



УДК 620.193

DOI: 10.30987/article_5bb4b1fac46428.78454624

О.Н. Федонин, д.т.н.,
(ФГБОУ ВО Брянский государственный технический университет,
Россия, 241035, г. Брянск, б-р 50-летия Октября, д. 7)
E-mail: rector@tu-bryansk.ru

Обеспечение коррозионной стойкости изделий машиностроения

Изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований коррозионной стойкости поверхностей деталей при различных технологических методах их изготовления. Приводится общая теоретическая зависимость для определения коррозионной стойкости поверхности в зависимости от окружающей среды, свойств материалов, качества поверхности и методов покрытия. Даны уравнения для определения значений различных коэффициентов, оказывающих влияние на коррозионную стойкость. Приводятся технологические мероприятия, обеспечивающие повышение коррозионной стойкости поверхностей деталей машин.

Ключевые слова: коррозионная стойкость; поверхностный слой; ингибиторы коррозии; защитные покрытия.

O.N. Fedonin, Dr. Sc. Tech.
(FSBEI HE Bryansk State Technical University, 7, October 50-th Anniversary, Bryansk, 241035 Russia)

Corrosion resistance support in engineering products

The results of theoretical and experimental investigations of parts surfaces corrosion resistance at different methods of their manufacturing are presented. A general theoretical dependence is shown for the definition of surface corrosion resistance depending on environment, material properties, surface quality and coating methods. The equations for the definition of values of different coefficients affecting corrosion resistance are given. Technological measures ensuring corrosion resistance increase in surfaces of machinery are shown.

Keywords: corrosion resistance; surface layer; corrosion inhibitors; protective coats.

При изготовлении детали коррозионную стойкость технологическими методами можно обеспечить за счет создания определенного качества поверхностного слоя при механической или термической обработке и повысить за счет использования ингибиторов коррозии и различных защитных покрытий: неметаллических и металлических.

Коррозионная стойкость деталей машин зависит от качества поверхностного слоя, от свойств коррозионной среды и условий корродирования, от вида используемого ингибитора, его концентрации, вида покрытия, его качества и т.п. В общем виде модель коррозии детали может быть записана в виде [2]:

$$v_k = v_{k_0} \cdot K_C \cdot K_{ук} \cdot K_{и} \cdot K_{п}, \quad (1)$$

где v_k – скорость коррозии детали; v_{k_0} – скорость коррозии детали (образца) сравнения. В качестве детали сравнения принимается образец из того же материала после химического травления и корродирующий при полном по-

гружении в дистиллированной воде (табл. 1).

1. Коррозионная стойкость образцов сравнения

Марка стали	Коррозионная стойкость $v_{к0}$, мм/год
сталь 3	0,060
10	0,058
20	0,050
20Х	0,045
30	0,060
30ХГСА	0,050
40	0,065
40Х	0,055
45	0,070

K_C – комплексный параметр качества поверхностного слоя детали, характеризующий коррозионную стойкость детали после механической обработки [4]:

– для не термообработанных деталей:

$$KC = U_n^{5,2} \cdot \left(\frac{28 \cdot 10^6 R_v}{(100 - tm)^2} \cdot Sm^2 \right)^n, \quad (2)$$

где n – коэффициент, зависящий от условий корродирования ($n = 0,5$ – для сухой коррозии; $n = 0,7$ – для влажной и мокрой коррозии; $n = 0,66$ – для коррозии при полном погружении); U_n, tm, Sm – параметры качества поверхностного слоя детали.

– для термоупрочненных деталей:

$$KC = b_0 \cdot \left(\frac{HB}{HB_0} \right)^{b_1} \cdot \left(\frac{28 \cdot 10^6 R_v}{(100 - tm)^2} \cdot Sm^2 \right)^n, \quad (3)$$

где HB_0 и HB – твердость материала до и после термоупрочнения соответственно; b_0 и b_1 – коэффициенты, зависящие от марки материала (для низкоуглеродистых сталей $b_0 = 0,713$; $b_1 = 5,72$; для среднеуглеродистых сталей $b_0 = 0,74$; $b_1 = 5,57$);

$K_{ук}$ – коэффициент, учитывающий влияние условий корродирования на скорость коррозии детали:

$$K_{ук} = K_T \cdot K_c \cdot K_\Theta \cdot K_{pH}, \quad (4)$$

где K_T – коэффициент, учитывающий влияние толщины пленки влаги на поверхности детали; K_c – коэффициент, учитывающий агрессивность коррозионной среды; K_Θ – коэффициент, учитывающий влияние температуры коррозионной среды на скорость коррозии детали; K_{pH} – коэффициент, учитывающий влияние концентрации ионов H^+ на скорость коррозии детали.

При эксплуатации детали на ее поверхности могут формироваться пленки влаги различной толщины. Толщина данной пленки будет зависеть от формы и размеров микронеровностей поверхности, загрязненности поверхности, влажности воздуха и т.д.

Область сухой коррозии [1] наблюдается при влажности воздуха $y \leq 98\%$ при адсорбционной, химической и капиллярной конденсации влаги из воздуха. Область мокрой коррозии наблюдается при влажности $y \geq 99\%$ при капельной конденсации влаги из воздуха и при прямом попадании атмосферных осадков на поверхность металла.

Приведенную зависимость можно представить в виде кусочно-непрерывной функции:

$$K_T = f(h), \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{где } K_T &= 20h; & h &\leq 10^{-2}; \text{ мкм} \\ K_T &= 5h^{0,695}; & 10^{-2} &\leq h \leq 1,0; \text{ мкм} \\ K_T &= 5e^{-0,00176h}; & 1,0 &\leq h \leq 1000; \text{ мкм} \\ K_T &= 1,0; & 1000 &< h; \text{ мкм.} \end{aligned}$$

Толщина пленки влаги h , мкм, на поверхности металла может быть определена по зависимостям [1]:

$$h = 2,37 \cdot 10^{-8} \cdot \varphi^{3,8074}, \quad \varphi \leq 98\% \quad (6)$$

$$h = Rz; \quad 98 < \varphi \leq 100\%, \text{ мелкая роса} \quad (7)$$

$$h = 100; \quad \text{крупная роса} \quad (8)$$

$$h = 100 \dots 500; \quad \text{осадки} \quad (9)$$

$$h = 500 \dots 1000; \quad \text{периодическое окунание в жидкость} \quad (10)$$

где φ – относительная влажность воздуха, %.

Агрессивность среды может быть учтена с помощью коэффициента K_c , зависящего от химического состава среды, ее загрязненности и т.д. [2].

Исследования различных авторов [1, 2] зависимости скорости коррозии металлов от температуры показывают, что в условиях атмосферной коррозии увеличение температуры прямо пропорционально увеличению скорости коррозии, а при полном нагружении с увеличением температуры вначале скорость коррозии растет и достигает максимума при $\Theta = 70^\circ\text{C}$, а затем уменьшается, что объясняется резким снижением растворенного кислорода в воде при температуре $\Theta > 70^\circ\text{C}$. С уменьшением концентрации деполяризатора скорость коррозии снижается.

Влияние на скорость коррозии температуры может быть учтено с помощью коэффициента K_Θ , определяемого по зависимостям:

– для атмосферной коррозии:

$$K_\Theta = 0,674 + 0,019 \Theta; \quad (11)$$

– для коррозии при полном нагружении:

$$K_\Theta = -1,2476 + 0,106 \Theta; \quad 20 \leq \Theta \leq 70^\circ\text{C} \quad (12)$$

$$K_\Theta = 21 - 0,2125 \Theta; \quad 70 < \Theta \leq 90^\circ\text{C} \quad (13)$$

Зависимость скорости коррозии детали от концентрации ионов H^+ (рН среды) может быть учтено [1, 2] с помощью коэффициента K_{pH} , определяемого по зависимостям:

$$K_{pH} = 26 - 5 \text{ рН}; \quad \text{рН} \leq 5 \quad (14)$$

$$K_{pH} = 1,0; \quad 5 \leq \text{рН} \leq 12 \quad (15)$$

$$K_{pH} = -23 + 2 \text{ рН}; \quad 12 \leq \text{рН} \quad (16)$$

K_i – коэффициент, учитывающий влияние ингибитора коррозии на коррозионную стойкость детали. Зависимости для определения величины коэффициента ингибирования от условий его использования имеет вид:

$$K_i = K_{i_0} \cdot K_{i_{rc}} \cdot K_{i_{sc}}, \quad (17)$$

где K_{i_0} – табличное значение коэффициента ингибирования, при определенных условиях, принятых за стандартные (табл. 2); $K_{i_{rc}}$ – коэффициент, учитывающий влияние шероховатости поверхностного слоя детали (табл. 3); $K_{i_{sc}}$ – коэффициент, учитывающий влияние концентрации ингибитора (табл. 4).

$K_{п}$ – коэффициент, учитывающий влияние покрытия на коррозионную стойкость детали. Коэффициент $K_{п}$, используемый для оценки эффективности покрытий, отражает изменение скорости коррозии детали без покрытия и с покрытием:

$$K_{п} = \frac{v_{к_п}}{v_{к}}, \quad (18)$$

где $v_{к_п}$ – скорость коррозии детали с покрытием; $v_{к}$ – скорость коррозии детали в тех же условиях без покрытия.

2. Значения коэффициента $K_{И0}$ при атмосферной коррозии стали

Ингибитор	Нитрит натрия водный р-р 10%	Нитрит натрия 20...30%+сода 0,5...0,8%	Нитрит натрия 5...8%+сода 0,5...0,8%+глицерин 55...60%	Бензоат моноэтаноламина 20...30 г/м ²	Бензоат натрия 10...30 г/м ²	3,5-динитробензоат гексаметиленминаГ4 1,5...3,0 г/м ²
$K_{И0}$	0,0833	0,01	0,01	0,041	0,041	0,017

3. Значения коэффициента $K_{И Rz}$

R_z , мкм	0,5	0,8	1,0	2,0	4,0	5,0	8,0	12,5	20	40
$K_{И Rz}$	0,05	0,08	0,1	0,4	1,0	1,57	1,6	1,67	2,0	3,0

4. Значения коэффициента $K_{Ис}$

C, %	10	15	20	25	30
$K_{Ис}$	<u>1,0</u> 1,0	<u>0,7</u> 0,8	<u>0,4</u> 0,6	<u>0,27</u> 0,42	<u>0,15</u> 0,25

* В числителе значения $K_{Ис}$ для поверхности с Rz 5 мкм, в знаменателе – Rz 12,5 мкм

Значение коэффициента покрытия $K_{П}$, характеризующего снижение скорости коррозии детали с неметаллическим покрытием, может быть рассчитано по зависимости:

$$K_{П} = K_{П_{ш}} \cdot K_{П_{т}} \cdot K_{П_{рв}}, \quad (19)$$

где $K_{П_{ш}}$ – коэффициент покрытия, учитывающий влияние увеличения фактической площади поверхности детали, обусловленного шероховатостью поверхности (табл. 5), и определяемый в зависимости от коэффициента увеличения площади поверхности $K_{ш}$; $K_{ш}$ – коэффициент увеличения площади поверхности вследствие шероховатости:

$$K_{ш} = \frac{1}{\cos\left(\arctg \frac{2Rz}{Sm}\right) \cdot \cos\left(\arctg \frac{2Rz_{пр}}{Sm_{пр}}\right)}, \quad (20)$$

где $Rz, Rz_{пр}$ – высота неровностей профиля по десяти точкам поперечной и продольной шероховатости соответственно; $Sm, Sm_{пр}$ – средний шаг неровностей поперечной и продольной шероховатости соответственно; $K_{П_{т}}$ – коэффициент покрытия, учитывающий влияние соотношения толщины покрытия и высот шероховатости поверхности (табл. 6); $K_{П_{рв}}$ – коэффициент покрытия, учитывающий влияние радиуса впадин профиля.

5. Значения коэффициента $K_{Пш}$

$K_{Пш}$	1,0	1,005	1,01	1,02	1,04	1,05	1,06	1,09	1,1
$K_{Пт}$	1,0	0,8	0,5	0,2	0,17	0,15	0,12	0,11	0,1

6. Значения коэффициента $K_{Пт}$

$\frac{t_n + R_z}{R_z}$	2,5	5	10	20	40	80	160	200
$K_{Пт}$	5	1,0	0,65	0,6	0,56	0,53	0,5	0,5

Экспериментальные проверки показали, что при значениях радиуса впадин профиля шероховатости больше радиуса сферолита полимерного покрытия, значение данного коэффициента необходимо приравнять к 1,0. При значениях радиуса впадин профиля шероховатости меньше радиуса сферолита полимерного покрытия, значение данного коэффициента необходимо приравнять к 2,0.

$K_{П}$ – коэффициент изменения скорости коррозии при использовании металлического гальванического покрытия с учетом шероховатости подложки и толщины покрытия:

$$K_{П} = 2,9 \cdot Ra^{0,132} \cdot t_n^{-0,217}, \quad (21)$$

где Ra – среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости подложки, мкм; t_n – толщина покрытия, мкм.

При необходимости обеспечения требуемой коррозионной стойкости $[v_k]$ механическими методами обработки анализируется возможность ее обеспечения механической обработкой и выбором материала детали:

$$\frac{[v_k]}{K_{ук}} = v_{к0} \cdot KC. \quad (22)$$

Коррозионная стойкость образцов сравнения приведена в табл. 1, возможности методов механической обработки по обеспечению комплексного параметра, характеризующего коррозионную стойкость – в справочной литературе [1, 2].

Если выбор материала детали уже произведен, то определяют значение комплексного параметра качества KC :

$$KC = \frac{[V_k]}{V_{к0} \cdot K_{ук}}. \quad (23)$$

После чего производят выбор метода обработки поверхности детали согласно справочным данным [1, 2].

Обеспечить требуемое значение параметра KC при механической обработке можно двумя способами.

Первый предполагает двухэтапное обеспечение параметра:

- на первом этапе определяются значения параметров качества поверхностного слоя U_n, R_v, tm, Sm , обеспечивающие требуемое значение параметра KC ;

- на втором этапе определяется метод обработки поверхности и условия обработки, обеспечивающие заданные значения параметров качества поверхностного слоя детали.

Второй способ предлагает одноэтапное

обеспечение параметра КС за счет выбора соответствующего метода и условий обработки.

Обеспечение требуемой коррозионной стойкости детали использованием ингибитора сводится к рациональному выбору марки ингибитора и его концентрации с учетом качества поверхностного слоя детали и условий ее корродирования.

Учитывая, что ингибиторы коррозии могут использоваться для деталей без покрытий, с неметаллическими и металлическими покрытиями, выражение для расчета коэффициента ингибирования, обеспечивающего требуемую скорость коррозии $[V_k]$ детали имеет вид:

$$K_u = \frac{[V_k]}{V_{k_0} \cdot K_C \cdot K_{ук} \cdot K_n} \quad (24)$$

Для обеспечения коррозионной стойкости деталей при помощи неметаллических покрытий используются лакокрасочные и полимерные порошковые покрытия, наносимые на поверхность детали в один или несколько слоев с предварительным грунтованием (нанесением слоя грунтовки на поверхность детали) для лакокрасочных покрытий или фосфатированием (обработка поверхности детали раствором, содержащим фосфорную кислоту или фосфаты) для полимерных порошковых покрытий. Грунтование поверхности изделия, также как и фосфатирование, оказывает ингибирующее воздействие на его поверхность и повышает адгезию покрытия к изделию.

В зависимости от свойств, все неметаллические покрытия подразделяются на восемь групп, определяющих в дальнейшем их области использования.

Обеспечение требуемой коррозионной стойкости неметаллическими покрытиями, таким образом, сводится к рациональному выбору марки покрытия, толщины покрытия и количества слоев, а также параметров качества поверхностного слоя детали, обеспечиваемых механической обработкой.

Учитывая, что неметаллическое покрытие может использоваться для деталей без металлического покрытия, с металлическим покрытием и совместно с ингибитором коррозии, выражение для расчета коэффициента покрытия, обеспечивающего требуемую скорость коррозии детали $[V_k]$, имеет вид:

$$K_{п} = \frac{[V_k]}{V_{k_0} \cdot K_C \cdot K_{ук} \cdot K_{пм} \cdot K_n} \quad (25)$$

Для обеспечения коррозионной стойкости деталей при помощи металлических покрытий наиболее часто используются гальванически однослойные покрытия из цинка, кадмия, хрома и никеля различной толщины, а также многослойные покрытия из никеля и хрома с подслоями меди; меди и никеля соответственно.

Выбор металла покрытия определяется его стойкостью в тех или иных условиях эксплуатации, исходя из вида и химического состава коррозионной среды.

Учитывая, что металлические гальванические покрытия используются в комплексе с лакокрасочными покрытиями и ингибиторами коррозии, наносимыми на поверхность гальванического покрытия, выражение для расчета коэффициента покрытия, обеспечивающего требуемую скорость коррозии детали $[V_k]$, имеет вид:

$$K_{п} = \frac{[V_k]}{V_{k_0} \cdot K_C \cdot K_{ук} \cdot K_{пн} \cdot K_n} \quad (26)$$

где $K_{п} = 2,9 \cdot Ra^{0,132} \cdot t_{п}^{0,22}$; Ra – параметр шероховатости подложки, мкм; $t_{п}$ – толщина покрытия, мкм.

Достижимые значения коэффициента снижения скорости коррозии детали с металлическими покрытиями, по сравнению с деталями без покрытий, представлены в табл. 7.

7. Достижимые значения коэффициента снижения скорости коррозии $K_{п}$

Материал покрытия	Толщина покрытия, мкм	Условия эксплуатации	Коэффициент снижения скорости коррозии $K_{п}$
Цинк	6	H1 – C1	0,1...0,15
	15	C2 – C4	0,25...0,33
	15	C25 – C10	0,6...0,8
	15 ¹	C10 – C20	0,7...0,85
Кадмий	6	H1 – C1	0,2...0,3
	15	C2 – C4	0,25...0,4
	24	C25 – C10	0,7...0,85
	30	C10 – C20	0,4...0,55
Никель	15	H1 – C1	0,15...0,2
	27	C2 – C4	0,3...0,4
	—	C25 – C10	—
	—	C10 – C20	—
Хром (молочный)	12	H1 – C1	0,05...0,1
	36	C2 – C4	0,1...0,2
	48	C25 – C10	0,1...0,2
	60	C10 – C20	0,15...0,3

¹ допускается при дополнительной защите покрытия.

Значения скоростей коррозии металлов покрытий в зависимости от агрессивности среды представлены в табл. 8, значения параметра шероховатости покрытия в зависимости от шероховатости подложки и толщиной покрытия – в табл. 9.

Выбор металлов покрытий или их комбинаций, толщины покрытий, количества слоев в зависимости от конкретных условий эксплуатации детали целесообразно производить по ГОСТ 9.303-84 «Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования к выбору». Технологические процессы их получения нормированы ГОСТ 9.305-84

«Покрyтия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования».

Для повышения эффективных защитных свойств металлических гальванических покрытий целесообразно обеспечивать механическими методами обработки поверхности на

начальных стадиях подготовки поверхности детали под покрытие шероховатость в соответствии с толщиной покрытия t_n :

$$Rz = (0,02 \dots 0,01) t_n.$$

8. Скорости коррозии металлов гальванических покрытий

Скорость коррозии $V_{K_{10}} \cdot K_C$, мм/год				Состав среды
Цинк	Кадмий	Никель полуглянцевый	Хром молочный	
0,007	0,012	0,003	0,001	Деаэрированная дистиллированная вода
0,01	0,02	0,005	0,002	Дистиллированная вода
0,017	0,025	0,01	0,005	Пресная вода
0,035	0,03	0,015	0,01	Морская вода
0,0005	0,001	0,0003	0,0001	Чистая сухая атмосфера с содержанием $SO_2 \leq 0,02$ мг/м ³ , $Cl < 0,03$ мг/м ² сут, $\varphi < 50\%$
0,001	0,002	0,0007	0,0003	Чистая сельская атмосфера с содержанием $SO_2 \leq 0,02$ мг/м ³ и $Cl < 0,03$ мг/м ² сут
0,003	0,005	0,001	0,0004	Загрязненная сельская атмосфера с содержанием $SO_2 \leq 0,05$ мг/м ³ и $Cl < 0,05$ мг/м ² сут
0,004	0,007	0,002	0,0005	Городская атмосфера с содержанием $SO_2 \leq 0,1$ мг/м ³ , $Cl \leq 0,1$ мг/м ² сут,
0,005	0,008	0,003	0,0006	Загрязненная городская атмосфера с содержанием $SO_2 \leq 0,2$ мг/м ³ , $Cl \leq 0,2$ мг/м ² сут
0,007	0,012	0,004	0,0008	Промышленная атмосфера с содержанием $SO_2 \leq 0,5$ мг/м ³ , $Cl \leq 20$ мг/м ² сут
0,01	0,017	0,005	0,001	Загрязненная промышленная атмосфера с содержанием $SO_2 \leq 1,0$ мг/м ³ , $Cl \leq 30$ мг/м ² сут
0,004	0,002	0,0008	0,0006	Чистая морская атмосфера с содержанием $SO_2 \leq 0,02$ мг/м ³ , $Cl \leq 20$ мг/м ² сут
0,010	0,008	0,0035	0,0007	Загрязненная морская атмосфера с содержанием $SO_2 \leq 0,1$ мг/м ³ , $Cl \leq 20$ мг/м ² сут
0,020	0,02	0,0045	0,0012	Промышленная загрязненная морская атмосфера с содержанием $SO_2 \leq 1,0$ мг/м ³ , $Cl \leq 30$ мг/м ² сут
Неуказанная влажность воздуха $\varphi = 80\%$				

9. Шероховатость подложки и гальванических покрытий

Покрyтие	Ra , мкм		
	подложка	покрyтие $h \leq 30$ мкм	покрyтие $h \geq 80$ мкм
Никелевое			
- глянцевое	0,1÷0,8	0,012÷0,1	0,15÷1,2
- полуглянцевое	0,4÷1,6	0,2÷0,8	0,6÷2,4
- матовое	0,4÷3,2	0,4÷3,2	0,8÷6,3
Хромовое			
- блестящее	0,1÷0,8	0,012÷0,1	0,15÷1,2
- полублестящее (молочное)	0,8÷3,2	0,2÷0,8	1,2÷4,8
- матовое	0,8÷3,2	0,4÷3,2	1,6÷6,3
Цинковое	0,4÷0,8	0,8÷3,2	1,6÷6,3
Кадмиевое	0,1÷0,8	0,2÷0,8	0,4÷1,6

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исаев, Н.И. Теория коррозионных процессов. М.: Металлургия, 1997.
2. Федонин, О.Н. Обеспечение коррозионной стойкости деталей машин при механической обработке // Обработка металлов.- 2004.- № 3, - С. 22 - 25.
3. Федонин, О.Н. Обеспечение коррозионной стойкости деталей машин при использовании ингибиторов коррозии // Справочник. Инженерный журнал. – 2004. - №7. – С. 12–15.
4. Федонин, О.Н. Обеспечение коррозионной стойкости деталей машин при использовании неметаллических покрытий// Справочник. Инженерный журнал. – 2004. - №9. – С. 8–14.
5. Федонин, О.Н. Технологическое обеспечение и повышение коррозионной стойкости деталей машин //Научно-технические технологии в машиностроении. 2012. № 2 (8). С. 3-10.

REFERENCES

1. Isaev, N.I. *Theory of Corrosion Processes*. M.: Metallurgy, 1997.

2. Fedonin, O.N. Corrosion resistance support in machinery at machining // *Metal Machining*. – 2004. – No. 3, - pp. 22 – 25.

3. Fedonin, O.N. Corrosion resistance support in machinery at corrosion inhibitor use // *Reference Book. Engineering Journal*. – 2004. – No. 7. – pp. 12-15.

4. Fedonin, O.N. Corrosion resistance support in machinery at non-metal coatings // *Reference Book. Engineering Journal*. – 2004. – No.9. – pp. 8-14.

5. Fedonin, O.N. Technological support and corrosion resistance increase in machinery // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. 2012. No. 2(8). pp. 3-10.

Рецензент д.т.н. Д.И. Петрешин

УДК 621.7.015

DOI: 10.30987/article_5bb4b1fb31e9c9.01589077

А.В. Тотай, д.т.н.,
(ФГБОУ ВО Брянский государственный технический университет,
Россия, 241035, г. Брянск, б-р 50-летия Октября, д. 7)
E-mail: totai_av@mail.ru

Теория и практика технологического обеспечения усталостной прочности деталей машин

На основе теории пластической деформации металлов установлены аналитические связи между скоростными, силовыми и температурными факторами механической обработки с параметрами поверхностного слоя деталей машин, определяющими их сопротивление усталостным разрушениям. В статье рассмотрены варианты технологического обеспечения сопротивления усталости путем управления такими параметрами состояния поверхностного слоя деталей машин, как плотность дислокаций и размер зерна конструкционного материала.

Ключевые слова: сопротивление усталости; плотность дислокаций; размер зерна; технологические факторы; чистовое точение; алмазное выглаживание.

A.V. Totay, Dr. Sc. Tech.
(FSBEI HE Bryansk State Technical University, 7, October 50-th Anniversary, Bryansk, 241035 Russia)

Theory and practice of fatigue strength technological support in machinery

On a basis of the theory of metal plastic deformation there are determined analytical ties between speed, power and temperature factors of machining with parameters of machinery surface layers defining their resistance to fatigue destructions. The paper reports the technological assurance options for resistance to fatigue by means of the control of such surface layer state parameters of machinery as dislocations density and a grain size of structure material.

Keywords: fatigue resistance; dislocation density; grain size; technological factors; finish turning; diamond smoothing.

Стойкость конструкционных материалов против усталостного разрушения является одним из важнейших факторов, влияющих на надежность и долговечность машин. Явление усталостного разрушения деталей связано с пластической деформацией, при которой происходит реализация различных механизмов взаимодействия дислокаций, скопление вакансий и зарождение усталостной трещины.

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования убедительно свидетельствуют о зарождении усталостных трещин в поверхностном слое и о первостепенном влиянии физических параметров состояния металла поверхностного слоя на условия их зарождения и скорость роста. Достаточно глубоко изучено влияние наклепа и техноло-

гических остаточных напряжений на усталостную прочность и разработаны рекомендации по технологическому обеспечению этих физических параметров.

Однако решать данную проблему на современном этапе лишь средствами механики сплошных сред означало бы не использование больших резервов в повышении усталостной прочности деталей машин. Речь идет о доказанном доминирующем влиянии на предел выносливости такого физического параметра, как плотность дислокаций [1]. Установлено, что зарождение усталостных трещин в структуре металла наблюдается при плотности дислокаций 10^{10} см⁻² при исходной плотности 10^8 см⁻². Но плотность дислокаций порядка 10^8 см⁻² имеет место обычно только у ото-