

Л. М. Мурзин, Ю. Ю. Колосовский, А. В. Забловский, А. В. Смирнов

Севастопольский национальный технический университет, Севастополь

ЭФФЕКТЫ ТЕПЛО- И ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ СВЕРЛЕНИИ СЛОИСТЫХ ПЛАСТИКОВ

Представлены результаты исследования эффектов изменения температуры в процессе сверления отверстий в пакетах опытных модельных композиций, состоящих из пластин оргстекла и стали. Кинетику изменения температуры при сверлении отверстий регистрировали с помощью видеосъемки, что позволило сопоставить тепловые эффекты с эффектами формообразования отверстий.

Ключевые слова: формообразование отверстий, слоистая композиция, планирование эксперимента, видеосъемка

Введение. Пластические массы по сравнению с металлами обладают повышенной упругой деформацией, вследствие чего при обработке пластмасс применяют более высокие давления, чем при обработке металлов. Использовать какую-либо смазку, как правило не рекомендуют только в некоторых случаях при окончательной обработке допускают применение минерального масла. Охлаждать изделие и инструмент следует струей воздуха. Пластические массы более хрупкие, чем металлы, поэтому при обработке пластмасс режущими инструментами используют высокие скорости резания и уменьшают подачу. Износ инструмента при обработке пластмасс значительно больший, чем при обработке металлов, поэтому необходимо применять инструмент из высокоуглеродистой или быстрорежущей стали или же из твердых сплавов. Лезвия режущих инструментов надо затачивать, по возможности, более остро, пользуясь для этого мелкозернистыми кругами. Сверло необходимо время от времени извлекать из отверстия, давая возможность охладиться как инструменту, так и обрабатываемому материалу. При сверлении композиций, состоящих из разных материалов, например, оргстекла и стали, условия резания изменяются скачками, что связано с различием механических свойств указанных материалов. Для обеспечения хорошего качества отверстий в таких композициях следует применять переменные режимы резания и инструменты с различной геометрией режущей части, что не всегда возможно при изготовлении изделий. Однако при переменных параметрах режима резания образуются существенно неоднородные температурные поля в элементах обрабатываемой композиции, что вызывает появление различных дефектов, провоцирует растрескивание материалов и приводит в конечном итоге к браку изделия. Исследование кинетики изменения температуры и образования дефектов в процессе сверления слоистых композиций

и сопоставление тепловых эффектов с эффектами формообразования отверстий и является целью данной работы.

Подготовка объектов. Для проведения опытов были изготовлены модельные слоистые композиции.

Композиция № 1. Пакет пластин из оргстекла. Пластины между собой склеены прозрачным клеем. Толщина отдельной пластины из оргстекла составляет 10 мм. Общая толщина пакета – 40 мм.

Композиция № 2. Пакет пластин из оргстекла, разделенных металлическими прослойками. Все пластины между собой склеены прозрачным клеем. Толщина отдельной пластины из оргстекла – 10 мм. Толщина отдельной пластины из стали – 1,5 мм. Общая толщина пакета – 44,5 мм.

Композиция № 3. Пластина из гетинакса толщиной 20 мм.

Методика. Опыты по сверлению образцов проведены на настольном сверлильном станке с ручной подачей. Часть опытов проведены на вертикально-сверлильном станке с механической подачей. В опытах использовали стандартные спиральные сверла из быстрорежущей стали, применяемые для сверления металлов, в частности, обычных конструкционных сталей в состоянии поставки. Выбор таких сверл продиктован соображением общедоступности для использования в бытовых работах общего профиля, которые могут выполняться в неспециализированных домашних условиях. Исходные условия представлены в табл. 1, а показатели – в табл. 2.

Таблица 1

Исходные условия

Параметр	Условные обозначения	Размерность	Фактор	Уровни		
				min	0	max
Глубина резания	t	мм	X1	2,5	3,5	4,75
Частота вращения	n	об/мин	X2	450	-	1400
Подача	S	мм/с	X3	1	-	3

Таблица 2

Показатели

Показатель	Обозначения	Размерность	Критерий
Температура	θ_{\max}	°С	У1
Отклонение диаметра	ΔD_{\max}	мм/мм	У2

При построении матрицы плана экспериментов исходили из задачи получения математической модели зависимостей показателя от совокупности факторов $Y = f(X1, X2, X3)$ в виде выражения, нелинейного относительно фактора X1, а именно

$$Y = A0 + A1X1 + A2X1^{43} + A4X2 + A5X3. \quad (1)$$

В этом случае целесообразно применять план 2-го порядка. Учитывая, что на трех уровнях изменяется только один фактор X1 – диаметр сверла, следует построить план типа «центральный композиционный несимметричный». Композиционным называют план, в котором к плану ПФЭ типа 2^n добавляют определенное число опытов либо в центре (n_0), либо в виде «звездных» плечей. Мы использовали методику добавления опытов в центре плана. Общее число опытов определяют по формуле $N = 2^n + n_0$. Здесь $n = 3$ – число факторов. $n_0 = 4$ – число опытов центра плана. Матрица планирования

Таблица 3

Матрица плана экспериментов

N	X0	X1	X2	X3
1	+	+	+	+
2	+	+	+	-
3	+	+	-	+
4	+	+	-	-
5	+	0	+	+
6	+	0	+	-
7	+	0	-	+
8	+	0	-	-
9	+	-	+	+
10	+	-	+	-
11	+	-	-	+
12	+	-	-	-

эксперимента представлена в табл. 3.

Измерение температуры в процессе сверления производили с помощью хромель-алюмелевых термопар, рабочие спаи которых располагали вдоль предполагаемой образующей будущих отверстий, получаемых в результате опыта. В композиции № 2 для размещения рабочих спаев тер-

мопар делали прорезь в металлических пластинах, при этом ошибка расположения составляла 0,5 мм. В композиции № 1 с этой целью сверлили отверстия диаметром 1,5 мм в плоскостях склеивания пластин из оргстекла. В композиции № 3 (пластина из гетинакса толщиной 20 мм)

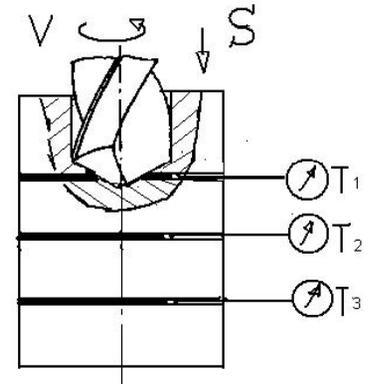


Рис. 1. Схема расположения устанавливали две термопар в пакете термопары на расстоянии 7 мм от нижней и верхней поверхности пластины соответственно. Температуры регистрировали с помощью милливольтметров. Схема расположения термопар в пакете показана на рис. 1.

Для обеспечения возможности исследования кинетики изменения температуры в процессе сверления производили видеосъемку циферблатов милливольтметров и процесса сверления. Видеозапись обрабатывали с помощью видеопрограмм K-Lite-Codec и Pinnacle.

Результаты и обсуждение. Некоторые типичные результаты изменения температуры в процессе опытов показаны на рис. 2.

На рисунке показания датчиков температуры

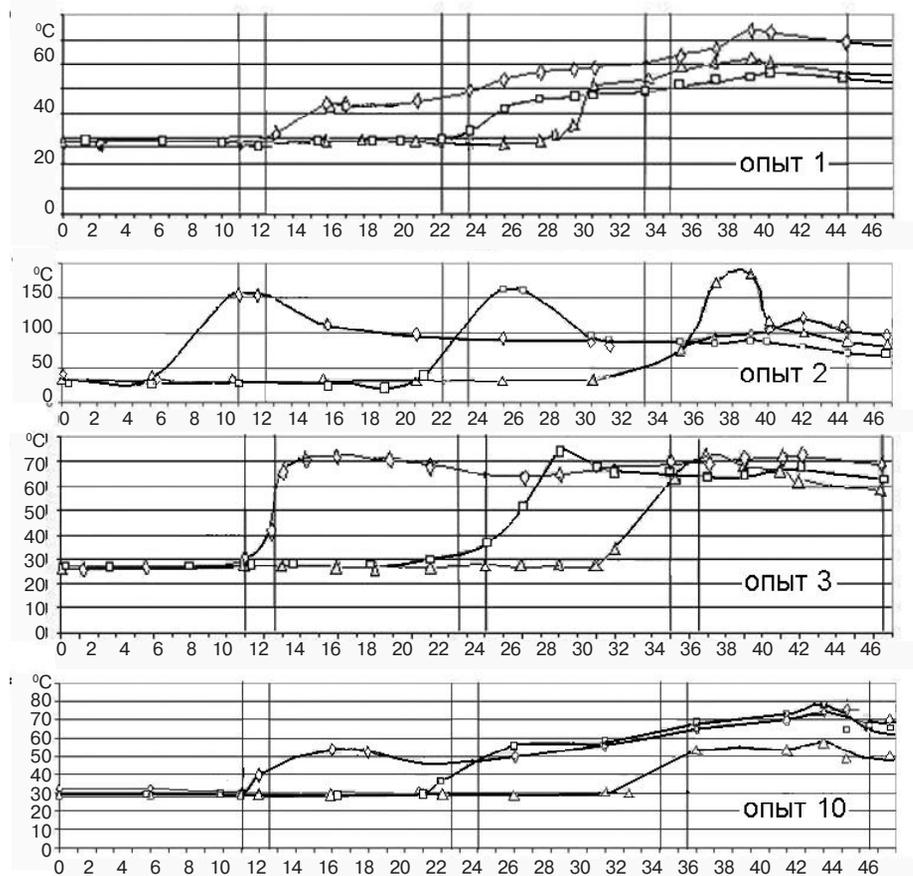


Рис. 2. Кинетики изменения температуры по глубине отверстия в опытах 1, 2, 3, 10

отмечены знаками: \diamond - T1, \square - T2, Δ - T3; вертикальные линии показывают положение стальных пластин.

Характер изменения температуры в опытах 1 и 10 одинаков. По мере углубления в образец температура практически монотонно возрастает, достигая величины примерно в 70 °С. Причины этого эффекта не ясны. В первом опыте диаметр сверла и подача максимальны, а в десятом – минимальны. При одинаковом числе оборотов шпинделя скорости резания в этих опытах также отличаются почти вдвое, то есть пропорционально диаметру сверла.

В опытах № 2 и 3 температура изменяется не монотонно. Общим явлением можно считать скачкообразный прирост температуры при сверлении металлических пластин. Однако в опыте № 2 после резкого повышения до максимальных значений (от 160 до 182 °С) температура понижается до 100 °С, а в опыте № 3 она остается на максимальном уровне примерно при 70 °С, достигнутом при сверлении металлической пластины. Противоположное сочетание уровней факторов в этих опытах приводит к подобию наблюдаемых эффектов изменения температуры, однако большее значение скорости резания в опыте № 2 сопровождается и большими скачками температуры при сверлении металлических пластин, что вполне закономерно с позиций теории резания.

Регрессионные модели зависимостей максимальной температуры θ_{\max} и максимального отклонения от номинального диаметра сверла ΔD_{\max} от параметров режима резания при сверлении композиции оргстекло – сталь получены с помощью вычислительной программы PLAN.EXE в рамках методического обеспечения, установленного на ПК для обучения студентов специальности «Технология машиностроения». Математические модели приведены ниже.

Математическая модель зависимости максимальной температуры при сверлении оргстекла от параметров режима резания

$$\theta_{\max} = 40,5526 + 0 \cdot D_{\text{св}} + 0,0021 \cdot n + 4,0 \cdot S. \quad (2)$$

Математическая модель зависимости максимальной температуры при сверлении пакета оргстекло – сталь от параметров режима резания:

$$\theta_{\max} = 131,5161 + 2,8889 \cdot D_{\text{св}} + 0,0516 \cdot n - 4,25 \cdot S. \quad (3)$$

Математическая модель зависимости максимальной температуры при сверлении текстолита от параметров режима резания

$$\theta_{\max} = 46,3341 - 0,9444 \cdot D_{\text{св}} - 0,0045 \cdot n - 2,3750 \cdot S. \quad (4)$$

Следует отметить, что методика измерения температуры при сверлении отверстий в сложной композиции оргстекло-сталь, применяемая в настоящей работе, имеет существенные недостатки и не вполне отвечает рекомендациям в этой области знаний. В первую очередь, это связано с невысокой точностью определения расстояния от королька термомпары до теплового источника,

каким является зона резания. Важной составляющей погрешности измерения температуры является невозможность построения реальных температурных полей при использовании стационарного расположения термомпар в поле действия подвижного теплового источника. Для более точного определения температур и построения температурных полей в объеме исследуемого образца следует использовать несколько термомпар, расположенных на различном расстоянии от движущегося теплового источника. Измерение температур в процессе сверления в таком случае можно сопровождаться построением полей температурных градиентов и расчетом плотностей тепловых потоков в образце.

Профили отверстий имеют существенные отклонения от цилиндричности и круглости. Эти эффекты связаны с особенностями конструкции модельного пакета оргстекло-сталь и особенностями процесса сверления такой конструкции. Пакет имеет существенную неоднородность механических свойств элементов композиции по глубине обработки. Скорость осевого перемещения сверла при сверлении с ручной подачей непостоянная. При сверлении пластин оргстекла подача увеличивается, а при сверлении металлических пластин она замедляется. В результате такого замедления подачи увеличивается время контакта сверла и металлической пластины и, соответственно, повышается температура в зоне резания. В то же время перемещение стружки вверх по стружечным канавкам практически прекращается. Вместо движения вверх стружка наматывается на сверло и превращается в дополнительный режущий инструмент. Диаметр такого «режущего инструмента» имеет случайные размеры, поэтому и отверстие по глубине имеет локальные отклонения от заданного размера, что и объясняет особенности формы отверстий, показанные на рис. 3

Накопление стружки в верхней части отверстия приводит к искажению цилиндрической формы отверстия. Стружка увеличивает эффективный диаметр сверла и, соответственно, отверстия. Однако диаметр проплавленной зоны практически не изменяется. Зоны проплавления имеют форму слабовыраженного конуса со стяжками в области металлических пластин. Диаметр зоны проплавления монотонно возрастает снизу вверх в области пластин из оргстекла, а в местах перехода к металлическим пластинам резко уменьшается.

На рис. 3 профиль отверстия окаймлен светлыми прозрачными зонами, которые можно интерпретировать как зоны проплавления оргстекла или «тепловые зоны». Форма этих зон цилиндрическая в средней части отверстий и имеет своеобразные «тали» вблизи стальных пластин. Толщина тепловых зон составляет примерно 2-3 мм. Форма зон практически не зависит от реального профиля отверстия. Так, при бочкообразной форме отверстия, мы наблюдаем цилиндрический профиль тепловой зоны. Такой эффект возможен при условии, если тепловая зона образуется в результате действия цилиндрического источника тепла,

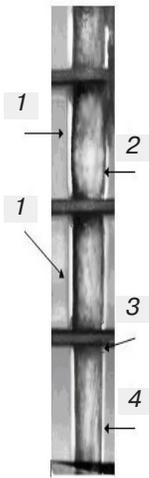


Рис. 3. Профиль и виды дефектов отверстия в слоистой композиции оргстекло – сталь: 1 – тепловые зоны, 2 – расширение в оргстекле в форме «бочки», 3 – сужение отверстия в металле в форме «тали», 4 – конусность

стружки по стенкам отверстия создает дополнительный источник тепла. Нагрев сверла при резании весьма значительный, однако, если при сверлении оргстекла температура не превышает 52 °С, то при сверлении композиции оргстекло-сталь она достигает 80 °С и более. При такой температуре оргстекло находится в вязкотекучем состоянии. Тепловое удлинение режущего инструмента зависит от теплоты, выделяющейся в зоне резания и ее распределения в материале в соответствии с законом Фурье. Неравномерному нагреву подвергаются и заготовки, изготовленные из композиций низко и высокотеплопроводных материалов. В результате различного нагрева элементов неизбежно возникают деформации, которые вызывают растрескивание и расслоение композиции. Следует учесть, что образующаяся при сверлении стружка затрудняет удлинение сверла и способствует развитию растягивающих

напряжений, приводящих к образованию кольцевых трещин и расслоению клеевого соединения пластин. В процессе эксплуатации такие трещины провоцируют разрушение всего изделия. Математическая модель зависимости максимального отклонения размеров отверстия при сверлении оргстекла от параметров режима резания имеет вид:

$$\Delta D_{\max} = 0,1906 - 0,0106 \cdot D_{\text{св}} + 0,0004 \cdot n + 0,0763 \cdot S \quad (5)$$

Выводы и практические рекомендации по предупреждению образования наиболее опасных дефектов, образующихся при сверлении слоистых композиций металл-пластик приведены ниже.

- При сверлении композиций металл-пластик имеется большая вероятность расслоения, провоцирующего разрушение изделия при эксплуатации.
- При сверлении отверстий с большой подачей возрастает вероятность скола пластика при выходе сверла.
- При сверлении композиций из материалов с различной теплопроводностью возникают неоднородные тепловые поля – размягченные «тепловые зоны», из которых материал легко вырезается движущейся стружкой.
- Для предупреждения самопроизвольного рассверливания отверстия стружкой и образования бочкообразности отверстий в композициях органического стекла с прослойками стальных пластин следует применять повышенную скорость резания и стабильную подачу.
- Сверление композиций металл-пластик с увеличенной толщиной металлической прослойки следует выполнять на станках с механической стабилизированной подачей.
- Для предотвращения образования тепловых зон при сверлении композиций металл-пластик следует производить сверление сверлами с круглой режущей частью и шлифованной стружечной канавкой.



ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонцов А. М. Тепловые процессы при механической обработке материалов резанием / А. М. Тихонцов, С. И. Чухно, А. Н. Коробочка и др. – Киев: УМК ВО, 1992. – 286 с.
2. Холмогорцев Ю. В. Оптимизация процессов резания. – М.: Машиностроение, 1988. – 205 с.
3. Теплофизика механической обработки / А. В. Якимов, П. Т. Слободяник, А. В. Усов и др. – Киев-Одесса: Лыбидь, 1991. – 240 с.

МУРЗИН Л. М., КОЛОСОВСЬКИЙ Ю. Ю., ЗАБЛОВСЬКИЙ А. В., СМІРНОВ А. В. Ефекти, тепло і формоутворення при свердленні шаруватих пластин

У роботі представлені результати дослідження ефектів зміни температури в процесі свердлення отворів в пакетах дослідних модельних композицій, що складаються з пластин оргстекла і стали. Кінетику зміни температури при свердленні отворів реєстрували за допомогою відеозйомки, що дозволило зіставити теплові ефекти та ефекти формоутворення отворів.

Ключові слова: формоутворення отворів, шарувата композиція, планування експерименту, відеозйомка

MURZIN L., KOLOSOVSKY Y., ZABLOVSKY A., SMIRNOV A. Effects warmly and form-creature of opening at boring of laminates

The results of research of effects of change of temperature are in-process represented in the process of wimbling in the packages of experimental models compositions, consisting of plates of organic glass and steel. At wimbling registered kinetics of change of temperature by a videosurvey, that allowed to confront thermal effects with the effects of formcreature of openings.

Keywords: formcreature of openings, stratified composition, planning of experiment, videosurvey

УДК 621.375.826:001.57:551.482.32

**В. П. Лихошва, Е. А. Рейнталь, Ф. И. Кирчу*, А. П. Шатрава,
Л. А. Бондарь, А. Н. Тимошенко**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

*Национальный авиационный университет, Киев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОЛАЗЕРНЫХ ПОТОКОВ ПРИ СОЗДАНИИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НАГРЕВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

На основе численного моделирования различных способов подачи порошковых материалов в газо-лазерном потоке проведена разработка конструкций подающих устройств (фурм), исследованы их эксплуатационные характеристики.

Ключевые слова: нагрев дисперсных частиц, численное моделирование, газолазерный поток

При создании новых технологий лазерного легирования, наплавки, напыления, получения композиционных и наноматериалов, где одним из этапов является нагрев порошковых материалов, необходимо согласовать и совместно решить ряд следующих задач: формирование газового потока, несущего дисперсные частицы, соответствующего апертуре лазерного луча; оптимальное распределение частиц по сечению потока; управление траекторией и скоростью их движения; равномерности нагрева каждой частицы и всего объема частиц в целом и других. Решение поставленных задач должно укладываться в процесс проектирования новых устройств и определять их конфигурацию и технологические возможности.

Настоящая работа посвящена разработке и исследованию эксплуатационных характеристик устройств (фурм), предназначенных для подачи и контролируемого нагрева порошковых материалов под воздействием лазерного излучения в соответствии с техническими требованиями.

В начале процесса проектирования и определения основных параметров будущего устройства использовали расчетные методы, в которых используются аналитические и эмпирические соотношения [1]. Их сравнительно простое применение позволяет за короткое время провести разработку нескольких вариантов геометрии проточной части, а затем в первом приближении выбрать необходимую конфигурацию. Однако полученные таким способом геометрические параметры и характеристики устройства являются приближен-

ными и нуждаются в уточнении и оптимизации. Это становится возможным при использовании современных методов численной газодинамики [2] и экспериментальных методов исследования газового течения. Применение численного эксперимента для изучения сложных газодинамических процессов в проточных частях различных устройств открывает возможности более глубокого понимания физических явлений, установления новых закономерностей и разработки полезных рекомендаций для решения важных технических задач. Оба метода дополняют друг друга и поэтому не следует противопоставлять компьютерное моделирование экспериментальным исследованием.

Для численного моделирования использовали два варианта фурм, схемы которых представлены на рис. 1. Схемы отражают основные тенденции подачи порошка в газовом потоке: соосно (рис. 1, а) и с пересечением лазерного излучения (рис 1, б).

В настоящей работе вычисления проводили на основе методов численной гидрогазодинамики (CFD-computation fluid dynamics). Решение поставленной задачи находили при использовании упрощенных уравнений Навье-Стокса путем привлечения некоторых гипотез и эмпирических зависимостей [2, 3], основанных на их осреднении по Фавру-Рейнольдсу, и применении моделей турбулентной вязкости для их замыкания.

Процесс проектирования условно разделен на следующие этапы:

- предпроцессорная подготовка (проектиро-