Раздел 2 | Машиностроение. Металлургия

ӘОЖ 621.01.539.3

БӘКІРОВ Ж.Б.,
ТӘҢІРБЕРГЕНОВА А.Ә.

Бөлшектердің ұзақ уақыт жұмыс жасауының ықтималдық есебі

Ауыспалы кернеулерде жұмыс жасайтын машина бөлшектерін жобалау қажетті қорын алдын ала болжайды. Бұл қорды ұзақ уақыт жұмыс жасауға әсер ететін мақсатпен бағытталған параметрлердің өзгеру жолымен басқаруға әкеледі. Қордың жоғарылауы материалды және еңбек шығынын үнемдеуге әкеледі.

Қирауға дейінгі циклдар санының статистикалық таралуын N тұрақты S амплитудадағы үлгілерді сынаудың қажуынан анықтайды. Көптеген сынаулардан көретініміз, оның логарифмдік нормалды заңға бағынатындығы [1].

$$f(N)=\left(\sqrt{2\pi}N\sigma_z\right)^{-1}\exp\left[-(\ln N-m_z)^2/2\sigma_z^2\right], \quad (1)$$

мұнда $z=\ln N$; σ_z, m_z – тұрақты және математикалық үміт, олар зерттеу бойынша анықталады.

Мұнда N санының ықтималдық сипаттамалары:

$$m_N=\exp(m_z+\sigma_z^2/2),\ k_N=\sigma_N/m_N=(\exp\sigma_z^2-1)^{1/2}. \quad (2)$$

Егер сынау жолымен m_N, k_N анықталса, онда таралу параметрлері былай анықталады:

$$\sigma_z^2=\ln(k_N^2+1)\ ,\ m_z=\ln m_N-\sigma_z^2/2. \quad (3)$$

N_P циклдар санындағы қирау ықтималдығы мынаған тең

$$P=F(N)=\int_0^{N_P}f(N)dN=\Phi\left(\frac{\ln N-m_z}{\sigma_z}\right),$$

мұнда Φ – нормальді таралудың табулирланған функциясы. Бұдан H_* сенімділігін белгілеп,

бөлшектің ұзақ уақыт жұмыс жасауын анықтауға болады.

$$N_P=\exp\left(\gamma_P\sigma_z+m_z\right),$$

мұнда $\gamma_P-P=1-H_*$ ықтималдығына сәйкес келетін

нормаль таралуының квантиділі.

Нақты бөлшектер үшін (1)-дің таралу параметрлерін зерттеу түрінде анықтау, өте үлкен жұмыс болып табылады. Сонымен қоса нақты шарттарда кернеу амплитудасы кездейсоқ сипаттамаға ие. Сондықтан кездейсоқ факторларды ескеріп бөлшектердің ұзақ уақыт жұмыс жасауын анықтау үшін әдістерді дайындау өте қажетті.

[2] жұмысында $f(s)$ кернеу амплитудаларының әртүрлі таралу заңдарындағы бөлшек қорларын анықтау үшін өрнек алынды, ол мына түрде келтірілді.

$$a=\left(u-b/2\right)/\left(x_m-b/2\right),\ \ N=aN_0R_g^m/I, \quad (4)$$

мұнда $b=R_g/\sigma_s$; $X_m=S_m/\sigma_s$; $I=\int_{R_g}^{0}S^m f\left(s\right)dS$;

$$U=\int_{R_g/2}^{\infty}Sf\left(s\right)dS/\sigma_s\int_{R_g/2}^{\infty}f\left(s\right)ds.$$

мұнда R_g – бөлшектің төзімділік шегі;

S_m – кернеудің ең үлкен шамасы, ал қажу қисығы теңдеумен бейнеленген

$N = N_0(R/S)^m$ кезінде $S \ge R_g$; $N = \infty$ кезінде $S < R_g$ (5)

(5) өрнегін $N = a/\bar{\upsilon}$ түрінде көрсетеді, мұнда υ – бір циклдағы бұзылудың орта шамасы.

$$\bar{v} = \int_0^\infty \left[f_{(S)} / N_{(S)} \right] dS$$

Екінші момент және бірлік бұзылуларының дисперсиялары мына формулалар бойынша анықталады

$$\left\langle v^2 \right\rangle = \int_0^\infty \left[f_{(s)} / N_{(s)}^2 \right] ds, \quad \sigma_v^2 = \left\langle v^2 \right\rangle - \bar{v}^2. \qquad (6)$$

Қирауға дейінгі циклдар саны регуляр жүктелу жағдайындағы бөлшектің ұзақ уақыт жұмыс жасауын анықтайды. Жүктелудің күрделі циклдарында ұзақ уақыт жұмыс жасаудың орташа шамасы $\bar{T}$ жүктелу арасындағы орташа уақыт $\bar{t}$ арқылы анықталады

$$\bar{T} = \bar{t}N = \bar{t}a/\bar{\upsilon} = a\bar{t}N_0R_g^m / I. \qquad (7)$$

Ұзақ ұақыт жұмыс жасау дисперсиясы [3] формуласы бойынша анықталады

$$\sigma_T^2 = \bar{T}\bar{t}\left[\sigma_v^2 / \bar{v}^2 + \sigma_t^2 / \bar{t}^2 \right], \qquad (8)$$

мұнда σ_t^2 – жүктеулер арасындағы уақыт дисперсиясы.

Ұзақ уақыт жұмыс жасаудың таралуы логарифмді нормальді заңына бағынады және (1) өрнегімен N_P-ны T-ға ауыстыру арқылы анықталады.

Ұзақ уақыт жұмыс жасау көрсеткіштерінің анықталуын амплитуданың релеевский таралуы мысалында көрсетеміз. Бұл жағдайда [2] жұмысында алынды

$$\bar{T} = \frac{2^{-m/2}T_0b^m}{\Gamma(1+m/2)Q(b^2, m+2)}, \qquad (9)$$

мұнда $T_0 = aN_0\bar{t}$.

(7) бойынша бірліктік бұзылу дисперсиясы тең

$$\sigma_v^2 = 2^m\Gamma(m+1)Q(b^2, 2m+2)/N_0^2b^{2m} - \left(T_0/N_0\bar{T}\right)^2.$$

Ұзақ уақыт жұмыс жасау дисперсияларын (9) формуласы бойынша табамыз. Бұнда жүктемелер арасындағы уақыт таралуын релеевскилік деп санаймыз:

$$\sigma_t^2/\bar{t}^2 = \left\langle t^2 \right\rangle / \bar{t}^2 - 1 = 4/\pi - 1 .$$

Енді

$$\sigma_m^2 = \bar{t}\bar{T}\left[\frac{\Gamma(m+1)Q(b^2, 2m+2)}{\Gamma^2(1+m/2)Q(b^2, m+2)} + \frac{4}{\pi} - 2 \right]. \qquad (10)$$

[3]-те алынған тәуелділіктердің зерттеу тексерулері мыналарды көрсетеді, ұзақ уақыт жұмыс жасаудың орташа мәндері тәжірибелік берілгендермен жақсы сәйкес келеді, ал ұзақ уақыт жұмыс жасаудың нақты шашыраулары (10) формуласы көрсеткендегіге қарағанда едәуір көп болады. Бұның негізгі себебі, біз есептеулерде кернеу амплитудаларының кездейсоқ сипаттамаларын ғана ескердік, ал материалдардың механикалық қасиеттері детерминирленген деп санадық. Алайда, белгілі себептер бойынша төзімділік шегі кездейсоқ шама және оның шашырауы ұзақ уақыт жұмыс жасау шашырауына маңызды ықпал жасайды.

Ұзақ уақыт жұмыс жасаудың ықтималдық сипаттамаларын $f(R)$ төзімділік шегінің белгілі таралу заңдарында анықтаймыз. Қойылған есептерді шешудің бірнеше жолдары бар. Бірінші жолы толық ықтималдық формуласы бойынша ұзақ уақыт жұмыс жасаудың сөзсіз таралуының анықталуымен бекітіледі

$$P(m) = \int_0^\infty f(m/R)f(R)dR, \qquad (11)$$

мұнда ұзақ уақыт жұмыс жасаудың шартты таралуы (6)-ны ескерумен (1) өрнегі бойынша анықталады. Біракта бұл жолдардың толық үлестірулері аса қиын болады, яғни (12) интегралын әрбір T үшін сандық түрде алу керек, ал содан кейін $P(T)$ таралуын тұрғызамыз. Бұнда келесі ықшамдаулар болуы мүмкін. Зерттеу берілгендерін есептеу нәтижелерімен (9) формула бойынша салыстыру шартты ұзақ уақыт жұмыс жасау шашырауы көп жағдайларда төзімділік шегінің ауысуымен шақырылған ұзақ уақыт жұмыс жасау шашырауымен салыстырғанда аз болады. Бұндай жағдайда ұзақ уақыт жұмыс жасау таралуының шартын дельта – функциямен жуықтауға болады

$$f(T/R) \approx \delta\left[T - \bar{T}(R) \right],$$

мұнда $\bar{T}(R)$ – ұзақ уақыт жұмыс жасау көрсеткіштерінің кез келген сипаттамалық (кездейсоқ емес) мәні, ол ұзақ уақыт жұмыс жасау сипаттамалары деп аталады.

Ұзақ уақыт жұмыс жасау таралуы (11) формуласына сәйкес мынаған тең болады

$$P(m) = -\frac{d}{dm}\left[\int_{m<\bar{m}(R)} f(R)dR \right] = \frac{d}{dm}F\left[R_*(m) \right], \qquad (12)$$

мұнда $F(R)$ – төзімділік шегінің таралу функциясы; $R_*(t)$ – теңдеудің түбірі

$$\bar{T}(R) = t. \qquad (13)$$

(12) формуласын пайдаланған кезде $R_*(t)$ функциясын (13) теңдеуінен анықтаудан қиындықтар туындайды. Сонымен, егер сипаттамалық ұзақ уақыт жұмыс жасау (10) теңдеуімен анықталса, онда $R_*(t)$ функциясының аналитикалық түрде анықтау $Q(b^2)$, m+2 трансцендентті функцияларының барлығынан алу мүмкін емес. Бұл жағдайларда кейде жуық шешімдерді қабылдауға болады, олар $Q(b^2, m+2)$ функцияларының шашырауларын ескермейді. Онда

$$R_*(t) = \sqrt{2}\sigma_S\left[Q(b_0^2, m+2)\Gamma(1+m/2)t/T_0 \right]^{1/m}, \qquad (14)$$

мұнда $b_0 = m_R/\sigma_S$; m_R – төзімділік шегінің математикалық үміті.

Егерде төзімділік шегі екі параметрлі Вейбулл таралуына ие болса:

$$F(R) = 1 - \exp(-R^\beta / a).$$

Онда ұзақ уақыт жұмыс жасау таралуын (13) формула бойынша табуға болады

$$P(T) = \alpha LT^{\alpha-1}\exp(-LT^\alpha), \qquad (15)$$

мұнда $\alpha = \beta/m$, $L = \left(\sqrt{2}\sigma_S\right)^\beta\left[Q(b_0^2, m+2)\Gamma(1+m/2)t/T_0 \right]^\alpha / a$.

Жалпы жағдайда төзімділік шегінің шашырауын ескеру үшін статистикалық үлгілеу әдісін қолданады.

(10) өрнегінен R-ден тәуелді мүшелерді жазамыз:

$$u = x^m / Q(x^2,\ m+2),$$

мұнда $x = b = R/\sigma_S$ – кездейсоқ шама.

Онда $T = L_0 u$, мұнда $L_0 = T_0 / 2^{m/2} \Gamma(1+m/2)$.

Төзімділік шегін анықтау үшін нормальды таралуға ие болсын. Жүктемелер мен материалдардың тұрақты параметрлерін (σ_S, m_S, σ_R, m_R) белгілейміз және нормальды таралуға ие x шамасын генерациялаймыз, оның параметрлері:

$$b_0 = m_R / \sigma_S,\ \sigma_0 = \sigma_R / \sigma_S.$$

Үлестірудің көп сандарының берілу жолдарымен u мәнін табамыз және статистикалық өңдеуден кейін оның таралу заңын анықтаймыз. [3] ұзақ уақыт жұмыс жасау шашырауының зерттеу берілгендері және жүргізілген есептер u шамасы үшін логарифмді нормальді таралу заңын қабылдау үшін негізделеді

$$P(u) = (\sqrt{2\pi} u d)^{-1} \exp\left[-(\ln u - c)^2 / 2d^2\right],$$

мұнда c және d таралу параметрлері u шамасы моменттері арқылы табылады

$$C = 2\ln\bar{u} - 0,5\ln\left\langle u^2 \right\rangle,\ d^2 = \ln\left\langle u^2 \right\rangle - 2\ln\bar{u}.$$

u шамасының моменттері арқылы және ұзақ уақыт жұмыс жасау моменттерін табамыз:

$$\bar{T} = L_0 \bar{u},\ \sigma_T^2 = L_0^2(\left\langle u^2 \right\rangle - \bar{u}^2),\ k_T = \left[\left\langle u^2 \right\rangle / \bar{u}^2 - 1\right]^{1/2}$$

$P(u)$ ықтималдық тығыздығын түрлендіру бойынша ұзақ уақыт жұмыс жасау таралуын табамыз

$$P(T) = (\sqrt{2\pi} T d)^{-1} \exp\left[-(\ln T - A)^2 / 2d^2\right], \qquad (16)$$

мұнда $A = C + \ln L_0$.

Гамма – проценттік қорының анықталуы (4) формула бойынша жүргізіледі

$$T = L_0 \exp(C + d\gamma_P).$$

Есептің аналитикалық шешімін $Q(b_0^2, m+2)$ функциясының шашырауын ескермей алуға болады. Онда ұзақ уақыт жұмыс жасаудың ықтималдық сипаттамаларын мына формулалар бойынша анықтауға болады:

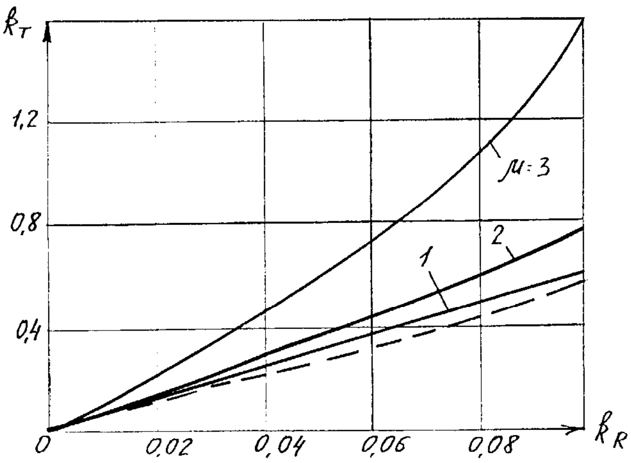
$$\bar{T} = L_0 \bar{y} / Q(b_0^2, m+2),\ \ k_T = b_0^m m k_R / \bar{y}, \qquad (17)$$

мұнда $\bar{y} = b_0^m\left[1 + m(m-1)k_R^2 / 2\right]$.

Суретте ұзақ уақыт жұмыс жасауының вариация коэффициентінің $m = 6$ үшін әртүрлі b_0-дің төзімділік шегінің вариация коэффициентіне тәуелділік графигі көрсетілген. Сонымен қоса мұнда пунктирлі сызықтармен осы тәуелділік $Q(b_0^2, m+2)$ функциясының шашырау есебінсіз келтірілген. Бұл жағдайда k_T b_0-ға тәуелді емес. Бұндай сипаттамаларға басқа да m кезіндегі қисықтар ие, бірақ вариация коэффициенті k_T m жоғарылаған сайын ұлғайады.

Егер бөлшекте кездейсоқ функциялар болып табылатын нормаль S_σ және жанама S_τ кернеулі амплитудаларымен жазық кернеуленген күй пайда болса, онда ұзақ уақыт жұмыс жасау есебі қираудың бір критерин қолданумен жүргізіледі. Көбінесе эквивалентті кернеу арқылы өрнектелген эллиптикалық тәуелділік қолданылады.

$$\left(S_{\sigma e} / R_{g\sigma}\right)^2 + \left(S_{\tau e} / R_{g\tau}\right)^2 = 1.$$



Ұзақ уақыт жұмыс жасау мен төзімділік шегінің вариация коэффициенттерінің арасындағы $m = 6$ болған кездегі тәуелділік:
1. – b_0=1; 2. – b_0=2; 3. – b_0=3.

Эквивалент кернеуді $\bar{\upsilon}$ -ның эквивалент кернеудің бірлік бұзылуына теңдік шартынан табамыз.

$$\bar{\upsilon}_{1e} = 1/N(s) = S_e^m / N_0 R_g^m.$$

Бұдан табамыз $S_{\sigma e} = I_\sigma^{1/m_\sigma}$, $S_{\tau e} = I_\tau^{1/m_\tau}$,

мұнда m_σ, m_τ – нормаль және жанама кернеулерді сынау кезіндегі қажу қисығының көрсеткіштері.

Егер бөлшекке тек нормаль кернеулер әсер етсе, онда оның ұзақ уақыт жұмыс жасауын (5)-ші формула бойынша анықтауға болады және оның сәйкес төзімділік шегі

$$R_{g\sigma} = \left(N_\sigma I_\sigma / a_\sigma N_{0\sigma}\right)^{1/m_\sigma}.$$

Жалпы жағдайдағы жүктелу кезіндегі қирауға дейінгі циклдар санын ескере отырып

$$N = a_\sigma N_{0\sigma} = a_\tau N_{0\tau}$$

Табамыз. $S_{\sigma e} / R_{g\sigma} = N / N_\sigma$

Онда қирау критериі мына түрге ие

$$\left(N / N_\sigma\right)^{2/m_\sigma} + \left(N / N_\tau\right)^{2/m_\tau} = 1. \qquad (18)$$

Көптеген материалдар үшін $m_\sigma = m_\tau = m$. Онда (18)-ден ие боламыз

$$N = \frac{N_\sigma N_\tau}{\left(N_\sigma^{2m} + N_\tau^{2m}\right) m / 2}. \qquad (19)$$

Ұзақ уақыт жұмыс жасау таралуының тығыздығы (1) өрнегі бойынша анықталады. Таралу параметрлерін табу үшін белгілеулер енгіземіз.

$$z = \ln N \quad z_1 = \ln N_\sigma \quad z_2 = \ln N_\tau$$

Және (19) өрнегін логарифм дейміз

$$z = z_1 + z_2 - 0,5m\ln\left(e^{2z_1/m} + e^{2z_2/m}\right).$$

Ары қарай математикалық үмітті анықтаймыз

$$m_z = m_{z1} + m_{z2} - 0,5m\ln\left[\exp\left(2m_{z1}/m\right) + \exp\left(2m_{z2}/m\right)\right]. \quad (20)$$

Дисперсия z-ті жуық формула бойынша анықтаймыз

$$D_z = d_1^2\sigma_{z1}^2 + d_2^2\sigma_{z2}^2.$$

Мұнда $d_1 = \left(\frac{\partial z}{\partial z_1}\right)_m = 1 - \frac{1}{1+\left(\bar{N}_\tau / \bar{N}_\sigma\right)^{2/m}}$;

$$d_2 = \left(\frac{\partial z}{\partial z_2}\right)_m = 1 - \frac{1}{1+\left(\bar{N}_\sigma / \bar{N}_\tau\right)^{2/m}}.$$

Бұл формулалардағы m_{z1}, m_{z2}, σ_{z1}^2, σ_{z2}^2 зерттеу бойынша анықталады. Сонымен бірге $\bar{N}_\sigma$, $\bar{N}_\tau$ (2) формуласы бойынша анықталады. Егер зерттеу бойынша $\bar{N}_\sigma$, $\bar{N}_\tau$, $\sigma_{N\sigma}$, $\sigma_{N\tau}$ ықтималдық сипаттамалар анықталса, онда нормаль және жанама кернеулердің таралу параметрлері (3)-ші формула бойынша анықталады.

Таралу параметрлерін анықтағаннан кейін бөлшектің гамма процентті қоры (4)-ші формула бойынша анықталады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.В. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. М.: Машиностроение, 1975. 488 с.
2. Бакиров Ж.Б., Танирбергенова А.А. Расчет надежности деталей машин по усталостному разрушению // Труды международной научной конференций «Вторые Сагиновские чтения». Караганда, 2010.
3. Гусев А.С. Сопротивление усталости и живучести конструкций при случайных нагрузках. М.: Машиностроение, 1989. 248 с.

УДК 622.232-8

ИСАГУЛОВ А.З., ШАРАЯ О.А., МЕЩАНОВА С.О., ИППОЛИТОВ С.В., РЯБИНИН С.В.

Разработка методов поверхностного упрочнения металлических изделий

В ближайшем будущем наиболее распространенными среди металлических конструкционных материалов останутся сплавы на основе железа и, прежде всего, стали. В этой связи в области современного металловедения одной из самых важных и актуальных задач является разработка доступных, экономичных, высокоэффективных и экологически безопасных технологий упрочнения конструкционных сталей, обеспечивающих получение заданных эксплуатационных свойств [1].

Для модифицировании поверхности металлов предпочтение отдается методам управляющей обработки, использующих в качестве теплового источника концентрированные потоки энергии: ионные, лазерные, ультразвуковые, высокочастотные индукционные и другие. Высокие плотности мощности лазерного излучения, существенно превосходят другие источники энергии, позволяют не только значительно увеличить производительность обработки, но и получать качественно новые свойства поверхностей, недоступные традиционным методам обработки материалов.

В работе были проведены исследования процессов лазерного легирования. На поверхность образцов стали марки 45 предварительно наносили обмазки системы «W-V-Cr», в качестве связующего использовалось жидкое стекло. Обработку образцов осуществляли при оплавлении их поверхности непрерывным излучением мощного СО2-лазера «ХЕБР-2500».

Режимы обработки образцов выбирались так, чтобы не было сильного проплавления поверхности. На первой группе образцов была проведена лазерная обработка с параметрами, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры лазерной обработки для первой группы образцов

Мощность лазерного излучения P (Вт)	500				
Скорость обработки материала v (об/мин)	520				
Высота лазерной головки I (мм)	1	5	10	12	15

Проплавление было хорошим, но существовала одна конструктивная особенность лазера «ХЕБР-2500» – объектив, который стоит в головке, охлаждается продуванием через него воздуха, чтобы температурой не разрушило линзы объектива. Этот воздушный поток раздувает расплавленный слой металла, отчего на поверхности образцов образуются канавки глубиной 1,5 мм. Увеличение высоты головки над образцом одновременно с увеличением мощности излучения приводило к увеличению размеров обрабатываемой зоны, что не всегда желательно, поэтому в дальнейших экспериментах была увеличена скорость обработки. Параметры обработки второй группы образцов представлены в таблице 2. Во второй группе на первых трех образцах наблюдалось также образование канавок, но при высоте головки более 10 мм разлета расплава не наблюдалось. Максимальная глубина канавок 0,7 мм.

На практике для получения поверхности без оплавления часто используют поглощающие покрытия. Длину волны излучения лазера «ХЕБР-2500» – 10,6 мкм – почти полностью поглощает оксид алюминия Al_2O_3. На третью группу образцов было нанесено поглощающее покрытие на основе оксида алюминия, смешанного с лаком 4С. Параметры обработки третьей группы образцов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры лазерной обработки для второй группы образцов