УДК 621.91

В.Ю. АНТОНЕЦ, Г.Л. ХАВИН

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Для экспериментальных данных построена статистическая модель с использованием методов регрессионного анализа. Рассмотрены квадратичная и степенная зависимости. Получено, что скорость обработки слабо влияет на величину силы резания. Квадратичная зависимость предпочтительнее, чем степенная для приближения данных. Степенная зависимость удобнее в использовании как аналитическое выражение.

The statistical model which used regression analysis method for experimental data is obtained. The squared relationship and the power law depentanizer are considered. The cutting speed is weakly influence for the cutting force. The squared relationship is more preference then the power law depentanizer. The power law depentanizer is more suitable as an analytical expression.

В работе [1] представлены экспериментальные данные по влиянию режимов резания на составляющую силы резания P_z при точении твердосплавным резцом ВКЗМ стеклопластиков марок ЭФБ-П. Начальные геометрические параметры инструмента принимались: $\alpha = 12^\circ$ - задний угол; $\gamma = 0^\circ$ - передний угол; $\varphi = 45^\circ$ - главный угол в плане; $r_0 = 1$, мм.

Для приведенных данных была построена статистическая модель с использованием методов регрессионного анализа. Экспериментальные данные приближались квадратичной и степенной зависимостями вида

$$P_z = \beta_0 + \beta_1 V + \beta_2 s + \beta_3 t + \beta_{11} V^2 + \beta_{22} s^2 + \beta_{33} t^2 \text{ - квадратичная,}$$

$$\ln P_z = \beta_0 + \beta_1 ln(V) + \beta_2 ln(s) + \beta_3 \ln(t) \text{ - прологарифмированная степенная.}$$

Для квадратичной зависимости было получено оценочное уравнение регрессии

$$\widehat{P}_z = -7{,}531 - 0{,}02 \cdot V + 52{,}291 \cdot s + 5{,}574 \cdot t + 7{,}56 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 40{,}525 \cdot s^2 + 0{,}042 \cdot t^2 .$$

Общий F-критерий равен 287,528, что превышает критическую точку $F(1-\alpha;6;10) = 3,217$, при $\alpha = 0,05$, т.е. регрессия существенно значима. Это подтверждается близким к единице значением множественного коэффициента детерминации $R^2 = 0,994$. Для проверки гипотезы о значимости отдельных коэффициентов были рассчитаны t - критерии: $t_0 = 4{,}341$, $t_1 = 1{,}235$, $t_2 = 7{,}365$, $t_3 = 7{,}139$, $t_{11} = 1{,}077$, $t_{22} = 3{,}512$, $t_{33} = 0{,}31$. После сравнения с критической точкой t - распределения $t(1-\alpha/2,10) = 2{,}228$ при $\alpha = 0,05$ было принято решение об исключения из модели члена $\beta_{33} t^2$.

Для модели

$$P_z = \beta_0 + \beta_1 V + \beta_2 s + \beta_3 t + \beta_{11} V^2 + \beta_{22} s^2 + \varepsilon$$

оценочное уравнение регрессии имеет вид

$$\widehat{P}_z = -7{,}855 - 0{,}02 \cdot V + 52{,}614 \cdot s + 5{,}811 \cdot t + 7{,}159 \cdot 10^{-5} V^2 - 41{,}133 \cdot s^2 .$$

Общий F-критерий равен 375,901, что превышает критическую точку $F(1-\alpha;5;11) = 3{,}204$, при $\alpha = 0{,}05$, т.е. регрессия существенно значима. Множественный коэффициент детерминации $R^2 = 0{,}994$. Для проверки гипотезы о значимости отдельных коэффициентов были рассчитаны t - критерии: $t_0 = 5{,}919$, $t_1 = 1{,}253$, $t_2 = 7{,}82$, $t_3 = 38{,}893$, $t_{11} = 1{,}083$, $t_{22} = 3{,}776$. После сравнения с критической точкой t - распределения $t(1-\alpha/2,11) = 2{,}201$ при $\alpha = 0{,}05$ было принято решение об исключения из модели члена $\beta_{11} V^2$.

Для модели

$$P_z = \beta_0 + \beta_1 V + \beta_2 s + \beta_3 t + \beta_{22} s^2 + \varepsilon$$

оценочное уравнение регрессии таково

$$\widehat{P}_z = -8{,}778 - 3{,}366 \cdot 10^{-3} \cdot V + 54{,}098 \cdot s + 5.779 \cdot t - 43{,}927 \cdot s^2 .$$

Общий F-критерий равен 462,943, что превышает критическую точку $F(1-\alpha;4;12) = 3{,}259$, при $\alpha = 0{,}05$, т.е. регрессия существенно значима. Множественный коэффициент детерминации равен $R^2 = 0{,}994$. Для проверки гипотезы о значимости отдельных коэффициентов были рассчитаны t -критерии: $t_0 = 8{,}575$, $t_1 = 0{,}744$, $t_2 = 8{,}154$, $t_3 = 39{,}193$, $t_{22} = 4{,}122$. После сравнения с критической точкой t - распределения $t(1-\alpha/2,12) = 2{,}179$ при $\alpha = 0{,}05$ было принято решение об исключения из модели члена $\beta_1 V$.

Для модели

$$P_z = \beta_0 + \beta_1 V + \beta_2 s + \beta_3 t + \beta_{22} s^2 + \varepsilon$$

оценочное уравнение регрессии имеет вид

$$\widehat{P}_z = -9{,}114 + 54{,}01 \cdot s + 5{,}781 \cdot t - 43{,}763 \cdot s^2 .$$

Общий F-критерий равен 639,018, что превышает критическую точку $F(1-\alpha;3;13) = 3{,}411$, при $\alpha = 0{,}05$, т.е. регрессия существенно значима. Множественный коэффициент детерминации равен $R^2 = 0{,}993$. Для проверки гипотезы о значимости отдельных коэффициентов были рассчитаны t -критерии: $t_0 = 10{,}09$, $t_2 = 8{,}286$, $t_3 = 39{,}902$, $t_{22} = 4{,}18$, что говорит о значимости всех коэффициентов, так как критическая точка t - распределения $t(1-\alpha/2,13)=2,16$.

График распределения остатков в зависимости от предсказываемых значений отклика, представленный на рис.1, не позволяет выявить какую-либо закономерность, поэтому модель $\widehat{P}_z = -9,114+54,01\cdot s+5,781\cdot t-43,763\cdot s^2$ может использоваться для прогнозирования.

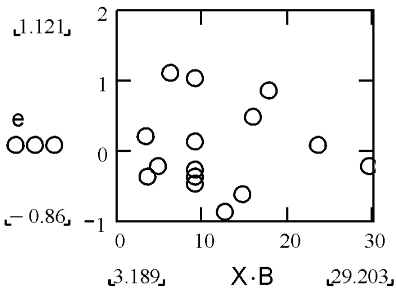

Рис. 1 - График распределения остатков в зависимости от предсказываемых значений отклика для модели вида $P_z = \beta_0 + \beta_2 s + \beta_3 t + \beta_{22} s^2 + \varepsilon$

Если постулируется модель

$$P_z = \beta_0 V^{\beta_1} s^{\beta_2} t^{\beta_3} \varepsilon ,$$

которая является внутренне линейной, то она может быть линеаризована, например, логарифмированием по натуральному основанию

$$\ln P_z = \beta_0 + \beta_1 ln(V) + \beta_2 ln(s) + \beta_3 \ln(t) + \ln(\varepsilon) .$$

В этом случае полагается, что отклонение логарифма каждой величины y_i от ее математического ожидания представляет собой нормально распределенную случайную величину с математическим ожиданием равным нулю и дисперсией равной σ^2, т.е. $\ln(\varepsilon_i) \sim N(0,\sigma^2)$. Это допущение вводится для того, чтобы не нарушались предпосылки регрессионного анализа. Статистический анализ полученного оценочного уравнения регрессии проводится для преобразованной модели.

Для модели вида

$$\ln P_z = \beta_0 + \beta_1 ln(V) + \beta_2 ln(s) + \beta_3 \ln(t) + \ln(\varepsilon)$$

было получено оценочное уравнение регрессии

$$\widehat{\ln(P_z)} = 3,353-0,053\cdot \ln(V) + 0,851\cdot \ln(s) + 0,951\cdot \ln(t) .$$

Общий F - критерий равен 159,594, что превышает критическую точку $F(1-\alpha;3;13)=3,411$, при $\alpha = 0,05$, т.е. регрессия существенно значима. Множественный коэффициент детерминации равен $R^2 = 0,974$. Для проверки гипотезы о значимости отдельных коэффициентов были рассчитаны t - критерии: $t_0 = 10{,}759$, $t_1 = 0{,}828$, $t_2 = 13{,}403$, $t_3 = 17{,}368$. После сравнения с критической точкой t - распределения $t(1-\alpha/2,13) = 2{,}16$ при $\alpha = 0{,}05$ было принято решение об исключения из модели члена $\beta_1 ln(V)$.

Для модели вида

$$\ln P_z = \beta_0 + \beta_2 ln(s) + \beta_3 \ln(t) + \ln(\varepsilon)$$

было получено оценочное уравнение регрессии

$$\widehat{\ln(P_z)} = 3{,}11 + 0{,}851 \cdot \ln(s) + 0{,}95 \cdot \ln(t).$$

Общий F - критерий равен 244,526, что превышает критическую точку $F(1-\alpha;2;14) = 3{,}739$, при $\alpha = 0{,}05$, т.е. регрессия существенно значима. Множественный коэффициент детерминации равен $R^2 = 0{,}972$. Для проверки гипотезы о значимости отдельных коэффициентов были рассчитаны t - критерии: $t_0 = 29{,}918$, $t_2 = 13{,}552$, $t_3 = 17{,}552$, что говорит о значимости всех коэффициентов, так как критическая точка t - распределения равна $t(1-\alpha/2,14) = 2{,}145$.

График распределения остатков в зависимости от предсказываемых значений отклика, представленный на рис.2, не позволяет усмотреть какую-либо неадекватность в представлении преобразованных данных поученным уравнением регрессии.

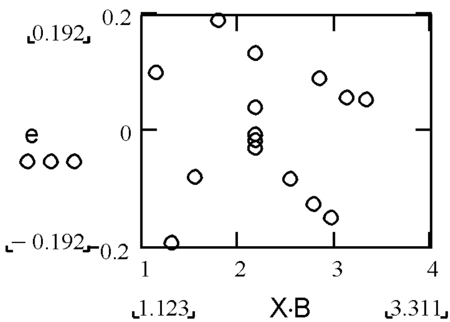

Рис. 2 - График распределения остатков в зависимости от предсказываемых значений отклика для модели вида $\ln P_z = \beta_0 + \beta_2 ln(s) + \beta_3 \ln(t) + \ln(\varepsilon)$

Анализируя полученные результаты по видам моделей можно сделать следующие выводы: скорость движения детали очень слабо влияет на осевую составляющую силы резания; квадратичная модель предпочтительнее чем степенная, так как использует не преобразованные данные и обеспечивает большее чем в два раза значение общего F-критерия значимости регрессии.

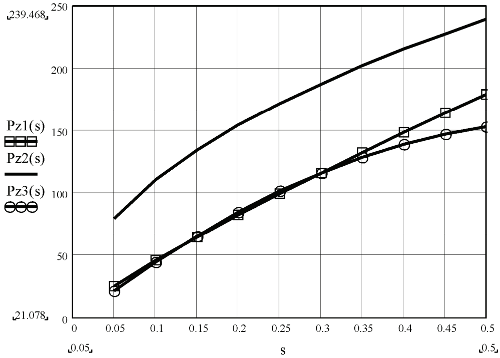

Рис. 3 – Графики зависимости составляющей силы резания P_z, Н стеклопластика ЭФБ-П от подачи S, мм/об для глубины резания $t = 1,5$ мм и скорости $V = 100$ мм/мин: $Pz1(s)$ - степенная; $Pz2(s)$ - степенная из работ [4,5]; $Pz3(s)$ - квадратичная.

На рис.3 можно видеть существенное расхождение значений составляющей силы резания P_z, вычисленных непосредственно по экспериментальным данным для стеклопластика ЭФБ-П и по обобщенным формулам для точения стеклопластиков [4,5]. Данное обстоятельство влечет за собой расхождение при определении величины износа в процессе работы инструмента и, следовательно, стойкости инструмента.

Таким образом, в отличие от точения металлических материалов, обобщенные формулы для величины силы резания при точении стеклопластиков следует применять с большой осторожностью. Применение соотношений силы для силы резания при обработке конкретного материала в прогнозировании изнашивания инструмента по задней поверхности может быть только при использовании экспериментальных данных для этой величины.

Работа выполнена в рамках проекта М2306 финансируемого министерством образования и науки Украины.

Список литературы: 1. Руднев А.В., Королев А.А. Обработка резанием стеклопластиков.- М.: Машиностроение, 1969.- 119 с. 2. Горячева И.Г., Добычин М.Н. Контактные задачи в трибологии.- М.: Машиностроение, 1988.- 256 с. 3. Семко М.Ф., Сустан Г.К., Дрожжин В.И. Обработка резанием электроизоляционных материалов. – М.: Энергия, 1974.- 176 с. 4. Штучный Б.П. Обработка резанием пластмасс. – М.: Машиностроение, 1974.- 144 с. 5. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. – Л.: Машиностроение. Ленигр. отд-ние, 1987.- 176 с. 6. Буловский П.И., Петрова Н.А. Механическая обработка стеклопластиков. – Л.: Машиностроение, 1969.- 152 с. 7. Тихомиров Р.А., Николаев В.И. Механическая обработка пластмасс. – Л.: Машиностроение, 1975.- 206 с.

Надійшла до редколегії 21.04.08