

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ШЛИФОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

**Полтавец В.В.**

*(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

### Введение

Согласно теории А. Надаи, сопротивление металлов деформации  $\sigma$  описывается уравнением

$$d\sigma = \frac{\partial \sigma_m}{\partial T} dT + \frac{\partial \sigma_m}{\partial \varepsilon} d\varepsilon + \frac{\partial \sigma_m}{\partial \tau} d\tau + \frac{\partial \sigma_m}{\partial u} du, \quad (1)$$

где  $\sigma_m$  – предел текучести;

$T$  – температура;

$\varepsilon$  – относительная деформация;

$\tau$  – время деформации;

$u$  – скорость деформации.

Слагаемые уравнения (1) учитывают влияние на сопротивление деформации температуры, наклепа (относительной деформации), разупрочнения во времени, изменения напряжений в зависимости от скорости деформации с учетом вязкости металла.

До настоящего времени закономерности, необходимые для решения уравнения (1), недостаточно изучены. Поэтому на практике для определения  $\sigma$  используют экспериментальные данные в виде конкретных дискретных значений для определенных условий деформирования и марок стали или зависимости, аппроксимирующие экспериментальные данные [1].

Исследования по определению сопротивления деформации сталей и сплавов проводят с применением специальных машин, из которых наиболее распространены пластометры различного типа [2, 3]. При испытаниях на них можно воспроизвести заданный закон деформации во времени, менять степень и скорость деформации в исследуемом интервале этих параметров, производить испытания при высоких температурах, измерять усилия и величины деформации в функции времени. Тем не менее, скорости деформации, характерные для процесса механической обработки (при лезвийной обработке в зоне резания скорость деформации достигает  $10^6 \text{ с}^{-1}$ , а при шлифовании –  $10^7 \text{ с}^{-1}$ ) на пластометрах недостижимы.

По характеру наиболее значимых процессов, происходящих в металле, к резанию ближе всего холодная деформация при обработке давлением. Для этого вида обработки разработан ряд методов определения сопротивления металла деформации по данным пластометрических испытаний, из числа которых наиболее удобными при применении ЭВМ являются методы, основанные на использовании термомеханических коэффициентов [1, 4, 5]. Применение термомеханических коэффициентов дает возможность расчленить многозначную функциональную зависимость  $\sigma = f(\varepsilon, T, u)$  на ряд частных зависимостей между тремя переменными  $k_T(T)$ ,  $k_\varepsilon(\varepsilon)$ ,  $k_u(u)$ .

Целью данной работы является исследование возможности распространения метода термомеханических коэффициентов на область изменения температурно-скоростных факторов при обработке резанием на примере труднообрабатываемых средне- и высоколегированных хромоникелевых сталей.

### Основное содержание работы

Сущность метода термомеханических коэффициентов состоит в том, что сопротивление деформации определяют при средних значениях термомеханических параметров в области динамических испытаний, а затем при помощи термомеханических коэффициентов  $k_t$ ,  $k_\varepsilon$ ,  $k_u$  распространяют на всю исследуемую область динамических испытаний. Этот метод основан на усредненном значении степенного коэффициента  $k_\varepsilon$  (для  $\varepsilon = const$ ) во всей области динамических испытаний. Показано, что, несмотря на то, что  $k_\varepsilon$ , строго говоря, не является постоянным при различных значениях температуры и скорости деформации, его отклонения от номинальных значений небольшие [4].

Расчетное значение сопротивления деформации в зависимости от различных значений температуры, скорости и степени деформации В.И. Зюзиным предложено определять по следующей зависимости [4]

$$\sigma_m = \sigma_{0d} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u. \quad (2)$$

Среднее или базисное сопротивление деформации  $\sigma_{0d}$  в работах [4, 5] в динамической области деформации принято при следующих параметрах;  $t = 1000$  °С,  $\varepsilon = 0,1$  и  $u = 10$  с<sup>-1</sup>. Для этих условий и даны значения  $k_t$ ,  $k_\varepsilon$ ,  $k_u$ .

Метод термомеханических коэффициентов дает возможность расчленить многозначную функциональную зависимость  $\sigma(t, \varepsilon, u)$  на ряд зависимостей между тремя переменными  $k_t(t)$ ,  $k_\varepsilon(\varepsilon)$ ,  $k_u(u)$ . Для приведенной ниже группы средне- и высоколегированных хромоникелевых сталей и сплавов зависимость сопротивления деформации от температуры, выраженная коэффициентом  $k_t$ , может быть представлена в экспоненциальной форме  $k_t = A_1 e^{-m_1 t}$ , а зависимости коэффициентов  $k_\varepsilon$  и  $k_u$  от степени и скорости деформации – в степенной форме  $k_\varepsilon = A_2 \varepsilon^{m_2}$ ,  $k_u = A_3 u^{m_3}$ , где  $A_1, A_2, A_3, m_1, m_2, m_3$  – постоянные коэффициенты, зависящие от материала [5].

С учетом изложенного уравнение (2) представлено в работе [3] в таком виде

$$\sigma_m = A_1 A_2 A_3 \cdot e^{-m_1 t} \cdot \varepsilon^{m_2} \cdot u^{m_3} \cdot \sigma_{0d}. \quad (3)$$

Значения коэффициентов уравнения (3) приведены в табл. 1.

Таблица 1. Значения постоянных коэффициентов для определения сопротивления деформации по уравнению (3) [1]

Марка стали	$A_1 A_2 A_3 \cdot \sigma_{0d}$ , МПа	$m_1$	$m_2$	$m_3$
45	1330	0,0025	0,252	0,143
12ХН3А	2300	0,0029	0,252	0,143
40Х13	4300	0,0033	0,28	0,087
14Х17Н2	7050	0,0037	0,28	0,087
12Х18Н9Т	3250	0,0028	0,28	0,087
ХН78Т	8900	0,0032	0,35	0,098
ХН75МБТЮ	11000	0,0032	0,35	0,098
ХН70Ю	13300	0,0033	0,35	0,098
ХН50МКВЮ	15000	0,0032	0,35	0,098

Примечание. Значения термомеханических параметров таковы:  $u = 0,1-100$  с<sup>-1</sup>;  $\varepsilon = 0,05-0,40$  для сталей 45, 12ХН3А, 40Х13, 14Х17Н2, 12Х18Н9Т;  $\varepsilon = 0,05-0,25$  для остальных сталей;  $t = 1000-1200$  °С для сталей 45 и ХН50МКВЮ и  $t = 900-1200$  °С для остальных сталей и сплавов.

Наибольшее расхождение значений  $\sigma$ , определенных по зависимости (3) с коэффициентами из табл. 1, составляет 8 % по сравнению с экспериментальными данными [6].

Зависимость (3) удобно использовать при расчете параметров процесса деформирования на ЭВМ. При определении силовых параметров прокатки зависимость (3) с данными табл. 1 дает хорошие результаты [1]. Основной недостаток сведений, приведенных в работах [5, 6], заключается в небольшом количестве исследованных марок сталей.

Возможность применения метода термомеханических коэффициентов для определения механических характеристик материалов при резании проверим на примере практически совпадающих по составу пар сталей 12X18H9T и X18H10T, 12XH3A и 12X2H4A.

Уравнение (3) для стали 12X18H9T получим по данным табл. 1, приняв степень деформации  $\varepsilon = 0,20$ , а скорость деформации  $u = 10^3 \text{ с}^{-1}$ . Таким образом, зависимость сопротивления деформации стали 12X18H9T от температуры будет иметь вид:

$$\begin{aligned}\sigma_m &= 3250 \cdot e^{-0,0028t} \cdot 0,2^{0,28} \cdot 10^{3 \cdot 0,087}; \\ \sigma_m &= 3777 \cdot e^{-0,0028t}.\end{aligned}\quad (4)$$

Сопоставим значения предела текучести, рассчитанные по уравнению (4) с данными С.Н. Корчака [7] для предела прочности стали X18H10T в температурно-скоростных условиях, характерных для процесса шлифования (табл. 2).

Таблица 2. Пределы текучести стали 12X18H9T, рассчитанные с помощью термомеханических коэффициентов, и пределы прочности стали X18H10T при деформации шлифованием

Температура Т, К	Предел текучести стали 12X18H9T $\sigma_m$ , МПа (метод термомеханических коэффициентов [4])	Предел прочности стали X18H10T $\sigma_b$ , МПа (по данным С.Н. Корчака [7])	Разность значений механических ха- рактеристик ста- лей $\Delta\sigma$ , МПа
873	704	2705	2001
1073	402	1827	1425
1273	230	1358	1128
1473	131	1118	987

Аппроксимируем разность значений механических характеристик сталей 12X18H9T и X18H10T показательной зависимостью вида

$$\Delta\sigma = b \cdot m^t, \quad (5)$$

где  $b$  и  $m$  – постоянные коэффициенты.

При введении поправки вида (5) зависимость предела прочности сталей 12X18H9T и X18H10T от температуры при скорости деформации шлифованием можно представить в следующем виде:

$$\sigma_b = 3777 \cdot e^{-0,0028t} + 3850 \cdot 0,9988^t. \quad (6)$$

Определим погрешность расчета предела прочности по зависимости (6) по сравнению с экспериментальными данными С.Н. Корчака (рис. 1).

Как видно из рис. 1, в температурном диапазоне 600-1200°C применение метода термомеханических коэффициентов с учетом принятой поправки позволяет определять значения механических характеристик сталей 12X18H9T и X18H10T в условиях деформирования при шлифовании, которые весьма близки к экспериментальным данным С.Н. Корчака. Максимальная погрешность определения предела прочности при этом не превышает 7%.



Рис. 1. Предел прочности сталей 12X18H9T и X18H10T в температурно-скоростных условиях шлифования

Уравнение (3) для стали 12ХН3А получим по данным табл. 1, приняв степень деформации и скорость деформации аналогичными указанным ранее. Зависимость сопротивления деформации стали 12ХН3А от температуры будет иметь вид:

$$\sigma_m = 2300 \cdot e^{-0,0029t} \cdot 0,2^{0,252} \cdot 10^{3 \cdot 0,143};$$

$$\sigma_m = 4117 \cdot e^{-0,0029t}. \quad (7)$$

Сравним значения предела текучести, рассчитанные по уравнению (7) с данными С.Н. Корчака [7] для предела прочности стали 12Х2Н4А в температурно-скоростных условиях, характерных для процесса шлифования (табл. 3).

Таблица 3. Пределы текучести стали 12ХН3А, рассчитанные с помощью термомеханических коэффициентов, и пределы прочности стали 12Х2Н4А при деформации шлифованием

Температура Т, К	Предел текучести стали 12ХН3А $\sigma_m$ , МПа (метод термомеханических коэффициентов [4])	Предел прочности стали 12Х2Н4А $\sigma_b$ , МПа (по данным С.Н. Корчака [7])	Разность значений механических характеристик сталей $\Delta\sigma$ , МПа
873	722	1850	1127
1073	405	1247	842
1273	227	990	763
1473	127	931	804

Аналогично ранее рассмотренному случаю зависимость предела прочности сталей 12ХН3А и 12Х2Н4А от температуры при скорости деформации шлифованием при введении поправки вида (5) можно представить следующим образом:

$$\sigma_b = 4117 \cdot e^{-0,0029t} + 1441 \cdot 0,9994^t. \quad (8)$$

Определим погрешность расчета предела прочности по зависимости (8) по сравнению с экспериментальными данными С.Н. Корчака (рис. 2).



Рис. 2. Предел прочности сталей 12ХН3А и 12Х2Н4А в температурно-скоростных условиях шлифования

Как и в предыдущем случае, в соответствии с рис. 2 в температурном диапазоне 600-1200°C применение метода термомеханических коэффициентов с учетом принятой поправки позволяет определять значения механических характеристик сталей 12ХН3А и 12Х2Н4А в условиях деформирования при шлифовании. Максимальная погрешность определения предела прочности по сравнению с экспериментальными данными С.Н. Корчака составляет 11%.

### **Выводы**

1. Показана возможность определения сопротивления деформации при шлифовании с использованием термомеханических коэффициентов путём введения поправок, учитывающих скорость деформации при абразивной обработке.

2. Погрешность определения предела прочности при использовании метода термомеханических коэффициентов не превышает 10-12 % по сравнению с экспериментальными данными, полученными для температурно-скоростных условий шлифования.

**Список литературы:** 1. Коновалов Ю.К., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчёт параметров листовой прокатки: Справочник. – М.: Металлургия, 1986. – 430 с. 2. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. – М.: Металлургия, 1973. – 224 с. 3. Хензель А, Шпиттель Т. Расчёт энергосиловых параметров в процессах обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1982. – 360 с. 4. Зюзин В.И. – Труды ВНИИМетмаш. Сб. № 8. – М.: ВНИИМетмаш, 1963. – С. 74-89. 5. Зюзин В.И., Бровман М.Я., Мельников А.Ф. Сопротивление деформации сталей при горячей прокатке. – М.: Металлургия, 1964. – 270 с. 6. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. – М.: Металлургия, 1973. – 224 с. 7. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. – М.: Машиностроение, 1974. – 280 с.

### **ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ДЕФОРМАЦІЇ ХРОМОНІКЕЛЕВИХ СТАЛЕЙ В УМОВАХ ШЛІФУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ**

Полтавець В.В.

Для декількох середньо- і високолегованих хромонікелевих сталей доведена можливість визначення опору деформації при шліфуванні за допомогою термомеханичних коефіцієнтів шляхом введення в розрахункові формули поправок, які враховують швидкість деформації при абразивній обробці.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ШЛИФОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ**

Полтавец В.В.

Для нескольких средне- и высоколегированных хромоникелевых сталей доказана возможность определения сопротивления деформации при шлифовании с помощью термомеханических коэффициентов путём введения в расчетные формулы поправок, учитывающих скорость деформации при абразивной обработке.

DETERMINATION OF DEFORMATION STRENGTH  
OF CHROMENICKEL STEELS AT GRINDING  
WITH USE OF THERMOMECHANICAL FACTORS

Poltavets V.V.

For several mediumalloyed and highalloyed chromenickel steels possibility of determination of deformation strength at grinding with use of thermomechanical factors is proved by addition in calculation formulas of correction rates, considering deformation speed at abrasive machining.

*Рецензент: д.т.н., проф. Нечепасев В.Г.*