

Сопротивление сплавов на никелевой основе резанию при адиабатических условиях деформирования

Д. С. Губин, А. А. Крутько

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены основополагающие уравнения, связывающие изменение свойств материала в процессе резания сплавов на никелевой основе под воздействием температуры, деформации и скорости деформации.

Ключевые слова: резание труднообрабатываемых материалов, кривая течения.

Актуальность. Из опытов по растяжению металла известно, что предел текучести снижается с ростом температуры, что может быть охарактеризовано кривой течения [3, 5] (рис. 1):

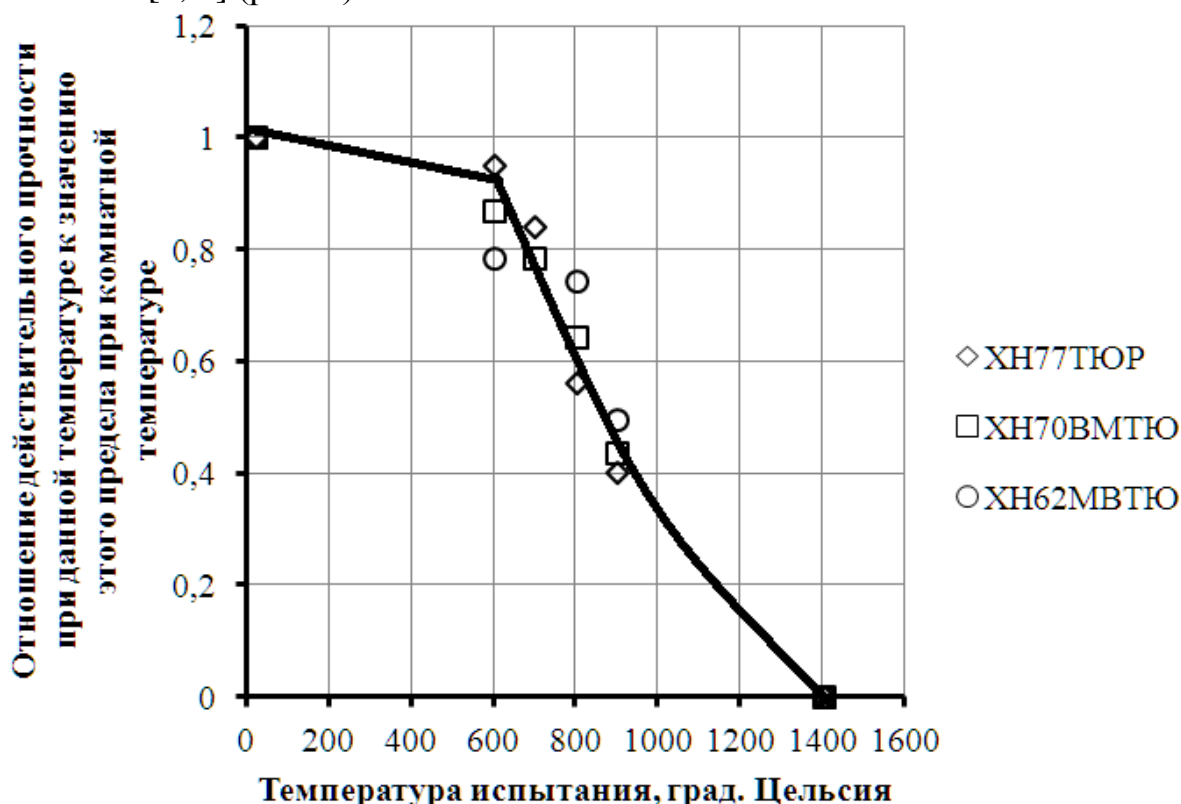


Рисунок 1. Механические характеристики жаропрочных никелевых сплавов

При проведении опытов с малыми деформациями, скоростями деформациями, несущественно изменяющейся температуре закон простого нагружения, кривая течения описывается функциями вида [5]:

$$\sigma_T(\varepsilon) = \sigma_0 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^m \quad \text{или} \quad \tau_T(\varepsilon) = \tau_0 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^m, \quad (1)$$

где τ_T – предел текучести на сдвиг, $\tau_T = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}}$, ε_0 – деформация, соответствующая напряжению σ_0 , ε – текущее значение деформации, m – эмпирическая константа.

При резании жаропрочных сплавов на никелевой основе, в результате больших пластических деформаций, и вследствие этого больших температур, происходит изменение свойств обрабатываемого материала. Механизм зависимости свойств обрабатываемого материала при резании от температуры мало изучен. Помимо температуры на изменение свойств материала при резании может оказывать влияние деформация и скорость деформации.

В связи с этим является актуальной задача выявления связей температуры и свойств обрабатываемого материала при резании, что является важной особенностью для понимания сущности процесса резания, приводящая к разработке универсальных методов расчета свойств материала.

Состояние вопроса. Большинство исследователей придерживаются гипотезы о независимости предела текучести обрабатываемого материала от деформации, скорости деформации и температуры. [4]. В частности, М. А. Зайков для процессов горячей обработки металлов предложил обобщающее уравнение вида:

$$\sigma = \sigma_0 e^{\beta(1-T')} \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right)^{\alpha T'(1-\varepsilon^{-\nu})}, \quad (2)$$

где T' – гомологическая температура, α , ν , β – постоянные для данного материала.

Влияние температуры, деформации, скорости деформации различными исследователями учитывалось введением в уравнение соответствующих множителей [1, 4, 5]. В частности, для резания металлов широко применяемое определяющее уравнение Джонсона и Кука имеет вид [1]:

$$\sigma = \left(A + B \varepsilon_p^n \right) \left(1 + c \ln \frac{\dot{\varepsilon}_p}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \left(1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right), \quad (3)$$

где ε_p – эффективная пластическая деформация, T_m – температура плавления, T_r – комнатная температура, A , B , c , n , m , ε_0 – параметры модели,

$K_{\dot{\varepsilon}} = 1 + c \ln \frac{\dot{\varepsilon}_p}{\dot{\varepsilon}_0}$ – коэффициент динамичности, учитывающий влияние отношения текущего значения скорости деформации $\dot{\varepsilon}$ к минимальному ее значению $\dot{\varepsilon}_0$ на предел текучести.

В опытах Т.Н. Лоладзе (1982) по резанию предварительно подогретых сталей и сплавов было показано, что с увеличением температуры подогрева касательные напряжения в условной плоскости сдвига существенно уменьшаются [5].

Во всех вышеперечисленных исследованиях предполагалось, что температура деформации и скорость деформации не зависят друг от друга. Однако при резании труднообрабатываемых сплавов на никелевой основе они сложным образом зависят друг от друга.

В связи с этим при резании никелевых и титановых сплавов необходимо устанавливать и учитывать зависимости их пределов текучести от температуры.

Термомеханическая модель сопротивления никелевых сплавов пластически деформациям в адиабатических условиях.

Принимая во внимание, что основная часть теплоты, выделяющейся при деформации обрабатываемого материала в зоне стружкообразования, остается в стружке и распределяется практически равномерно по ее объему, можно принять допущение об адиабатичности условий деформации [5].

Для адиабатических условий деформации при резании уравнение, аппроксимирующее зависимость предела текучести от деформации, скорости деформации и температуры, может быть принято в виде [5]:

$$\frac{\tau_p}{S_b} = A \varepsilon_p^m K_{\dot{\varepsilon}} \exp(-B \Delta T'), \quad (4)$$

Учитывая, что предел текучести можно представить как зависимость удельной работы по деформации, то уравнение (4) можно записать в виде:

$$\frac{\tau_p}{S_{b_0}} = \frac{dA_w}{d\varepsilon_p} = AK_{\dot{\varepsilon}} \varepsilon_p^m \exp \left[- \frac{(1 - S_{b_{\theta_0}}/S_{b_0}) A A_1 K_{\dot{\varepsilon}} K_{Pe} \varepsilon_p^{m+1}}{(T'_0 - T'_c)(m+1)} \right] \quad (5)$$

$$\text{где } K_{Pe} = \left[1 + \frac{1 - \exp(Pe * \tan \varphi_y)}{Pe * \tan \varphi_y} \right]^{-1} \quad (6)$$

Максимальные значения предела текучести, достигаются при выравнивании упрочнения и разупрочнения:

$$\frac{\tilde{\tau}_p}{S_{b_0}} = AK_{\dot{\varepsilon}} \frac{m * \exp \left(- \frac{m}{m+1} \right)}{B_{q1} \left(1 - \frac{S_{b_{\theta_0}}}{S_{b_0}} \right) A_1 K_{Pe} AK_{\dot{\varepsilon}} \tilde{\varepsilon}_\tau} \tilde{\varepsilon}_\tau = \left[\frac{m}{AK_{\dot{\varepsilon}} K_{Pe} A_1 B_{q1} \left(1 - \frac{S_{\theta_0}}{S_b} \right)} \right]^{\frac{1}{1+m}} \quad (7)$$

Расчеты, выполненные по формулам (7) и по аналогичным формулам для предела текучести на передней поверхности, показали, что при резании никелевого сплава ХН77ТЮР с прочностными характеристиками при растяжении $\sigma_{\sigma} = 1000 \text{ МПа}$; $\delta=0,2$; $m=0,3$; наибольшее значение предела текучести на сдвиг в зоне стружкообразования $\tilde{\tau} = 0,986 S_b = 1480 \text{ МПа}$ достигается при деформации $\tilde{\varepsilon}_\tau = 1,5$, а конечный истинный сдвиг при этом равен $\varepsilon_u = 2$ (рис.2):

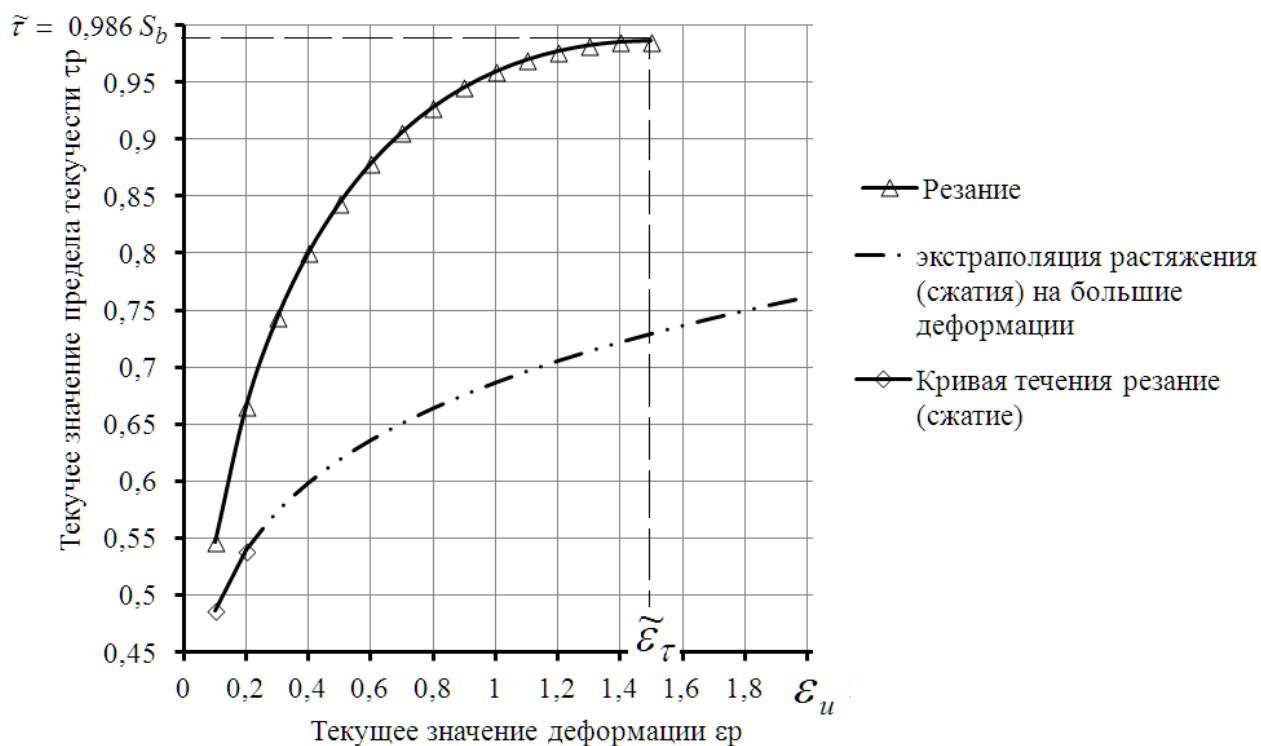


Рисунок 2 Зависимость предела текучести от конечного истинного сдвига при резании никелевого сплава

Это свидетельствует о том, что деформация обрабатываемого материала в рассматриваемых условиях резания происходит в широкой зоне стружкообразования и сопровождается упрочнением материала вплоть до стабилизации предела текучести при значениях, близких к наибольшему пределу текучести.

Представленные результаты соответствуют условиям резания при $\tau_p \leq \tilde{\tau}$. Условия резания, соответствующие $\tau_p > \tilde{\tau}$, описываются другой моделью, рассмотрение которой не является предметом настоящей статьи.

Выводы. Максимальные значения предела текучести при резании никелевых сплавов выше, чем при испытании этого же материала при статических испытаниях. Этот дает возможность использовать максимальное значение предела текучести при резании как прочностную характеристику обрабатываемого материала в условиях резания.

Библиографический список

1. Johnson G. R., Cook W. H. A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures // Proc. of 7th Symposium on Ballistics, Hague, Netherlands, 1983. P. 541-547.
2. Верещака, А. С. Резание материалов : учебник / А. С. Верещака, В. С. Кушнер. – М. : Высш. Шк., 2009. – 535 с.
3. Масленков, С. Б. Жаропрочные стали и сплавы : справ. / С. Б. Масленков. – М. : Металлургия, 1983. – 192 с.

4. Полухин П. И., Гун Г. Я., Галкин А. М. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов. М.: Metallurgy, 1983. 352 с.

5. Развитие науки о резании металлов. Колл. авт. – М.: Машиностроение, 1967. – 420 с.