

УДК 669.14.620.178.1

М. Г. СТАКЯН, А. С. МИЛЦАКАНЯН, Т. Э. ДЖРБАШЯН

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ВАЛОВ ПЕРЕДАТОЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПО ПЕРИОДАМ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ

Проведены комплексные испытания на усталость валов (гладкие и с V-образной выточкой) и магнитные измерения, позволяющие магнитоферезонансным методом определить интервалы долговечностей, соответствующие отдельным периодам усталостного разрушения. Доказана линейная корреляционная связь между $\lg \sigma$ и $\lg N$ для отдельных периодов разрушения и получены семейства квантильных линий разной повреждаемости.

Разработана методика оценки трещиностойкости валов по прочности и долговечности в области многоциклового усталости с учетом вероятностных представлений процесса усталости. Произведено программное обеспечение задачи.

Ил. 3. Табл. 2. Библиогр.: 5 назв.

Անցկացված են հարթ և V-աձև եղրային ներաշղթած ունեցող լիսեռների համալիր հոդ-եռածային փորձարկումներ և մագնիսական շափումներ, որոնք թույլ են տվել մագնիսաֆերո-զանդային ձգանակով որոշել երկարակենցության միջակայքները, որոնք համապատասխանում են հոդեռածային քայքայման առանձին փուլերին: Այդ փուլերի համար ապացուցված է $\lg \sigma$ և $\lg N$ միջև եղած գծային կոռելյացիայի կապը և ստացված են հավասար վնասվածքի քվանտիլային գծերի ընտանիքները:

Քաղմացիկային հոդեռածության տիրույթում, հայտնի տեղերով հոդեռածության ընթացքի հավանական պատկերացումները, մշակված է լիսեռների ներաշղթայանության դեմահոտման մեթոդիկա ըստ ամբողջական և երկարակենցության: Իրագործված է խնդրի ծրագրային ապահովումը:

Решение задач, способствующих повышению надежности и долговечности деталей передаточных механизмов, неразрывно связано с проблемой разрушения конструкционных материалов, которое является структурно-чувствительным процессом. Аномальные особенности пластического течения, зарождение и развитие микротрещин в поверхностных слоях формируют процесс усталостного разрушения, для изучения которого необходимо располагать количественными показателями этих слоев на микроструктурном уровне и проследить за их вариацией при периодическом нагружении деталей [1]. Наряду с традиционными применяют физические методы неразрушающего контроля, позволяющие вести дискретные или непрерывные наблюдения за процессом усталостного разрушения. В основу этих методов легло установление характера изменения магнитных параметров материала (проницаемости $\Delta\mu$, вязкости τ , индукции A и др.), являющихся интегральными характеристиками структурных изменений и нарушений сплошности материала при периодическом нагружении. Комплексное исследование магнитных параметров показало, что вариация их значений от циклической долговечности N носит немонотонный, волно-

вой характер с тенденцией роста по мере накопления N [1]. При этом локальные экстремумы функций $\Delta\epsilon, A = f(N)$ соответствуют границам периодов усталостного разрушения (рис. 1): I—инкубационного, II—нарушения сплошности материала и появления первых субмикротрещин, III—стабильного роста трещин, IV—усталостного разрушения [1—3]. Повышение надежности ответственных и тяжело нагруженных деталей и полное использование их ресурса несущей способности и долговечности заставляют разработать инженерную методику расчета живучести этих деталей с трещинами. Несмотря на значительный объем выполненных экспериментов, нет четких рекомендаций об учете стадийности накопления усталостных повреждений, а также статистической информации о параметрах периодов разрушения, необходимых для количественной оценки трещиностойкости и остаточного ресурса валов.

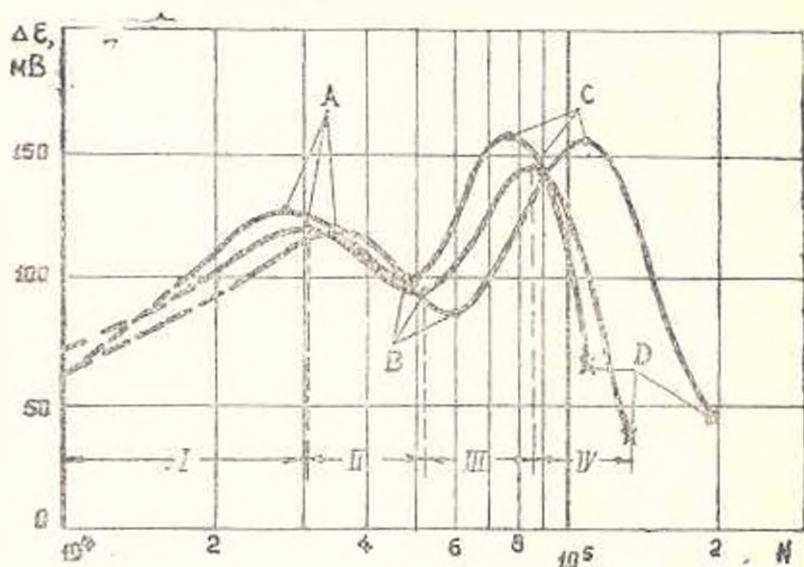


Рис. 1. Изменение относительной магнитной проницаемости $\Delta\epsilon$ от циклической долговечности при испытаниях на усталость стальных буровых труб [3] ($\tau = 80$ МПа).

Неоднородность свойств конструкционных сталей от действия металлургического фактора и технологии изготовления деталей, наличие случайных и неконтролируемых факторов магнитного характера, а также инструментальные возможности магнитоферрозондового метода [3] вызывают рассеяние результатов магнитных измерений, что диктует необходимость применения аппарата корреляционного и регрессионного анализа [4]. Предварительный графический анализ, а также обобщение результатов эксперимента показали, что в качестве математической модели можно выбрать линейную корреляционную связь $a_{x,y} = F_1(y)$ с учетом переменности дисперсии x и y : $\sigma_{x/y}^2 = F_2(y) = \text{var}$, а семейства квантильных линий равной повреждаемо-

сти для каждого периода разрушения выразить корреляционным уравнением

$$X_y = (\bar{x} + z_p s_x) + (\bar{b}_{x|y} + z_p s_b)(y - \bar{y}) = a + b_{x|y} y, \quad (1)$$

где $a = \bar{a} + z_p (s_x \bar{y} - s_b \bar{x})$, $\bar{a} = \bar{x} - \bar{b}_{x|y} \bar{y}$, $b_{x|y} = \bar{b}_{x|y} + z_p s_b$,

$\bar{b}_{x|y} = r s_x / s_y$, с координатами точки перелома наклонного участка линий к горизонтальному

$$y_R = \bar{y}_R (1 + z_p v_{yR}), \quad x_0 = a y_R^{b_{x|y}}. \quad (2)$$

В логарифмических координатах $\lg N - \lg \sigma$ уравнения (1), (2) принимают привычный для расчетов на усталость вид

$$\lg N = (\lg N + z_p s_{\lg N}) - (\bar{m} + z_p s_m) (\lg \sigma - \lg \bar{\sigma}) = C - m \lg \sigma, \quad (3)$$

$$\lg \sigma_R = \lg |\bar{\sigma}_R + z_p v_{\sigma R}|, \quad \lg N_0 = C - m \lg \sigma_R. \quad (4)$$

где C и m — параметр и показатель квантильной линии равной повреждаемости, z_p — квантиль функции Лапласа, удовлетворяющий заданному уровню вероятности неразрушения $P(N)$. При этом возможны два варианта расчетных схем для сопоставления результатов магнитных измерений (рис. 2):

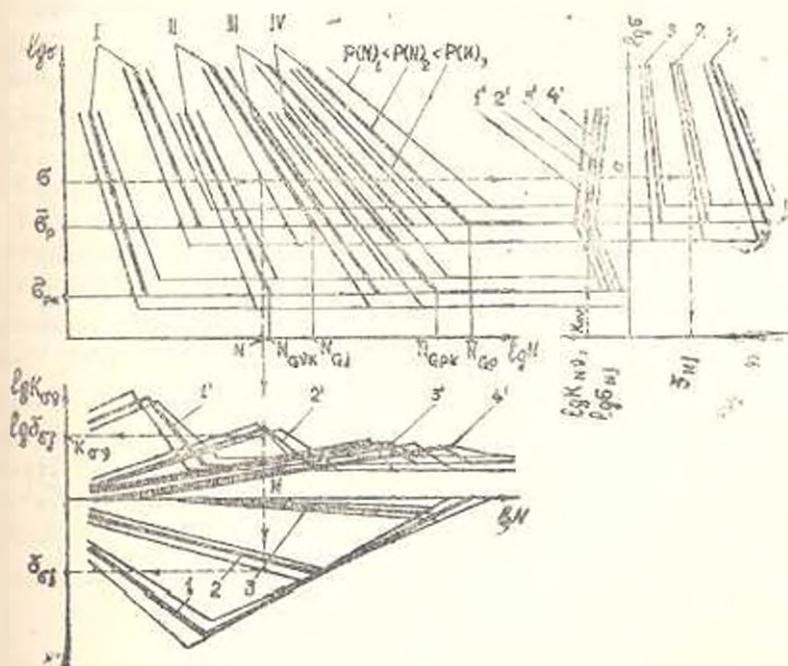


Рис. 2. К определению зависимостей $\delta_{\sigma j}$, $K_{\sigma j} = f_{1,2}[N, P(N)]$ и $\bar{\sigma}_{Nj}$, $K_{Nj} = f_{1,2}[s, P(N)]$; I, II, III, IV — семейства квантильных линий равной повреждаемости; 1, 2, 3 — функции $\delta_{\sigma j} = f_1[N, P(N)]$ и $\bar{\sigma}_{Nj} = f_1[s, P(N)]$ при $j = 1, 2, 3$; 1', 2', 3', 4' — функции $K_{\sigma j} = f_2[N, P(N)]$ и $K_{Nj} = f_2[s, P(N)]$ при $j = 1, 2, 3, 4$.

а) внутри каждой серии испытаний однотипных образцов—для оценки влияния отдельных периодов разрушения (сравниваются I—IV, II—IV и III—IV периоды);

б) между двумя сериями испытаний разнотипных образцов или условий испытаний—для оценки влияния изучаемого фактора (концентрации напряжений, масштабного эффекта, поверхностного упрочнения, режима нагружения, среды и др.) по периоду разрушения (сравниваются I—I, II—II, III—III и IV—IV периоды разнотипных испытаний).

Для унификации расчетных процедур и обобщения комплексных испытаний на усталость и магнитных измерений предлагается методика подсчета относительной прочности и долговечности в области многоциклового усталости с помощью коэффициентов для расчетов схемы № 1—

$$\delta_{\sigma j} = \sigma_{RNj} / \sigma_{RN\varphi}, \quad \delta_{Nj} = N_j / N_{\varphi} \quad (5)$$

для расчетной схемы № 2—

$$K_m = \sigma_{RN\psi} / \sigma_{RN\varphi}, \quad K_N = N_j / N_{\varphi} \quad (6)$$

где σ_{RNj} , $\sigma_{RN\varphi}$ — ограниченные пределы выносливости, рассчитанные согласно (3) для рассматриваемого периода и окончательного разрушения при $N = \text{const}$; N_j , N_{φ} — то же, для циклических долговечностей при $\sigma = \text{const}$ (индексы $j = 1, 2, 3$ соответствуют I, II, III периодам, а φ — IV периоду); $\sigma_{RN\psi}$, $\sigma_{RN\varphi}$ — то же, для исходных испытаний и при наличии изучаемого фактора для данного периода разрушения ($N = \text{const}$); N_j , N_{φ} — то же, для циклических долговечностей ($\sigma = \text{const}$, индексы $\psi = 1, 2, 3, 4$ соответствуют I, II, III, IV периодам).

Входящие в (5), (6) параметры являются вероятностными величинами, а их средние значения в области многоциклового усталости варьируют (рис. 2), поэтому для отыскания функциональных связей $\delta_{\sigma j}$, $K_m = f_{L,2}[N, P(N)]$ и δ_{Nj} , $K_N = f_{L,2}[\sigma, P(N)]$ можно воспользоваться методом сравнения областей рассеяния $\lg N$, заключающимся в совместном решении уравнений семейства квантильных линий (3), (4) для сопоставимых периодов разрушения. Наметим зоны N и σ , в пределах которых вид зависимостей (5), (6) остается неизменным:

- | | |
|--|--|
| 1. $N < N_{\sigma j}$, $\sigma \geq \sigma_{Rp}$, | } расчетная схема № 1, $N_{\sigma j} < N_{\varphi}$; |
| 2. $N_{\sigma j} \leq N \leq N_{\sigma \varphi}$, $\sigma \geq \sigma_{Rp}$, | |
| 1. $N < N_{\sigma \psi}$ ($N < N_{\sigma}$), $\sigma > \sigma_{Rp}$, | } расчетная схема № 2,
$N_{\sigma \psi} < N_{\sigma}$ ($N_{\sigma \psi} > N_{\sigma}$). |
| 2. $N_{\sigma \psi} \leq N \leq N_{\sigma}$ ($N_{\sigma \psi} < N \leq N_{\sigma \psi}$), $\sigma > \sigma_{Rp}$, | |
| 3. $N > N_{\sigma}$ ($N > N_{\sigma \psi}$), $\sigma > \sigma_{Rp}$, | |

Для облегчения расчетных процедур внутри серии испытаний однотипных образцов независимо от периода разрушения предел выносливости берется постоянным и равным аналогичному значению для окончательного разрушения. Для схемы № 1 характерны $N_{01} < D_{01}$ и $\delta_{s1}, \delta_{N1} \leq 1$, а для схемы № 2 — $\sigma_{Rp} \approx \sigma_{R\Phi}$ и $N_{01} \leq N_{0,\Phi}$, т. е. $K_{s1}, K_{N1} \geq 1$, поэтому возможны пять различных вариантов расчетных процедур. Для наиболее часто встречающихся вариантов (схема № 2 — $\sigma_{Rp} > \sigma_{R\Phi}$, $N_{01} \leq N_{0,\Phi}$, которые соответствуют случаям концентрации напряжений и поверхностного упрочнения) в табл. 1 приведены структуры функций (5), (6); для K_{s1} в скобках указан случай, когда $N_{01} < N_{0,\Phi}$.

Графическая интерпретация выполненных расчетных процедур представлена на рис. 2, которая фактически является номограммой для оценки трещиностойкости валов, а также определения их остаточного ресурса по всем периодам разрушения с учетом заданного уровня вероятности неразрушения. Для примера на рис. 2 показана последовательность графических построений для определения коэффициентов $\delta_{s1}, \delta_{N1}, K_{s1}$ и K_{N1} при заданных уровнях N, σ и $P(N)$ (для простоты даны медианные линии функции K_{N1}).

Таблица 1

Зависимости $\delta_{s1}, K_{s1} = f_{L2}[N, P(N)]$ и $\delta_{N1}, K_{N1} = f_{L2}[N, P(N)]$

Зоны № п о		Расчетная схема № 1	Расчетная схема № 2
N	1	$\lg \delta_{s1} = S_{11} - M_{11} \lg N$	$\lg K_{s1} = S_{s1} - M_{s1} \lg N$
	2	$\lg \delta_{s1} = S_2 + M_2 \lg N$	$\lg K_{s1} = S_{s2} - M_{s2} \lg N$ ($S'_{s2} - M'_{s2} \lg N$)
	3	—	$\lg K_{s1} = S_{s1} - \Delta (\lg N_{01}/m_s) = \text{const}$
P	1	$\lg \delta_{N1} = \Delta C_1 - \Delta \pi / \lg \sigma$	$\lg K_{N1} = \Delta C_{s1} - \Delta m_s \lg \sigma$
	2	—	$\lg K_{N1} = \Delta C_{s2} + m_{s,\Phi} \lg \sigma$

$$S_{11} = C_1/m_1 - C_p/m_p, \quad S_2 = S_{11} - (\lg N_{01})/m_1,$$

$$S_{s1} = C_s/m_s - C_{s,\Phi}/m_{s,\Phi}, \quad S_{s2} = S_{s1} + (\lg N_{0,\Phi})/m_{s,\Phi}, \quad S'_{s2} = S_{s2} - (\lg N_{01})/m_s,$$

$$M_{11} = 1/m_1 - 1/m_p, \quad M_2 = 1/m_p, \quad M_{s1} = 1/m_s - 1/m_{s,\Phi}, \quad M_{s2} = 1/m_s, \quad M'_{s2} = 1/m_{s,\Phi},$$

$$\Delta (\lg N_{01}/m_s) = (\lg N_{01})/m_s - (\lg N_{0,\Phi})/m_{s,\Phi}, \quad \Delta C_1 = C_1 - C_p, \quad \Delta C_{s1} = C_s - C_{s,\Phi},$$

$$\Delta C_{s2} = \Delta C_{s1} + m_s \lg \sigma_R, \quad \Delta \pi = m_1 - m_p, \quad \Delta m_s = m_s - m_{s,\Phi}.$$

Выполнение указанных расчетных процедур связано с большим объемом вычислений. С другой стороны, отсутствие априорной информации о нормальности распределения $\lg N, \lg \sigma$ и степени тесноты корреляционной связи между ними для I—III периодов разрушения заставляет выполнить полный объем расчетных проверок статистической значимости параметров (1)–(4) [5], что возможно реализовать

лишь при наличии необходимого программного обеспечения задачи на ЭВМ [4]. Для этого разработан следующий вычислительный алгоритм. Первоначально для каждого периода разрушения из двумерного "массива" данных (x_{ij}, y_{ij}) или $(x_{i.}, y_{i.})$, $i = \overline{1, n}$ (n — число наблюдений) составляют вариационный ряд по y , определяют средние значения \bar{x} и \bar{y} , их с. к. о. s_x и s_y , корреляционный момент r и формируют двумерную корреляционную таблицу. Рассчитывают выборочный коэффициент корреляции r и ее с. к. о. s_r : $r = \mu / (s_x s_y)$, $s_r = (1 - r^2) / \sqrt{(n - 1)}$. Проверяют значимость r при $n < 50$ по критерию Фишера

$$|u| \geq z_{(1-\alpha/2)} s_u, \quad (7)$$

где $u = 1/2 \ln(1+r)/(1-r) + r/2(n-1)$, $s_u = \sqrt{1/(n-3)}$, $z_{(1-\alpha/2)}$ — квантиль функции Лапласа при доверительной вероятности $(1-\alpha/2)$, α — уровень надежности вывода (и мощнострострени $\alpha = 0,15$), а при $n > 50$ — по критерию Стьюдента

$$t_r = |r| \sqrt{(n-2)/(1-r^2)} \geq t_{\alpha, k}, \quad (8)$$

где $t_{\alpha, k}$ — квантиль распределения Стьюдента при заданных α и $k = n - 2$.

Аналогично проверяют статистическую значимость параметров медианной линии регрессии (1)

$$t_a = |\bar{a}|/s_a, \quad t_b = |\bar{b}_{xy}|/s_b, \quad t_x = |\bar{x}|/s_x \geq t_{\alpha, k}, \quad (9)$$

где

$$s_a = s_y \sqrt{(1-r^2)[(n-1)/n + (\bar{y}/s_y)^2]/(n-2)},$$

$$s_b = (s_x/s_y) \sqrt{(1-r^2)/(n-2)}, \quad s_x = s_y \sqrt{(1-r^2)(n-1)/(n-2)}.$$

При удовлетворении условий (7)–(9) определяют 90%-ые доверительные интервалы основных параметров уравнения (1)

$$r_1 < r < r_2, \quad (10)$$

где при $n < 50$ $r_{1,2} = (\exp 2u_{1,2} - 1) / (\exp 2u_{1,2} + 1)$, $u_{1,2} = u \pm z_{(1-\alpha/2)} s_u$, а при $n \geq 50$ $r_{1,2} = r \pm t_{\alpha, k} s_r$,

$$\bar{a} < A < \bar{a}_1, \quad \bar{b}_{xy} < B < \bar{b}_{xy_1}, \quad \bar{x}_1 < X < \bar{x}_2, \quad (11)$$

где

$$\bar{a}_{1,2} = \bar{a} \pm t_{\alpha, k} s_a, \quad \bar{b}_{xy_1,2} = \bar{b}_{xy} \pm t_{\alpha, k} s_b, \quad \bar{x}_{1,2} = \bar{x} \pm t_{\alpha, k} s_x.$$

Рассчитывают параметры квантильных линий (3) и координаты точки перелома (4) при дискретных значениях z_p , соответствующая интервалу $P(V) = 0,1-0,999$. Для схемы № 2 проверяют условие $N_{0,1} \cong N_{C, \Phi}$, уточняют код варианта расчетных процедур и определяют параметры функций (5), (6) согласно табл. 1 для всех перио-

для разрушения. Для построения номограммы (рис. 2) определяют вероятностные значения коэффициентов (5), (6):

а) для схемы № 1 — σ_{a1} при $N = 10^5, 10^6, N_{a1}$ и K_{a1} при

$$\sigma = 1,25 \sigma_{R_D} \cdot \bar{\sigma}_{R_D}$$

б) для схемы № 2 — K_{a2} при $N = 10^5, 10^6, N_{a2}$, $N_{a2\phi}$ и K_{a2} при

$$\sigma = 1,25 \sigma_{R_D} \cdot \bar{\sigma}_{R_D} \cdot \bar{\sigma}_{K_D}$$

Вычислительная программа написана на алгоритмическом языке Basic и реализована на ЭВМ ЕС 1841 (объем 46 кБт — рис. 3).

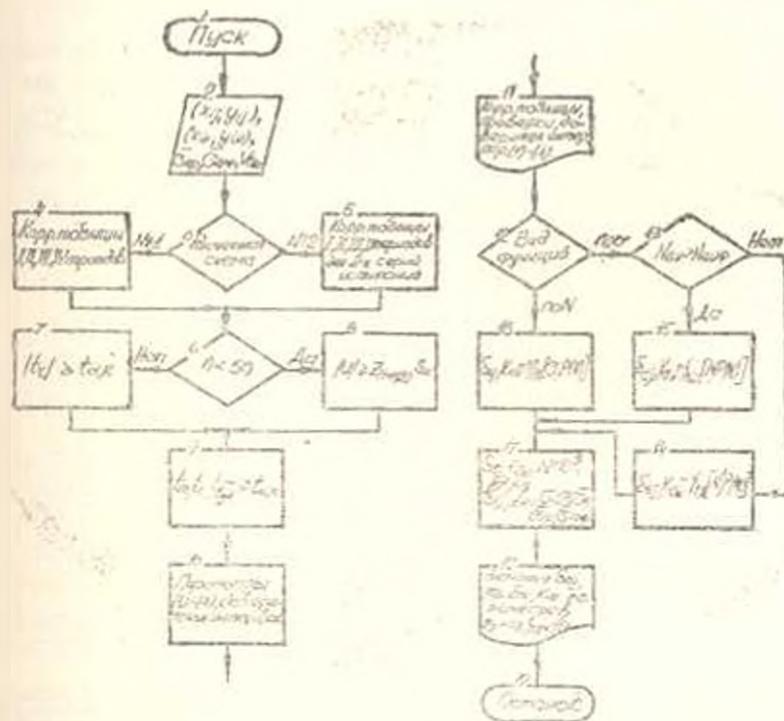


Рис. 3. Схема алгоритма вычислительной программы.

Проведены испытания на усталость образцов (сталь 45, нормализация, $\sigma_0 = 670 \text{ МПа}$, $\sigma_T = 415 \text{ МПа}$, $\sigma_{-1} = 580 \text{ МПа}$, $\tau_T = 250 \text{ МПа}$, $d = 12 \text{ мм}$, гладкие и с V-образной контурной выточкой: $r/d = 0,033$, $D/d = 1,167$, $\alpha_r = 2,85$) на специальном стенде, работающем по прямооточному принципу передачи вращающего момента и нагружающем их совместным действием кругового изгиба и постоянного вращающего момента ($\pm \sigma$, τ , $\phi/\tau = 0,6$). По методике [1–3] с помощью специально сконструированного феррозондового контролера повреждений бесконтактным способом через $N = 10^4$ циклов определены приращения магнитной проницаемости $\Delta \mu$, построены функции $\Delta \mu = f(N)$ и по локальным экстремумам определены границы перно-

дов усталостного разрушения в интервале долговечностей $N=2 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^6$ циклов.

Таблица 2

Статистические параметры и проверки согласно (3) — (11)

Параметры	Гладкие образцы				образцы с V-образной выточкой			
	периоды				периоды			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
n	24	19			13	12	13	12
$\overline{\lg N}$	5,1237	5,2819	5,4140	5,5028	4,9039	5,1318	5,4277	5,7155
$\overline{\lg \sigma}$		2,4807			2,2472	2,2496	2,2426	2,2338
\overline{C}	39,1028	39,0936	40,1277	39,3704	22,6142	23,5655	21,8818	23,4703
\overline{m}	-13,6977	-13,6302	-13,9935	-13,6527	-7,8809	-8,1941	-7,3381	-7,9482
s_{σ}	0,9245	1,0097	0,9587	0,9732	0,9633	1,2604	0,7492	0,7521
s_{N^*}	0,1837	0,2061	0,1937	0,1987	0,186	0,2314	0,1792	0,1512
$ r $	0,964	0,9534	0,9621	0,9594	0,9257	0,9074	0,9117	0,9580
u	2,62	1,93	2,09	1,57	1,67	1,55	1,54	1,96
$s_{(1-\alpha)} s_{\sigma}$		0,49			0,52	0,65	0,61	0,65
t_c	17,05	15,60	16,27	16,30	10,41	8,72	13,02	13,97
t_m	14,82	13,50	14,60	14,01	8,18	6,83	9,79	10,57
$t_{\lg N}$	7,49	7,70	7,71	8,04	11,35	9,78	10,14	11,36
$t_{\sigma, N}$		2,11			2,20	2,23	2,20	2,23
r_1	-0,9868	-0,9847	-0,986	-0,9874	-0,979	-0,9761	-0,9356	-0,9891
r_2	-0,9100	-0,8933	-0,9176	-0,9157	-0,8832	-0,716	-0,846	-0,8647
\overline{C}_1	34,2816	33,806	35,1678	34,24	17,8410	17,3469	18,1773	19,7281
\overline{C}_2	13,9410	41,3816	45,1491	44,465	27,344	29,0041	25,0864	27,246
$\overline{\sigma}_1$	-15,6459	-15,7616	-16,164	-15,7667	-10,0035	-10,8687	-8,9985	-9,6238
\overline{m}_2	-11,7401	-11,4989	-11,9703	-11,5136	-5,5581	-5,449	-5,6069	-6,2725
$\overline{\lg N}_1$	4,7254	4,8167	5,0011	5,083	4,441	4,611	5,0463	5,3786
$\overline{\lg N}_2$	5,5226	5,7168	5,8269	5,9221	5,137	5,0174	5,8204	6,0784
$\overline{\lg \sigma}_R$		2,4116				2,1761		
$\overline{\lg N}_0$	6,0593	6,2226	6,3509	6,445	5,746	5,7344	5,914	6,1742

Результаты вычислений представлены в табл. 2. Они позволяют при наличии кривых усталости по окончательному разрушению, которые даны в большинстве работ по изучению сопротивления усталости металлов и конструкций, производить с помощью уравнений табл. 1 дифференциальную оценку трещиностойкости с учетом заданного уровня вероятности неразрушения.

1. Современные физико-механические методы исследования процесса усталостного разрушения тяжело нагруженных деталей машины//И. В. Олейник, М. Г. Стакян, Ю. П. Шагеев и др.//Надежность и долговечность машин и сооружений: Респ. межвед. сб. науч. тр.—Киев: Наукова думка, 1989.—Вып. 16.—С. 46—55.
2. Стакян М. Г., Мнацаканян А. С., Оганесян Л. Г. Современные методы изучения накопления усталостных повреждений ферромагнитных материалов//Тез. докл. Всесоюз. конф. «Прочность материалов и элементов конструкций при звуковых и ультразвуковых частотах нагружения», г. Киев, 7—8 дек. 1988 г.—Киев, 1988.—С. 10.
3. Стакян М. Г., Шагеев Ю. П., Мнацаканян А. С. Вероятностная оценка периодов усталостного разрушения стальных буровых труб//Хим. машиностроение. Респ. межвед. науч.-тех. сб.—Киев: Техника, 1990.—Вып. 51.—С. 23—28.
4. Стакян М. Г., Оганесян Л. Г., Манукян Г. А. Разработка программных средств для построения оптимальных механических испытаний//Тез. докл. IX Всесоюз. конф. «Планирование и автоматизация эксперимента в лучных исследованиях», г. Москва, 25—27 сент. 1989 г.—М.: Изд-во МЭИ, 1989: Ч. 2.—С. 47—48.
5. Степанов М. И. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник.—М.: Машиностроение, 1985.—232 с.

ЕрПИ

05. I. 1991

Изв. АН Армении (сер. ТН), т. XLIV, № 4, 1991, с. 163—169

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.833

С. А. ГАСПАРЯН, М. В. АРУТЮНЯН

ОПТИМАЛЬНАЯ РАЗБИВКА ПЕРЕДАТОЧНОГО ОТНОШЕНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕДУКТОРА

Рассматривается задача оптимизации разбивки общего передаточного отношения многоступенчатого цилиндрического зубчатого редуктора с точки зрения достижения минимума массы привода, состоящего из функционально взаимосвязанных составляющих—приводного электродвигателя и передачи. Численное решение задачи осуществлено усовершенствованным методом Хука-Дживьеса, эффективным для достаточно большого числа варьируемых переменных. Проведена вероятностная оценка полученных результатов. На основе проведенных вычислений приведены рекомендации по назначению передаточных отношений редуктора по ступеням.

Ил. 3. Табл. 3. Библиогр.: 6 назв.

Գիտարկվում է բազմաստիճան զլանակաև աստմեայտր ոնզուկտորի բնզհանուր փոխանցման հարարերոթյան տրոհման լավարիճան խնդիրը ֆունկցիոնալ փոխակապեցված բաղադրիչներից՝ էլեկտրաշարժիչից ու փոխանցումներից կազմված շարժարևրի նվազագույն զանգվածի հասնելու տեաանկյունից: Խնդրի թվային լուծումն իրականացված է բավական մեծ թվով փոփոխականների դեպքում զործուն շուկի-Ջիվիսի կատարելագործված մեթոդով: Կատարված (ստացված) արդյունքների հավանականային գնահատում և հաշվարկների հիման վրա բերված են ոնզուկտորի բառ սատիճանների փոխանցման հարարերոթյունների նշանակման հանձնարարականներ: