

АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МІЦНОСТІ

На правах рукопису

СТЕШУРА ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ

напруження
МЕТОДА ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ ОСТАТНІХ ПАР
НА ЦИКЛІЧНУ ДОВГОВІЧНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
ПРИ НАЯВНОСТІ КОНЦЕНТРАТОРА НАПРУГИ

01.02.06. - Динаміка, міцність машин,
приладів та апаратури

Автореферат
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Київ 1993

AB 28.527

Робота виконана в Інституті проблем міцності
АН України

Науковий керівник: академік АН України
доктор технічних наук
професор
В.Т.Трошенко

Офіційні опоненти: доктор технічних наук
П.В.Ясній
кандидат технічних наук
В.А.Догтярьов

Провідна організація: Інститут цивільної авіації

Захист дисертації відбудеться "9" ГРУДНЯ" 1993р.
9³⁰ годин на засіданні спеціалізованої ради Д 016.33.01
в Інституті проблем міцності АН України (252014, Київ-14,
ул. Тимірязєвська, 2).

Дисертацію можна ознайомитись у научній бібліотеці
Інституту проблем міцності АН України.

Автореферат розіслан "___" _____" 1993р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
доктор технічних наук

Ф.Ф.Гігіняк

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00810567 (R)

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Загальна характеристика роботи

Актуальність роботи. У процесі створення більш продуктивних машин елементи і ньюї конструкції та умови експлуатації звичайно ускладнюються. Складні геометричні форми деталей та відповідно непростя технологія їх виготовлення веде до розповсюдження таких факторів як концентрація і остатні напруження. В значній мірі їх вплив відтворюється у області багаточислового навантаження.

Визначенню поведінки матеріалів в умовах впливу на них змінних напружень при наявності остатніх напружень та концентрації напружень присвячені роботи таких відомих вчених як Біргер І.А., Серенсен С.В., Троцюнко В.Т., Труфяков В.І., Кравченко Б.А., Кудрявцев І.В., Дагдейл Д., Сайенс Г., Морроу Д., Даулінг Н., Ландграф Р., Кроссланд Г., Флавенот Д., Скаллі А., Ветцель Р., Топпер Т., Імпелліццери Л., Поттер Ж., Танака М., та інші. Аналіз літературних джерел виявив, що взаємний вплив великої кількості різних факторів (клас матеріала і залежні від цього усі його статичні і циклічні властивості, вид статичного навантаження, його рівень; вид та рівень циклічного навантаження, нестабільність НДС і т.д.) зумовлюють надзвичайну складність аналітичного описання поведінки матеріалу. Розроблені до теперішнього часу розрахункові моделі описують як правило поведінку матеріалу під впливом окремо взятих факторів. Синтез таких моделей приводить до дуже великих похибок, які не допустимі в інженерній розрахунковій практиці.

Враховуючи, що наявність остатніх напружень приводить до багатовісного НДС, міцність елементів конструкції при втомі, зазнавши попереднє пластичне деформування, уявляється коректно розглядати як граничний стан матеріалу у небезпечній зоні елемента. Для відтворювання такого підходу у дійсних дослідженнях розроблюється метода визначення напружено-деформованого стану матеріалу у небезпечній зоні елемента, яка враховує усі властивості поведінки матеріалу в умовах наявності в ньому концентратора напружень, остатніх напружень при змінному навантаженні.

Мета роботи полягає у створенні методів розрахунку і дослідженні параметрів НДС із урахунком видів і рівней статичних та циклічних навантажень зразків з концентратором і остатніми напруженнями з тим щоб розробити методу прогнозування впливу остатніх напружень на довговічність елементів конструкції, містяться

концентратор напружень.

Наукова новина. Визначена залежність між стабілізованим рівнем остатніх напружень, механічними властивостями матеріалу і параметрами зовнішнього навантаження. З використанням цієї залежності запропонована метода розрахунку напружень, діючих у концентраторі після попереднього плинного деформування. Запропонований засіб урахунку впливу неоднорідності НДС на довговічність зразків з концентратором у зрівнянні з гладкими зразками.

Проведені експериментальні дослідження впливу концентрації та остатніх напружень, створених попереднім плинним деформуванням сталі 10ГН2МФА та сплаву АМГ6 на втому зразків, виготовлених з цих матеріалів.

Встановлена значна степінь впливу на довічність матеріалів статичної складової циклу перпендикулярно спрямованої вісі змінного навантаження та показана можливість описувати дані по втомі матеріалів при багатовісному НДС при допомозі критерія октаедричних напружень.

Розроблена метода, яка дозволяє з урахунком неоднорідності та багатовісності НДС, а також впливу статичної складової циклу на рівень змінного напруження, проводити прогноз впливу остатніх напружень на циклічну довговічність зразків з концентратором.

Вірогідність отриманих результатів забезпечується коректністю встановленої задачі, ретельністю підготовки і проведення експерименту, а отримані виклади не протиречать обґрунтованим і раціональним використаним науковим гіпотезам та допущенням.

Практична цінність. Отримані експериментальні дані, на підставі яких можна зробити висновки про вплив остатніх напружень на опір втомі сталі 10ГН2МФА та сплаву АМГ6 при наявності концентрації напружень.

Розроблена метода розрахунку НДС у концентраторі зразка, який зазнає змінне навантаження після попереднього плинного деформування.

Обґрунтована можливість більш вірогідного прогнозу впливу остатніх напружень на довговічність зразків з концентратором на підставі використання критерія октаедричних напружень.

Апробація роботи. Основні положення роботи були викладені у доповіді "Аналіз НДС у концентраторах напружень в умовах циклічного навантаження матеріалів" на ХХІV "Науковій нараді по проблемам міцності двигунів" (Москва, 1992г., 26 - 30 квітня); у

доповіді "Вплив остатніх напружень на опір втомі матеріалів при наявності концентратора" на науковій конференції "Міцність матеріалів і елементів конструкцій при складному напруженому стані" (Севастополь, 1992г.), а також у доповіді "Критерій руйнування при втомі у багатівісному навантаженні для оцінки довговічності матеріалів у концентраторі при наявності остатніх напружень" на науковій нараді "Міцності матеріалів і елементів конструкцій при звукових и ультрозвукових частотах навантаження" (Київ, ІПМ АН України, 1992р.).

По темі дисертації опубліковано дві статті.

Структура і об'єм дисертації. Дисертація складена з вступу, 4 глав, заключення, списку застосованої літератури 168 найменувань. Її зміст викладено на 182 сторінках машинописного тексту, містить 71 малюнок та 5 таблиць.

Зміст дисертації.

Перша глава присвячена обзору літератури по темі дисертації і постановці задачі досліджень.

Аналіз робіт, присвячених вивченню питань взаємовпливу змінних, остатніх напружень та кснцентрації напружень показали, що теоретичні розробки по даній темі, особливо у випадку багатоперіодової втоми, поки ще далекі від завершення.

Виходячи з літературних джерел можна сказати, що напружено-деформований стан (НДС) елементів, зазнавших попередню плинну деформацію в області концентратора, характеризується багатівісністю компонент виникаючих при цьому остатніх напружень. При наявності змінного навантаження, крім того, має місце нестабільність величин параметрів НДС у часу, пов'язана з релаксацією остатніх напружень.

Проведені в останній час деякими дослідниками спроби оцінити втому металів в умовах багатівісного НДС при допомозі граничних відношень компонент діючих напружень показали прищипову можливість та універсальність такого підходу. Однак, у випадку наявності у матеріалі концентраторів напружень виникає питання вибору параметрів НДС елемента, необхідних для рішення рівняння граничного стану. Задача, крім того, ускладнюється нестабільністю НДС.

Відсутність розрахункової моделі поведінки матеріалу при втомі в умовах кнцентрації напружень і наявності остатніх напру-

жень пояснюються вельми малим об'ємом проведених у данному напрямку досліджень, та відсутністю серед вже проведених специфічних, дозволяючих відділити вплив одного фактора від другого.

У зв'язку з цим ця робота проводилась з метою розробити модель прогноза впливу остатніх напружень на довговічність елементів конструкцій, містящих концентратор напружень. Ця задача вирішувалась виконанням слідуєчих етапів:

1. розробка та реалізація методів попереднього перенавантаження зразків з концентратором, які дозволили б варіювати у широкому діапазоні співвідношення складаючих компонент виникаючих при цьому остатніх напружень;

2. розробка методики визначення НДС зразків з концентратором від впливу змінного навантаження та запропонованих методів їх попереднього плинного деформування з урахунком процесу релаксації остатніх напружень;

3. запровадження дослідження втомі зразків з концентратором і остатніми напруженнями, завдяки як і можна було б зробити висновок про вплив остатніх напружень і складаючих їх компонент на втому матеріалів;

5. дослідження можливості оцінювати довговічність зразків з концентратором и остатніми напруженнями на підставі використання відомих критеріїв граничного стану матеріалу, урахуюючих співвідношення компонент діючих напружень.

Друга глава присвячена викладенню методик, які використовувались у розрахунках та експериментах даної роботи. Розрахунки у роботі пов'язані з визначенням НДС матеріалу у концентраторі від дії змінного і статичного навантаження. Визначення НДС в області плинного деформування матеріалу виконувалось відповідно деформаційній теорії плинності, рівняння якої вирішувались при допомозі методи кінцевих елементів (МКЕ) реалізованої у програмному комплексі SAFE2D, розробленому в Інституті проблем міцності АН України і адаптованого до персональних комп'ютерів.

Експериментальна частина роботи містить два етапа. Перший міститься у визначенні вихідних механічних властивостей двох обраних для досліджень матеріалів сталі 10ГН2МФА та алюмінієвого сплаву АМГ6, включаючи будівлю діаграм статичного і циклічного деформування, і кривих втомі гладких зразків. На другому етапі досліджувалась втомі зразків з концентратором ($\alpha_0 = 2.6$) і остат-

німи напруженнями. Останні відповідно поставленим задачам створювались по наступним схемам попереднього плинного деформування:

- 1 - у концентратор зразка запресовували штифт з натягом 2 %;
- 2 - штифт протягували крізь отвір до повного виходу з тіла зразка (натяг при тому дорівнював 2 и 4 %);
- 3 - остатні напруження створювались за рахунок вісівого прикладеного до зразка статичного навантаження до появи у концентраторі плинної деформації розміром 2 % (при тому в одній партії зразків вісьове зусилля було розтягуючим, а у другій - сжимаючим);
- 4 - в останньому випадку створювались не остатні напруження, а постійна статична складова циклу, яка виникала за рахунок спільного статичного продольного сжимання зразків захватами випробувальної машини і поперечного його сжимання спеціально виготовленим піджимаючим кільцем.

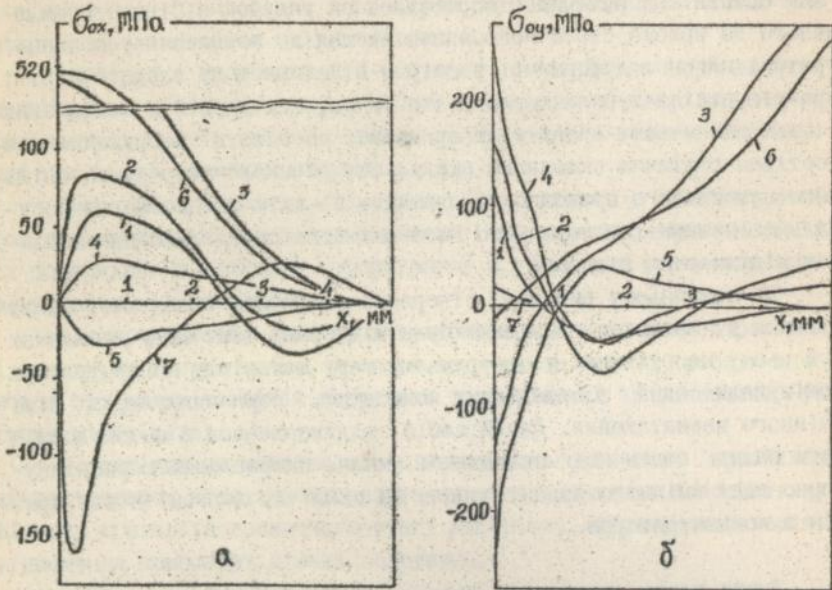
В останньому випадку створення статичної складової циклу зусилля у захватах і кільці були підбрані так, що у виникаючих при цьому напруженнях у поверхньому шару матеріалу концентратора домінували одна з складових компонент, перпендикулярна вісі змінного навантаження. Даний засіб відтворювався з метою дослідити вплив статичної складової циклу, направленої перпендикулярно вісі змінного навантаження, на циклічну довговічність зразків з концентратором.

Третя глава присвячена аналізу напружено-деформованого стану матеріалу у концентраторі, виникаючому від впливу на зразок статичних і циклічних напружень, та розрахованого при допомозі описаного у попередній главі пакеті прикладних програм.

При побудові епюр інтенсивностей змінних напружень і складових їх компонент у концентраторі, у програмному комплексі використовувались діаграми циклічного деформування. Для розрахунку інтенсивності остатніх напружень і складових їх компонент використовувалась діаграма статичного деформування досліджуваних матеріалів.

Отримані для сталі 10ГН2МФА и сплава АМГЄ епюри остатніх напружень показали, що співвідношення компонент остатніх напружень можуть змінюватися у широкому діапазоні і залежить від способу їх створення (мал.1): у першому випадку перенавантаження (зразок із запресованим штифтом) у концентраторі виникав НДС всебічного сжимання, у другому - всебічного розтягування; після попе-

реднього розтягування і сжимання зразка (третій випадок) значну величину у області концентратора мала тільки компонента, коаксіальна змінній напрузі; в останньому випадку домінувала компонента, перпендикулярна змінній напрузі. Получені таким чином варіації співвідношення головних компонент остатніх напружень



Мал.1. Компоненти остатніх напружень по вісям X (а) та Y (б) у сталі 10ГН2МФА для слідуючих варіантів перенавантаження: криві 1 і 2 - варіант 2 (плинна деформація відповідно 2 і 4 %); криві 3 і 7 - варіант 1 ($\alpha_{\sigma} = 2.6$ і 2 відповідно); криві 4 і 5 - варіант 3 (розтягування і сжимання відповідно); криві 6 - варіант 5.

дозволили вирішити одну з поставлених у роботі задач: розглянути вплив компонент статичної складової у різних напрямках на циклічну довговічність матеріалу.

Таким чином створені і розраховані у зразку остатні напруження мають місце до прикладення змінного навантаження. З тим щоб отримати інформацію про діючі у матеріалі напруження на протязі його циклічного навантаження, були проаналізовані існуючі дані по кінетиці остатніх напружень при змінному навантаженні.

взяті з літературних джерел. На підставі цих даних був зроблен висновок про те, що в області багатоциклової втоми як для сталей, так і для алюмінієвих сплавів час релаксації остатніх напружень займає не більше 10% від усієї бази наробітки до зародження тріщини, у той час як в області малоциклової втоми цей процес проходить на протязі усього періоду циклічного навантаження зразків. Оскільки у цій роботі розглядається перший з двох згаданих видів навантаження при втомі, було запропоновано в аналізі НДС матеріалу, розрахованого для певної довговічності, розглядати лише установившийся рівень остатніх напружень, який впливає на втому елементу на протязі 90% усього часу змінного навантаження.

Подання даних тих же літературних джерел по кінетиці остатніх напружень у виді співвідношення відносного установившогося рівня остатніх напружень і відповідного йому номінального напруження змінного навантаження, дозволила запропонувати аналітичну залежність, пов'язуючу значення установившогося остатнього напруження з рівнем номінального напруження, механічних властивостей матеріалу і параметром концентратора у вигляді:

$$\frac{\sigma_o^{уст}}{\sigma_o} = \frac{\sigma_{0.2} - \sigma_n \alpha_{\sigma}}{\sigma_{0.2} - \sigma_{ц.пц.}} \quad (1)$$

де σ_o - вихідний рівень остатніх напружень; $\sigma_o^{уст}$ - установившийся рівень остатніх напружень; $\sigma_{0.2}$ - статична границя плинності; σ_n - номінальне напруження змінного навантаження; $\sigma_{ц.пц.}$ - циклічна границя пропорціональності; α_{σ} - теоретичний коефіцієнт концентрації.

Слід звернути увагу на те, що величина змінного напруження, від якого залежить степінь релаксації остатніх напружень, у даному випадку описана добутком $\alpha_{\sigma} \cdot \sigma_n$. Дана величина справедлива тільки для області пружного деформування матеріалу. У зв'язку з тим, що більшість матеріалів навіть при багатоцикловому навантаженні в області концентратора деформується непружно, величина діючого у концентраторі змінного напруження була описана з урахунок циклічної плинності матеріалів на основі відомої формули Нейбера, після чого вираз (1) прийняв наступний вигляд:

$$\sigma_{0 \text{ уст}} = \sigma_0 \cdot \frac{\sigma_{02} - \sqrt{\lambda^2 \sigma_{\text{max}}^2 + E \cdot \lambda \sigma_{\text{max}} \left[\frac{\lambda \cdot \sigma_{\text{max}}}{K} \right]^n}}{\sigma_{02} - \sigma_{\text{ц щ}}} \quad (2)$$

де σ_{max} - максимальне значення діючого у концентраторі змінного напруження; коефіцієнт впливу асиметрії на величину амплитуди змінного напруження, який отримують з аналітичного описання діаграми граничних амплитуд; n и K - константи матеріалів, здобуті апроксимацією діаграми циклічного деформування матеріалу степенної функції; E - модуль пружності матеріалу.

Якщо відношення (1) дає помилку в середньому біля 15%, то його уточнена форма (2) - біля 3%.

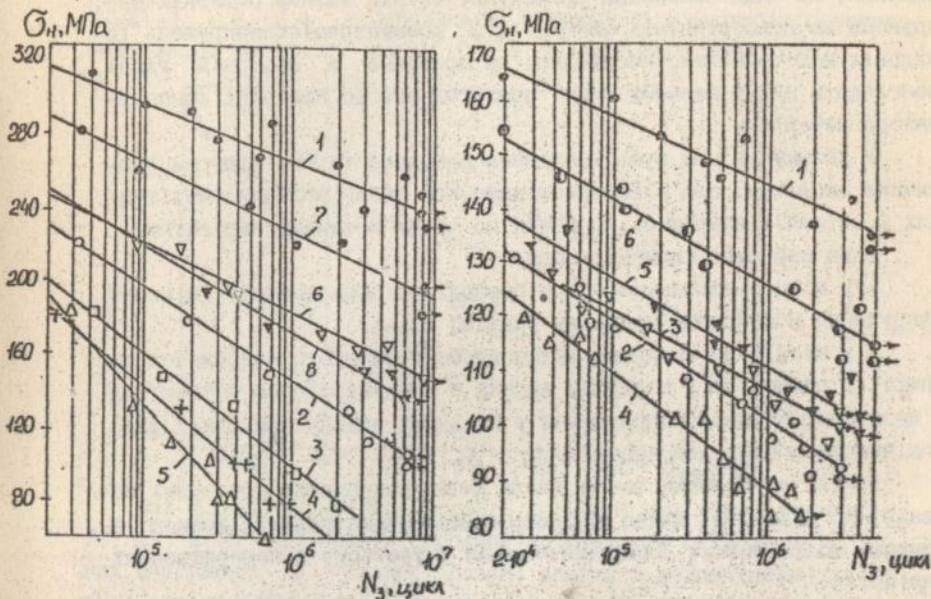
Таким чином, маючи можливість розрахувати параметри НДС у матеріалі зразка з концентратором від дії змінного навантаження і статичного попереднього перенавантаження, а також отримати рівень стабілізованого значення створених остатніх напружень, можна отримати достатньо повне уявлення про напруження, діючі у концентраторі на протязі 90 % усієї бази наробоїтки, як що річ іде про багатоциклову втому.

У четвертій главі роботи подані результати випробувань на втому зразків з концентратором і остатніми напруженнями, створеними по вище описаним схемам. Криві втоми, будувались в залежності від довговічності до зародження тріщини, довжиною 0.1мм. (мал.2а,б).

Дані по циклічній довговічності, представлені у вигляді кривих втоми дозволили зробити наступні загальні висновки:

- при симетричному циклічному навантаженні довговічність зразків зі сжимаючими остатніми напруженнями збільшується у порівнянні з довговічністю зразків без таких, а довговічність зразків з розтягуючими - зменшується;

- виходячи з того, що криві втоми розташовані веерообразно, сходячись в області малих довговічностей і максимально розходячись на рівні границь втоми, можна зробити висновок про те, що вплив остатніх напружень на втому матеріалів більше проявляється



Мал.2. Криві втоми сталі 10ГН2МФА (а) та сплаву АМГ6 (б):
 1 - гладкі зразки; зразки з концентратором: (2) - не деформовані; 3 и 4 - після розштифтовки з натягом 2 и 4% відповідно; 5 - попереднє сжимання; 6 - попереднє розтягування; 7 - зіштифтом; 8 - при двувісному поджетті.

ся в області багаточислової втоми;

- ступінь впливу остатніх напружень залежить від плинних властивостей матеріалу: криві втоми зразків з алюмінієвого сплаву, маючого низьку границю плинності, для різних видів попереднього деформування концентруються біля кривої втоми зразків без остатніх напружень, що свідчить про малий вплив остатніх напружень на втому маломіцних матеріалів;

- співвідношення компонент статичної складової помітно впливає на циклічну довговічність матеріалу.

Подання даних випробувань при втомі у вигляді діаграм граничних амплітуд підтвердило принципову можливість використання подібного роду діаграм для оцінки впливу остатніх напружень на втому елементів конструкцій. Однак істотний розкид експеримен-

тальних крапок на таких графіках відносно описуючих їх кривих показав, що для виконання розрахунку оцінки впливу остатніх напружень на довговічність елементів з концентрацією напружень із задовільною точністю, необхідно, як показано в обзорній главі, розглядати ЦПС у певному шару прилягаючого до поверхні концентратора матеріалу.

У зв'язку з цим була проведена побудова тих же діаграм граничних амплітуд, але з використанням при цьому величин амплітудних і остатніх напружень, обраних по трьом можливим варіантам:

- на поверхні концентратора;
- у місці максимума епюри розподілу інтенсивності змінного напруження в опасному перерізу зразка;
- у місці, де величина інтенсивності змінного напруження на епюрі її розподілу у перерізу зразка з концентратором збігається з величиною змінного напруження у гладкому зразку при одній довговічності обох видів зразків.

Результат поданих таким чином даних випробувань при втомі показав, що найбільш щільна кореляція експериментальних крапок з кривою, що їх описує, спостерігається у третьому з перерахованих варіантів.

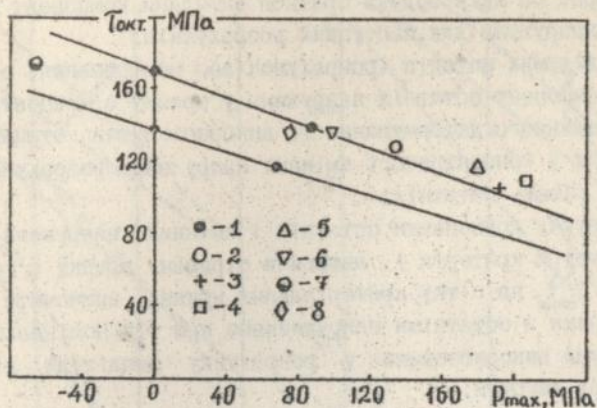
Використання діаграм граничних амплітуд в аналізі впливу остатніх напружень на міцність матеріалу з концентратором являється традиційним, але, як показано у даній роботі, не може бути використано для розрахунку циклічної довговічності елементів з концентратором напружень з урахунком усіх компонент остатніх напружень. У зв'язку з цим дані випробувань при втомі були розглянуті в аспекті існуючих на теперішній час критеріальних підходів оцінки граничного стану матеріалів. Найбільш щільна кореляція крапок, розрахованих для кожного виду попереднього навантаження, і кривої, що їх описує, спостерігається у випадку використання критерія октаєдричних напружень (мал.3), який має наступний аналітичний вираз:

$$\tau_{\text{окт}} + A P_{\text{max}} = B \quad (3)$$

$$\text{де } \tau_{\text{окт}} = 1/3 \sqrt{\sigma_{ax}^2 - \sigma_{ay}^2 + (\sigma_{ay}^2 - \sigma_{az}^2) + (\sigma_{az}^2 - \sigma_{ax}^2)} \quad (4)$$

$$P_{\text{max}} = 1/3 (\sigma_{ox} + \sigma_{oy} + \sigma_{oz} + \sigma_{ax} + \sigma_{ay} + \sigma_{az}) \quad (5)$$

де $\sigma_{ax}, \sigma_{ay}, \sigma_{az}$ компоненти амплітудного напруження по вісям X, Y, Z; $\sigma_{ox}, \sigma_{oy}, \sigma_{oz}$ - компоненти статичного або стабілізованого остатнього по тим же вісям; A и B - константи матеріалу.



Мал.3. Дані випробувань сталі 10ГН2МФА при довговічностях 10^5 (1) и 10^6 (2) циклів, подані по критерію октаедричних напружень: 1 - гладкі зразки; зразки з концентратором: 2 - не деформовані; 3 и 4 - після розштифтовки з натягом 2 и 4% співвідносно; 5 - попереднє сжимання; 6 - попереднє растягування; 7 - зі штифтом; 8 - при двувісному піджатті.

Задовільна кореляція експериментальних крапок з критеріальною кривою, а також можливість використання цієї кривої для побудови по даним простих навантажень зразків без остатніх напружень для описання поведінки матеріалу при наявності остатніх напружень дозволили розробити розрахункову модель прогнозу впливу остатніх напружень на довговічність зразків з концентратором. Схема виконується слідуючими етапами:

1. провести випробування на втому при циклічному розтягуванні гладких зразків для отримання даних механічних властивостей матеріалів, у рахунок яких входять діаграми статичного і циклічного деформування;
2. провести випробування на втому зразків з концентратором;
3. використовуючи дані проведених випробувань, побудувати сітку критеріальних кривих для різних довговічностей;
4. методом розрахунку отримати емпіри розподілу компонент змінних

напружень у концентраторі для будь якого номінального напруження;
 5. на основі зрівняння напружень у концентраторі і гладкому зразку при однаковій довговічності визначити глибину від поверхні концентратора, на якій будуть братися величини компонент змінних і остатніх напружень для наступних розрахунків;

6. одним з відомих методів (розрахунок або вимірювання) одержати розподіл компонент остатніх напружень у зразку з концентратором після його плинного деформування і, використовуючи отримані величини діючих у концентраторі змінних напружень, розрахувати стабілізований рівень остатніх;

7. використовуючи компоненти остатніх і змінних напружень розрахувати параметри критерія і, наносячи отриману крапку з координатами $\tau_{\text{окт}}$ і R_{max} на сітку критеріальних кривих, визначити довговічність зразка з остатніми напруженнями при тій номінальній нарузі, яка була використана у розрахунку амплітуди діючої у концентраторі напруги.

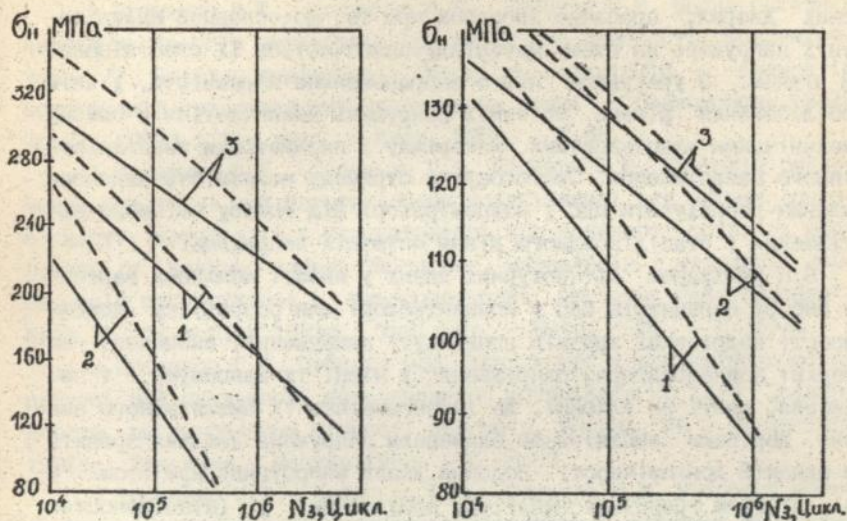
Апробація розрахункової схеми показала (мал.4), що точність збігу розрахованих кривих з експериментальними задовільна для обох досліджених матеріалів.

У завершні дисертаційної роботи зроблені наступні загальні висновки:

1. Розроблена метода розрахунку НДС у концентраторі від змінного навантаження з урахунком циклічної плинності досліджених матеріалів, яку вимірювали при проведенні з цією метою експериментів на гладких зразках. Для розрахунку НДС у плинно деформованій зоні зразка використовувалась деформаційна модель теорії плинності, рівняння якої вирішувались методом кінцевих елементів, реалізованим у пакеті прикладних програм.

2. Розроблені і реалізовані методи попереднього плинного деформування зразків з концентратором, які дозволили створити остатні напруження, серед складаючих компонент яких або коаксіальна змінному навантаженню, або перпендикулярна їй компонента значно перевищувала по величині дві останні. Для кожного з видів плинного деформування зразка за допомогою метода кінцевих елементів проведено розрахунок НДС у концентраторі, вирогідність якого підтверджена прямими виміром деформації у концентраторі.

3. Досліджені властивостей опору сталі 10ГН2МФА і алюмінієвого сплаву АМГ6 при втомі при наявності концентратора і остатніх напружень, ініційованих по розробленим схемам. Результати вип-



Мал.4. Експериментальні (непреривні лінії) і розраховані (пунктир) криві втоми сталі 10ГН2МФА (а) і сплаву АМГ6 (б) для зразків з концентратором: 1 – попереднє розтягування; 2 – розштифтовка при 4% натяга; 3 – зі штифом; 4 – попереднє сжамання; 5 – двувісне піджаття.

робувань при втомі підтвердили для досліджуваних матеріалів факт пошкоджуючого впливу розтягуючих і позитивного впливу сжимаючих остатніх напружень. Зрівняння кривих втоми досліджуваних металів показало, що степінь впливу остатніх напружень на втому залежить від механічних властивостей матеріалів, у зв'язку з чим спостерігається вельми малий вплив остатніх напружень на довговічність зразків, виготовлених з алюмінієвого сплаву.

4. Аналіз отриманих експериментальних даних показав, що по крайній мірі для досліджуваних матеріалів, вплив на втому компоненти, перпендикулярної вісі змінного навантаження знаходиться на рівні з впливом компоненти, коаксіальної з змінним навантаженням. У зв'язку з цим, на відміну від склавшихся традицій, оцінку впливу остатніх напружень на властивості опору матеріалів при втомі уявляється необхідним здійснювати з урахунком усіх складових ці напруження компонент.

5. На підставі аналізу даних експериментів, взятих з літературних джерел, зроблено висновок про те, що основний вплив остатніх напружень на втому матеріалу визначається їх стабілізованим рівнем. З урахунком цього запропонована залежність, у якій стабілізований рівень остатніх напружень визначається у зв'язку з механічними властивостями матеріалу і параметрами зовнішнього змінного навантаження. Застосовуючи отриману залежність видалось можливим розрахувати НДС у концентраторі від впливу змінного навантаження і стабілізованого рівня остатніх напружень.

6. З урахунком літературних даних у якості можливих варіантів вибору параметрів НДС у концентраторі для розрахунку довговічності надрізаних зразків розглянуті напруження, визначені на поверхні концентратора, напруження у місці їх максимуму, і напруження, взяті на глибині, де інтенсивність їх амплітудного значення дорівнює амплітудним значенням напружень гладких зразків при однакій довговічності. Подання даних випробувань при втомі у виді діаграм граничних амплітуд, побудованих у інтенсивностях напружень, показало, що у випадку вибору напружень по третій схемі спостерігається найбільш щільна кореляція розрахованих крапок з кривою, яка їх описує.

7. В результаті аналізу даних випробувань при втомі за допомогою різного рода комбінацій граничних співвідношень компонент діючих у концентраторі напружень встановлено, що найбільш щільна кореляція розрахованих крапок і кривої, що їх описує, спостерігається при застосуванні лінійної залежності дотичних октаедричних змінних напружень від нормальних октаедричних змінних і статичних напружень. Крім того показано, що урахунок впливу статичної складової на амплітудне значення змінних напружень дозволяє повністю сполучити розраховані крапки, відповідні даним випробувань зразків з концентратором і остатіми напруженнями і критеріальну криву, побудовану по даним випробувань гладких зразків.

8. На підставі застосування критерія октаедричних напружень запропонована модель прогнозування впливу остатніх напружень на довговічність зразків з концентратором, яка з урахунком релаксації напружень і їх впливу на величину змінного напруження, в області багаточислової втоми дає помилку не перевищуючу 6 - 8 % по номінальному напруженню.

Основні результати дисертації викладені у наступних публіка-

каціях:

1. Трошенко В.Т., Цибаньов Г.В., Степура О.В. Вплив остатніх напружень на опір матеріалів при втомі при наявності концентратора // Наукова конференція "Міцність матеріалів і елементів конструкцій при складному напруженому стані". Севастополь, 18-20 червня 1992р.: Тез. докл. - Київ, 1992. - С.36.

2. Трошенко В.Т., Цибаньов Г.В., Степура О.В. Критерій руйнування при втомі при багатовісному навантаженні для оцінки довговічності матеріалів у концентраторі при наявності остатніх напружень // Наукова нарада "Міцність матеріалів і елементів конструкцій при звукових і ультрозвукових частотах навантаження", Київ, 12-14 жовтня 1992р.: Тез. докл. - Київ, 1992. - С.43-44.

3. Цибаньов Г.В., Степура О.В. Аналіз НДС у концентраторах напружень при циклічному навантаженні матеріалів // XXIV Наукова нарада по проблемам міцності двигунів, Москва, 26 - 30 квітень 1992р.: Тез. докл. - Москва, 1992. - С.66-67.

4. Трошенко В.Т., Цибаньов Г.В., Степура О.В. Розробка методу урахунку впливу концентратора напружень і остатніх напружень на циклічну довговічність сталі 10ГН2МФА. Доповідь 1. Аналіз напружено-деформованого стану матеріалу // Probl. міцності. - 1993. - №. - С.3-13.

5. Трошенко В.Т., Цибаньов Г.В., Степура О.В. Розробка методу урахунку впливу концентратора напружень і остатніх напружень на циклічну довговічність сталі 10ГН2МФА. Доповідь 2. Прогнозування циклічної довговічності // Probl. міцності. - 1993. - №10. - С.3-19.

A. B. Stepanov

Підп. до др. 29. X. 93. Формат 60*84/16. Папір офс.
Офс. др. Умовн. др. арк. 0,93. Умовн. кр. - відб. 405.
Обл. - вид. арк. 10. Тираж 50 прим. Замовл. 1119.
Ціна безкоштовно.

Дільниця ротаринтного друкування ВНТІ ІПМ АНУ
252014, Київ-14, вул. Тимірязєвська, 2

46323

Ab 28.521

Ab 28.521