

УДК 621.91.01

РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ПО АНАЛИЗУ УСИЛИЙ РЕЗАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ DEFORM

Быданов В. В., Алексеев В. П., Хаймович А. И.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

В процессе использования численного моделирования при проектировании процессов механической обработки остро встаёт вопрос об определении реологических свойств обрабатываемого материала. Свойства материала в зоне обработки, как правило, задаются определяющими соотношениями (феноменологическая модель), устанавливающими связь между напряжённым, деформированным состоянием и температурными полями. Одним из методов определения этих соотношений является метод обратного (реверсивного) инжиниринга, основанный на методе конечных элементов.

Целью данной работы является определение коэффициентов феноменологической модели свойств жаропрочного материала 10X11H23TZMP-BD (ЭПЗЗ-BD) методом реверс-инжиниринга свойств материала по анализу усилий резания с помощью программного обеспечения Deform.

Методика реверс-инжиниринга свойств материала по усилиям резания подробно описана в работе [1]. Сущность метода заключается в нахождении коэффициентов феноменологической модели, при которых разница между результатами (величина усилий резания) численного моделирования и экспериментальными данными стремится к нулю.

В качестве феноменологической модели свойств материала используется широко известная модель Джонсона-Кука, которая выражается зависимостью:

$$\sigma = (A + B\varepsilon_2^n) \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}_2}{(\dot{\varepsilon}_2)_0} \right) \right] \left(\frac{\dot{\varepsilon}_2}{(\dot{\varepsilon}_2)_0} \right)^\alpha \left(D - E \left(\frac{T - T_{room}}{T_{melt} - T_{room}} \right)^m \right), \quad (1)$$

где ε_2 – эффективная степень деформации; $\dot{\varepsilon}_2$ – эффективная скорость деформации; T – температура материала в зоне резания, °С.

Коэффициенты модели определяются из соотношений:

$$\bar{F}_i = \frac{F_{(v_i, s=const, t=const)}}{F_{(v_{i \neq j}, s=const, t=const)}}; \quad (2)$$

$$\bar{F}_i = \frac{\left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}_{2i}}{(\dot{\varepsilon}_2)_0} \right) \right] \left(\frac{\dot{\varepsilon}_{2i}}{(\dot{\varepsilon}_2)_0} \right)^\alpha \left(D - E \left(\frac{k_{F0} + k_{F1} F_i - T_{room}}{T_{melt} - T_{room}} \right)^m \right)}{\left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}_{2j}}{(\dot{\varepsilon}_2)_0} \right) \right] \left(\frac{\dot{\varepsilon}_{2j}}{(\dot{\varepsilon}_2)_0} \right)^\alpha \left(D - E \left(\frac{k_{F0} + k_{F1} F_j - T_{room}}{T_{melt} - T_{room}} \right)^m \right)} \cdot \frac{\left[1 + \left(\frac{1}{\sqrt{3}} + \mu(k_{\sigma\gamma})_i k_\gamma \right) \left(\frac{1}{k_{A1}} \right)_i \right]}{\left[1 + \left(\frac{1}{\sqrt{3}} + \mu(k_{\sigma\gamma})_j k_\gamma \right) \left(\frac{1}{k_{A1}} \right)_j \right]}, \quad (3)$$

где \bar{F}_i – отношение усилий резания, полученных из экспериментов при различных скоростях резания при равных подаче и глубине резания; F_i, F_j – соответственно усилия резания при i -ом и j -ом экспериментах, Н; μ – коэффициент трения по Зибелю; $k_{\sigma\gamma}$ – относительное нормальное напряжение в области трения скольжения, МПа; k_γ – отношение длин участков трения с адгезией и трения скольжения на передней поверхности; k_{A1} – приведённая скорость деформации, характеризующая форму очага пластической деформации в зависимости от переднего угла инструмента γ , угла

наклона адиабатической плоскости сдвига Φ и длины трения с адгезией по передней грани.

Коэффициенты k_{F0} , k_{F1} , определяются из предположения, что температура есть функция усилия $T_i = T_i(F_i)$. Предполагая, априори, линейный характер зависимости, имеем:

$$T_i = k_{F0} + k_{F1}F_i. \quad (4)$$

Коэффициенты k_{F0} , k_{F1} при подстановке в (2) являются зависимыми, поэтому для их адекватного определения необходимо дополнительное условие, в нашем случае ограничение по значениям температуры:

$$k_{F0} + k_{F1}F_i > T_{room} = 20^0 C. \quad (5)$$

Значения $\dot{\epsilon}_2, \Gamma$, а также коэффициентов $k_{\sigma}, k_{\gamma}, k_{A1}$, входящих в (3), определяются по результатам численного моделирования процесса резания материала-аналога в САЕ-системе Deform 2D. Моделирование производилось для диапазона скоростей резания 45-75 м/мин, подача на зуб — 0,1-0,2 мм/зуб, глубина резания от 0,1 – 0,5 мм в соответствии с планом экспериментальных исследований.

В качестве материала-аналога использовался жаропрочный сплав на никелевой основе Inconel 718 (Ni+Co 50-55%, Cr 17-21%, Mo 2,8-3,3%, Nb 4,75-5,5%, Al 0,65-1,15%, Ti 0,65-1,15%), параметры которого представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры модели Джонсона-Кука для материала-аналога Inconel 718

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>n</i>	<i>C</i>	<i>m</i>
1000	458	0,18	0,0105	2,3

Для определения параметров вязкопластического упрочнения (коэффициент *C*), в первом приближении берутся свойства материала, учитывающие деформационное упрочнение, полученные в результате статических испытаний на разрывной машине. То есть значения коэффициентов *D*, *E*, *m* принимаются равными: *D*=1, *E*=0, *m*=0. Коэффициенты α и $(\dot{\epsilon}_2)_0$ принимаются равными: $\alpha=0$, $(\dot{\epsilon}_2)_0 = 1$. Коэффициент трения по Зибелю $\mu=0,12$.

Значение параметров деформационного упрочнения (коэффициенты *A*, *B*, *n*) определяются по результатам испытаний на растяжение, либо у материала-аналога.

Применяя регрессионный анализ, из уравнений (3) и (4) были получены следующие значения неизвестных коэффициентов *C*, k_{F0} , k_{F1} :

$$C=0,0159; k_{F0}=261,796; k_{F1}=0,95. \quad (6)$$

Подставляя значения найденных коэффициентов в (1), получим модель реологических свойств материала. Коэффициенты модели в дальнейшем уточняются посредством проведения дополнительных расчётов в САЕ-системе Deform 2D путём сопоставления экспериментальных значений усилий резания с расчётными.

Библиографический список

1. Khaymovich A.I., Balyakin A.V., Kondratev A.I. Methodology of rheological material properties phenomenological modeling at high speed cutting by reverse analysis // Research Journal of Applied Sciences. 2014. 9(11). P. 753-760.