

УДК 620.1:621.9

Л.М. Мурзин, доцент, канд. техн. наук

Ю.Ю. Колосовский

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sebastopol.ua

ЭФФЕКТЫ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ ПРИ СВЕРЛЕНИИ КОМПОЗИЦИИ ОРГСТЕКЛО—СТАЛЬ

Приведены результаты экспериментального исследования образования дефектов при сверлении композиции оргстекло-сталь в различных технологических условиях. Кинетику образования дефектов формы отверстия и неоднородных тепловых зон наблюдали с помощью видеосъемки. Анализируются закономерности образования дефектов и предложены меры по их предупреждению при сверлении композиций металл – пластик.

Ключевые слова: композиция, оргстекло, сверление, видеосъемка, расслоение, трещина.

Оптимизация параметров режимов резания позволяет сократить расходы на производство, уменьшить энергопотребление, снизить себестоимость продукции, повысить качество изделий. В современных изделиях широко применяют композиции металл-пластик. Одним из трудоемких методов обработки является сверление отверстий в изделиях. Большая вероятность образования дефектов, их значительное влияние на надежность и долговечность изделия определяют научный интерес к изучению природы и механизмов образования дефектов при сверлении композиционных материалов. В связи с изложенным, поставленная тема работы является актуальной.

Введение

Интерес к композиционным материалам в настоящее время возрастает благодаря стремительно прогрессирующему направлению наноматериалов и нанотехнологий, стремлению создать высокопрочные, но не хрупкие конструкционные материалы [1]. В настоящей работе в качестве объекта исследований взята композиция оргстекло – сталь. Органическое стекло отличается высокой прозрачностью, однако имеет пониженную твердость и повышенную хрупкость, вследствие чего в процессе изготовления изделия из органического стекла возникают различные дефекты. Наиболее опасные из них это трещины и сколы, устранение которых требует разработки специальных технологий. Наиболее часто сколы образуются при сверлении. Для предотвращения данного явления можно применять сверла с круглой заточкой, предложенные в работе [2].

Важнейшей проблемой обработки изделий из композитных материалов с применением пластмасс является формирование неоднородных тепловых полей, связанных с различием показателей теплопроводности компонентов, составляющих композитный материал [3].

Одной из нерешенных задач, связанных с обработкой изделий с использованием слоистых композитных материалов, является задача о неоднородном распределении тепла в разнородных компонентах и дефектообразование при сверлении отверстий.

Цель работы заключается в исследовании показателей качества отверстий при сверлении композиции оргстекло-сталь в диапазоне параметров режимов резания.

Методы исследования, используемые в работе – планирование экспериментов, измерение температуры с помощью искусственных термопар, наблюдение за процессом дефектообразования с помощью видеокамеры, программного обеспечения на ПЭВМ.

Постановка задания.

1. Разработка методики экспериментальных и аналитических исследований.
2. Проведение экспериментов по сверлению слоистых пластиков при различных параметрах режима резания.
3. Анализ процесса дефектообразования.
4. Рекомендации по предупреждению дефектообразования при сверлении композиций оргстекло–сталь.

Описание объекта исследования и подготовка эксперимента

В качестве объекта исследований выбрана модель слоистой композиции, состоящей из пластин оргстекла, между которыми располагаются пластины из стали. Пластины из стали значительно прочнее пластин из оргстекла и имеют более высокие показатели теплопроводности. Следовательно, при сверлении пакета пластин оргстекло – сталь создаются существенно неоднородные температурные поля и поля внутренних напряжений, что провоцирует образование разнообразных дефектов, за развитием которых можно наблюдать с помощью видеокамеры, так как оргстекло прозрачно. Для изготовления

композиции из листа оргстекла вырезаны 4 пластины размером $10 \times 74 \times 77$ мм. Из листа стали марки Ст. 3 вырезаны 3 пластины размером $1 \times 74 \times 77$ мм. Из заготовок склеен пакет, в котором чередуются пластины оргстекла и стали. Пластины склеены эпоксидно-диановой неотвержденной смолой ЭД-20 ГОСТ 10587-84.

На поверхности верхней пластины из оргстекла наносили разметку для определения местоположения отверстий диаметром 5 мм, 7 мм, 9,5 мм. Перпендикулярно оси будущих отверстий с торца стальных пластин сделаны прорезы под термопары. В подготовленные прорезы в стальных пластинах вставляли термопар с таким расчетом, чтобы корольки термопар располагались на расстоянии 1 мм от профиля предполагаемого отверстия. Термопары подключали к милливольтметрам и таким образом обеспечивали измерение температуры в трех фиксированных точках пакета. Видеосъемку применяли при различных режимах резания в соответствии с матрицей плана экспериментов, включающей 12 опытов при различных сочетаниях параметров. Затем проводили обработку видео на ПК при помощи программного обеспечения Pinnacle Studio 9.4.0.23c Rus.

В эксперименте использовано оборудование: станок вертикально-сверлильный модели 2М112 с ручной подачей, станок универсально фрезерный модели 676 с механической подачей, сверла из быстрорежущей стали марки Р6М5 диаметром 5 мм, 7 мм, 9,5 мм со стандартной заточкой и сверло диаметром 7 мм с круглой заточкой. Круглая режущая часть подготовлена на заточном станке НК-1-01.

Закрепление модельных образцов на столе станка производили с помощью прижимных планок (на сверлильном станке) и тисков (на фрезерном станке). Температуру измеряли с помощью хромель-алюмелевых термопар и регистрировали тестерами марки DT83 и M830B, в режиме измерения температуры в градусах Цельсия с точностью измерения 1 градус.

Геометрические измерения полученных отверстий в оргстекле и металлических пластинах проводили электронным штангенциркулем с точностью 0,01 мм. Диаметры полученных отверстий измеряли снизу и сверху каждой пластины для определения отклонений от цилиндричности, и в двух перпендикулярных направлениях для определения отклонений от круглости.

Планирование эксперимента

Исходные условия представлены в таблице 1. Показатели представлены в таблице 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	$\theta_{\max}$	°C	Y1
Эллипсность	$\Delta D_{\max}$	мм/мм	Y2

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,

$$Y = A_0 + A_1X_1 + A_2X_1^3 + A_4X_2 + A_5X_3.$$

В этом случае целесообразно применять план 2-го порядка. Учитывая, что на трех уровнях изменяется только один фактор – 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. Применили методику добавления опытов в центре плана. Общее число опытов определено по формуле

$$N = 2^n + n_0,$$

где $n = 3$ – число факторов, $n_0 = 4$ – число опытов центра плана.

Модель $Y = A_0 + A_1X_1 + A_2X_1^2 + A_3X_2 + A_4X_3$. Матрица плана включала 12 опытов. С учетом повторных опытов для получения статистических оценок общее число опытов составляло 24. При проведении опытов использовали рандомизацию, т.е. случайный порядок их проведения.

Результаты и их обсуждение

К дефектам формы следует отнести такие погрешности: отклонение от цилиндричности и круглости, эллипсность, конусность, бочкообразность, которые и были обнаружены в опытах по сверлению композиции. Одним из наиболее опасных дефектов при сверлении отверстий в композиции пластик – металл является образование кольцевых трещин вокруг сверла, показанных на рисунке 1.

Схема образования трещин и механизм действия сил при сверлении оргстекла и композиции оргстекло-сталь показаны на рисунке 2.

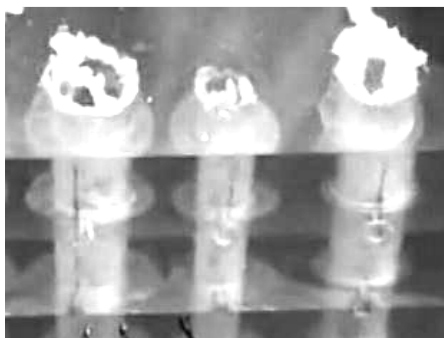


Рисунок 1 – Образование кольцевых трещин при сверлении пакета пластин оргстекла

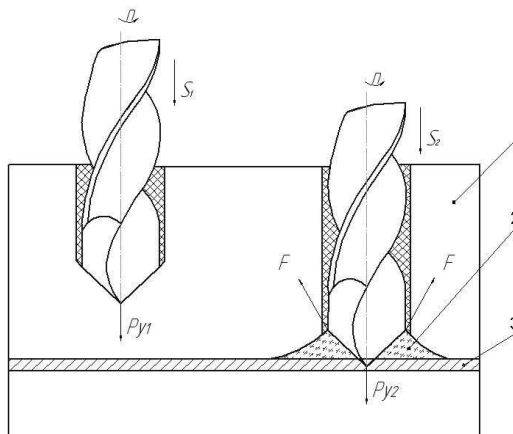


Рисунок 2 – Схема образования кольцевых трещин и действия сил при сверлении оргстекла и композиции оргстекло-сталь: S – подача; n – частота вращения сверла; S_1 – подача при сверлении оргстекла; S_2 – подача при сверлении стали; P_{y1} – осевая сила при сверлении оргстекла; P_{y2} – осевая сила при сверлении стали; 1 – пластина оргстекла; 2 – кольцевая трещина; 3 – пластина стали; $S_1 > S_2$; $P_{y2} > P_{y1}$; F – усилие отрыва при образовании кольцевой трещины

Кольцевые трещины вызывают расслоение слоистых конструкций композиции пластик – металл и провоцируют разрушение изделия в процессе эксплуатации. Причинами образования кольцевых трещин являются неоднородные поля напряжений в направлении сверления при переходе от сверления пластика к сверлению стальной пластины и низкая прочность клеевого соединения. В случае сверления в ручном режиме происходит замедление осевого перемещения сверла при возрастающем осевом усилии. Напряжение растяжения, создающееся в материале выше режущих кромок сверла, приводит к отрыву стальной пластины от пластика. Следует учесть, что образующаяся при сверлении стружка затрудняет свободное удлинение сверла в отверстии и способствует развитию растягивающих напряжений, приводящих к образованию кольцевых трещин и расслоению клеевого соединения пластин.

Условие разрушения клеевого соединения запишем таким образом

$$\sigma_{y2} > \sigma_y,$$

где σ_y – прочность адгезионной связи между стальными пластинами и пластинами оргстекла; σ_{y2} – разрушающее напряжение. Напряжение на режущих кромках сверла можно определить по формуле

$$\sigma_y = P_y / S_{нов},$$

где P_y – осевая сила резания, действующая при сверлении. При сверлении оргстекла силу резания обозначим P_{y1} и при сверлении стали соответственно – P_{y2} ,

$$P_{y2} > P_{y1}.$$

Площадь заборной части сверла $S_{нов}$, найдена по формуле

$$S_{нов} = L_{кр} \cdot b_{кр},$$

где $L_{кр}$ – длина режущей кромки сверла; $L_{кр} = D_{св} \cdot \sin \varphi$, $D_{св}$ – диаметр сверла, φ – угол в плане; $b_{кр} \approx 1 \text{ мм}$ – ширина режущей кромки сверла.

Профиль отверстия формируется в соответствии с условиями резания и в значительной мере определяется геометрией заборной части сверла и характером взаимодействия стружки с материалом. Температура резания в случае сверления отверстия сверлом с круглой заточкой существенно ниже, чем при сверлении сверлом с конической режущей частью. Вследствие таких конструктивных отличий сверл отверстие, изготовленное сверлом с круглой заточкой режущей части практически не имеет

погрешностей формы. Отсутствуют также и «тепловые зоны», характерные для рельефа отверстий, изготовленных сверлом со стандартной заточкой.

На рисунке 3 показаны изображения отверстий, изготовленных сверлом с круглой режущей частью и сверлом со стандартной режущей частью. У сверла с круглой заточкой толщина среза переменна, причем она изменяется от нуля у периферии до максимума у центра сверла. Скорость резания, наоборот, имеет максимальное значение у периферии и минимальное – у центра сверла. Противоположно направленные изменения скорости резания и толщины среза уравнивают тепловую нагрузку по длине лезвия и способствуют формированию бездефектного профиля отверстия.

На снимке отверстия (рисунок 4), просверленного сверлом диаметром 9,5 мм, показаны следующие дефекты: бочкообразность, конусность, тепловые зоны, «тали» т.е. сужение тепловых зон вблизи металлических пластин. Конусность нижнего участка отверстия составляет 10 % согласно косвенным измерениям, сделанным по фотографии.

На рисунках 3 и 4 профили отверстий окаймлены 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.

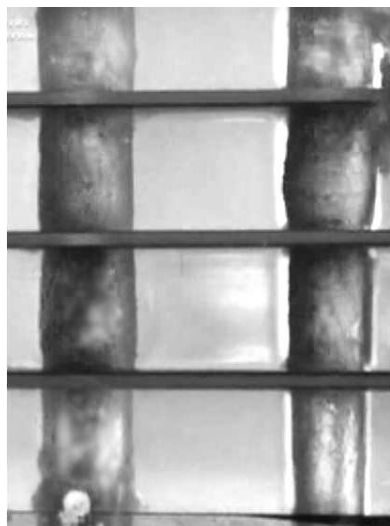


Рисунок 3 – Отверстия, просверленные сверлом с круглой (слева) и конической (справа) режущей частью

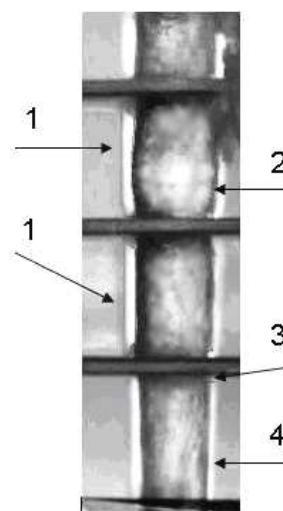


Рисунок 4 – Дефекты формы отверстий:
1 – тепловые зоны $\delta = 2-3$ мм, 2 – бочкообразность;
3 – «тали»; 4 – конусность

Такой эффект возможен при условии, если тепловая зона образуется в результате действия цилиндрического источника тепла, а стружка выполняет роль «режущего инструмента», выбирая разогретый и размягченный до вязкого состояния материал пластины оргстекла. Эффективность такого «режущего инструмента» снижается при приближении к металлическим пластинам, в результате чего и образуется бочкообразный профиль отверстия.

При сверлении стальных пластин осевое перемещение сверла замедляется, и движение стружки по стружечным канавкам практически прекращается. Это и приводит к тому, что трение стружки по стенкам отверстия создает дополнительный источник тепла. Подтверждением того, что в «тепловых зонах» материал находится в расплавленном или в вязкотекучем состоянии являются результаты термометрии в процессе сверления, опубликованные в работе [4]. 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. В процессе эксплуатации такие трещины провоцируют разрушение всего изделия.

Регрессионные модели зависимостей максимальной температуры $\theta_{\max}$ и максимального отклонения от номинального диаметра сверла $\Delta D_{\max}$ 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».

Математическая модель зависимости максимального отклонения размеров отверстия при сверлении оргстекла от параметров режима резания имеет вид:

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

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

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

Выводы

Исследована кинетика образования дефектов формы и тепловых дефектов отверстий в модельной композиции оргстекло – сталь и сформулированы условия и механизм образования таких дефектов в процессе сверления слоистых композиций.

Основные положения, результаты исследований, выводы и рекомендации работы удовлетворяют фундаментальным основам теплофизики и теории резания.

Практическое значение полученных результатов заключается в установлении оптимальных условий сверления, снижающих вероятность образования дефектов отверстий.

Дальнейшее развитие работы предполагает проведение анализа кинетики образования тепловых зон и исследование явления образования бочкообразности за счет дополнительного резания движущейся стружкой по стружечным канавкам сверла, построение зависимостей показателей качества отверстий от глубины сверления. Целесообразна также разработка методического обеспечения лабораторных работ в рамках дисциплин «Теория резания» и «Технологические основы машиностроения для студентов специальности «Технология машиностроения» и «Металлорежущие станки и системы».

Библиографический список

1. Нанотехнологии в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований / Дж. Уайтсайдс [и др.]; под ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса и П. Аливисатоса; пер. с англ. — М.: Мир, 2002. — 292 с.
2. Филоненко С.Н. Резание металлов / С.Н. Филоненко. — К.: Техніка, 1975. — 260 с.
3. Фокин В.М. Основы технической теплофизики: монография / В.М. Фокин, П. Бойков, Ю.В. Видин. — М.: Машиностроение, 2004. — 172 с.
4. Забловский А.В. Сверление слоистых пластиков / А.В. Забловский, Л.М. Мурзин // Прогресивні напрямки розвитку машино-приладобудівних галузей і транспорту: матер. міжнар. наук.-техн. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених, Севастополь, 19–22 травня 2009 р. — Севастополь, 2009. — С. 148–150.

Поступила в редакцию 11.11.2009 г.