

НОВЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Марунич В.А., Яриз А.Ю. (НМетАУ, г.Днепропетровск, Украина)

E-mail: Yarizanna2007@ukr.net

Аннотация. В статье предложен новый метод повышения качества поверхностного слоя полимерных теплоизоляционных материалов. Метод основан на обработке скользящим резанием в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Проведены экспериментальные исследования и определены оптимальные режимы резания и параметры торцового режущего инструмента

Ключевые слова: качество поверхностного слоя, теплоизоляционные материалы, скользящее резание, экспериментальные исследования, оптимальные режимы резания

Введение

Полимерные материалы в современном машиностроении занимают особое место и находят все большее применение во всех отраслях народного хозяйства. Многие детали современных машин изготавливаются из полимеров, и зачастую требования конструкторской документации предполагают применение методов обработки резанием. Эти факторы в итоге приводят к повышению требований к качеству поверхностного слоя полимерных изделий после механической обработки.

Известные способы повышения качества поверхностного слоя при лезвийной обработке материалов [1,2], как правило, эффективны для изделий из металлов (чугунов, сталей и их сплавов). Обработка резанием полимеров обладает рядом особенностей, не позволяющих применять к ним те же рекомендации, что и для металлов. Это связано со специфическими структурой и свойствами этих материалов.

На данный момент довольно много работ посвящено процессам лезвийной обработки полимеров и их шлифования [3-6]. Однако в них практически отсутствует информация по вопросу обработки изоляционных и теплозащитных материалов с вязкоупругими свойствами и ячеистой структурой.

Следует отметить, что далеко не всегда применение традиционных инструментов и схем резания позволяет получить необходимое качество поверхностного слоя вязкоупругих полимерных изоляционных материалов. Традиционная схема предполагает отделение срезаемого слоя в результате создания зоны напряженного состояния, обусловленной упругопластической деформацией. При этом стружка отделяется по плоскостям действия наибольших напряжений.

Для вязкоупругих материалов такая схема резания приводит к отрыву срезаемого слоя по направлениям разрыва молекулярных связей на определенной стадии упругонапряженного состояния. Особенно явно это проявляется при обработке изоляционных полимеров. Обработанная поверхность этих материалов при применении традиционного резания характеризуется неупорядоченными (хаотическими) вырывами и сколами по кромкам, определяющими весьма низкие показатели качества поверхностного слоя. Соответственно получаются низкими показатели точности размеров обработанных поверхностей.

Таким образом, можно сделать вывод, что необходим принципиально новый метод лезвийной обработки полимерных материалов, позволяющий обеспечить высокое качество поверхностного слоя деталей.

Основное содержание и результаты работы

Решение данной проблемы мы видим в применении нового метода скользящего резания, позволяющего управлять процессом упругих и пластических деформаций при отделении срезаемого слоя и достигать высокого качества поверхности деталей

Под скользящим резанием понимается процесс обработки, при котором скольжение режущей кромки, во время рабочего цикла, по обрабатываемой поверхности в направлении главного движения превалирует над ее перемещением в направлении движения подачи.

Новый метод обработки вязкоупругих полимерных материалов [7,8] основан на использовании схемы резания в двух взаимно перпендикулярных направлениях, позволяющих реализовать скользящее резание. Процесс скользящего резания вязкоупругих полимерных материалов предполагает существенное уменьшение деформации обрабатываемого материала по сравнению с традиционным резанием и, таким образом, создаются условия, при которых энергия деформации преобразовывается в работу разрыва молекулярных связей на более ранней стадии. При этом стружка образуется при свободном резании в результате хрупкого среза и надлома.

Необходимым условием проявления эффекта скользящего резания для управления интенсивностью физических процессов, происходящих в зоне резания, является установление угла наклона кромки λ в пределах: $70^\circ \leq \lambda \leq 90^\circ$.

Схему скользящего фрезерования, представленную на рисунке 1, реализуют два автономно работающих ножа, выполняющих свободное резание.

Один из ножей, названный подрезным (1), непосредственно осуществляя скользящее резание, контактирует с обработанной поверхностью и решает при этом главную технологическую задачу обеспечения требований к качеству поверхностного слоя материала.

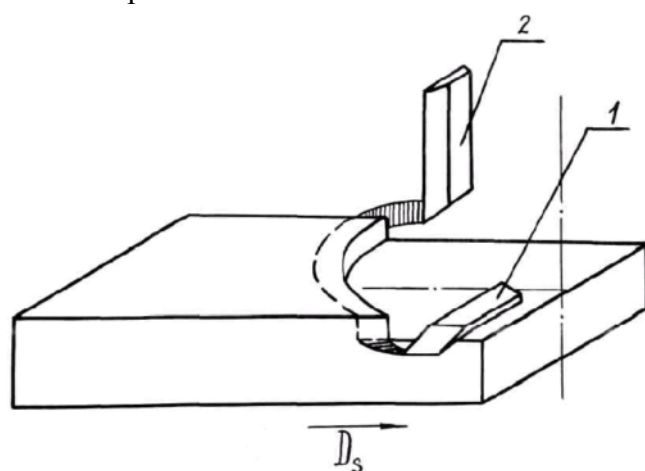


Рис. 1. Схема скользящего фрезерования полимеров в двух взаимно перпендикулярных плоскостях

Второй нож, названный отрезным (2), по существу выполняет вспомогательную функцию, связанную с отделением надрезанного слоя и в принципе может работать как по традиционной, так и по скользящей схеме резания.

В результате значительного уменьшения упругой деформации, сопровождающей процесс скользящего фрезерования вязкоупругих полимерных материалов, снижается внутреннее трение, которое возникает когда молекулярные цепи меняют свои

местоположения и их сегменты скользят друг относительно друга. При этом снижается диссипация энергии. Упругая энергия преобразовывается в работу разрыва молекулярных связей. В этой связи понижается температура резания.

Механизм скользящего резания вязкоупругих полимерных материалов предполагает существенное уменьшение деформации обрабатываемого материала по сравнению с традиционным резанием и, таким образом, создаются условия, при которых энергия деформации преобразовывается в работу разрыва молекулярных

связей на более ранней стадии. При этом стружка образуется при свободном резании в результате хрупкого среза и надлома.

Для подтверждения вышеизложенной гипотезы о механизме скользящего фрезерования провели экспериментальные исследования.

Исследования проводились методом математического планирования с постановкой полного факторного эксперимента.

Обрабатываемый полимерный теплоизоляционный материал ТТП-ФС (материал на основе хлорсульфированного полиэтилена и наполнителей – полиметилметакрилата, полипропилена, феноло-формальдегидных микросфер, древесной муки).

На этапе предварительного изучения технологического процесса скользящего торцового фрезерования ТТП-ФС необходимо было сократить число исследуемых факторов, что позволило, с одной стороны исключить из рассмотрения наименее важные факторы, а с другой – сократить сроки и средства на выполнение экспериментальной отработки.

В связи с тем, что вопрос о возникновении вырывов и сколов по кромкам при фрезеровании ТТП-ФС практически не изучен, а их образование зависит от целого ряда факторов, то в целях формализации априорной информации о существенности влияния того или иного фактора на параметр оптимизации специалистам и производственникам по обработке ТТП-ФС розданы анкеты (таблица 1).

В анкете факторы расположены в случайном порядке (X_1, X_2, \dots, X_{14} – кодовые обозначения факторов). Даны также размерности и область варьирования. При этом экспертам было предложено уточнить состав факторов и интервал их изменения.

С целью введения количественной меры экспертам было предложено расположить факторы в порядке убывания их воздействия на образование дефектов. Когда специалист не мог указать порядок следования для двух или нескольких рядом стоящих факторов, то им приписывался один и тот же номер, а при вычислении вводились связанные дробные ранги.

Степень согласованности мнений специалистов оценивалась с помощью коэффициента конкордации. Для исследуемого процесса скользящего фрезерования ТТП-ФС $W=0,798$.

Значимость этого коэффициента оценивалась по χ^2 критерию с помощью формулы:

$$\chi^2 = m \cdot (k - 1) \cdot W = 19 \cdot (14 - 1) \cdot 0,798 = 197,106$$

для 5%-ного уровня значимости и числа степеней свободы $f=K-1$.

Для 1%-ного уровня значимости при числе степеней свободы $f=13$ $\chi^2_{\text{табл}}=27,7$, то есть $\chi^2_{\text{табл}} \leq \chi^2$.

Таким образом, с вероятностью более 99% можно утверждать, что существует определенная согласованность мнений специалистов относительно степени влияния исследуемых факторов, оцениваемая коэффициентом конкордации $W=0,798$.

На основании результатов анкетирования выделили наиболее существенные факторы (табл. 2): X_1 – угол наклона кромки λ ; X_3 – передний угол γ ; X_2 – скорость главного движения резания V ; X_5 – скорость движения подачи V_s .

Фактор X_4 отсеяли, так как задний угол α при постоянном значении угла заострения β становится зависимым от переднего угла γ . По результатам предварительных опытов отсеяли фактор X_9 (температура резания близка к окружающей среде).

Остальные факторы в данном эксперименте приняли с учетом априорной информации по среднему значению в интервале изменения и сохраняли постоянными при проведении всех опытов.

Таблица 1 – Анкета исследуемых факторов

Фактор	Определение	Интервал изменения
X1	Угол наклона кромки, λ , град	70...85
X2	Скорость главного движения резания, V , м/с	0,5...8
X3	Передний угол, γ , град	40...80
X4	Задний угол, α , град	0...40
X5	Скорость движения подачи, V_s , мм/мин	80...1000
X6	Угол заострения, β , град	7...13
X7	Радиус округления режущей кромки, ρ , мкм	6...10
X8	Глубина резания, t , мм	1...3
X9	Температура резания, Θ , °C	40...80
X10	Микроструктура и химический состав материала лезвия инструмента	9ХС по ГОСТ 5950-73
X11	Твердость ножа, HRCэ	59...63
X12	Микроструктура, ячеистая структура и химический состав обрабатываемого материала	ТПП-ФС
X13	Шероховатость передней поверхности лезвия, R_a , мкм	0,4...1,25
X14	Шероховатость задней поверхности лезвия, R_a , мкм	0,4...1,25

Исследование проводилось в соответствии с планом эксперимента, где количество опытов N определяли по формуле $N=2^k$, при варьировании факторов на двух уровнях.

Сочетание факторов, удовлетворяющее требованию к качеству обработанной поверхности образца, получено в четвертой и двенадцатой сериях опытов.

Учитывая, что в двенадцатой серии опытов, параметры режима резания обеспечивает большую производительность, то это сочетание факторов является рациональным. При этом подача на зуб составила $S_z=0,4$ мм.

Для установления рациональных зон угловых параметров инструментов для торцового скользящего фрезерования проведены опыты при значениях факторов, соответствующих нулевому уровню. При этом подача на зуб оставалась неизменной ($S_z=0,4$ мм). На обработанной поверхности образца полностью отсутствовали вырывы и сколы по кромкам.

Таким образом, рациональные зоны угловых параметров торцовых фрез соответствуют следующим значениям:

- угол наклона кромки, $\lambda - 75^\circ \dots 85^\circ$;
- передний угол, $\gamma - 68^\circ \dots 75^\circ$;
- задний угол, $\alpha - 5^\circ \dots 12^\circ$.

Что касается рациональных зон параметров режима резания, то нижним пределом, при необходимости, можно считать следующие значения: скорость главного движения резания $V=2,6$ м/с; скорость движения подачи $V_s=200$ мм/мин.

Отработка верхнего предела рациональной зоны для скорости главного движения резания, при подаче на зуб $S_z=0,4$ мм, осуществлялась в производственных условиях.

Таблица 2 – Результаты априорного ранжирования

Независимая переменная	Кодированное обозначение	Нулевой уровень	Уровень варьирования	
			нижний (-)	верхний (+)
Угол наклона кромки, λ , град	X1	75	65	85
Передний угол, γ , град	X2	68	61	75
Скорость главного движения резания, V , м/с	X3	2,6	1	4,2
Скорость движения подачи V_s , мм/мин	X4	200	100	315

Таблица 3 - Геометрические параметры лезвия и режим резания пенополиуретана

γ , град	α , град	V , м/с	S , мм/мин	t , мм
75	5	2,6	200	2

В результате отработки был установлен верхний предел рациональной зоны для скорости главного движения резания $V=20$ м/с. Дальнейшее увеличение скорости главного движения резания приводит к интенсивному повышению концентрации мелкодисперсной пожаровзрывоопасной пыли ТПП-ФС в зоне резания.

В этой связи следует поставить вопрос об изучении влияния дальнейшего повышения скорости главного движения резания на образование мелкодисперсной пыли при скользящем фрезеровании, с учетом требований по допустимой ее концентрации, исключающей пожаровзрывоопасность.

С целью подтверждения гипотезы об эффективности скользящего резания были проведены экспериментальные исследования в Институте технической механики Академии наук Украины.

Экспериментальное подтверждение гипотезы о механизме скользящего резания осуществлялось при обработке пенополиуретанов.

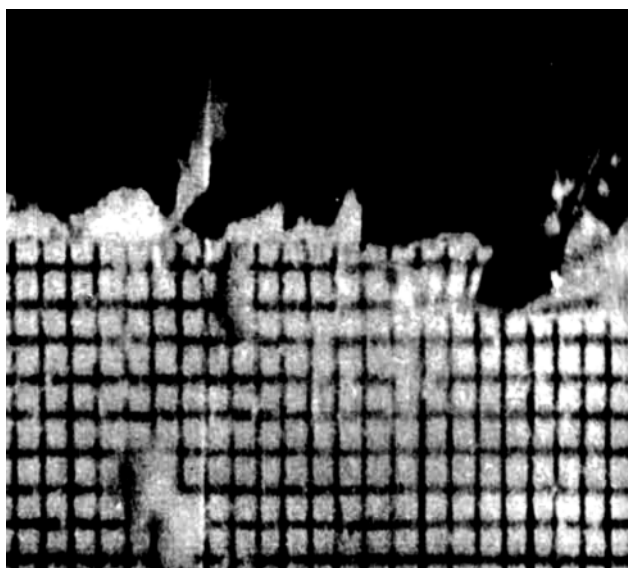


Рис. 2. Увеличенный кадр кинограммы процесса резания торцовым режущим инструментом с углом наклона режущей кромки $\lambda = 15^\circ$

Исследования проводились для двух схем обработки: скользящего резания торцовым режущим инструментом ($\lambda=80^\circ$) и по традиционной схеме обработки ($\lambda=15^\circ$) с постоянными геометрическими параметрами лезвия и режимом резания, численные значения которых представлены в таблице 3.

В процессе обработки по традиционной схеме резания происходил отрыв надрезанной части. На рис. 2 хорошо просматривается искажение масштабной сетки, что свидетельствует о больших деформациях, сопровождающих процесс резания. Кроме того,

наблюдается восстановление подрезцового слоя.

Обработанная поверхность при таком процессе стружкообразования содержит большое количество вырывов и сколов.

Наибольший объем деформации имеет место в отделяемом элементе стружки. Здесь происходит искажение как формы, так и размеров первоначально нанесенной сетки. По высоте сетка изменяется очень незначительно. Главные изменения приходятся на ширину сетки, размер которой уменьшается до 25...30%

В зоне резания, впереди кромки, также наблюдается некоторое изменение формы и размеров.

Величина восстановления подрезцового слоя составляет около 0,3...0,5 мм.

Анализ результатов обработки при скользящем резании (рис. 3) показал, что первой отличительной особенностью образования стружки при такой схеме резания является то, что существенно увеличивается длина отделяемого элемента, стружка сходит непрерывно и напоминает сливную. Образование стружки происходит на пути до 40 мм и более, после чего элемент отделяется. При этом её надлом происходит за режущей кромкой.

Второй отличительной особенностью указанного процесса стружкообразования является то, что он протекает без практического искажения масштабной сетки, а восстановление подрезцового слоя в 3...4 раза меньше, чем в первой серии опытов.

Следует отметить, что на обработанной поверхности образца пенопласта отсутствовали вырывы и сколы по кромкам.

Заключение:

1 Разработан новый метод технологии, основанный на использовании схемы обработки в двух взаимно перпендикулярных направлениях и позволяющий улучшить качество поверхностного слоя вязкоупругих полимерных материалов с ячеистой структурой.

2 Экспериментально подтверждён механизм процесса резания вязкоупругих ячеистых полимерных материалов с помощью высокоскоростной киносъёмки и установлен факт, что при скользящем резании энергия деформации преобразовывается в работу разрыва молекулярных связей на более ранней стадии деформации.

3 Для нового метода в результате многофакторного экспериментального исследования определены параметры торцовых инструментов, обеспечивающие требования к качеству поверхностного слоя и наивысшую производительность. К таким параметрам относятся: угол наклона кромки $\lambda=80^\circ$; передний угол $\gamma=75^\circ$; задний угол $\alpha=5^\circ$; скорость главного движения резания $V=20\text{ м/с}$; подача на зуб $S_z=0,4\text{ мм}$.

4 Методом экспертной оценки проведено ранжирование факторов, среди которых были выявлены наиболее значимые: угол наклона режущей кромки λ ; передний угол γ ; скорость главного движения резания

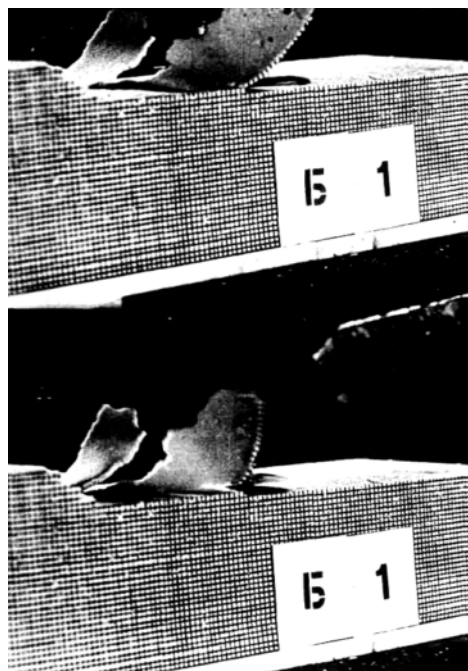


Рис.3. Формирование поверхностного слоя пенопласта при скользящем резании

V ; скорость движения подачи V_S .

5 Дополнительные экспериментальные исследования позволили определить зоны рациональных значений исследуемых параметров, обеспечивающие выполнение основного критерия – отсутствия вырывов и сколов поверхностного слоя.

Список литературы: 1. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000, 320с. 2. Технологические основы обеспечения качества машин / К.С. Колесников, Т.Ф. Баландин, А.М. Дальский и др.; Под общ. ред. К.С. Колесникова. М.: Машиностроение, 1990. 256с. 3. Семко М.Ф., Сустан Г.К., Дрожжин В.И. Обработка резанием электроизоляционных материалов. М.: «Энергия», 1974. — 176 с., ил. 4. Степанов А. А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов.— Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987.— 176 с, ил. 5. Баранчиков В.И., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. Обработка специальных материалов в машиностроении: Справочник. Библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2002. 264 с.: ил. 6. Кобаяши А. Обработка пластмасс резанием. - М.: Машиностроение, 1974. - 192 с. 7. Марунич В.А. Способ обработки материалов резанием. – Патент Росси №2031790. 27.03.1995. – Бюл. №9. 8. Марунич В.О. Спосіб обробки матеріалів різанням. – Патент України №19905. 15.01.2007. Бюл. №1.

THE NEW METHOD OF IMPROVING THE QUALITY SURFACE LAYER OF POLYMERIC HEAT-INSULATION MATERIALS

Marunych V.A., Yariz A.Yu. (NMetAU, Dnepropetrovsk, Ukraine)

Abstract. In this article a new method has been proposed to improve the quality of the surface layer of polymeric heat-insulating materials. The method is based on the processing of a sliding cutting in two mutually perpendicular directions. Experimental investigations have been carried out and determined the optimum cutting conditions and parameters of front cutting tool

Keywords: quality of the surface layer, heat-insulation materials, sliding cutting, experimental investigations, the optimum cutting conditions

НОВИЙ МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ПОЛІМЕРНИХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Марунич В.О., Ярїз Г.Ю. (НМетАУ, м. Дніпропетровськ, Україна)

Анотація. В статті запропонований новий метод підвищення якості поверхневого шару полімерних теплоізоляційних матеріалів. Метод ґрунтується на обробці ковзним різанням в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Проведені експериментальні дослідження та визначені оптимальні режими різання та параметри торцювого різучого інструменту

Ключеві слова: якість поверхневого шару, теплоізоляційні матеріали, ковзне різання, експериментальні дослідження, оптимальні режими різання

Надійшла до редколегії 19.05.2011р.