

Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут"

На правах рукопису
УДК 539.374.620.3

МОЖАРОВСЬКИЙ Валерій Миколайович

**ВПЛИВ ВИДУ РАДІАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА
ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМУВАННЯ, ПОШКОДЖУВАНІСТЬ
І ДОВГОТРИВАЛУ МІЦНІСТЬ МЕТАЛІВ.**

**Спеціальність 05.02.09 - Динаміка, міцність машин,
приладів і апаратури**

**Автореферат
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук**

Київ - 1996

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на **ЛННБ України ім.В.Стефаніка** і спору матеріалів Національного політехнічний інститут”.



00757284 (X)

Науковий керівник:

- доктор технічних наук,
професор Бобир М.І.

Офіційні опоненти:

-член.кор. НАН України,
доктор технічних наук,
професор Шевченко Ю.М.
-доктор технічних наук, в.н.с.
Гігіняк Ф.Ф.

Провідна організація:

АНТК “Антонов”.

Захист дисертації відбудеться “23” грудня 1996 р. о 15 годині на засіданні спеціалізованої ради Д 01.02.18 в Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут”. 252056, м. Київ-56, пр-т Перемоги, 37, корп №1, ауд.№166.

З дисертацією можна ознайомитись в науковій бібліотеці університету.

Автореферат розісланий “22” листопада 1996 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
Д 01.02.18, кандидат
технічних наук, доцент

О.А.Боронко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

Дисертаційна робота присвячена аналітичному дослідженню впливу виду радіального навантаження на пластичне деформування, пошкоджуваність і довготривалу міцність металів в умовах плоского напруженого стану.

Актуальність роботи. Багато елементів конструкцій працюють в умовах, коли навантаження можуть змінюватись по різних законах. Аналіз багатьох досліджень, що проведені різними авторами, як у нашій країні так і за кордоном переконливо свідчить про істотний вплив виду навантаження на пластичне деформування, пошкоджуваність і довготривалу міцність металів. Тому для розрахунку реальних елементів конструкцій, необхідно створення таких критеріїв граничного стану металів, які враховували б параметри, що характеризують вид навантаження.

Метою роботи є аналітичне обґрунтування впливу виду радіального навантаження на пластичне деформування, пошкоджуваність і довготривалу міцність металів, на базі якого необхідно одержати такі критерії граничного стану металів, які враховували б історію і передісторію навантаження. Відповідно до поставленої мети були сформульовані основні завдання:

- розробити програму і методику аналітичного узагальнення експериментальних результатів по оцінці впливу виду навантаження на пластичне деформування, пошкоджуваність і довготривалу міцність металів;
- розробити критерії граничного стану металів з врахуванням історії навантаження і критерій довготривалої міцності металів, що враховує передісторію навантаження;
- конкретизувати функціонали і функції, що входять до них, які дозволять дати кількісну оцінку впливу історії і передісторії навантаження, і тим самим, дати відповідь на питання, як використовувати результати експериментів на пластичне деформування, пошкоджуваність і довготривалу міцність, що проведені в умовах лінійного напруженого стану на випадок

розрахунку елементів конструкцій, що працюють в умовах складного напруженого стану з врахуванням виду радіального навантаження.

Методи дослідження. В основу аналітичного дослідження була покладена гіпотеза ефективних напружень, які пов'язані з пошкоджуваністю. За основну характеристику пошкоджуваності була прийнята величина, що характеризує швидкість пружної енергії, яка звільняється в одиниці об'єму матеріалу, і витрачається на порушення внутрішніх сил зчеплення, що раніше запропонована Л.М. Качановим і розвинута Ю.М. Работновим.

Основні теоретичні і практичні результати, які одержані автором особисто і виносяться на захист, полягають в наступному:

- розроблена програма і методика аналітичного дослідження впливу історії і передісторії навантаження на пластичне деформування, пошкоджуваність і довготривалу міцність металів;
- конкретизація функціоналів і функцій, що до них входять, які дозволили одержати кількісну оцінку впливу виду навантаження на пластичне деформування, пошкоджуваність і довготривалу міцність металів в умовах плоского напруженого стану;
- математична модель пошкоджуваності металів, яка вказує, що пошкодження залежить не тільки від величини інтенсивності пластичної деформації, а також і від траєкторії радіального навантаження, по якій дана величина була досягнена;
- критерій пошкоджуваності матеріалу, що враховує історію навантаження;
- критерій довготривалої міцності металів, що враховує передісторію навантаження.

Достовірність одержаних наукових результатів, що приведені в роботі, визначається експериментальним підтвердженням тих теоретичних передумов, на яких вони базуються.

Практична цінність роботи полягає в тому, що одержані критерії граничного стану металів дозволяють більш правильно підійти до оцінки

міцності і довговічності елементів конструкцій, з урахуванням історії і передісторії навантаження.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались на наукових конференціях студентів та молодих вчених Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут” (1990, 1991, 1994, 1996 р.р.); на ІХ міжреспубліканській конференції “Проблеми підвищення міцності елементів машинобудівних конструкцій”, М.: МВТУ, 1991.

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 7 наукових робіт. Основний зміст роботи відображено в публікаціях (1-7). Всі роботи виконані автором особисто.

Структура роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, п’яти розділів, висновку і списку літератури, що цитується. Робота викладена на 195 сторінках, включаючи 35 малюнків, 20 таблиць. Бібліографічний список враховує 114 назв.

Автор виражає вдячність своєму науковому керівнику, доктору технічних наук, професору Бобирю М.І. за увагу до роботи та корисні поради.

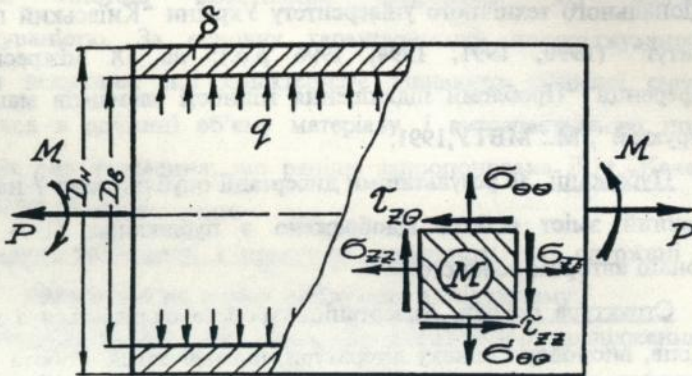
ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.

У вступі даної роботи дається обґрунтування актуальності проблеми, що розглядається. Вона полягає в тому, що всі елементи конструкцій під час їх експлуатації піддаються різним видам радіального навантаження в умовах складного напруженого стану. Вид навантаження впливає на розвиток пластичних деформацій, які в свою чергу впливають на розвиток пошкоджуваності. Накопичення пошкоджень веде до зниження довготривалої міцності таких елементів конструкцій.

Виконання даної роботи направлено на створення критеріїв граничного стану матеріалів, які враховували б історію і передісторію навантаження.

В першому розділі характеризуються види навантаження в умовах плоского напруженого стану. За об’єкт експериментального і аналітичного дослідження впливу виду навантаження на пластичне деформування,

пошкоджуваність і довговічність металів в умовах плоского напруженого стану вибрана тонкостінна оболонка (мал. 1), яка зазнає одночасного впливу внутрішнього тиску q , розтягу силою P і крученню, моментом кручення M .



Мал.1

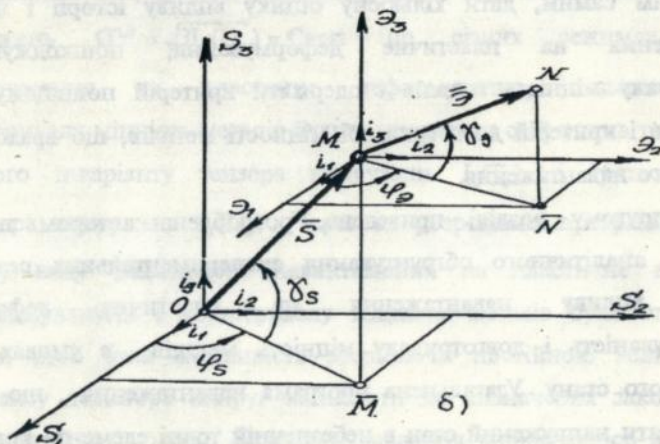
Дана оболонка знаходиться в умовах однорідного плоского напруженого стану, який характеризує ідентичні умови робочої частини зразків, на яких проводять експерименти з досліджень впливу траєкторії навантаження на пластичне деформування, пошкоджуваність і довготривалу міцність металів.

Аналіз багатьох досліджень, які проведені різними авторами, як у нашій країні, так і за кордоном, переконливо свідчить про вплив виду навантаження на пластичне деформування, пошкоджуваність і довготривалу міцність металів.

Виходячи з цього, аналітичне обґрунтування даного впливу і кількісна оцінка впливу історії і передісторії навантаження на пластичне деформування, пошкоджуваність і довговічність металу є актуальною задачею. Задача вирішується у просторі напружень і в просторі деформацій О.А. Іллюшина, де кожному девіатору $S_{ij}(t)$ напружень і девіатору деформацій $e_{ij}(t)$ відповідає вектор напружень $\vec{S}(t)$ і вектор деформацій $\vec{\Xi}(t)$:

$$S_{ij}(t) \Rightarrow \bar{S}(t) = \sum_{k=1}^3 S_k(t) \bar{i}_k; \quad e_{ij}(t) \Rightarrow \bar{\Theta}(t) = \sum_{k=1}^3 \Theta_k(t) \bar{i}_k \quad (1)$$

Процес навантаження в тривимірному векторному просторі напружень S_k і тривимірному векторному просторі деформацій Θ_k характеризується вектором напружень $\bar{S}(t)$ і вектором деформацій $\bar{\Theta}(t)$, які в процесі навантаження (деформування), в залежності від їх траєкторії, міняються у величині і напрямку (мал.2).

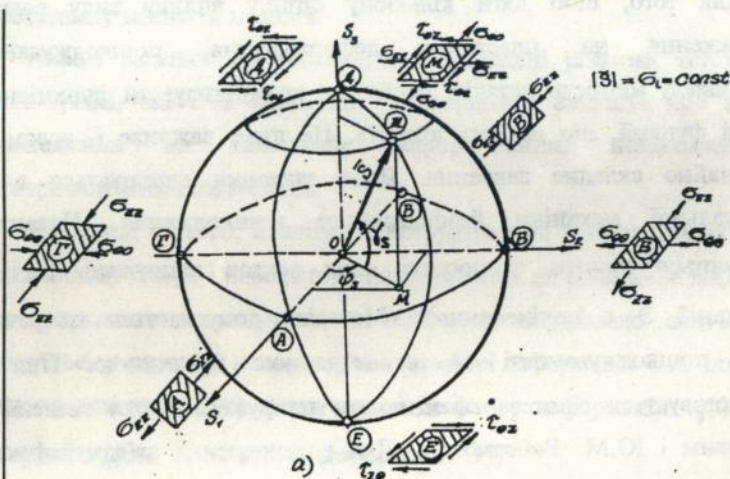


Мал. 2

Для того, щоб дати кількісну оцінку впливу виду радіального навантаження на пластичне деформування, пошкоджуваність і довготривалу міцність металів, необхідно конкретизувати функціонали і ті основні функції, що до них входять. Це дуже важливе і, разом з тим, надзвичайно складне завдання. Дане завдання вирішується в рамках континуальної механіки безперервного пошкодження. Навантаження приймаються такими, у процесі яких вектор напружень \bar{S} і вектор деформацій $\bar{\Theta}$ є колінеарними. Матеріал допускається ізотропним, а змінна пошкоджуваності Ω є скалярною величиною. При цьому використовується гіпотеза ефективного напруження, яка введена Л.М. Качановим і Ю.М. Роботновим. Для встановлення зв'язку ефективного напруження з пошкоджуваністю матеріалу за термодинамічний потенціал приймається пружна енергія деформування, яка вибирається лінійною

функцією відносно величини, зв'язаної з пошкоджуваністю Ω і квадратичною функцією відносно пружних деформацій ϵ_p . За основну величину, що характеризує пошкоджуваність матеріалу в процесі навантаження, приймається швидкість звільнення пружної енергії деформації в одиниці об'єму пошкоджуваного тіла. При вирішенні поставленого завдання використовуються також гіпотези про пружну зміну об'єму і форми. Використовуючи вказані припущення і гіпотези, було поставлено завдання конкретизувати функціонали і функції, що входять до них і, тим самим, дати кількісну оцінку впливу історії і передісторії навантаження на пластичне деформування, пошкоджуваність і довготривалу міцність металів і одержати критерій пошкоджуваності, а відповідно і критерій довготривалої міцності металів, що враховують вид радіального навантаження.

У другому розділі приведена, розроблена автором програма і методика аналітичного обґрунтування експериментальних результатів з оцінки впливу навантаження на пластичне деформування, пошкоджуваність і довготривалу міцність металів в умовах плоского напруженого стану. Узагальнена програма навантаження, що дозволила досліджувати напружений стан в небезпечній точці елемента конструкції з врахуванням радіального режиму навантаження, подана на мал. 3.



Мал. 3

При умові $|\bar{S}| = \sigma_1^{(j)} = \text{Const} = \sqrt{3I_2(D_\sigma)}$ ми одержуємо поверхню рівної інтенсивності напружень. Аналіз багатьох експериментальних результатів переконливо свідчить, що при досягненні однієї і тієї ж величини інтенсивності напружень $\sigma_1^{(j)} = \text{Const}$, але досягнутої різними траєкторіями радіального навантаження, елемент конструкції одержує у даній точці різну величину пружної та пластичної деформації, а відповідно, різну величину пошкоджуваності і, як наслідок, різну величину довготривалої міцності. Це пояснюється тим, що при досягненні однієї і тієї ж величини інтенсивності напружень $\sigma_1^{(j)} = \sqrt{3I_2(D_\sigma)} = \text{Const}$ по різних режимах радіального навантаження на пластичне деформування, пошкоджуваність, і довготривалу міцність металів будуть проявляти свій вплив також величини першого інваріанту тензора напружень $I_1(T_\sigma)$, і третього інваріанту девіатора напружень $I_3(D_\sigma)$. Через це розроблена програма дослідження впливу виду радіального навантаження на пластичне деформування, пошкоджуваність і довготривалу міцність металів була створена таким чином, щоб була можливість зберігаючи постійною величину другого інваріанту девіатора напруг змінювати по визначених законах величини $I_1(T_\sigma) = \text{var}$ і $I_3(D_\sigma) = \text{var}$. Причому, завдання вирішувалось в безрозмірних величинах:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{I}_1(T_\sigma) = \frac{I_1(T_\sigma)}{2\sigma_i} = \cos \gamma_s \cos(\varphi_s - \frac{\pi}{3}); \\ \bar{I}_3(D_\sigma) = \frac{I_3(D_\sigma)}{\frac{2}{27}\sigma_i^3} = \cos \gamma_s \left[\cos^2 \gamma_s \cos 3\varphi_s + 3 \sin^2 \gamma_s \cos(\varphi_s - \frac{\pi}{3}) \right]; \end{array} \right. \quad (2)$$

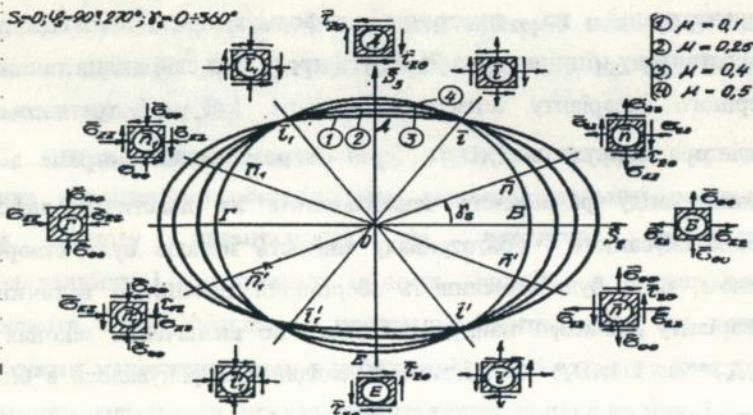
Безрозмірні величини інваріантів $\bar{I}_1(T_\sigma)$, $\bar{I}_3(D_\sigma)$ при $\bar{I}_2(D_\sigma) = \text{Const}$, як видно із формул, залежать від режиму радіального навантаження, який у нашому випадку характеризується кутами направлення вектору напружень $\bar{S}(t)$. Розроблена програма і методика аналітичного дослідження впливу виду радіального навантаження на пластичне деформування, пошкоджуваність і довготривалу міцність металів дозволила конкретизувати функціонали і функції, що входять до них. Це дозволило дати кількісну оцінку даного впливу і, тим самим, більш правильно підійти до оцінки міцності елементів конструкцій, що працюють в умовах складного напруженого стану.

У третьому розділі роботи обґрунтовується критерій пошкоджуваності, що записаний у вигляді:

$$\tilde{\sigma}_s = \tilde{\sigma}_i \Phi(\mu, \gamma_s, \varphi_s) = \tilde{\sigma}_i \sqrt{\frac{2}{3}(1+\mu) + \frac{4}{3}(1-2\mu) \cos^2 \gamma_s \cos^2(\varphi_s - \frac{\pi}{3})}, \quad (3)$$

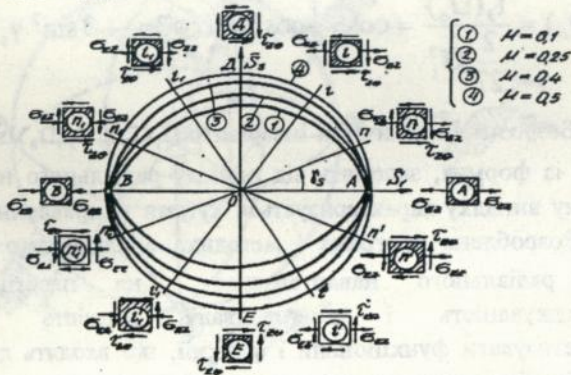
де індекси означають: ε - лінійний, i - плоский напружений стан.

Даний критерій вказує, яке еквівалентне напруження необхідно прикласти при навантаженні по різних радіальних траєкторіях навантаження, щоб отримати в одиниці об'єму металу одну й ту ж величину пошкоджуваності. На мал. 4 а, б, в для деяких матеріалів і для деяких окремих випадків радіального навантаження показані криві однакового пошкодження у просторі О.А. Іллюшина.



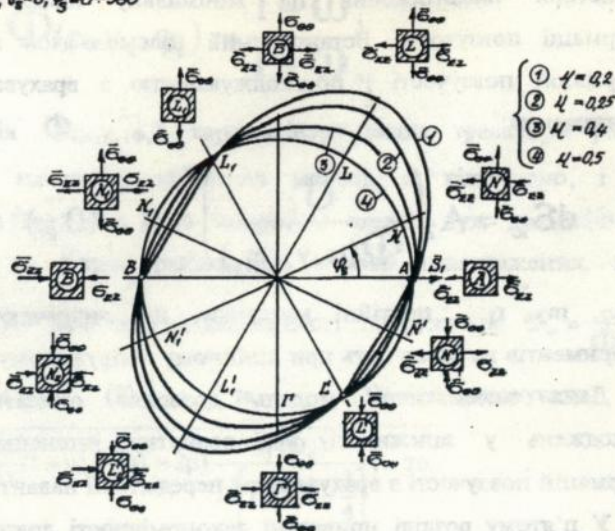
Мал. 4 а

$$S_1=0; \varphi_1=0; \varphi_2=90^\circ; \varphi_3=0+360^\circ$$



Мал. 4 б

$$S_3 = 0; \delta_2 = 0; \psi_3 = 0 \rightarrow 360^\circ$$



Мал. 4 в

Функцію $\Phi(\mu, \gamma_s, \varphi_s)$ будемо називати функцією, що характеризує історію навантаження. Дана функція для різних значень μ табульована.

В роботі приведена математична модель, що описує накопичення пошкоджень в одиниці об'єму матеріалу:

$$d\Omega_j = \left(\frac{A_1}{E} \Phi(\mu, \gamma_s, \varphi_s) \right)^b \varepsilon_{ip}^{m_1} d\varepsilon_{ip}, \quad (4)$$

де A_1 , E , b , m_1 - постійні матеріалу, які визначаються із базових експериментів при пластичному деформуванні в умовах лінійного напруженого стану. Дана математична модель вказує, що змінна величина пошкоджуваності металів при складному напруженому стані залежить не тільки від величини інтенсивності пластичної деформації, а також і від історії навантаження. Розроблена модель дозволила отримати критерій граничного стану металів з урахуванням історії навантаження (5).

$$\Omega_{\sigma}^{(n,p)} = \Omega_{\varepsilon}^{(n,p)} \times \Phi^{1/n}(\mu, \gamma_s, \varphi_s) = \text{Const} \quad (5)$$

В четвертому розділі роботи викладені закономірності впливу передісторії навантаження на основні характеристики повзучості матеріалу. Конкретизовані функціонали, які дозволяють дати кількісну оцінку впливу

передісторії навантаження на мінімальну швидкість інтенсивності деформації повзучості. Встановлений взаємозв'язок між інтенсивністю деформацій повзучості і пошкоджуваністю з врахуванням передісторії навантаження:

$$d\mathcal{E}_{ic} = A_2 \left(\frac{\sigma_i}{\Phi(\mu, \gamma_s, \varphi_s)} \right)^{m_2} (1 - \Omega_{jc})^{\gamma_1} d\Omega_{jc}, \quad (6)$$

де A_2 , m_2 , γ_1 - постійні матеріалу, що визначаються із базових експериментів на повзучість при лінійному напруженому стані.

Дана математична модель дозволяє описати накопичування пошкоджень у залежності від розвитку інтенсивності пластичних деформацій повзучості з врахуванням передісторії навантаження.

У п'ятому розділі приведені закономірності довготривалої міцності металів при плоскому напруженому стані з урахуванням передісторії навантаження. Передісторія навантаження описується функцією $\alpha(\mu, \gamma_s, \varphi_s)$, що пов'язана з функцією, яка характеризує історію навантаження такою залежністю:

$$\alpha(\mu, \gamma_s, \varphi_s) = \frac{1}{\Phi(\mu, \gamma_s, \varphi_s)} - 1 \quad (7)$$

Створюючи одну й ту ж величину інтенсивності напруження $\sigma_s = \sigma_i^{(0)} = \text{Const}$ при навантаженні по різних радіальним траєкторіям (мал. 3), ми задаємо різну величину ефективного напруження

$\tilde{\sigma}_i^{(j)} = \frac{\sigma_i^{(j)}}{1 - \Omega_j}$; $\tilde{\sigma}_s = \frac{\sigma_s}{1 - \Omega_s}$, а, як наслідок, і різну величину

пошкоджуваності. Дане твердження випливає із умови:

$$\frac{\tilde{W}_e^3}{\tilde{W}_e^{(j)}} = \Phi^2(\mu, \gamma_s, \varphi_s) = \frac{\sigma_s}{\sigma_i^{(j)}} \frac{(1 - \Omega_j)^2}{(1 - \Omega_s)^2} \frac{\mathcal{E}_{\text{эс}}}{\mathcal{E}_{ic}^{(j)}} \quad (8)$$

При $\sigma_s = \sigma_i^{(0)}$, $\mathcal{E}_{\text{эс}} = \mathcal{E}_{ic}$ отримуємо

$$\Phi(\mu, \gamma_s, \varphi_s) = \frac{1 - \Omega_j}{1 - \Omega_s} \quad (9)$$

Отже, функція $\Phi(\mu, \gamma_s, \varphi_s)$ характеризує вплив траєкторії радіального навантаження на пошкоджуваність металів, а, відповідно, і на його довговічність. Для того щоб одержати одну і ту ж довговічність при навантаженні по різних радіальних режимах навантаження, необхідно прикласти різну величину інтенсивності напруження $\sigma_s = \frac{\sigma_i^{(j)}}{\Phi(\mu, \gamma_s, \varphi_s)}$.

Якщо із (2) та (3) врахувати, що

$$\Phi(\mu, \gamma_s, \varphi_s) = \sqrt{\frac{2}{3}(1+\mu) + \frac{4}{3}(1-2\mu) \frac{\bar{I}_3^2(D_\sigma)}{16[\bar{I}_1^2(T_\sigma) - \frac{3}{4}]}}}, \text{ то}$$

$$\sigma_s = \sqrt{3I_2(D_\sigma)} \left\{ \frac{2}{3}(1+\mu) + \frac{4}{3}(1-2\mu) \frac{\bar{I}_3^2(D_\sigma)}{16[\bar{I}_1^2(T_\sigma) - \frac{3}{4}]} \right\}^{-\frac{1}{2}} \quad (10)$$

і усі криві довговічності будуть співпадати.

При одній і тій же величині інтенсивності напруження $\sigma_s = \sigma_i^{(j)} = \text{Const}$, але досягнутій різними шляхами радіального навантаження ми одержуємо різну довготривалу міцність $t_r(\sigma_i^{(j)}) \neq t_r(\sigma_s)$. Для оцінки впливу передісторії навантаження на довготривалу міцність металів нами конкретизований функціонал:

$$\bar{\psi} = \exp\left(-\frac{\sigma_i^{(j)}}{h} \alpha(\mu, \gamma_s, \varphi_s)\right), \quad (11)$$

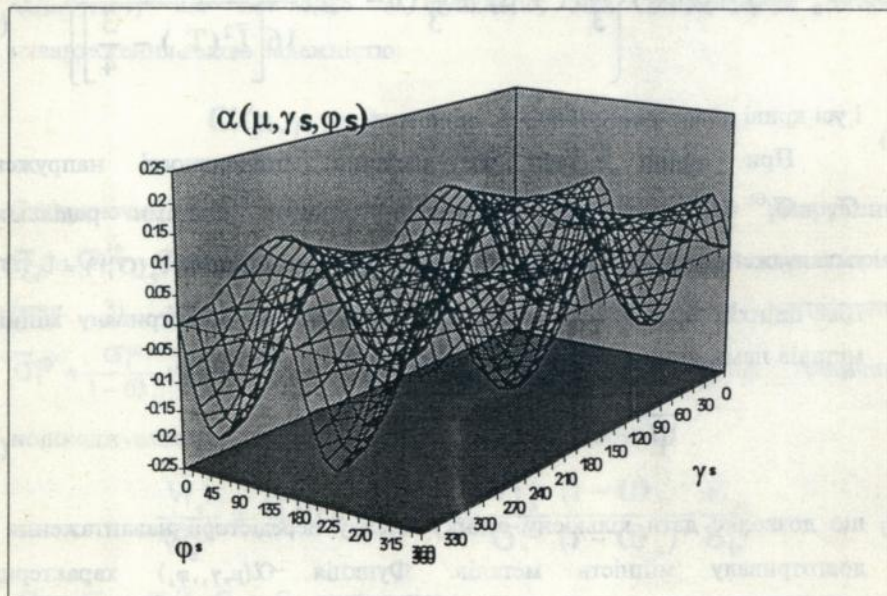
що дозволяє дати кількісну оцінку впливу передісторії навантаження на довготривалу міцність металів. Функція $\alpha(\mu, \gamma_s, \varphi_s)$ характеризує передісторію навантаження. Дана функція для різних величин μ

табульована. Геометрична інтерпретація функції $\alpha(\mu, \gamma_s, \varphi_s)$ для $\mu = 0,25$ та $\mu = 0,5$ подана на мал. 5 а, б у відповідності.

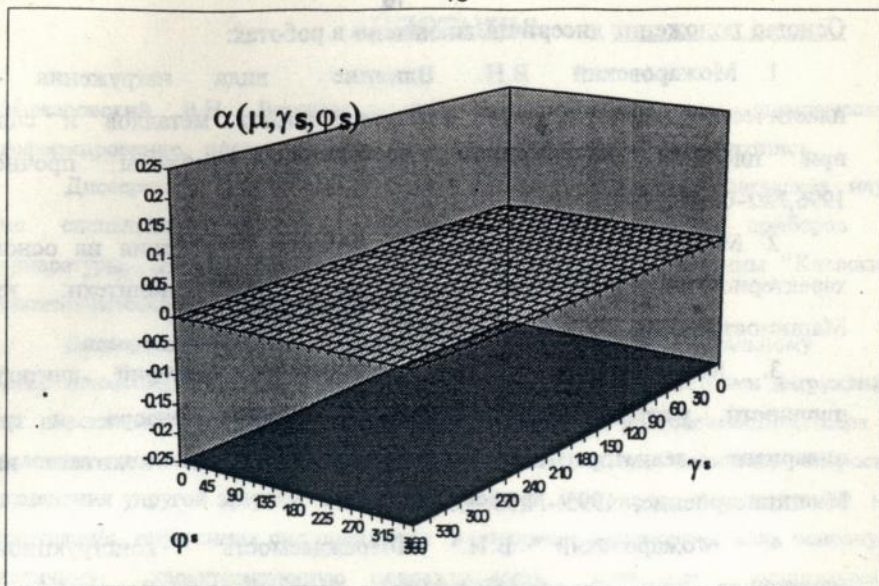
Функціонал (11) та графік функції $\alpha(\mu, \gamma_s, \varphi_s)$ (мал.5 б) вказують на те, що передісторія навантаження суттєво впливає на довговічність металу. Всі криві довговічності при $\sigma_s = \sigma_i^{(j)} = \text{Const}$, які досягнені різними радіальними траєкторіями можна об'єднати, якщо їх побудувати в

координатах $\sigma_i \leftarrow t_p = \frac{t_p(\sigma_i^{(j)})}{\bar{\Psi}}$. Тільки матеріали, для яких

$\mu = 0.5 \Rightarrow \Phi(\mu, \gamma_s, \varphi_s) = 1 \Rightarrow \alpha(\mu, \gamma_s, \varphi_s) = 0$ передісторія навантаження не впливає на їх довготривалу міцність, як це видно із малюнка 5б.



Мал. 5 а ($\mu=0,25$).

Мал. 5 б ($\mu=0,5$).**Висновки:**

- розроблена програма і методика аналітичного дослідження впливу історії і передісторії навантаження на пластичне деформування, пошкоджуваність і довготривалу міцність металів в умовах плоского напруженого стану;
- аналітично обґрунтований висновок про суттєвість впливу виду радіального навантаження на конструкційні матеріали, окрім ідеально пластичних ($\mu=0,5$);
- одержана кількісна оцінка впливу виду радіального навантаження на пластичне деформування, пошкоджуваність і довготривалу міцність металів в умовах плоского напруженого стану;
- розроблена математична модель пошкоджуваності металів при пластичному деформуванні і повзучості, яка вказує на істотний вплив виду радіального навантаження;
- одержано критерій пошкоджуваності металів при пластичному деформуванні і повзучості, з врахуванням історії навантаження;
- одержано критерій довготривалої міцності металів, що враховує передісторію навантаження.

Основні положення дисертації викладено в роботах:

1. Можаровский В.Н. Влияние вида нагружения на пластическое деформирование и повреждаемость металлов и сплавов при плоском напряженном состоянии // Проблемы прочности, 1996, №2.-С.76-85.

2. Можаровский В.Н. Влияние истории нагружения на основные характеристики ползучести // Вестник Киев. политехн. ин-та. Машиностроение, 1992.-№22.-С.20-23.

3. Можаровский В.Н. Обобщенный критерий длительной прочности, учитывающий первый инвариант тензора и третий инвариант девиатора напряжений// Вестник Киев. политехн. ин-та. Машиностроение, 1993.-№30.-С.135.

4. Можаровский В.Н. Повреждаемость конструкционных материалов при пропорциональном нагружении// Вестник Киев. политехн. ин-та. Машиностроение, 1995.-№31.-С.9-14.

5. Можаровский В.Н. Повреждаемость и предельная пластическая деформация при ползучести металлов и сплавов в условиях сложного напряженного состояния//Вестник. Киев. политехн. ин-та. Машиностроение, 1995, №31.-С.39.-43.

6. Можаровский В.Н. Ползучесть и длительная прочность материалов при плоском напряженном состоянии с учетом угла вида девиатора напряжений // Тезисы доклада на IX межреспубликанской конференции. "Проблемы повышения прочности элементов машиностроительных конструкций".-М.:МВТУ, 1991.-с.18.

7. Можаровський В.М. Вплив передісторії навантаження на повзучість та довговічність металів в умовах плоского напруженого стану. Тезиси доповіді на конференції Молодих вчених НТУУ /КПІ/ присвяченій 100-річчю інституту, 1996.

Усі роботи виконані особисто автором.

АННОТАЦИЯ.

Можаровский В.Н. Влияние вида нагружения на пластическое деформирование, повреждаемость и долговечность металлов. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.09 - Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры. Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", Киев, 1996.

Диссертационная работа посвящена экспериментальному и аналитическому исследованию влияния истории и предистории нагружения на пластическое деформирование, повреждаемость и долговечность металла в условиях плоского напряженного состояния. Используя величину скорости изменения упругой энергии в единице объема материала, израсходуемой на нарушение внутренних сил сцепления в процессе нагружения, как основную величину, характеризующую повреждаемость материала аналитически установлена взаимосвязь между пластическим деформированием и повреждаемостью. Установлен критерий повреждаемости, учитывающий историю нагружения. Построена математическая модель повреждаемости, которая описывает накопление повреждаемости металла при пластическом деформировании. Данная модель указывает, что накопление повреждаемости зависит не только от величины интенсивности пластической деформации, но также и от траектории радиального нагружения по которой она была достигнута. Показано, что основные характеристики ползучести, а следовательно, и долговечность металла существенно зависят от истории нагружения. Раскрыты и конкретизированы функционалы, которые позволили дать количественную оценку влияния истории и предистории нагружения на пластическое деформирование, повреждаемость и долговечность металла при достижении одной и той же величины интенсивности напряжений, но достигнутой по различным траекториям радиального нагружения. Конкретизация функционалов позволяет дать ответ на вопрос, как использовать экспериментальные результаты, полученные при линейном напряженном состоянии, при расчете элементов конструкций, работающих в условиях сложного /плоского/ напряженного состояния, учитывая при этом историю и предисторию нагружения.

ABSTRACT

Mozharovsky V.N. The Influence of the Type of Loading upon Plastic Deformation, Damageability and Life of Metals. The manuscript.

Thesis for the competition for a scientific degree of a Candidate of technical sciences in the speciality 05.02.09 - dynamics, strength of machines, devices and apparatus.

National Technical University of Ukraine "Kyiv Politechnical Institute", Kyiv - 1996.

The thesis is devoted to the experimental and analytical investigation of the influence of the loading history and prehistory upon plastic deformation, damageability and lifetime of metals under plane stress conditions. Using the value of the variation rate of the elastic energy in the material unit volume spent to disturb the balance of the internal cohesive forces in the course of loading as the basic value characterizing the material damageability, the interrelation between plastic deformation and damageability under conditions of active short-term loading has been established. A damageability criterion has been found, which takes into account the loading history.

A mathematical model of damageability has been constructed which describes damage accumulation in the metal under active plastic deformation. The model indicates that damage accumulation depends not only on the magnitude of the plastic strain intensity but also on the trajectory of radial loading along which it was attained. The main characteristics of creep, and consequently the metal lifetime, are shown to depend appreciably on the loading prehistory.

The functionals have been expanded and concretized, which made it possible to give a quantitative estimate of the influence of the loading history and prehistory on plastic deformation, damageability and life of a metal at the same stress intensity value of $\sigma_i^{(j)} = \text{Const}$ but attained along different trajectories of the i -th radial loading. The concretization of the functionals makes it possible to give an answer to the question how to use the experimental results obtained at a linear stress state for strength analysis of structural elements operating under conditions of complex (plane) stress state taking into account the loading history and prehistory.

Ключові слова: пластичність, пошкоджувальність, довговічність, прості та складні навантаження, критерії, моделі.

437762

437762

Podkorniy, V.N. The Influence of Loading History and Prehistory on the Fatigue Life of Metals. Kiev: Naukova Dumka, 1976. 126 p.

This is the translation of a scientific paper of a Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.02.09 - dynamics, strength of machines, devices and apparatus.

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnical Institute", Kyiv - 1976.

The thesis is devoted to the experimental and analytical investigation of the influence of the loading history and prehistory upon plastic deformation, damageability and lifetime of metals under cyclic stress conditions. Using the values of the maximum life of the cyclic stress in the material test volume given to describe the influence of the internal volume forces in the course of loading on the basic stress characteristics, the course of damageability, the interrelation between plastic deformation and damageability under conditions of active short-term loading has been established. A damageability criterion has been tested, which takes into account the loading history.

A mathematical model of damageability has been constructed which describes damage accumulation in the metal under active cyclic deformation. The model indicates that damage accumulation depends not only on the magnitude of the plastic strain intensity but also on the trajectory of radial loading along which it was achieved. The main characteristics of creep, and consequently the metal lifetime, are shown to depend significantly on the loading prehistory.

The knowledge has been expanded and corrected, which makes it possible to give a quantitative estimate of the influence of the loading history and prehistory on plastic deformation, damageability and life of a metal at the same time loading rate of $\dot{\sigma} = \text{const}$ on metals along different trajectories of the long-term loading. The consideration of the functional energy is possible to give an estimate of the influence of the loading history on the experimental results obtained at a linear stress rate for strength analysis of structural elements operating under conditions of complex (plane) stress that taking into account the loading history and prehistory.

Кричевський, В. В. Вплив історії навантаження та попередньої пластичної деформації на втомлюваність металів при циклічному навантаженні. Київ: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", 1976. 126 с.