

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕРМОДИНАМИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СРЕДАМИ*

Анализ термодинамических свойств позволяет определить возможный характер взаимодействия между компонентами материалов режущих инструментов, обрабатываемым материалом и технологической средой, что в конечном счете позволяет прогнозировать составы технологических сред.

В настоящее время для обработки резанием применяются в основном 2 группы инструментальных материалов: а) быстрорежущие стали, основу которых составляет *Fe* с содержанием легирующих элементов: 2—18% *W*, около 4% *Cr*, 0,8—1,0% *C*, а также *V*, *Co* и др.; б) твердые сплавы, содержащие *WC*, *TiC*, *Co* и др. Рассмотрим вопросы термодинамики этих соединений и их взаимодействие с основными элементами продуктов диссоциации, возникающими при воздействии технологических сред.

Одним из малоисследованных вопросов является зависимость коэффициента диффузии от основных термодинамических функций.

Согласно I закону Фика, поток вещества *I* в направлении оси *x*, вдоль которой имеется градиент концентрации $\frac{\partial c}{\partial x}$, равен

$$J = -D \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right), \quad (1)$$

где *D* — коэффициент диффузии.

Более подробное рассмотрение диффузионных процессов показывает, что фактическая сила, действующая на диффундирующий атом или ион в бинарном растворе, зависит от градиента химического потенциала или парциальной молярной свободной энергии, что непосредственно приводит к диффузионному потоку:

$$J = - \frac{1}{N} \frac{\partial F_i}{\partial x} B_i C_i$$

* Вследствие того, что для улучшения процесса резания применяются не только жидкие, но твердые, газообразные и консистентные вещества, целесообразно вместо термина «смазочно-охлаждающие жидкости» применять термин «технологические среды», как это имеет место в некоторых печатных работах.

где F_i — парциальная молярная свободная энергия,
 C_i — парциальная концентрация,
 B_i — подвижность, являющаяся функцией состава при постоянных температуре и давлении,
 N — число Авогадро.

Справедливость этого положения подтверждается экспериментами, которые показывают наличие диффузии при равных концентрациях, но различных F_i . Так, по данным Даркена, наблюдается диффузия углерода из сплава $Fe-Si-C$ в сплав $Fe-C$ при одинаковой исходной концентрации углерода. В случае диффузии в многофазной системе в соответствии с диаграммой состояния данных взаимодействующих элементов возникают лишь термодинамические возможные соединения. Одним из важнейших условий роста данной фазы является достаточная быстрота протекания реакции. В этом случае коэффициент диффузии зависит от абсолютной скорости реакции [1]:

$$D = \frac{\lambda^2}{m} \frac{RT}{Nh} K^+, \quad (2)$$

где λ — расстояние между междоузельными положениями,
 m — масса атома или иона,
 h — постоянная Планка,
 R — газовая постоянная,
 K^+ — константа равновесия образования комплекса активации.

$$K^+ = I^{\frac{\Delta Z}{RT}} = \exp\left(-\frac{\Delta Z}{RT}\right). \quad (3)$$

Таким образом, можно констатировать, что коэффициент диффузии определяется скоростью реакции и экспоненциально зависит от величины $\frac{\Delta Z}{RT}$.

ΔZ — термодинамическая функция, характеризующая изобарный потенциал процесса (термодинамический потенциал), представляющий максимальную часть энергии системы, которая может превратиться в работу.

ΔZ определяется из уравнения Гиббса—Гельмгольца:

$$\Delta Z = \Delta H - T\Delta S, \quad (4)$$

где ΔH — изменение теплосодержания (энтальпии),
 ΔS — изменение энтропии.

Для того, чтобы определить ΔZ , ΔH и S при любой температуре, необходимо знать их зависимость от температуры. Согласно уравнению Кирхгофа имеем:

$$\Delta H_T = \Delta H_{T_0} + \int_{T_0}^T \Delta C_p dT, \quad (5)$$

где $\Delta C_p = \sum C_{\text{жон. пр.}} - \sum C_{\text{исх. вещ.}}$.

Известно, что

$$S_T = S_{T_0} + \int_{T_0}^T \frac{C_p dT}{T}.$$

При $T = 298^\circ\text{K}$ и $p = 1 \text{ атм}$ (стандартные условия)

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p dT; \quad (6)$$

$$S_T^0 = S_{298}^0 + \int_{298}^T \frac{C_p dT}{T}.$$

Для изменения энтропии получим:

$$\Delta S_T^0 = \Delta S_{298}^0 + \int_{298}^T \frac{\Delta C_p dT}{T}. \quad (7)$$

Если уравнения (6) и (7) подставить в (4), то получим

$$\Delta Z_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p dT - T \int_{298}^T \frac{\Delta C_p dT}{T}$$

или окончательно:

$$\Delta Z_T^0 = \Delta H_{298}^0 - T \Delta S_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p dT - T \int_{298}^T \frac{\Delta C_p dT}{T}, \quad (8)$$

при этом ΔC_p зависит от вида фазы вещества и его агрегатного состояния.

Общее условие протекания процессов в направлении достижения устойчивого равновесия определяется уравнением

$$\Delta Z < 0 \text{ при } T_{\text{пр}} = \text{const},$$

при этом константа скорости реакции K_p определится из уравнения:

$$\ln K_p = -\frac{\Delta Z_r^0}{RT}, \quad (9)$$

где T — абсолютная температура,

R — газовая постоянная,

ΔZ_r^0 — значение термодинамического потенциала реакции при данной температуре.

Подсчет значений термодинамического потенциала для любой реакции определяется, исходя из известных величин термодинамического потенциала образования каждого химического соединения, входящего

в уравнение. Обозначая в общем виде уравнение химического взаимодействия



где A, B, R, S — химические соединения, a, b, r, s — соответствующие им коэффициенты, изменение термодинамического потенциала можно определить из уравнения:

$$\Delta Z_T = [r(\Delta Z_R) + s(\Delta Z_S)] - [a(\Delta Z_A) + b(\Delta Z_B)], \quad (10)$$

при этом изменение термодинамического потенциала для элементов принимается равным нулю.

Ниже приводятся графики значений функции ΔZ_T^0 для различных реакций взаимодействия основы инструментального материала Fe и WC, TiC с различными веществами, которые могут служить присадками к технологическим средам для уменьшения износа инструмента.

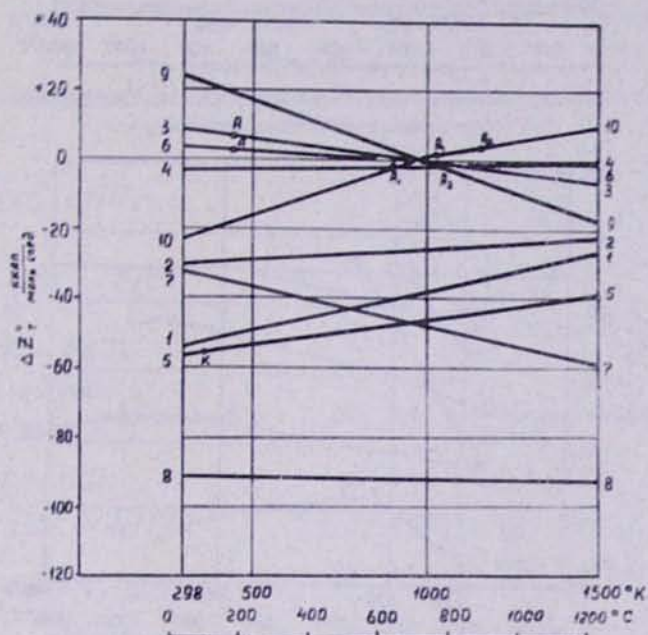
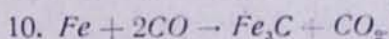
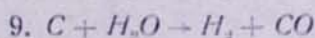
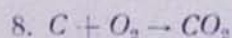
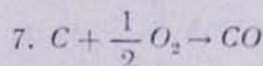
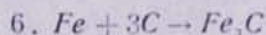
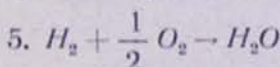
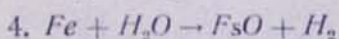
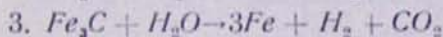
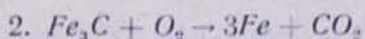
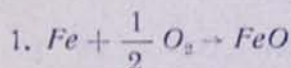


Рис. 1. Взаимодействие Fe и Fe_3C с продуктами термической диссоциации технологических сред.



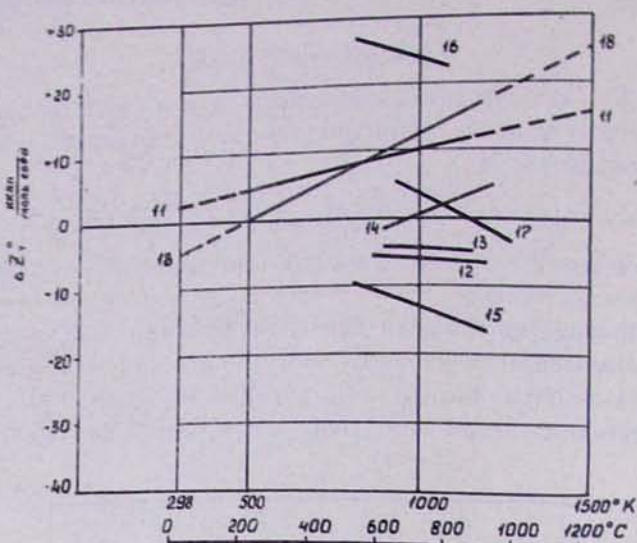


Рис. 2. Реакции, протекающие при насыщении азотом быстрорежущих инструментов в процессе резания.

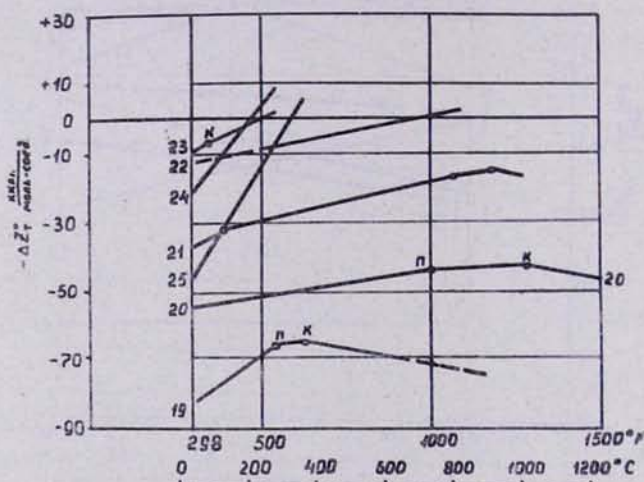
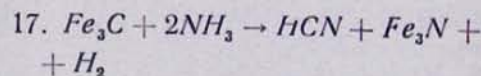
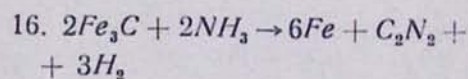
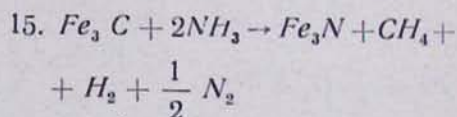
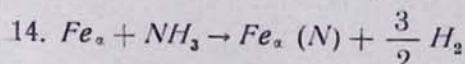
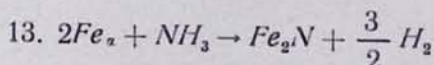
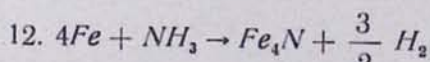
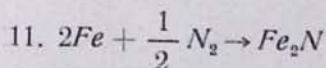


Рис. 3. Диссоциация соединений, содержащих S, Cl, и их взаимодействие с Fe.



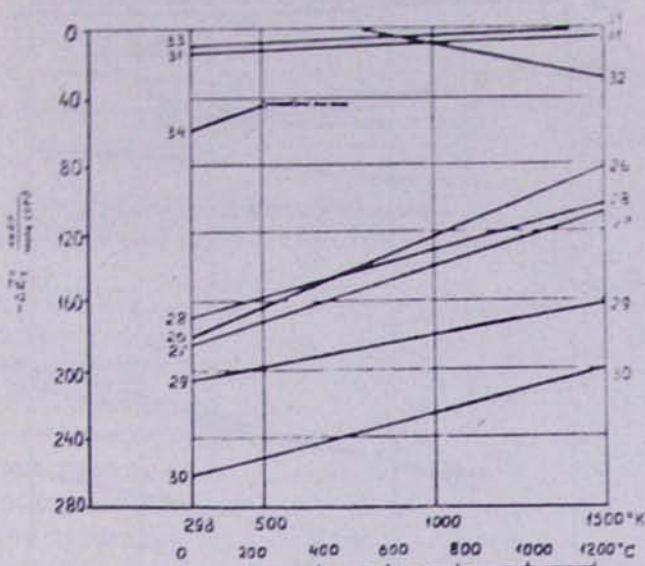
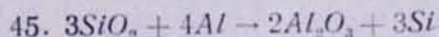
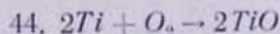
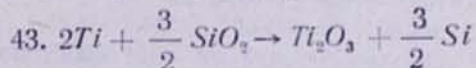
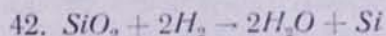
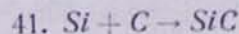
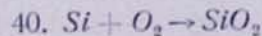
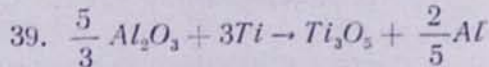
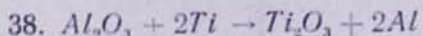
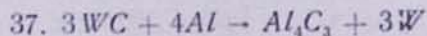
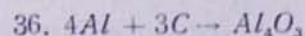
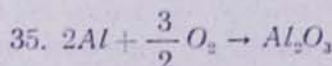
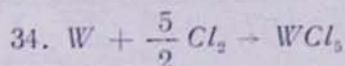
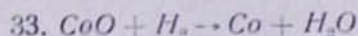
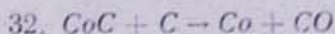
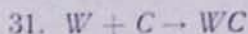
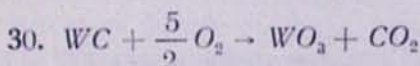
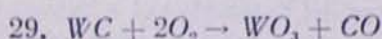
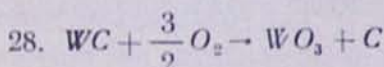
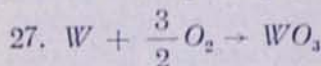
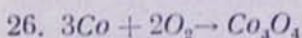
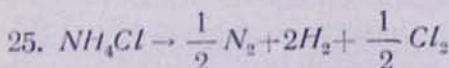
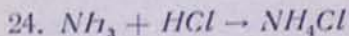
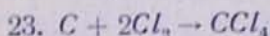
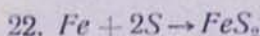
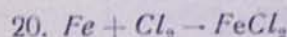
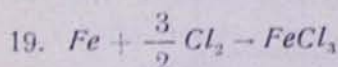
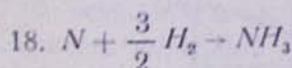


Рис. 4. Взаимодействие компонентов твердого сплава с продуктами термической диссоциации технологических сред.



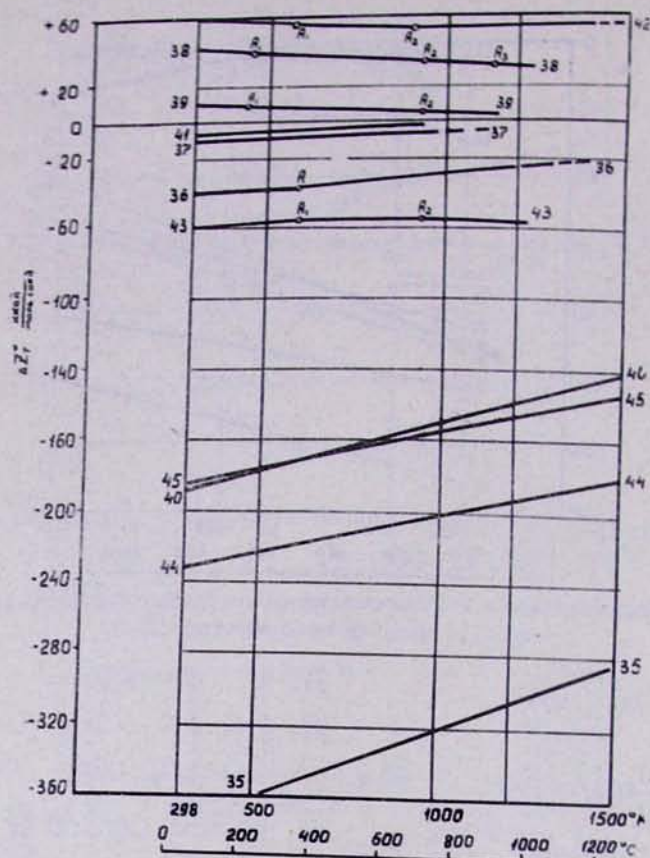


Рис. 5. Реакции, протекающие при наличии в зоне резания Al , Si , Ti .

Анализ изменения величины ΔZ_T° позволяет определить наиболее активную присадку.

Проведенный теоретический анализ дополняется экспериментальной проверкой взаимодействия технологической среды с инструментальными материалами [2].

В тех случаях, когда химическая активизация недостаточна ввиду низкого значения ΔZ° , целесообразно проводить электрическую, термическую или ультразвуковую активизацию с целью вызвать достаточную эффективность положительных эффектов, способствующих повышению стойкости инструмента, улучшению чистоты обрабатываемой поверхности, снижению сил резания, улучшению процесса стружкообразования и стружкодробления.

ЛИТЕРАТУРА

1. L. Darken, *Trans, AIME*, 1949, 180, 430.
2. М. Е. Вартамян, Э. А. Станчук, Г. С. Овсепян, Повышение стойкости режущего инструмента с помощью активизации технологических сред. «Промышленность Армении», № 9, 1973.