

УДК 621.923

**П.Г. Матюха, профессор, д-р техн. наук,****А.В. Бурдин, аспирант**

Донецкий национальный технический университет

ул. Артема, 58, г. Донецк, Украина, 83000

donntu-stanki@mail.ru

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ СДВИГА ПРИ ШЛИФОВАНИИ БЫСТРОРЕЖУЩИХ, ЛЕГИРОВАННЫХ И КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ**

В статье определяется влияние температуры на напряжения сдвига при шлифовании конструкционных, легированных и быстрорежущих сталей.

**Ключевые слова:** модификация Макгрегора-Фишера, напряжения сдвига, шлифование сталей.

При разработке технологических процессов изготовления деталей неотъемлемым этапом является назначение оптимальных режимов обработки, обеспечивающих минимальную удельную себестоимость обработки. Так, при оптимизации процесса шлифования предлагается использовать обобщенные параметры: отношение скоростей главного движения к движению детали, а также усилие поджима образца к режущей поверхности круга (РПК), которые определяют качественные и технико-экономические показатели обработки. Учитывая то, что при расчете сил резания [1] используются напряжения в условной плоскости сдвига, для определения усилия поджима образца к РПК при шлифовании комбинированных образцов по упругой схеме необходимы знания допустимых напряжений на условной плоскости сдвига при шлифовании конструкционных, легированных и быстрорежущих сталей. Для этой цели воспользуемся модификацией Макгрегора-Фишера, с помощью которой по данным стандартных испытаний физико-механических свойств материалов для штамповых, быстрорежущих ванадиевых сталей и титановых сплавов [2] определим напряжения сдвига в условиях шлифования.

**Целью** работы является определение напряжения сдвига при шлифовании сталей Р6М3, 60С2 и 45.

Модификация Макгрегора-Фишера основана на экспериментально проверенном факте, согласно которому напряжения  $\sigma$  являются функцией только абсолютной температуры:

$$\sigma = f \left[ T \left( 1 - K \ln \left( \frac{\dot{\epsilon}'}{\dot{\epsilon}'_0} \right) \right) \right]. \quad (1)$$

В приведенном уравнении (1) выражение  $T(1 - \ln(\dot{\epsilon}'/\dot{\epsilon}'_0))$  является температурой  $T_i$ , модифицированной по скорости деформации.

Коэффициент  $K$  для конкретного материала находится при помощи данных влияния скорости деформации и температуры на величину напряжений, которые приведены в технической литературе. Расчет коэффициента  $K$  выполняется при условии равенства напряжений в образцах при скорости деформации  $\dot{\epsilon}'$  и температуре  $T_0$ , отличной от температуры  $T_i$ . Выражения для определения  $K$  примет вид:

$$K = \frac{T_0 - T_i}{T_0 \ln \left( \frac{\dot{\epsilon}'_0}{\dot{\epsilon}'_i} \right)}. \quad (2)$$

Для определения составляющих величин полученного выражения (2) воспользуемся данными стандартных испытаний для рассматриваемых сталей (рисунок 1).

На графиках  $\sigma = f(T, \dot{\epsilon}')$  влияния температурно-скоростных условий испытаний на сопротивление деформации сталей Р6М3 (рисунок 1, а), 60С2 (рисунок 1, б) и 45 (рисунок 1, в) из точек 1, 2, 3 и т.д., базовой скорости деформирования ( $\dot{\epsilon}'_0 = 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ ), для каждой стали, проводятся линии равных напряжений через кривые  $\sigma = f(T, \dot{\epsilon}')$ . Таким образом, двигаясь из базовой точки с температурой  $T_i$  вдоль линии равных напряжений до пересечения с кривой большей температуры  $T_0$  находят скорости деформации  $\dot{\epsilon}'_i$ .

Результаты графических построений и расчет коэффициентов  $K$  для различных сталей приведены в таблице 1.

С учетом скорости деформирования уравнение Макгрегора-Фишера (1) примет вид:

$$\dot{\sigma}_i = \dot{\sigma} \left( 1 - \hat{E} \left( \ln(\dot{\epsilon}') - \ln(10^{-3}) \right) \right). \quad (3)$$

Уравнения Макгрегора-Фишера для рассматриваемых сталей после подстановки в уравнение (3) значений  $K_{cp}$  из таблицы 1 приведены в таблице 2.

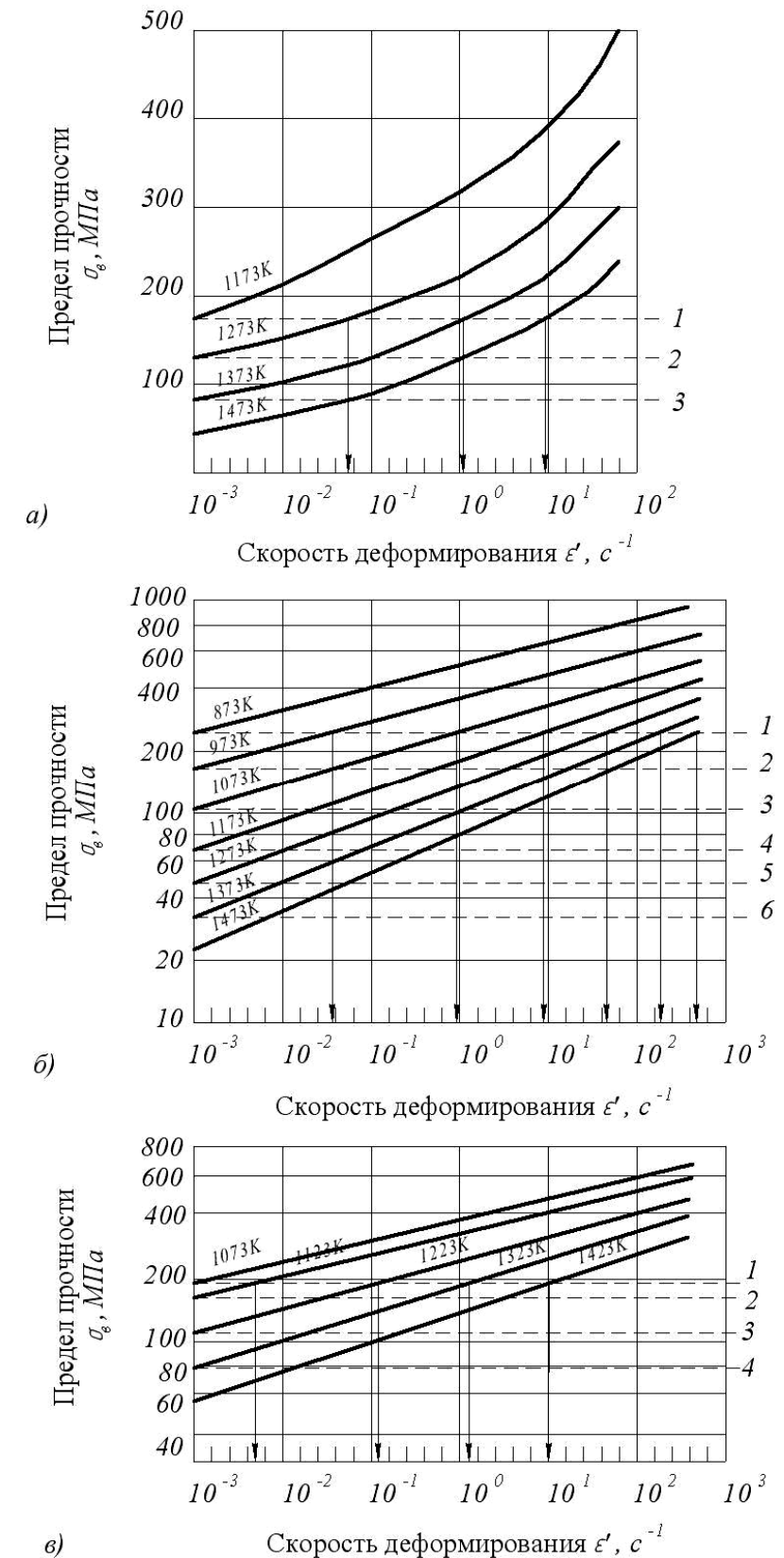


Рисунок 1 – Влияние температурно-скоростных условий испытаний на сопротивление деформации стали Р6М3 (а), 60С2 (б) и 45 (в) [3]

Таблица 1 – Коэффициент  $K$  в уравнении Макгрегора-Фишера для сталей Р6М3, 60С2 и 45

Марка стали	Точка	Температура		Базовая скорость деформир. $\epsilon'_0, c^{-1}$	Скорость деформирования $\epsilon', c^{-1}$	Коэффициент				
		$T_m, ^\circ K$	$T_0, ^\circ K$			$K$	$K_{cp}$			
1	2	3	4	5	6	7	8			
Р6М3	1	1173	1273	$10^{-3}$	$10^{-1,27}$	0,0197	0,0192			
			1373		$10^{0,05}$	0,0207				
			1473		$10^{0,9}$	0,0226				
Р6М3	2	1273	1373	$10^{-3}$	$10^{-1}$	0,0158	0,0192			
			1473		$10^{0,05}$	0,0193				
	3	1373	1473		$10^{-1,27}$	0,017				
60С2	1	873	973	$10^{-3}$	$10^{-1,4}$	0,0279	0,031			
			1073		$10^{-2}$	0,08				
			1173		$10^{0,9}$	0,0285				
			1273		$10^{1,6}$	0,0296				
			1373		$10^{2,3}$	0,0298				
			1473		$10^{2,7}$	0,031				
	2	973	1073		$10^{-1,5}$	0,027				
			1173		$10^{-0,4}$	0,285				
			1273		$10^{0,45}$	0,0296				
			1373		$10^{1,2}$	0,03				
			1473		$10^{1,7}$	0,0313				
			1173		$10^{-1,7}$	0,0285				
	3	1073	1273		$10^{-0,75}$	0,03				
			1373		$10^0$	0,0316				
			1473		$10^{0,6}$	0,0327				
			1273		$10^{-2,1}$	0,0379				
	4	1173	1373		$10^{-1}$	0,0316				
			1473		$10^{-0,4}$	0,034				
	5	1273	1373		$10^{-2}$	0,0316				
			1473		$10^{-1,25}$	0,0336				
	6	1373	1473		$10^{-2,2}$	0,0368				
	Сталь 45	1	1073		1123	$10^{-3}$		$10^{-2,3}$	0,0276	0,0268
					1223			$10^{-1}$	0,0266	
					1323			$10^{0,05}$	0,0269	
1423				$10^{0,85}$	0,0277					
2		1123	1223	$10^{-1,65}$	0,0263					
			1323	$10^{-0,57}$	0,027					
			1423	$10^{0,35}$	0,0273					
			1323	$10^{-1,65}$	0,0243					
3		1223	1423	$10^{-0,75}$	0,0271					
			1323	$10^{-1,9}$	0,0277					

Таблица 2 – Уравнения, описывающие температуру  $T_m$ , модифицированную по скорости деформирования

Марка стали	Уравнения
Р6М3	$\dot{\epsilon}_i = \dot{\epsilon}(1 - 0,0192(\ln(\epsilon') + 6,9))$
60С2	$\dot{\epsilon}_i = \dot{\epsilon}(1 - 0,031(\ln(\epsilon') + 6,9))$
45	$\dot{\epsilon}_i = \dot{\epsilon}(1 - 0,0268(\ln(\epsilon') + 6,9))$

Соотношение температур  $T_m/T$  для рассматриваемых условий шлифования определим через скорость деформации при резании, которая находится по формуле [4]

$$\epsilon' = \frac{V_\tau}{\Delta x}, \quad (4)$$

где  $\Delta x$  – толщина зоны сдвига, м;  $V_\tau$  – скорость сдвига, м/с.

Скорость сдвига определим по формуле [4]

$$V_\tau = \frac{V \cos \gamma}{\cos(\beta - \gamma)}, \quad (5)$$

где  $V$  – скорость резания, м/с;  $\gamma$  – передний угол зерна, град;  $\beta$  – угол сдвига, град.

Толщина зоны сдвига при шлифовании примем равной  $\Delta x = 2,5 \cdot 10^{-6}$  м.

Угол сдвига равен

$$\beta = \arctg\left(\frac{\cos \gamma}{K_L - \sin \gamma}\right), \quad (6)$$

где  $K_L$  – коэффициент усадки стружки при шлифовании,  $K_L = 1,35$ .

Передний угол модели алмазного зерна круга зернистостью 100/80 определяется через радиус  $r_0$  эквивалентного шара и толщину единичного среза  $a_z$

$$\gamma = \arcsin \frac{r_0 - a_z}{r_0}. \quad (7)$$

С учетом знака переднего угла, при  $r_0 = 66$  мкм, примем  $a_z = 5$  мкм,  $\gamma = -67^\circ$ , а угол сдвига  $\beta = 9,76^\circ$ .

Расчет отношения температур  $T_m/T$  выполненный по формулам (3) – (7), приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Уравнения, описывающие соотношения температур  $T_m/T$  для различных сталей при скорости шлифования 35 м/с

Марка стали	Уравнения	Значение $T_m/T$
Р6М3	$\frac{T_m}{T} = 1 - 0,0192 \left( \ln \frac{V \cos \gamma}{\Delta x \cos(\beta - \gamma)} + 6,9 \right)$	0,53
60С2	$\frac{T_m}{T} = 1 - 0,031 \left( \ln \frac{V \cos \gamma}{\Delta x \cos(\beta - \gamma)} + 6,9 \right)$	0,31
45	$\frac{T_m}{T} = 1 - 0,0268 \left( \ln \frac{V \cos \gamma}{\Delta x \cos(\beta - \gamma)} + 6,9 \right)$	0,36

Найдем величину модифицированных нормальных напряжений  $\sigma_{ai} = f(T)$ , которая учитывает скорость деформации в условиях шлифования. Для этого воспользуемся приведенными в литературе данными стандартных испытаний при скоростях деформации  $10^{-3} c^{-1}$ . Зависимости предела прочности  $\sigma_s$  от температуры нагрева сталей Р6М3, 60С2 и 45 показаны на рисунке 2.

Модифицированные характеристики предела прочности  $\sigma_{ai}$ , приведенные на рисунке 2, можно аппроксимировать прямой линией, параметры уравнения которой определяем методом наименьших квадратов (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние температуры на модифицированный предел прочности  $\sigma_{ai}$ 

Марка стали	Уравнения *
Р6М3	$\sigma_{ai} = 1253 - 0,441 \cdot \dot{\epsilon}$
60С2	$\sigma_{ai} = 1464 - 0,48 \cdot \dot{\epsilon}$
45	$\sigma_{ai} = 635 - 0,064 \cdot \dot{\epsilon}$

\* – размерность свободного члена уравнения МПа, а углового коэффициента МПа/°К.

Величина напряжений сдвига при шлифовании определим по известной зависимости [4]

$$\tau_s = \frac{\sigma_{\dot{a}}}{\sqrt{3}}$$

Окончательно, напряжения сдвига при шлифовании сталей Р6М3, 60С2 и 45 примет вид (таблица 5).

Таблица 5 – Влияние температуры при шлифовании на напряжения сдвига

Марка стали	Уравнения *
Р6М3	$\tau_s = 723 - 0,255 \cdot \dot{a}$
60С2	$\tau_s = 1015 - 0,332 \cdot T$
45	$\tau_s = 367 - 0,037 \cdot T$

\* – размерность свободного члена уравнения МПа, а углового коэффициента МПа/°К.

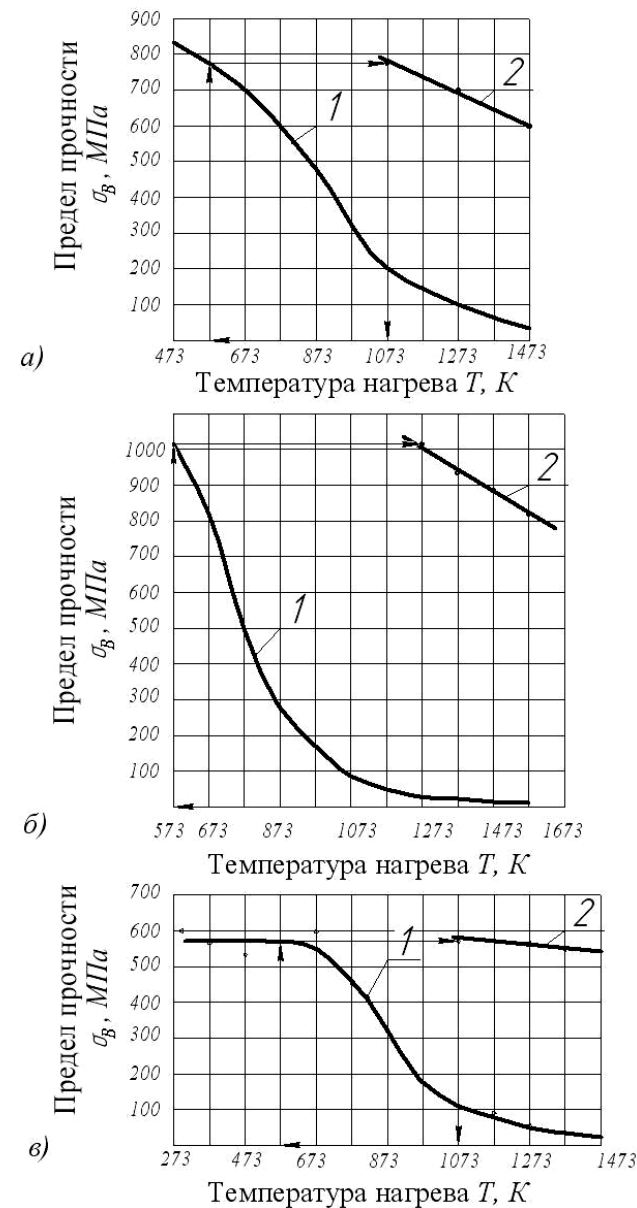


Рисунок 2 – Зависимость модифицированного предела прочности сталей Р6М3 (а), 60С2 (б), 45 (в) от температуры нагрева образца:

1 - кривая, построенная по данным стандартных испытаний  $\sigma_{\dot{a}} = f(T)$  [3],

2 – модифицированная характеристика  $\sigma_{\dot{a}i} = f(T)$

Полученные зависимости напряжений сдвига от температуры для сталей Р6М5, 60С2 и 45 в дальнейшем используются для расчета усилия поджима образца к РПК при шлифовании комбинированных образцов по упругой схеме.

#### Библиографический список использованной литературы

1. Матюха П.Г. Вископродуктивне шліфування ванадієвих штампових та інструментальних сталей / П.Г. Матюха. — Донецьк: ДонНТУ, 2008. — 222 с.
2. Матюха П.Г. Определение напряжений сдвига в условиях резания с помощью модификации Макгрегора-Фишера / П.Г.Матюха, В.В.Полтавец // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: сб. науч.тр. — Донецк: ДонГТУ, 1997. — С.91–93.
3. Полухин П.И. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов / П.И. Полухин, Г.Я. Гунн, А.М. Галкин. — М.: Металлургия, 1976. — 488 с.
4. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. — М.:Машиностроение, 1975. — 344с.

Поступила в редакцию 4.03.2011 г.

#### Матюха П.Г., Бурдін О.В. Визначення напружень зсуву при шліфуванні конструкційних, легованих та швидкорізальних сталей

В статті визначається вплив температури на напруження зсуву при шліфуванні конструкційних, легованих та швидкорізальних сталей.

**Ключові слова:** модифікація Макгрегора-Фішера, напруження зсуву, шліфування сталей.

#### Matjuha P.G., Burdin A.V. Defining shearing stress at grinding structural steel, alloyed steel, and rapid steel

The influence of temperature on the shearing stress at grinding structural steel, alloyed steel, and rapid steel is determined in the article.

**Keywords:** MacGregor-Fisher modification, shearing stress, steel grinding.