

Хавин Г.Л.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНАШИВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА  
ПРИ ТОЧЕНИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Изнашивание инструмента по истечении некоторого времени обработки, вызывает ухудшение качества обработанной поверхности (появление различного рода дефектов) и выкрашиванию режущей кромки инструмента. При обработке ПКМ принят технологический критерий износа [1], смысл которого заключается в назначении предельной величины изменения какого-либо параметра геометрии инструмента, гарантирующей при заданных режимах обработки необходимое качество обработанной поверхности.

Основным видом износа при механической обработке ПКМ является образование площадки по задней поверхности инструмента в результате трения последней по обрабатываемому материалу. В качестве критерия изнашивания или критерия затупления инструмента принимается значения величины износа по задней поверхности инструмента [2,3]. Несмотря на имеющиеся в литературе экспериментальные исследования изнашивания инструмента при различных видах обработки ПКМ [1–6], теоретическое обобщение имеющихся результатов отсутствует. Поэтому, несмотря на многообразие типов ПКМ и видов механической обработки, дальнейшее углубленное изучение процесса изнашивания режущей кромки инструмента и обобщение результатов с целью создания математических моделей, является актуальной задачей, которая имеет практическую ценность.

При механической обработке большинства ПКМ имеет место абразивный износ инструмента. Закон изнашивания в этом случае чаще всего записывается в виде линейной зависимости скорости (интенсивности) изнашивания от контактного давления [7]. Предполагается, что по истечению некоторого начального момента времени, скорость изнашивания становится постоянной и не зависит от времени контактного взаимодействия.

Таким образом, период интенсивного изнашивания имеет небольшую продолжительность во времени, в зависимости от режима резания. Основное время работы инструмента сопровождается изнашиванием с постоянной скоростью, что подтверждается экспериментальными данными различных авторов [2–4]. При этом контактное давление практически неизменная величина, а величина износа линейно зависит от времени. Тогда соотношение для периода стационарного изнашивания можно представить в виде

$$\frac{\partial w(Q, \tau)}{\partial \tau} = K_w V^m(Q) p(Q, \tau), \quad (1)$$

где  $w$  – величина износа в точке  $Q$  контактирующих поверхностей;  $p$  – контактное давление;  $V$  – скорость контактного взаимодействия;  $\tau$  – время взаимодействия;  $K_w$  – коэффициент изнашивания.

Определяющим в соотношении (1), при постоянной скорости взаимодействия, является распределение контактного давления, которое меняется с течением времени и зависит от истории контактного взаимодействия, т.е. носит наследственный характер.

Примем допущение, что геометрические параметры режущего инструмента в процессе резания не меняются по отношению к первоначально заданным значениям. Последнее предположение, скорее всего, не выполняется, так как имеются данные о существенном изменении переднего угла, вплоть до отрицательных значений, чем собственно и объясняется ухудшение условий резания [1]. Однако учитывать в постановке задачи изменение геометрических параметров резца на данном этапе является невозможным физически и математически.

В настоящее время в теории изнашивания упругих тел широко используется две модели: стареющего тела и наследственная модель. В модели стареющего тела предполагается, что коэффициент изнашивания  $K_w$  есть некоторая функция времени  $K_w = K_w(\tau)$ . Наследственная модель учитывает релаксацию вклада в общий износ за время  $T$  всех предшествующих возмущений в моменты времени  $\tau$  с помощью функции памяти  $K_w(T - \tau)$

$$w = \int_0^{\tau^*} K_w(T - \tau) \cdot V^m \cdot p(\tau) d\tau.$$

Как известно из практики, при точении большинства ПКМ термонапряженное состояние инструмента по мере его износа хотя и усиливается, но к разрушению вершины инструмента не приводит. Поэтому, так как катастрофический износ инструмента отсутствует, в качестве главного требования ограничивающего износ инструмента применяется требование к качеству обработанной поверхности. Учитывая также, что в большинстве случаев обработка ПКМ проводится без черновых и получистовых проходов, за один чистовой проход, то к шероховатости поверхности деталей предъявляется требование не ниже 4-го класса [1] (для большинства стеклопластиков и углепластиков).

Обеспечение такого класса чистоты гарантируется путем контроля над износом инструмента по задней поверхности, который принимается за критерий затупления. Эта величина принята как наиболее доступная измерению и контролю, хотя физически изнашивание происходит за счет округления режущей вершины инструмента. Проведенные экспериментальные исследования показали, что для большинства стеклопластиков и углепластиков различного типа армирования, износ инструмента по задней поверхности при их обработке не должен превышать 0,25 мм. При этом гарантированное качество обработанной поверхности не ниже 4-го класса достигается при износе инструмента не более 0,2 мм.

В монографии [1] приведены экспериментальные данные по влиянию продолжительности резания на износ резца при точении стеклопластика ЭФБ-П при различных скоростях, подачах и глубинах резания. Если обратиться к этим экспериментальным данным, то можно заметить, что при изменении одного из параметров при фиксированных других, экспериментальные точки зависимости износа по задней площадке резца от времени работы с достаточной степенью точности ложатся на две прямых. Первая описывает накопление износа в начальный период, который занимает несколь-

ко минут с момента начала обработки. Вторая прямая характеризует дальнейшее накопление износа в процессе обработки. Такой график и аппроксимация кривых представлен, например, в работе [8].

Начальный период работы заточенного инструмента (приработка) характеризуется высокой интенсивностью изнашивания в течение короткого промежутка времени. Для стационарного изнашивания (второй этап) будем полагать линейную зависимость скорости изнашивания от контактного давления.

После обработки экспериментальных данных на этапе приработки получим формулу для вычисления величины износа  $w_1$ , мм на этом участке

$$w_1 = 1,376 \cdot 10^{-4} \cdot V^{1,216} \cdot s^{0,354} \cdot t^{0,259} \cdot \tau, \quad (2)$$

где  $V$  – скорость резания, м/мин;  $t$  – глубина резания, мм;  $s$  – подача, мм/об;  $\tau$  – время обработки, мин.

Для этапа стационарного изнашивания получим  $w_2$

$$w_2 = 1,117 \cdot 10^{-7} \cdot V^{2,347} \cdot s^{0,428} \cdot t^{0,578} \cdot (\tau + \tau_0), \quad (3)$$

где  $\tau_0$  – время «запаздывания», мин., наступления стационарного износа, т.е. время изнашивания по закону (3), за которое значение износа достигает величины износа на этапе приработки.

Экспериментальные данные по влиянию режимов резания на изнашивание инструмента по задней поверхности получены при точении твердосплавным резцом ВКЗМ стеклопластиков марок ЭФБ-П. Начальные геометрические параметры инструмента принимались:  $\alpha = 25^\circ$  – задний угол;  $\gamma = 10^\circ$  – передний угол;  $\varphi = 45^\circ$  – главный угол в плане;  $r_0 = 1$  – начальный радиус округления режущей кромки резца, мм.

Если обозначить  $K_1 = 1,376 \cdot 10^{-4} \cdot V^{1,216} \cdot s^{0,354} \cdot t^{0,259}$  из соотношения (2) и  $K_2 = 1,117 \cdot 10^{-7} \cdot V^{2,347} \cdot s^{0,428} \cdot t^{0,578}$  из соотношения (3), то время приработки  $\tau_b$ , мин, в зависимости от технологических параметров можно определить из выражения

$$\tau_b = \frac{K_2 \tau_0}{K_1 - K_2}. \quad (4)$$

Зависимость времени приработки  $\tau_b$  от скорости и подачи при точении стеклопластика представлена на рис.1, из которого следует, что при заданной глубине резания время приработки тем больше, чем выше скорость и больше подача. Аналогичная закономерность наблюдается и для меньших глубин резания, например для  $t = 1,5$  мм, рис.2.

Однако наиболее важным является определение величины изнашивания по задней поверхности инструмента за время приработки. Для данных представленных на рис.1 построена диаграмма зависимости износа по задней поверхности от режимных параметров обработки за время приработки.

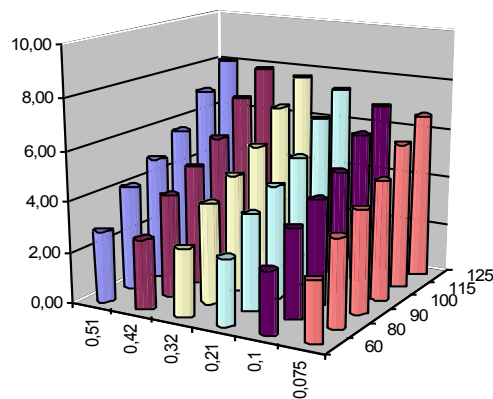


Рисунок 1 – Зависимость времени приработки (мин) инструмента от скорости (м/мин) и подачи (мм/об) при точении стеклопластика ЭФБ-П на глубину 5 мм

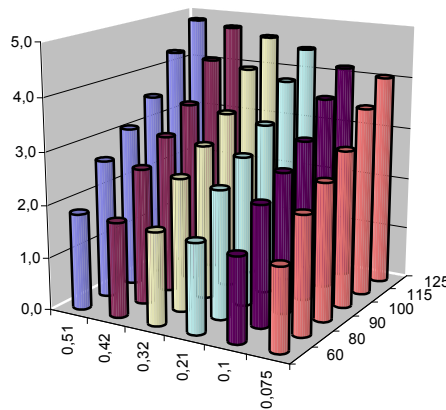


Рисунок 2 – Зависимость времени приработки (мин) инструмента от скорости (м/мин) и подачи (мм/об) при точении стеклопластика ЭФБ-П на глубину 1,5 мм

В конечном счете, наиболее важной является задача определения общего допустимого времени работы инструмента при заданном предельном значении износа по задней поверхности  $[h_z]$ . Общее время может быть рассчитано из соотношения

$$[\tau] = \frac{[h_z] - K_1 \cdot \tau_b}{K_2} + \tau_b. \quad (5)$$

Соотношение (5) справедливо, если за время приработки износ по задней поверхности не превышает предельно допустимый. В противном случае допустимое время работы вычисляется непосредственно из выражения (2). Так значения допустимого времени работы инструмента для скорости 125 м/мин и подачах 0,51 и 0,42 мм/об рассчитаны и представлены на диаграмме (рис. 4) именно таким образом.

Зависимость допустимого общего времени работы инструмента при заданном предельном значении изнашивания по задней поверхности  $[h_z]=0,17$  мм от параметров точения представлена на рис. 4.

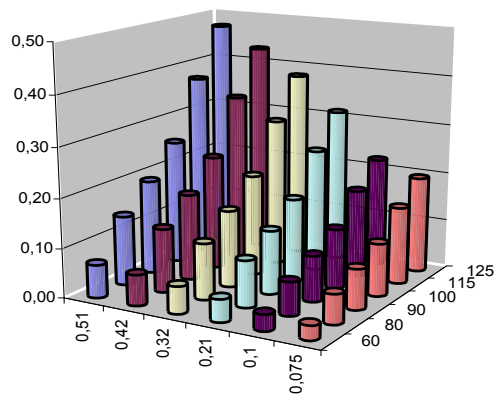


Рисунок 3 – Зависимость величины изнашивания по задней поверхности инструмента от скорости (м/мин) и подачи (мм/об) при точении стеклопластика ЭФБ-П на глубину 5 мм за времени приработки

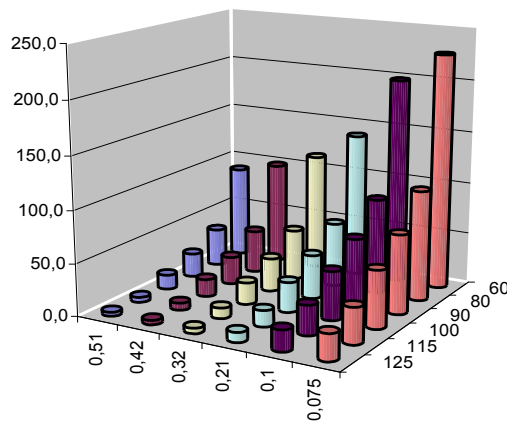


Рисунок 4 – Зависимость допустимого времени работы инструмента при заданной предельной величине изнашивания по задней поверхности инструмента  $[h_z]=0,17$  мм от скорости и подачи при точении стеклопластика ЭФБ-П на глубину 1,5 мм

Приведенные данные количественно подтверждают известные качественные выводы, наблюдаемые экспериментально, а именно:

- наибольшее влияние на изнашивание оказывает скорость обработки изделия;
- увеличение подачи и скорости резания приводит к резкому увеличению износа во время приработки (осыпание и выкрашивание режущей кромки инструмента);
- работа инструмента при скоростях выше 100 м/мин. и подачах свыше 0,21 мм/об, с точки зрения стойкости инструмента нежелательна;
- в качестве рационального способа обработки можно рекомендовать двухрежимную обработку с этапом приработки на малых скоростях и подачах и дальнейшей интенсификацией съема припуска на этапе стационарного изнашивания инструмента.

Работа выполнена в рамках проекта М2307 финансируемого министерством образования и науки Украины.

Литература

1. Руднев А.В., Королев А.А. Обработка резанием стеклопластиков.– М.: Машиностроение, 1969.– 119 с.
2. Семко М.Ф., Сустан Г.К., Дрожжин В.И. Обработка резанием электроизоляционных материалов. – М.: Энергия, 1974.– 176 с.
3. Штучный Б.П. Обработка резанием пластмасс. – М.: Машиностроение, 1974.– 144 с.
4. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987.– 176 с.
5. Буловский П.И., Петрова Н.А. Механическая обработка стеклопластиков. – Л.: Машиностроение, 1969.– 152 с.
6. Тихомиров Р.А., Николаев В.И. Механическая обработка пластмасс. – Л.: Машиностроение, 1975.– 206 с.
7. Горячева И.Г., Добычин Н.М. Контактные задачи в трибологии.– М.: Машиностроение, 1988.– 256 с.
8. Хавин Г.Л. Моделирование абразивного износа инструмента при точении армированных композиционных материалов // Вісник НТУ “ХПІ”. Зб. наук. праць. Тематичний вип.: Технології в машинобудуванні.– Харків: НТУ “ХПІ”.– 2008.– №22.– С. 66–76.

УДК 621.91

Хавін Г.Л.

**МОДЕЛЮВАННЯ ЗНОШУВАННЯ ІНСТРУМЕНТА  
ПРИ ТОЧІННІ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Розглянуто модель абразивного зносу вершини інструменту при точінні армованих композиційних матеріалів. Припускається, що зношування носить спадковий характер і має місце статева залежність швидкості зносу від швидкості контактної взаємодії та лінійна залежність від удільного тиску. Використовуючи експериментальні дані, одержана емпірична залежність зношування вершини інструменту по задній площині від швидкості, подачі та глибини різання. Проведено аналіз одержаних результатів.

Khavin G.

**THE TOOL WEAR SIMULATION DURING POLIMER  
COMPOSITE MATERIALS TURNING**

The model of tool corner abrasion for turning of reinforced composite materials is considered. The dependence magnitude of wear has congenital character is supposed. The power low between wear velocity and velocity of contact interaction, and linear low between wear velocity and specific pressure is take place. Using experimental data the empirical relationship between of tools wear and cutting velocity, advance of cutter and cutting depth is obtained. The analyses of these relations are provided.