимально адаптирован по своим свойствам к особенностям его эксплуатации и проявляет свой полный потенциал.

В качестве эксплуатационных функций, действующих на резец, в данной работе предусмотрено рассматривать тепловые воздействия в зоне обработки.

Распределение температуры на рабочих поверхностях режущего лезвия, является одной из важнейших характеристик тепловых явлений при эксплуатации инструмента и влияет на закономерности износа этих поверхностей. Инструментальные материалы сохраняют свои исходные свойства - механическую прочность, твердость, износостойкость при повышении температуры до значений, не превышающих их температуростойкости. При более высокой температуре в материале происходят структурно-фазовые превращения, вызывающие снижение его твердости. Следствием этого является уменьшение износостойкости, повышения интенсивности износа и сокращение периода стойкости инструмента.

Одним из способов исследования температурного состояния инструмента являлось использование программного пакета SolidWorks 2012 как эффективного средства решения различных задач, в том числе исследования, расчета и анализа тепловых процессов в технических системах. Модель сделана в SolidWorks, а расчеты выполнены с применением расчетного модуля Simulation, который входит в этот программный пакет. Решение задачи определения теплового состояния резца, которое осуществляется с помощью данного программного пакета, позволяет сделать численный анализ тепловых явлений методом конечных элементов (МКЭ).

Первым этапом исследований является аналитическое определение температурного поля лезвия инструмента и температуры резания, позволяют прогнозировать его тепловое состояние в зависимости от условий обработки.

В зоне резания имеет место переплетение путей движения потоков теплоты, поэтому математическое описание процесса теплообмена оказывается очень сложным.

Расчет величин плотности тепловых потоков осуществлен с помощью математического пакета Mathcad Professional 15. Установлено, что при обработке фасонной поверхности наблюдается изменение тепловых потоков и температуры резания в зоне обработки вдоль образующей.

Аналитически определены температурные поля лезвия инструмента и значения температуры резания. Расчеты выполнены для следующих условий обработки: обрабатываемый материал – сталь 45, инструментальный материал – твердый сплав Т15К6; износостойкие покрытия - карбид титана TiC, нитрид титана TiN. Геометрические параметры инструмента: главный угол в плане $\varphi = 93^\circ$, вспомогательный $\varphi_1 = 8^\circ$, задний $\alpha = 5^\circ$, передний $\gamma = 15^\circ$. Режимы резания: глубина резания $t = 1$ мм, подача $s = 0.2$ мм/об, скорость резания $V = 3$ м/с. Расчет величин плотности тепловых потоков осуществлен с помощью математического пакета Mathcad Professional 15. Так, для инструмента без покрытия плотность равномерно распределенного теплового потока составила: по передней поверхности - $q_1 = 2,421 \times 10^8$ Вт / м², на задней поверхности - $q_2 = -6,481 \times 10^8$ Вт / м².

Исследования температурного состояния инструмента выполнялись при помощи программного пакета SolidWorks 2012, в котором получена конечно-элементная модель резца с режущей пластиной трехгранной и ромбической формы из твердого сплава без покрытия и с покрытиями карбида титана TiC; нитрида титана TiN; тепловые расчеты выполнены с применением расчетного модуля Simulation, входящего в этот программный пакет.

По результатам расчетов получены картины распределения температуры по поверхности резца, которые отображают особенности нагружения передней и задней поверхностей в целом и функциональных зон этих поверхностей. (рисунок 2). Аналогично определены величины плотности тепловых потоков и распределения температур для инструмента с покрытиями карбида титана TiC; нитрида титана TiN (рисунок 3, 4).

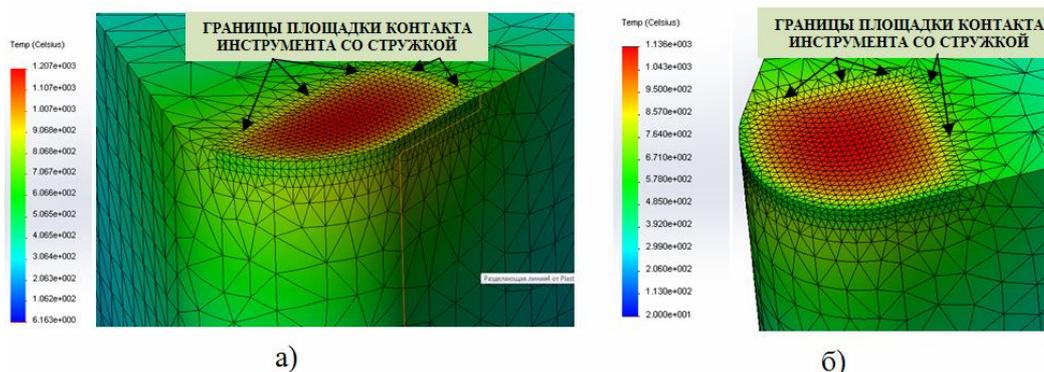


Рисунок 2. Распределение температур по поверхностям резца без покрытия:
 а) – с режущей пластиной ромбической формы; б) – с режущей пластиной трехгранной формы

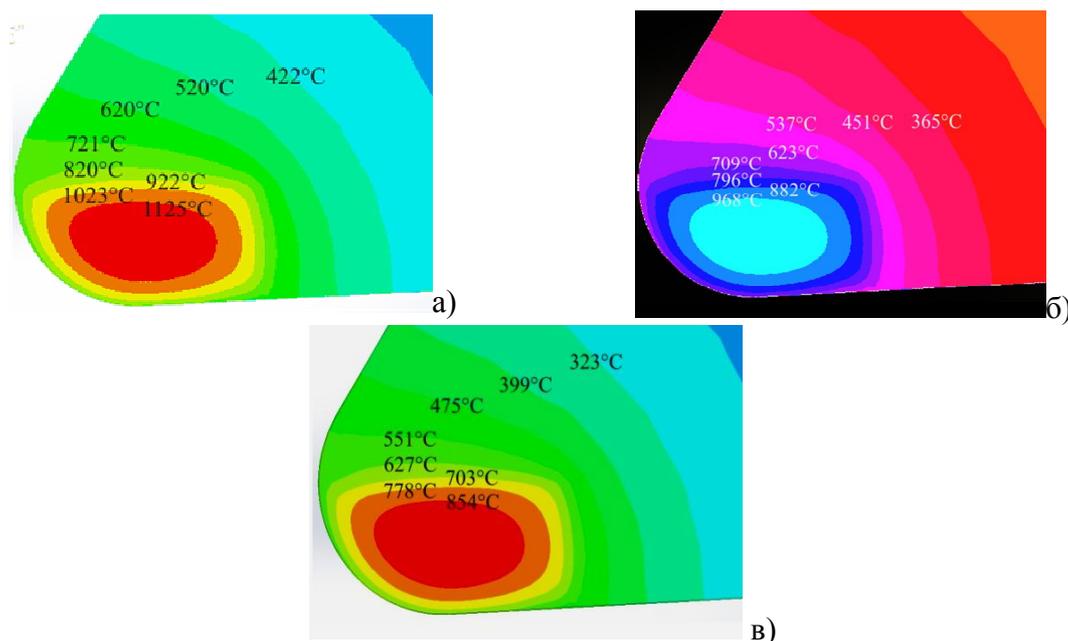


Рисунок 3. Распределение температур по передней поверхности твердосплавной пластины ромбической формы: а) – без покрытия; б) – с покрытием карбида титана TiC; в) – с покрытием нитрида титана - TiN

Полученные картины распределения температуры по поверхностям режущей части инструмента без покрытия, показывают, что максимальное значение температуры на площадке контакта стружки с передней поверхностью превышает 1000°C, далее при удалении от зоны резания температура снижается.

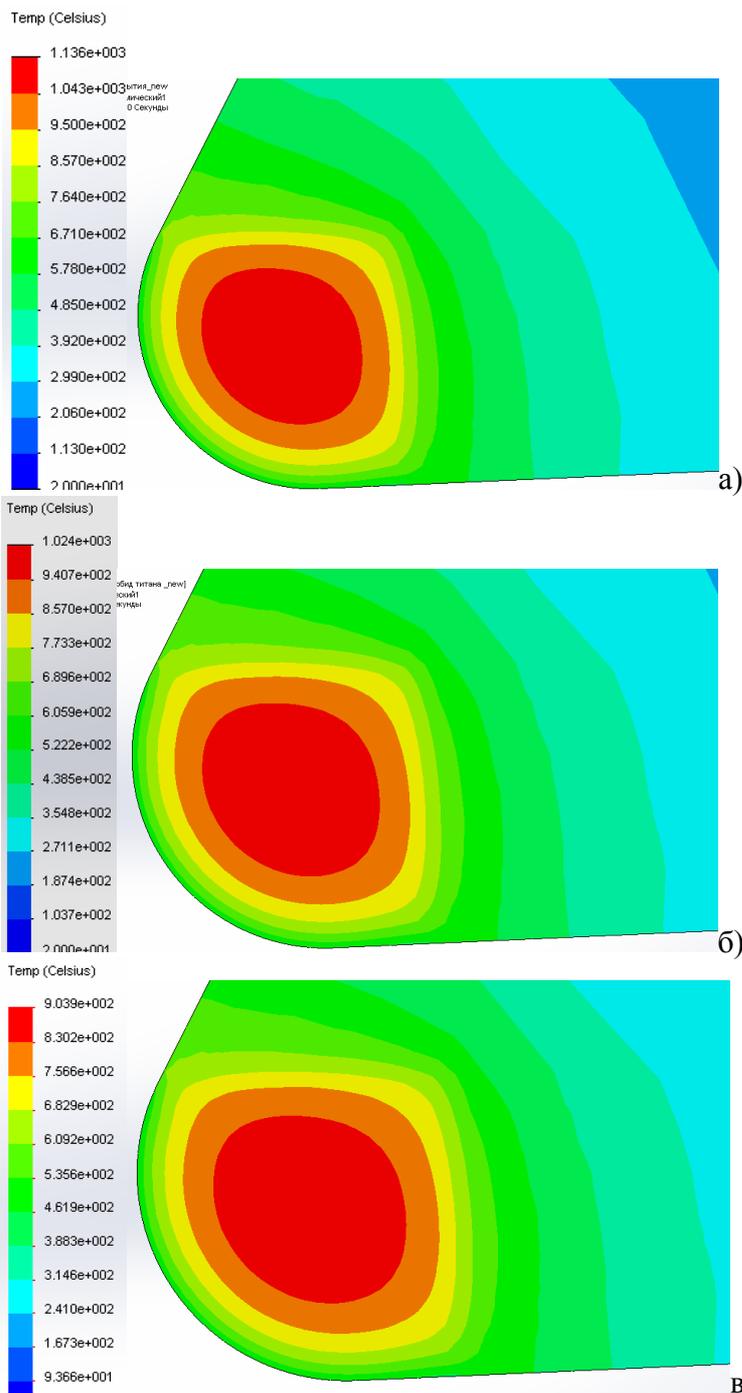


Рисунок 4. Распределение температур по передней поверхности твердосплавной пластины трехгранной формы: а) – без покрытия; б) – с покрытием карбида титана TiC; в) – с покрытием нитрида титана - TiN

верхности резца в целом: для покрытий карбида титана TiC до 14%; нитрида титана TiN до 24% по сравнению с инструментом без покрытий.

В данном случае температура резания превышает предельно допустимую для заданных условий обработки. Кроме того, представленная модель термомеханических нагружений позволяет выделить функциональные зоны превышения предельно допустимой температуры с целью обеспечения требуемых эксплуатационных свойств режущего инструмента.

Нанесение покрытий на режущую часть инструмента способствует уменьшению контактных нагрузок, снижению мощности тепловых источников и благоприятному перераспределению тепловых потоков, тем самым, уменьшая термомеханическую напряженность режущей части инструмента. В наиболее нагруженной зоне инструмента значение температуры составило: для покрытий карбида титана TiC в пределах 960 °C; нитрида титана TiN – 850 °C. Таким образом, можно утверждать, что температура резания также снизилась и не превышает предельно допустимую для заданных материалов.

Анализ теплового состояния режущей части инструмента с различными покрытиями показал снижение температуры на передней поверхности резца в целом: для покрытий карбида титана TiC до 14%; нитрида титана TiN до 24% по сравнению с инструментом без покрытий.

Ранее установлено, что при обработке фасонной поверхности наблюдается непрерывное изменение тепловых потоков и температуры резания в зоне обработки вдоль образующей. Выявлены зоны превышения предельно допустимой температуры для заданных условий обработки. Для уменьшения термомеханической напряженности в этих зонах, на основании вышеуказанных принципов функционально-ориентированного подхода, предложено нанесение износостойких покрытий особой структуры. При этом на передней поверхности твердосплавной пластины с износостойким покрытием из карбида титана TiC зонально (область при вершине) целесообразно нанесение дополнительного слоя покрытия из нитрида титана TiN. Модель такого инструмента представлена на рисунке 5.

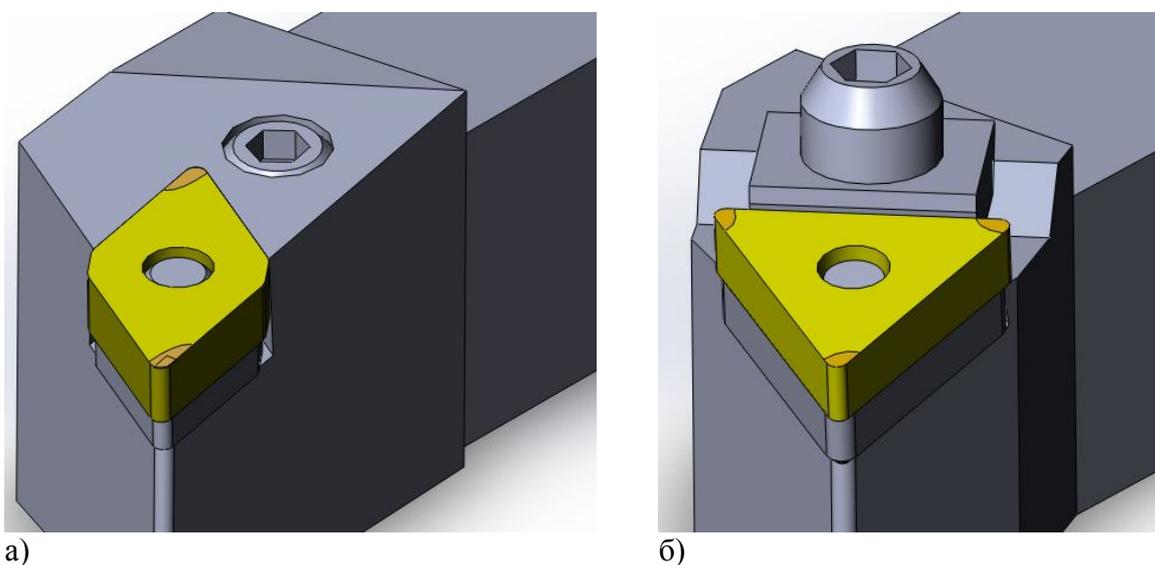


Рисунок 5. Модели резцов с функционально-ориентированными свойствами: а) – с режущей пластиной ромбической формы; б) – с режущей пластиной трехгранной формы

Так, на основании принципов функционально-ориентированного подхода: структурного, функционального, топологического, количественного, адекватного структурно-функционального соответствия [5] рационально нанесение износостойких покрытий зонально, чтобы исключить возможность возникновения нагрузок, превышающих допустимые.

Покрытие карбида и нитрида титана являются базовыми при производстве твердых сплавов с износостойкими покрытиями, поскольку они зачастую входят в состав многослойных покрытий, и, как правило, представляют собой слой, непосредственно примыкающей к твердосплавной основе, и играют важную роль в повышении стойких характеристик инструмента. В процессе осаждения покрытий карбида титана формируется переходный слой покрытия - основа, а также происходят основные изменения в структуре и свойствах поверхностной области твердых сплавов.

Одним из путей повышения общей толщины покрытия является его многослойность (последовательно расположенные слои TiC, TiCN переменной состава и TiN) при сохранении относительно мелкозернистой структуры, а за счет этого и достижения большего эффекта повышения стойкости инструмента. За счет осаждения карбонитридов, а затем нитрида титана, удается в значительной степени подавить формирование

крупнозернистой структуры покрытия. Кроме того, TiCN и TiN обладает пониженной адгезионной способностью по отношению к обрабатываемым материалам.

Для инструмента с покрытием такой структуры выполнен расчет тепловых потоков и температур в зоне резания. Анализ теплового состояния режущей части инструмента с функционально-ориентированными свойствами показал снижение температуры на передней поверхности до 27% по сравнению с инструментом без покрытий (рисунок 6.). Дополнительное снижение температуры на передней поверхности по сравнению с монопокрытиями обусловлено его многослойностью, следовательно и суммарным увеличением толщины. Температура максимально нагруженной зоны в пределах 810 °С; это позволяет утверждать, что температура резания для заданных условий обработки не превышает допустимого значения.

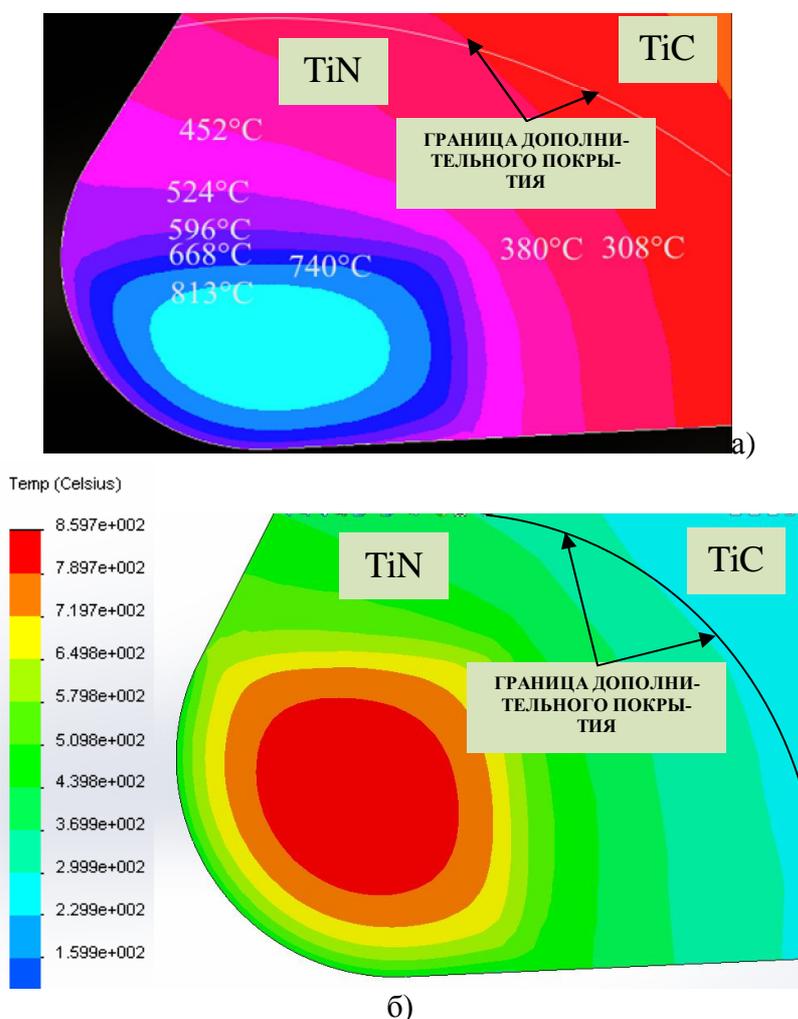


Рисунок 6. Распределение температур по передней поверхности инструмента с функционально-ориентированными свойствами: а) – с режущей пластиной ромбической формы; б) – с режущей пластиной трехгранной формы

5. Заключение

Таким образом, выполненные исследования позволили определить следующее:

Для инструментов с покрытиями карбида титана TiC и нитрида титана TiN выполнена оценка соответствия результатов расчетов, полученных на основе МКЭ с экспериментальным данным. С этой целью для моделей термомеханических нагружений резцов, полученных по МКЭ определены значения температуры вблизи площадки контакта инструмента со стружкой (за ее пределами). Для заданных условий обработки расхождение значений температуры в пределах 7-12%, что позволяет считать результаты расчета температур для резца с функционально-ориентированными свойствами достоверными, а также использовать представленную методику с целью оценки и прогнозирования теплового состояния инструмента для различных видов и вариантов структуры износостойких покрытий.

1. Разработанная на основе функционально-ориентированного подхода методика расчета температур в зоне резания с использованием МКЭ позволяет оценить тепловое состояние твердосплавного инструмента с различными видами и вариантами структуры износостойких покрытий при обработке без проведения специальных экспериментов.

2. На основании представленной методики выполнен анализ теплового состояния твердосплавных инструментов с различными покрытиями. Установлено снижение температуры на передней поверхности твердосплавной пластины за счет применения инструментов с покрытиями: карбида титана TiC до 14%; нитрида титана TiN до 24%; с функционально-ориентированными свойствами до 27%.

3. Оценка соответствия результатов исследования на основе МКЭ экспериментальным данным для инструментов с покрытиями карбида титана TiC и нитрида титана TiN показала расхождение значений температуры на передней поверхности инструмента в пределах 7-12%, что дает основание применять представленную методику с целью оценки и прогнозирования теплового состояния инструмента для различных видов и вариантов структуры износостойких покрытий.

3. Выбор материала и структуры покрытий на базе функционально-ориентированного подхода позволяет управлять процессом обработки с учетом с его переменной вдоль криволинейной образующей фасонной поверхности, обеспечив максимальную производительность за счет снятия температурных ограничений. При этом в зависимости от заданных условий обработки фасонной поверхности на различных участках режущей части твердосплавного инструмента могут быть нанесены либо многослойные покрытия, либо разнородные покрытия с определенными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Табаков, В. П. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями на основе сложных нитридов и карбонитридов титана. – Ульяновск: УлГТУ, 1998. – 122 с.

2. Верещака, А. С. Работоспособность режущего инструмента с износостойким покрытием. – М.; Машиностроение, 1993. – 368с.

3. Тулисов, А. Н. Повышение работоспособности режущего инструмента путем нанесения двухслойных покрытий со слоями сложного состава // Тезисы докладов 41-й научно-технической конференции. – УлГТУ: Вузовская наука в современных условиях», 2006. – 31с.

4. Табаков, В. П. Влияние состава износостойкого покрытия на контактные и тепловые процессы и на изнашивание режущего инструмента // СТИН. 1997. – № 10. – С. 20-24.

5. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с. – ISBN 966-7907-24-4.

6. Тимошенко, В. А. Избирательное нанесение покрытий на режущий инструмент / В. А. Тимошенко, Е. В. Голдыш, А. В. Тимошенко // СТИН. 1995. – №11. – С. 20-23.

Поступила в редколлегию 25.05.2017 г.