

УДК 621.95.01

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ОТВЕРСТИЙ ПРИ СВЕРЛЕНИИ ПАКЕТОВ

В.О. Иванова¹, Н.С. Чашин²

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Описан механизм влияния теплового расширения при сверлении смешанных пакетов на геометрию обработанного отверстия. С помощью тепловизионной камеры FLIR зафиксировано фактическое поле распределения температур при сверлении отверстия. Построен график распределения температур в радиальном направлении. Проведено моделирование процесса теплового расширения титанового сплава и его влияния на деформации в зоне резания. Определены параметры эквивалентного теплового потока создаваемого процессом резания и время его воздействия на объект. Просчитана величина деформации в радиальном направлении. Проведено сравнение экспериментальных значений погрешности формы с данными расчета в Marc. Сделаны выводы о возможности применения разработанной модели для прогнозирования величины погрешности формы отверстия связанной с температурным воздействием.

Ключевые слова: титановый сплав; полимерный композиционный материал; смешанный пакет; сверление; тепловое расширение; конечно-элементная модель.

MODELING OF THERMAL PROCESSES IMPACT ON THE HOLES ACCURACY IN THE CUTTING AREA WHEN DRILLING STACKS

V. Ivanova, N. Chaschin

Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov Str., Irkutsk, Russia, 664074

The paper describes the mechanism of the thermal expansion effect on the processed holes geometry when drilling mixed stacks. With thermal imaging cameras FLIR the authors have recorded the actual temperature distribution field while drilling holes. They produce the diagram of the temperature distribution in the radial direction. The authors have carried out the simulation of the thermal expansion of titanium alloy and its effect on deformation in the cutting zone; determined the parameters of the equivalent heat flux generated by the cutting process and the time of its exposure to the object. They have calculated the magnitude of the deformation in the radial direction and compared the experimental default level of the form with the estimated data in Marc. The conclusion states that it is possible to apply the model developed to predict the magnitude of the default level of the hole's form related to the temperature influence.

Keywords: titanium alloy; polymer composite; a mixed stack; drilling; thermal expansion; finite element model.

В настоящее время в рамках импортозамещения особое внимание государства обращено на развитие оборонных и авиакосмических областей. Выделяются средства для создания новых высокотехнологичных производств [1], современных материалов и инструментов [2,3]. Проводится модернизация оборудования, внедряются прогрессивные технологии на базе уже существующих производственных линий [4, 5]. Все это должно поднять науку и производство страны на новый качественный уровень.

Современное авиастроение невозможно представить без полимерных композиционных материалов (ПКМ), их доля в авиалайнерах постоянно растет и уже в некоторых случаях достигает 50 % от общей массы [6]. Это обусловлено, прежде всего, тем, что детали из ПКМ достаточно легкие, а по прочностным характеристикам не уступают деталям, изготовленным из металлических сплавов. Композиционные материалы применяются при изготовлении силовых элементов планера, обводообразующих элементов, деталей интерьера и т.д.

В настоящее время, в связи с активным использованием ПКМ в конструкции самолетов, актуальным вопросом является обработка отверстий в ПКМ, в том числе, в составе пакетов (смешанных пакетов), где сочетаются композиционные материалы и различные металлические сплавы (титано-

¹Иванова Виктория Олеговна, магистрант кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: vikulyonok@mail.ru
Ivanova Victoria, a postgraduate student of Technology And Equipment Machine-Building Industries Department, e-mail: vikulyonok@mail.ru

²Чашин Николай Сергеевич, младший научный сотрудник, e-mail: rufle54007@mail.ru
Chaschin Nikolay, Junior Research Assistant, e-mail: rufle54007@mail.ru

вый, алюминиевый). Наиболее распространенным способом соединения деталей из ПКМ с другими элементами планера являются болтовые и заклепочные соединения. От качества обработки отверстий зависит надежность таких соединений [8].

Сверление отверстий в смешанных пакетах содержащих ПКМ и титановый сплав является наиболее сложной задачей. Это связано с различной природой обрабатываемых материалов, если при обработке металлических сплавов процесс является результатом пластических деформаций, то в случае ПКМ имеют место только упругие деформации. Пластические деформации, наряду с трением, являются причиной повышенного тепловыделения. Достаточно широкий диапазон контактных температур, несомненно, оказывает влияние и на точность обработанного отверстия. Механизм влияния теплового расширения при сверлении смешанных пакетов на геометрию обработанного отверстия подробно рассмотрен в статье [7].

В процессе резания в металлической части пакета происходит повышение температуры, что влечет за собой локальное расширение материала вокруг отверстия. Из-за стремительного роста температуры и низкой теплопроводности титанового сплава диаметр обрабатываемого отверстия уменьшается. Если величина деформации достаточна для стружкообразования, то данная часть материала будет срезана вспомогательными режущими кромками. После окончания процесса резания, все детали пакета остывают до температуры окружающей среды. Происходит деформация обрабатываемого материала в направлении, противоположном направлению в первой фазе. Это приводит к увеличению диаметра обработанного отверстия [7].

Величина температурной деформации Δ вычисляется по формуле

$$\Delta = \Delta t \cdot \alpha \cdot h,$$

где Δt – прирост температуры относительно температуры окружающей среды, °C; α – коэффициент линейного расширения, $1/^\circ\text{C}$; h – глубина температурного воздействия.

Для части пакета из титанового сплава величина коэффициента линейного расширения в 18 раз выше аналогичного коэффициента для ПКМ. Таким образом, вышеуказанный механизм теплового влияния на геометрию отверстий в ПКМ-части пакета должен проявляться в наименьшей степени [7].

Нахождение величины деформации Δ является сложной задачей, так как для этого необходимо иметь поле распределения температур вокруг обрабатываемого отверстия и выполнить интегрирование деформации на отрезке от стенки отверстия до конца зоны температурного влияния. Данная задача может быть решена с применением программ конечно-элементного моделирования, в нашем случае была выбрана программа MCS Patran с решателем Marc.

Для моделирования механизма влияния теплового расширения титанового сплава и влияния этого процесса на деформации в зоне резания была выбрана упрощенная схема воздействий, протекающих в зоне резания. В качестве объекта моделирования была выбрана область в форме параллелепипеда (рис. 1).

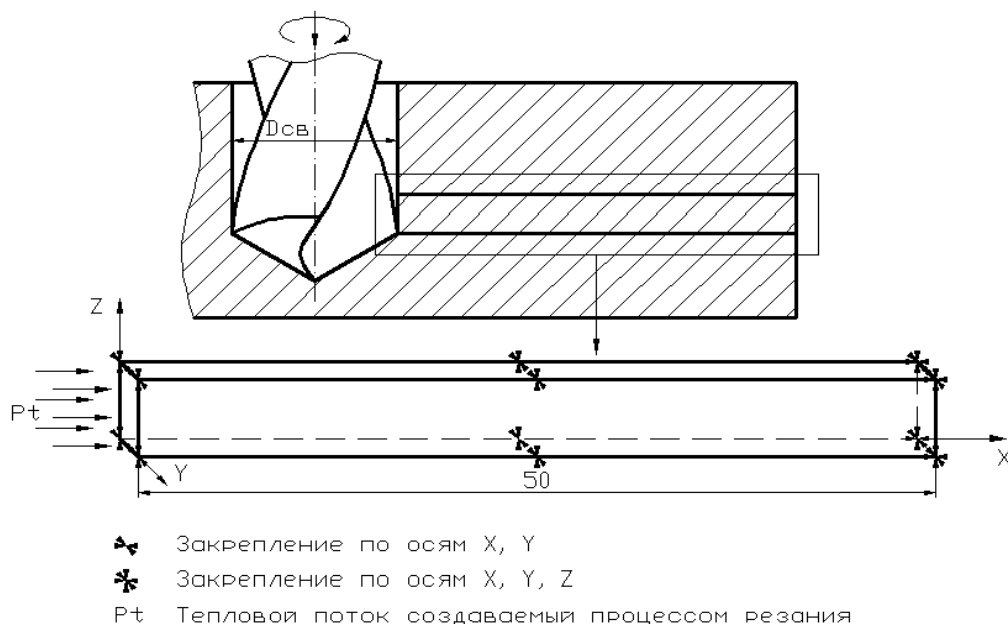


Рис. 1. Расчетная схема

Преимуществом решателя Marc является возможность проведения анализа Coupled – совместного термомеханического анализа, в котором одновременно проводится расчет с тепловыми и механическими нагрузками.

Для построения модели исследуемого объекта в MCS Patran, был построен параллелепипед с размерами 2x6x50 мм. Размеры в плоскости YOZ (Рис. 1) выбраны произвольно, т. к. на результат расчета не влияют.

В программу были внесены физические и механические характеристики титанового сплава ВТ6.

Для конечно-элементной модели выбрана сетка с элементами «тетраэдр» (рис. 2). Шаг сетки по всей модели равномерный и равен 0,5 мм.

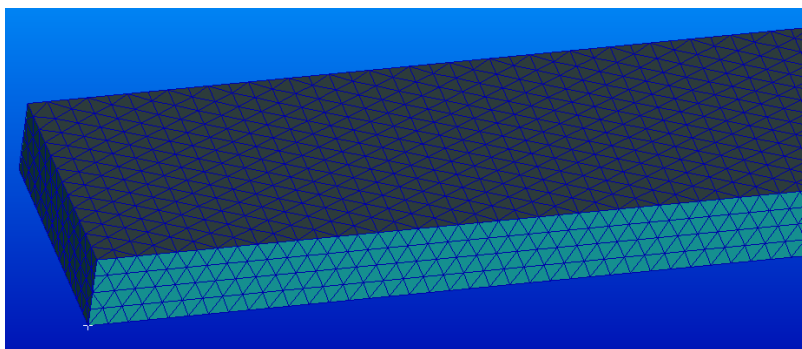


Рис. 2. Конечно-элементная модель исследуемого объекта

Закрепление по осям координат было выполнено в соответствии с расчетной схемой. Начальная температура объекта задана 20 °С.

Основной проблемой при моделировании процесса было определение теплового потока создаваемого процессом резания и определение времени его воздействия на объект. Для решения этой задачи было принято решение перейти к понятию «эквивалентный тепловой поток», поток создающий такое же температурное поле, что и реальный тепловой поток.

Температурное поле, возникающее при реальной обработке отверстия, было зафиксировано тепловизионной камерой FLIR серии SC7000 (рис. 3).



Рис. 3. Тепловизионная система FLIR

График распределения температур в радиальном направлении при обработке отверстия сверлом HAM PRÄZISION 271 Nirodrill (рис. 4) представлен на рис. 5. Режимы обработки: скорость резания 7,54 м/мин, подача 0,05 мм/об.



Рис. 4. Сверло HAM PRÄZISION 271 Nirodrill (Ø12 мм)

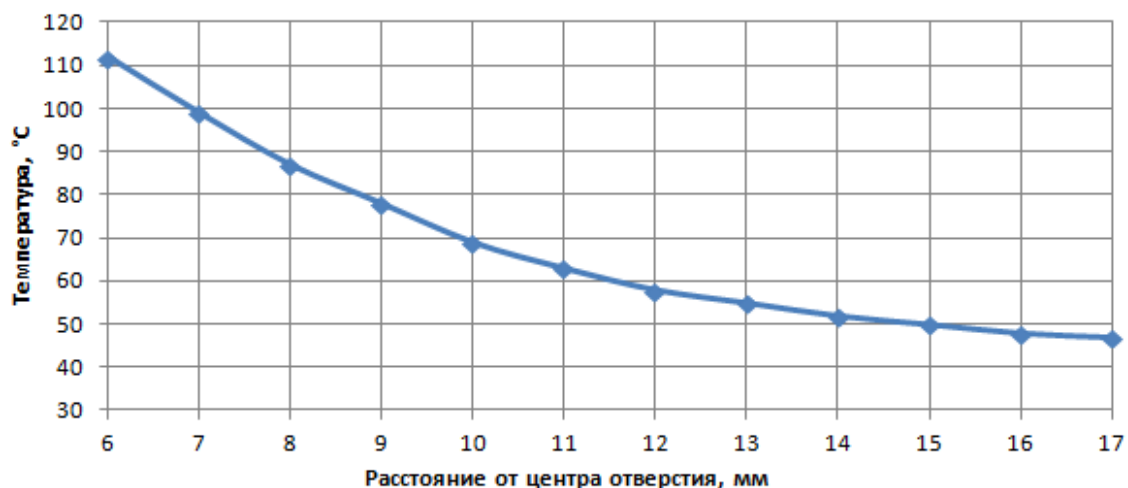


Рис. 5. График распределения температур

Эквивалентный тепловой поток и время его воздействия были выбраны методом подбора. Критерием выбора было создание такого же температурного поля как зафиксированное тепловизионной камерой. Таким образом был выбран тепловой поток $100\,000\text{ Вт/м}^2$ с временем действия 14 секунд.

Поле распределения температур, полученное по данным расчета в Marc, представлено на рис. 6.

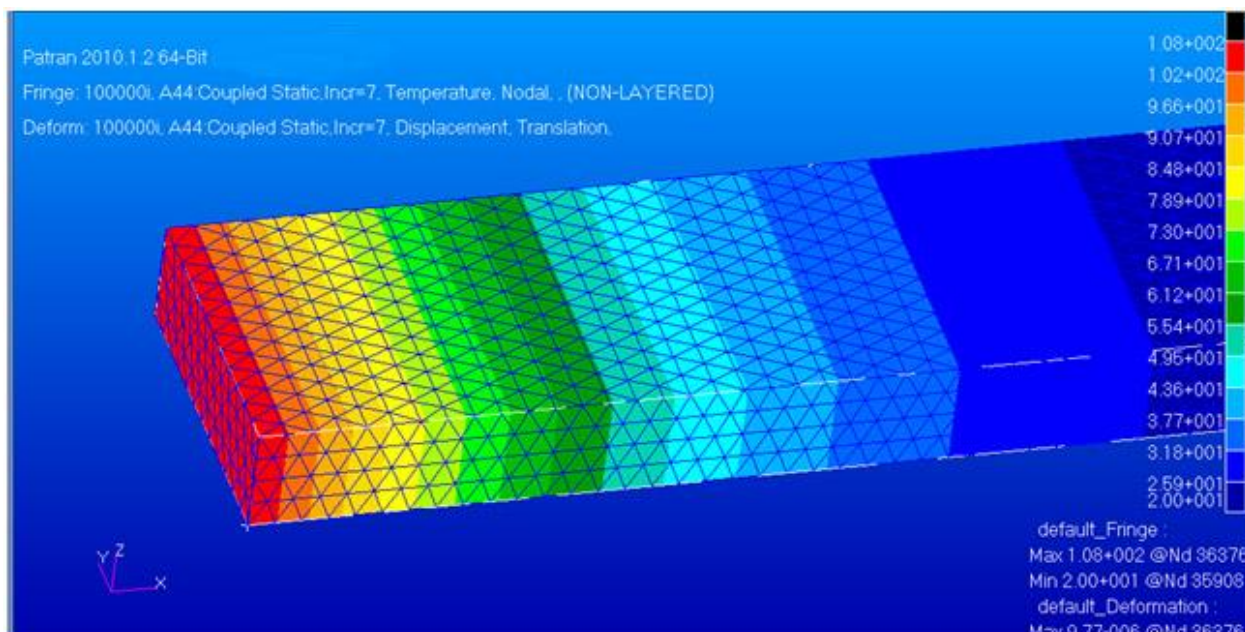


Рис. 6. Поле распределения температур (тепловой поток $100\,000\text{ Вт/м}^2$, время действия 14 секунд)

График распределения температур, полученный по данным расчета в Marc, представлен на рис. 7. Отклонение от экспериментальных данных на глубине до 7 мм не превышает 4 %, на большей глубине составляет до 20 %.

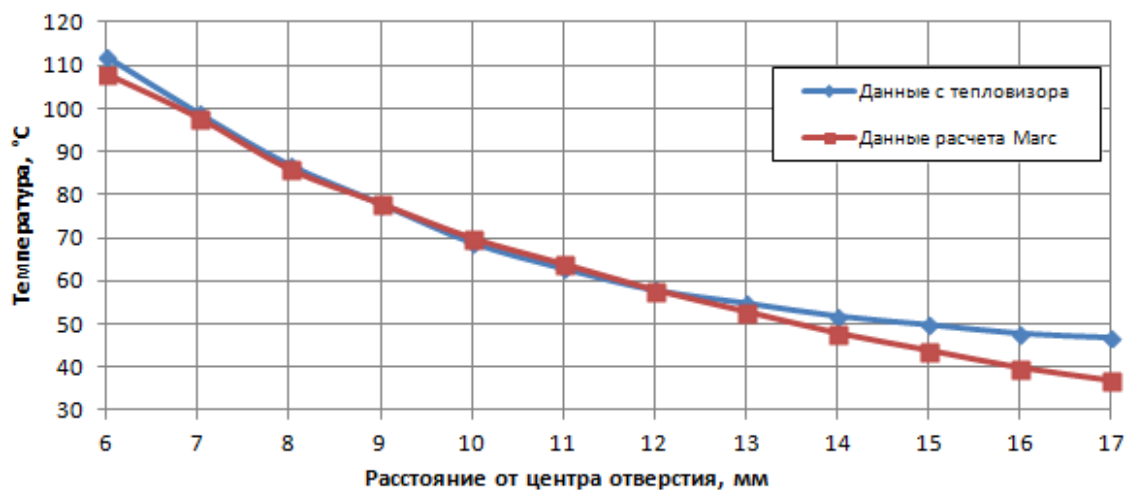


Рис. 7. Графики распределения температур

С некоторой долей погрешности можно считать, что деформации, вызванные нагревом в процессе сверления, будут равны расчетным деформациям, вызванным «эквивалентным тепловым потоком». Деформации, полученные по данным расчета в Marc, представлены на рис. 8.

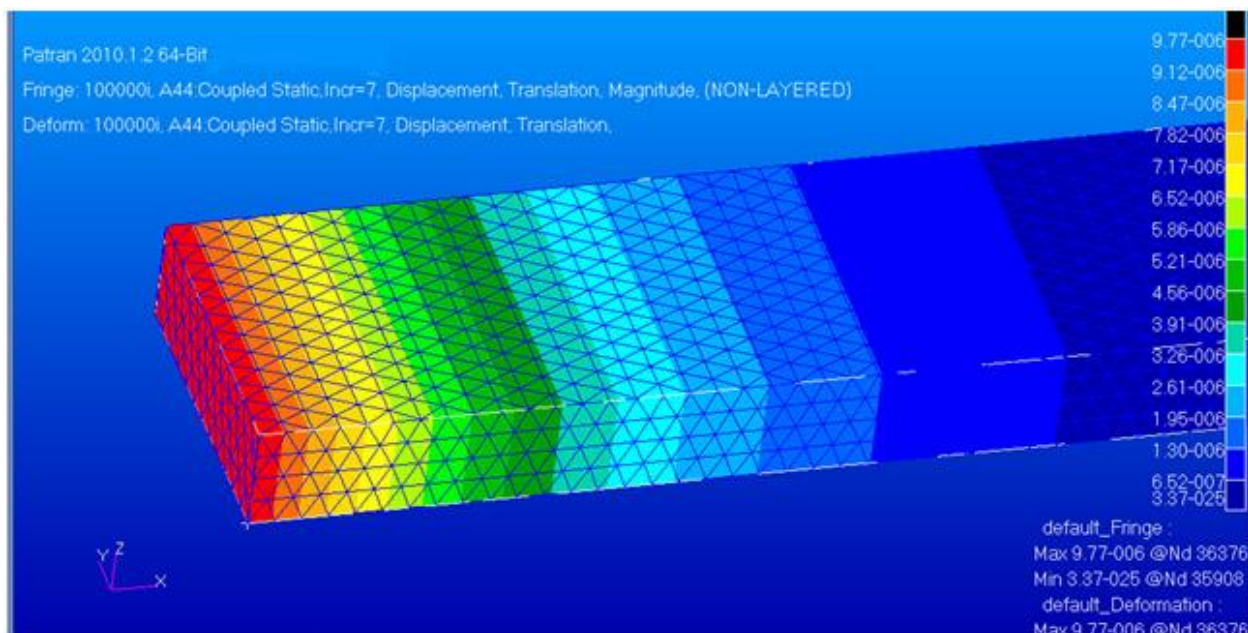


Рис. 8. Деформации (тепловой поток 100 000 Вт/м², время действия 14 секунд)

Величина деформации в радиальном направлении по данным расчета составляет 9,77 мкм. Для отверстия суммарная деформация будет в два раза больше, а именно 19,54 мкм. Часть нагретого и деформированного материала при обработке может быть срезана вспомогательными режущими кромками сверла. Это приведет к тому, что после остывания отверстия в титановом сплаве окажутся диаметром больше чем отверстия в ПКМ на величину примерно 19,54 мкм.

Фактические отличия диаметров отверстий в титановом сплаве от диаметров отверстий в ПКМ при данных условиях обработки составляют от 13 до 25 мкм. Отличие фактических значений от расчетных объясняется влиянием на форму отверстия множества других факторов (силы резания, износ инструмента, температурные расширения режущего инструмента, жесткость технологической

системы и др.). Таким образом, разработанную модель можно использовать для прогнозирования величины погрешности формы отверстия связанной с температурным воздействием.

Библиографический список

1. Вепрев А.А., Сергунов А.В., Головных И.М., Пашков А.Е., Ахатов Р.Х., Шмаков А.К., Савилов А.В. Опыт и перспективы участия вузовской науки в создании передовых технологий авиастроения на базе корпорации «Иркут» // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2012. – № 4. – С. 50–57.
2. Пашков А.Е., Дияк А.Ю., Анисимова М.В., Лихачев А.А. Использование компьютерных технологий при дробеударном формообразовании панелей // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2001. – № 11. – С. 6–11.
3. Пашков А.Е., Дияк А.Ю., Чапышев А.П. Моделирование процесса дробеударного формообразования // Высокие технологии в машиностроении: сб. докл. Междунар. научн.-техн. конф. Самарский государственный технический университет. – Самара, 2004. – С. 23–25.
4. Савилов А.В., Пятых А.С., Тимофеев С.А. Современные методы оптимизации высокопроизводительного фрезерования // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т. 15, № 6 (2). – 2013. – С. 476–479.
5. Богданов К.В., Савилов А.В. и др. Производство высокопроизводительного режущего инструмента в условиях ИАЗ // Наука и технологии в промышленности. – 2013. – №1–2. – С. 91–96.
6. Иванов Ю.Н. Сверление отверстий в смешанных пакетах, статья./Ю.Н. Иванов, Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 1-5. С. 1402–1406
7. Иванов Ю.Н., Каверзин Е.Я., Чапышев А.П. Экспериментальное исследование влияния теплового расширения обрабатываемых материалов при сухом сверлении отверстий в пакетах структуры «полимерный композиционный материал – титановый сплав» // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 10(81). – С. 36–42.
8. Чащин Н.С., Иванов Ю.Н. Обработка отверстий в смешанных пакетах методом орбитального сверления // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 11(106). – С. 44–49.