

II МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ «ДИНАМІКА, МІЦНІСТЬ ТА
МОДЕЛЮВАННЯ В МАШИНОБУДУВАННІ» (ДММ-2020)
05-08 жовтня 2020 р.

РОЗРАХУНКОВА МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ МІЦНОСТІ МАТЕРІАЛІВ З ДИСПЕРСНИМИ МІКРОЧАСТИНКАМИ

В.П. СИЛОВАНЮК, д-р техн. наук, проф. , **Н.А. ІВАНТИШИН** канд. техн. наук

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів, Україна,

У комплексі сучасних досліджень міцності матеріалів та конструкцій, все більша увага звертається на аспект моделювання. Питання адекватного моделювання неоднорідних структур стають усе більш актуальними як у теоретичному відношенні, так і в прикладному аспекті, оскільки з'ясування поведінки досліджуваних структур безпосередньо впливає на ефективність та безпеку експлуатації як окремих матеріалів та конструкцій, так і цілих природно-техногенних комплексів.

Механічні та експлуатаційні властивості конструкційних матеріалів суттєво залежать від неметалевих включень, які завжди присутні у їх структурі. Цей вплив залежно від природи та розмірів включень може мати якісно різний характер. Проведений аналіз напружено-деформованого стану тіл з включеннями дає підстави стверджувати, що у чавунах та вторинних алюмінієвих сплавах в умовах розтягу відбувається множинне розтріскування включень. Утворені на їх місці мікротріщини розміром 30...100 μm (в таких межах змінюються розміри графітових включень в чавунах та інтерметалідних включень у вторинних алюмінієвих сплавах) кожне, зокрема, не може впливати, згідно енергетичної та силової концепції механіки руйнування, на міцність матеріалу. Результати експериментів показують, що кількість дефектів однорідної структури має вплив на міцнісні характеристики неоднорідного матеріалу, які містять однакові дефекти структури (графітові включення), але в різних кількостях. Логічним в цих випадках є припущення, що вплив мікрodefektів на міцність, які не здатні за критеріями лінійної механіки руйнування самостійно поширюватись, може відбуватись через їх взаємодію.

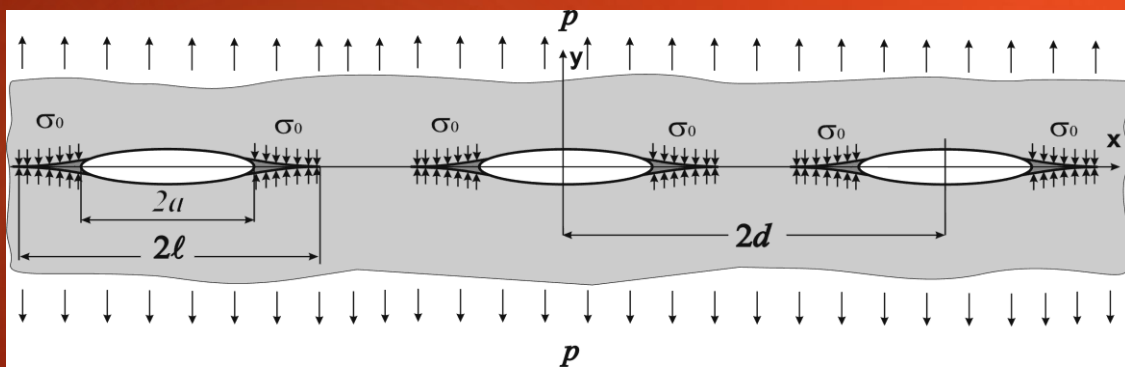


Рис. 1. Періодична система колінеарних тріщин.

$$\cos\left(\frac{\pi p}{2\sigma_0}\right) = \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{2d}\right)}{\sin\left(\frac{\pi l}{2d}\right)} \quad (1)$$

Тут $2a$ – розмір тріщини, $2l$ – розмір зони передруйнування, $2d$ – відстань між дефектами. Якщо за критерій руйнування тіла із періодичною системою тріщин прийняти умову злиття зон передруйнування в околі тріщин, то із (1) отримуємо залежність для розрахунку міцності тіла з тріщинами (2).

Дослідимо цей вплив, прийнявши найбільш несприятливу з точки зору міцності схему розміщення дефектів та навантаження, а саме: в рамках плоскої задачі теорії пружності розглянемо періодичну систему колінеарних тріщин в тілі (рис. 1). Похибка, яка виникає внаслідок нехтування дефектами в паралельних площинах піде в запас міцності. З огляду на малі розміри тріщин концепція коефіцієнтів інтенсивності напружень тут незастосовна, тому скористаємось розв'язком цієї задачі в рамках моделі Леонова–Панасюка. Розв'язок цієї задачі містить співвідношення, що зв'язує розмір тріщини a , відстань між центрами тріщин d і діюче навантаження p :

$$\sigma_s = \sigma_s^M \left(1 - \frac{a}{d}\right) \quad (2)$$

На рис. 2 графічно зображено вплив нормованої відстані між включеннями d/a на міцність структурно неоднорідного матеріалу.

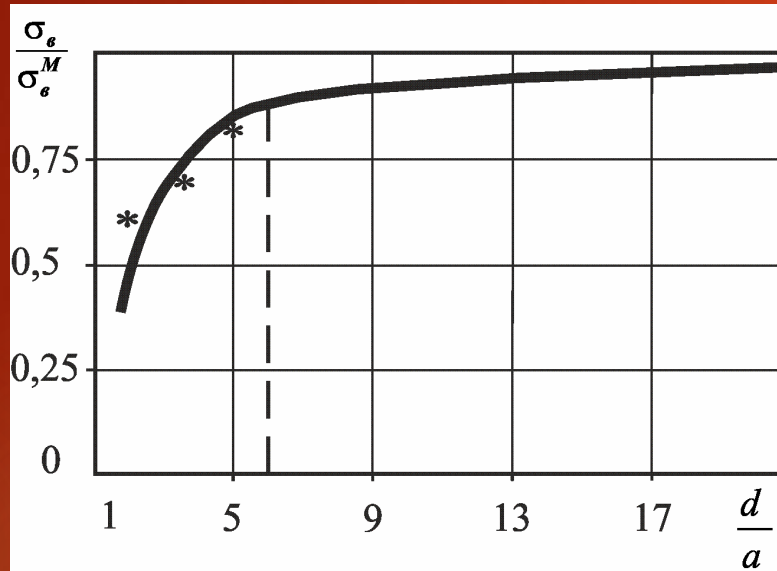


Рис. 2. Залежність границі міцності від нормованої відстані між включеннями.

Точками позначені результати експериментів для вторинного алюмінієвого сплаву АК8МЗ з інтеметалідними включеннями. Із наведених результатів випливає, що при віддалі між включеннями $d > 6a$, міцність матеріалу практично не залежить від присутності дисперсної другої фази і наближається до міцності чистого (без домішок) матеріалу.

На основі співвідношення (3) отримаємо залежність міцності матеріалу від форми та об'ємного вмісту включень. Якщо прийняти форму включень еліптичною з півосями a і b ($a > b$), розміри тріщин, що утворюються в тілі за розтягу, будуть змінюватися в межах від $2a$ до $2b$. Для розрахунків приймемо більший розмір тріщин $2a$.

На основі методів кількісної металографії середня відстань між центрами дисперсних включень у двохфазній системі встановлюється залежністю

$$d = \frac{a(2 - f_p)}{3 f_p \sqrt{\lambda}} \quad (3)$$

Тут f_p — об'ємний вміст включень; $\lambda = a/b$ — параметр форми включень. На основі співвідношень (2), (3) отримана залежність для встановлення міцності неоднорідного матеріалу, коли відомі форма і об'ємний вміст частинок другої фази.

$$\sigma_\epsilon = \sigma_\epsilon^M \left(1 - \frac{3 f_p \sqrt{\lambda}}{2 + f_p} \right) \quad (4)$$

Тут $\sigma_\epsilon^M = \sigma_0$ — границя міцності матриці.

На рис. 3-5 наведені розрахункові криві, що відображають зростання міцності чавунів і графітізованих сталей при зміні форми включень від пластинчастої до глобулярної та їх об'ємного вмісту. Точками позначені дані експериментальних досліджень. Як видно, теоретичний прогноз зміни міцності залізо-вуглецевих сплавів від зміни форми графітових включень достатньо добре відображає основну тенденцію встановлену експериментально.

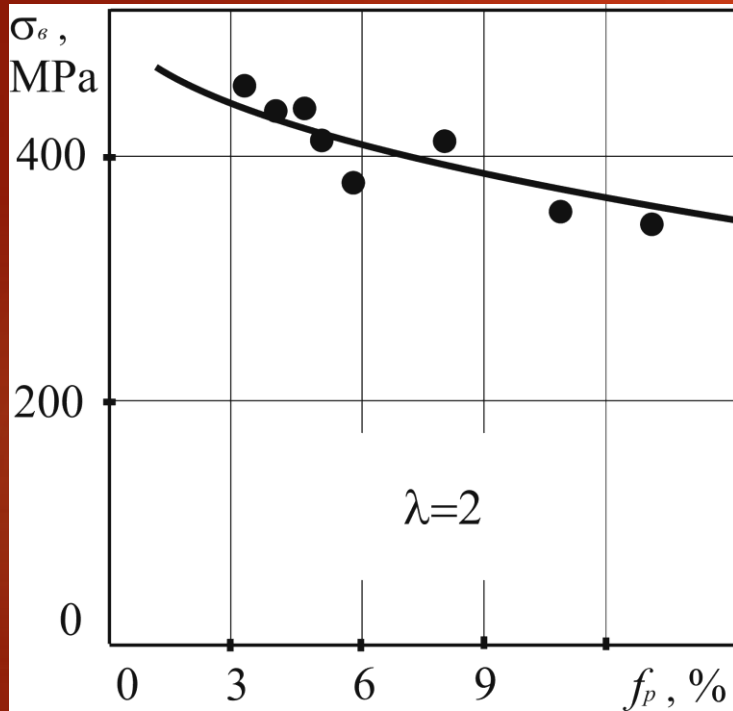


Рис. 3. Залежність границі міцності чавуну і графітізованої сталі від об'ємного вмісту графітових включень.

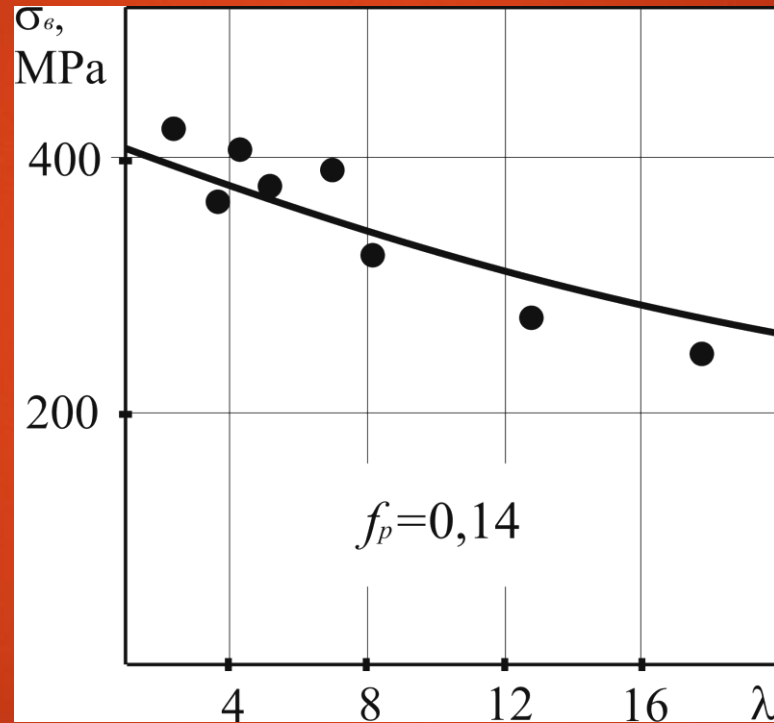


Рис. 4. Вплив форми графітових включень на границю міцності чавуну.

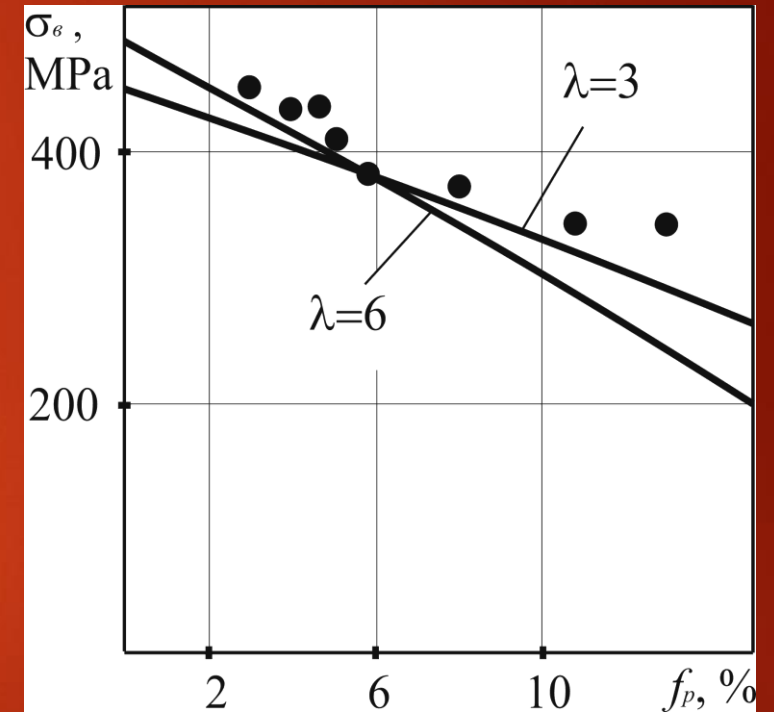


Рис. 5. Залежність границі міцності залізо-вуглецевих сплавів з різними параметрами форми графітових включень від їх об'ємного вмісту.

На рис. 6 наведені графіки залежності міцності вторинних алюмінієвих сплавів від форми інтерметалідних включень при різних їх концентраціях в матеріалі. Як впливає із наведених результатів при об'ємному вмісті меншому від 3 % міцність алюмінієвого сплаву практично не залежить від присутності домішок довільної форми. За більших об'ємних вмістів включень для покращення міцнісних характеристик необхідно проводити модифікацію форми включень з пластинчастої до глобулярної.

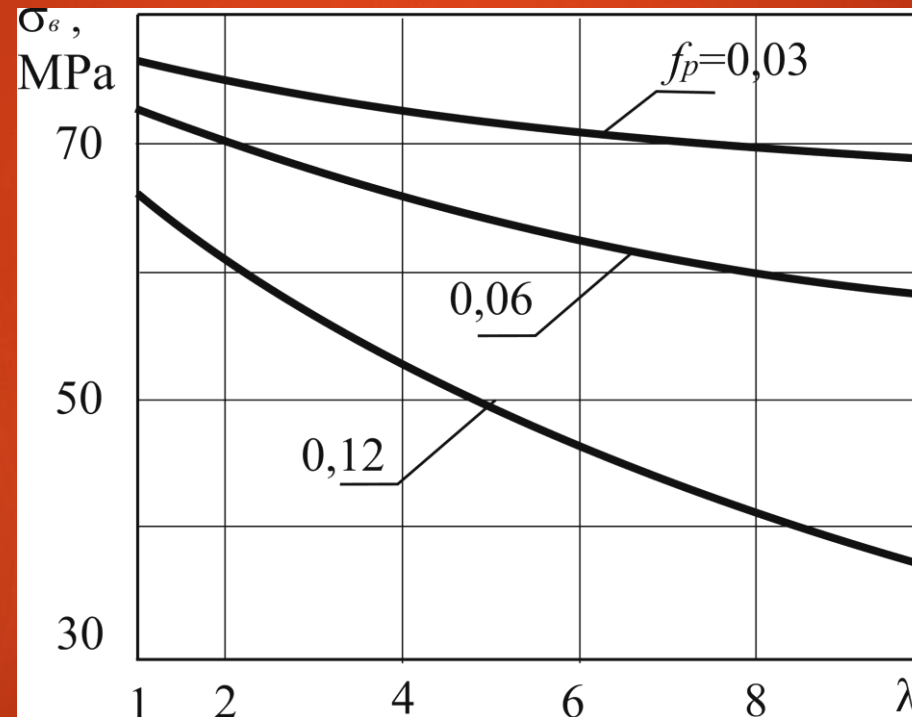


Рис. 6. Залежність границі міцності алюмінієвого сплаву від форми інтерметалідних включень.