

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

РОЗРАХУНКОВІ МОДЕЛІ
П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ТА
П'ЄЗОЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ
КОМПОЗИТІВ З ТРІЩИНАМИ НА МЕЖІ
ПОДІЛУ МАТЕРІАЛІВ

Керівник НДР: проф. В.В Лобода



Мета НДР – розробка методик і розв’язання ряду нових задач механіки руйнування для складених тіл в п’єзоелектричних та п’єзоелектромагнітних матеріалах під дією механічного навантаження, електричних і магнітних полів.

Композитні матеріали зараз широко використовуються на практиці та їх складовими можуть бути компоненти різної структури (ізотропні, анізотропні, п’єзоелектричні, п’єзоелектромагнітні). Оскільки ці компоненти не завжди ідеально з’єднуються на межі поділу матеріалів, то важливість і актуальність сформульованих задач для практики є очевидною, оскільки руйнування композитних матеріалів найчастіше відбувається за рахунок розвитку тріщин вздовж інтерфейсу.



РЕЗУЛЬТАТИ НДР

Досліджено електро-напружено-деформівний стан в околі частково електродованої тріщини між двома п'єзоелектричними та п'єзоелектромагнітними матеріалами у випадку плоского електричного і антиплоского механічного навантажень під дією механічних, електричних та магнітних полів.

Вивчено електромагнітно-напружено-деформівний стан в околі тріщини між двома п'єзоелектромагнітнимиматеріалами, які знаходяться під дією електричного та магнітного полів, у випадку змішаних електричних та магнітних умов на берегах тріщини.

Встановлено характер сингулярності розв'язків у точках зміни граничних умов, знайдено варіації коефіцієнтів інтенсивності напружень залежно від інтенсивності зовнішніх механічних, електричних та магнітних полів.

Встановлено особливості деформування дугової міжфазної тріщини в електрострикційному біматеріалі під дією механічного навантаження та електричного поля з урахуванням комплексних сингулярностей біля вершин.

Розроблено та реалізовано новий метод, що дозволяє спільно врахувати комплексні особливості та зони контакту.

Одержано нові залежності довжин зон контакту та коефіцієнтів інтенсивності напружень від механічних та електричних характеристик матеріалів і прикладених зусиль. Досліджено зони передруйнування в околі вершин тріщин у випадку п'єзоелектромагнітних матеріалів.

З'ясовано закономірності утворення пластичних зон в околах вершин тріщини при наявності двох різних матеріалів.

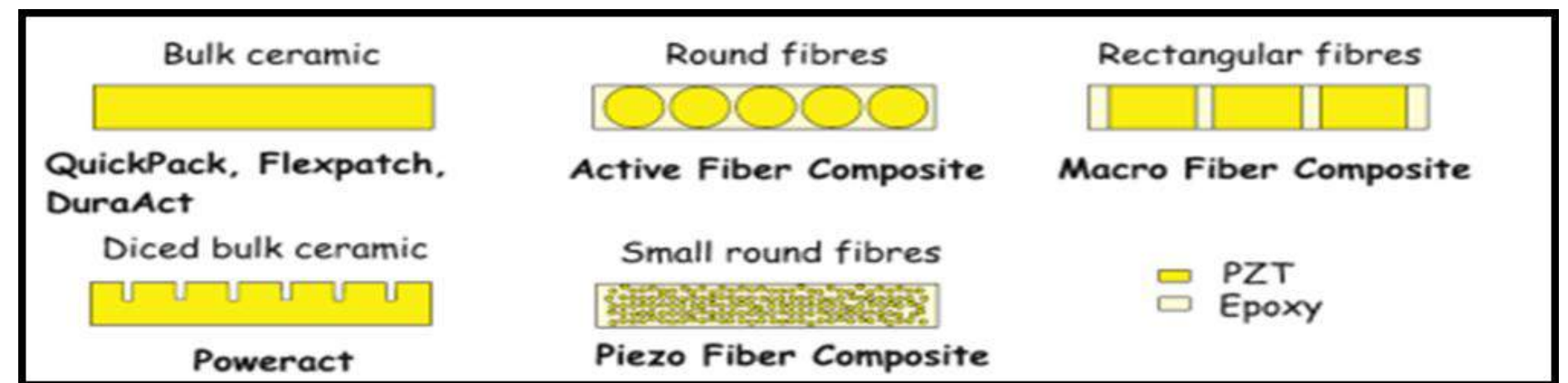
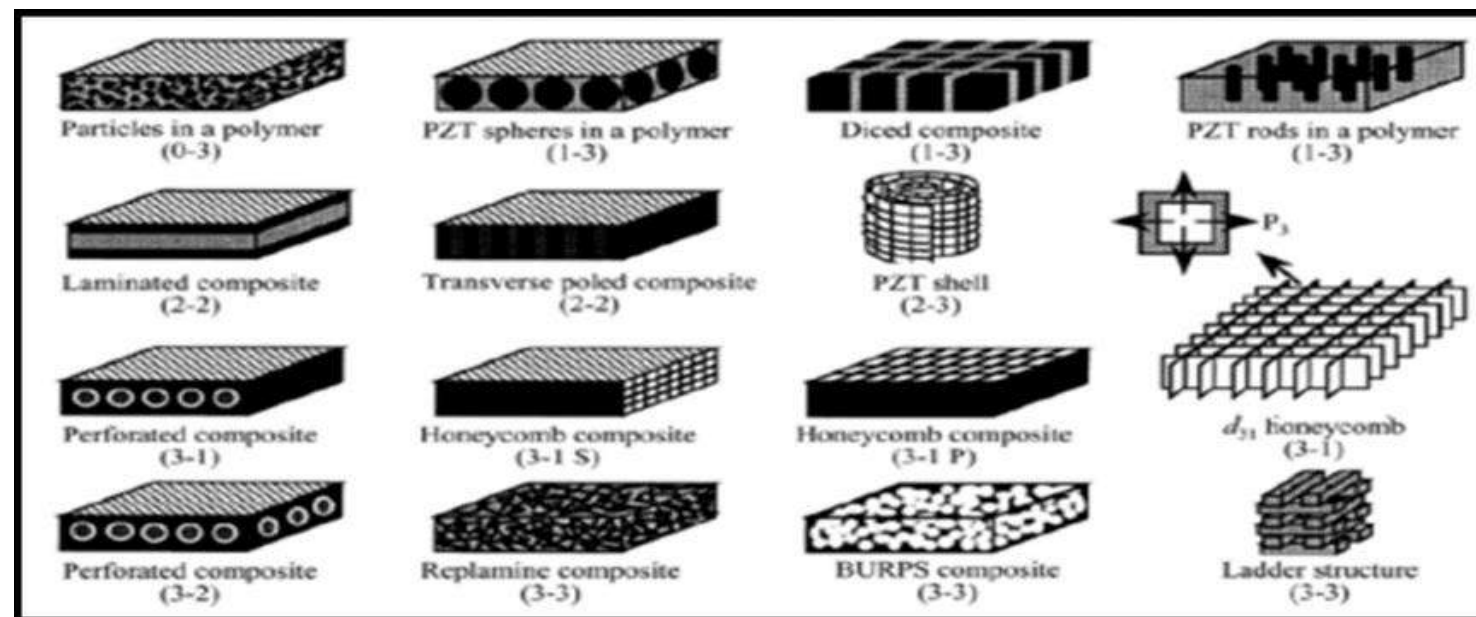
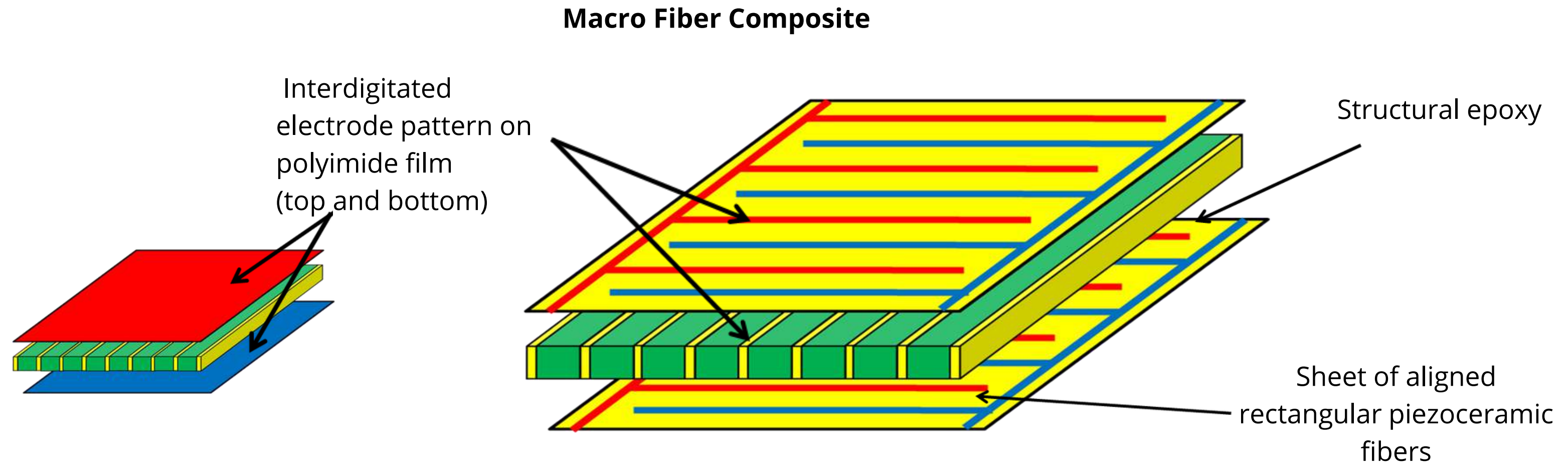
Створено розрахункову модель міжфазної тріщини, яка врахує Максвеллові сили, що виникають на її берегах у п'єзоелектричних і п'єзоелектромагнітних матеріалах.

Показано, що урахування сил Максвелла призводить до залежності коефіцієнта інтенсивності напружень від електричної проникності середовища тріщини.

Одержано аналітичний розв'язок задач для міжфазних тріщин у п'єзоактивних матеріалах з урахуванням Максвеллових сил

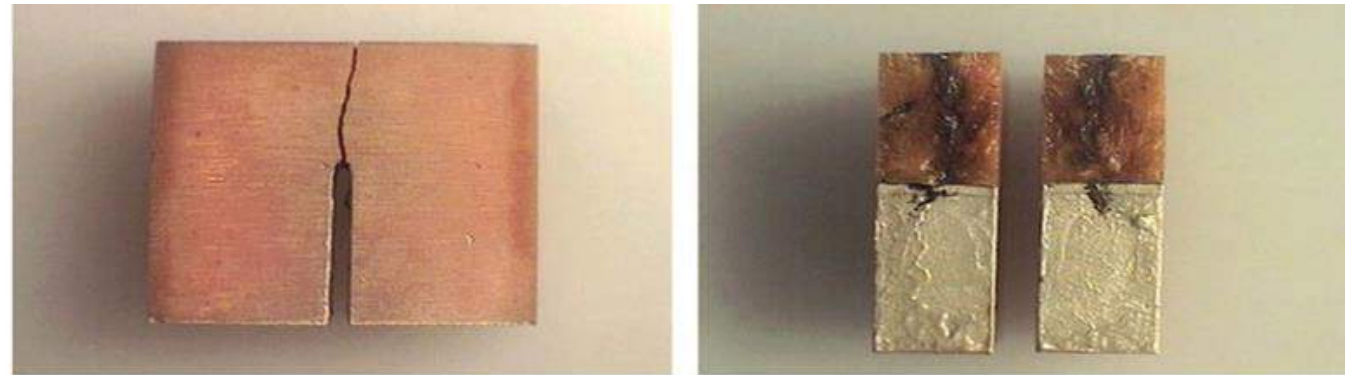


Застосування п'єзоелектричних матеріалів

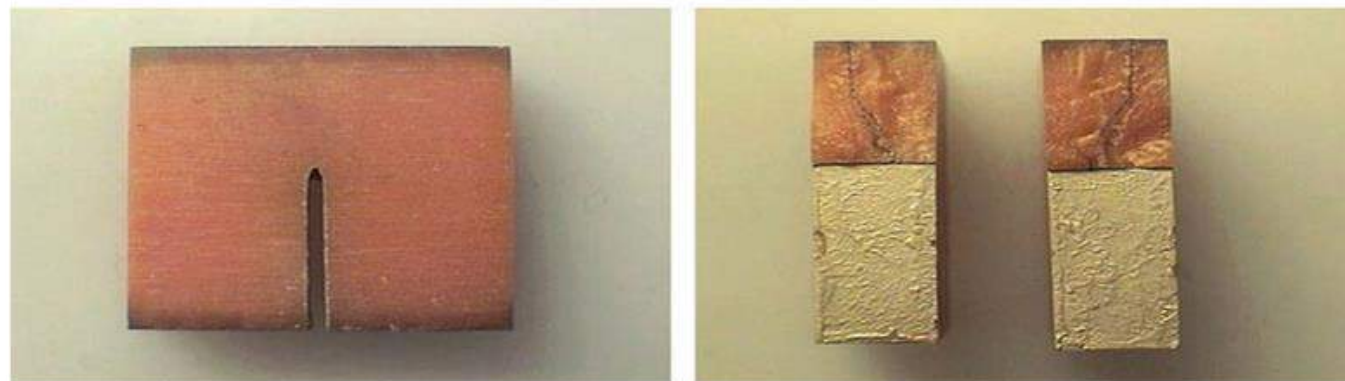


Тріщини у п'єзоелектричних матеріалах

Figure Failure modes of the specimens under electrical loading



(a) Fracture accompanied with dielectric discharging



(b) Tubular channel formation without fracture

Beom, H.G., Jeong, K.M., Park, J.Y., Lin, S., Kim, G.H. (2009).

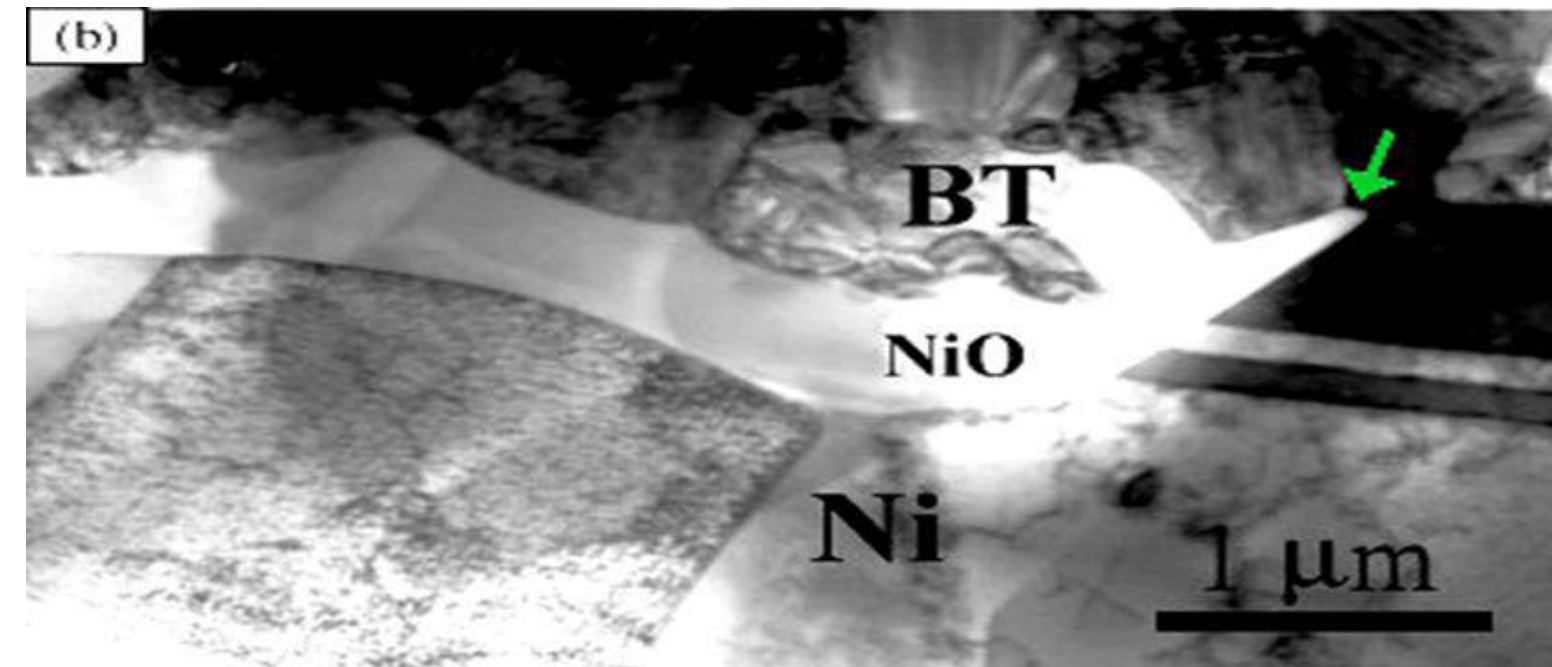
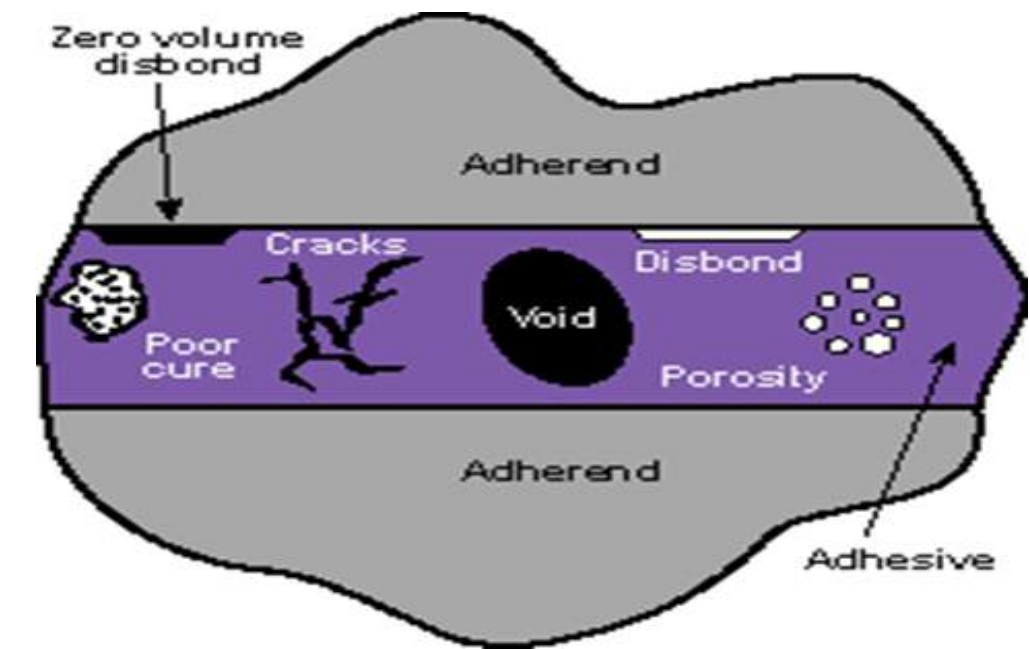


Figure The gap between BaTiO₃ and Ni layers pointed by arrow

Тріщина між двома п'єзоелектричними матеріалами зі змішаними електричними умовами на її берегах

Параметри матеріалу (Wang *et al*)

$$c_{44}^{(1)} = 43.7 \cdot 10^9 Pa, \quad e_{15}^{(1)} = 17 \frac{C}{m^2}, \quad \alpha_{11}^{(1)} = 15.1 \cdot 10^{-9} \frac{C}{V \cdot m},$$

$$c_{44}^{(2)} = 42.47 \cdot 10^9 Pa, \quad e_{15}^{(2)} = -0.48 \frac{C}{m^2}, \quad \alpha_{11}^{(2)} = 0.0757 \cdot 10^{-9} \frac{C}{V \cdot m}$$

$$c = -10mm, \quad b = 10mm, \quad \sigma_{23}^\infty = 1MPa$$

- $E_1^\infty = -0.2 \times 10^6 V/m$ (крива 1)
- $E_1^\infty = 0$ (крива 2)
- $E_1^\infty = 0.2 \times 10^6 V/m$ (крива 3)
- $E_1^\infty = 0.4 \times 10^6 V/m$ (крива 4)

На усіх рисунках

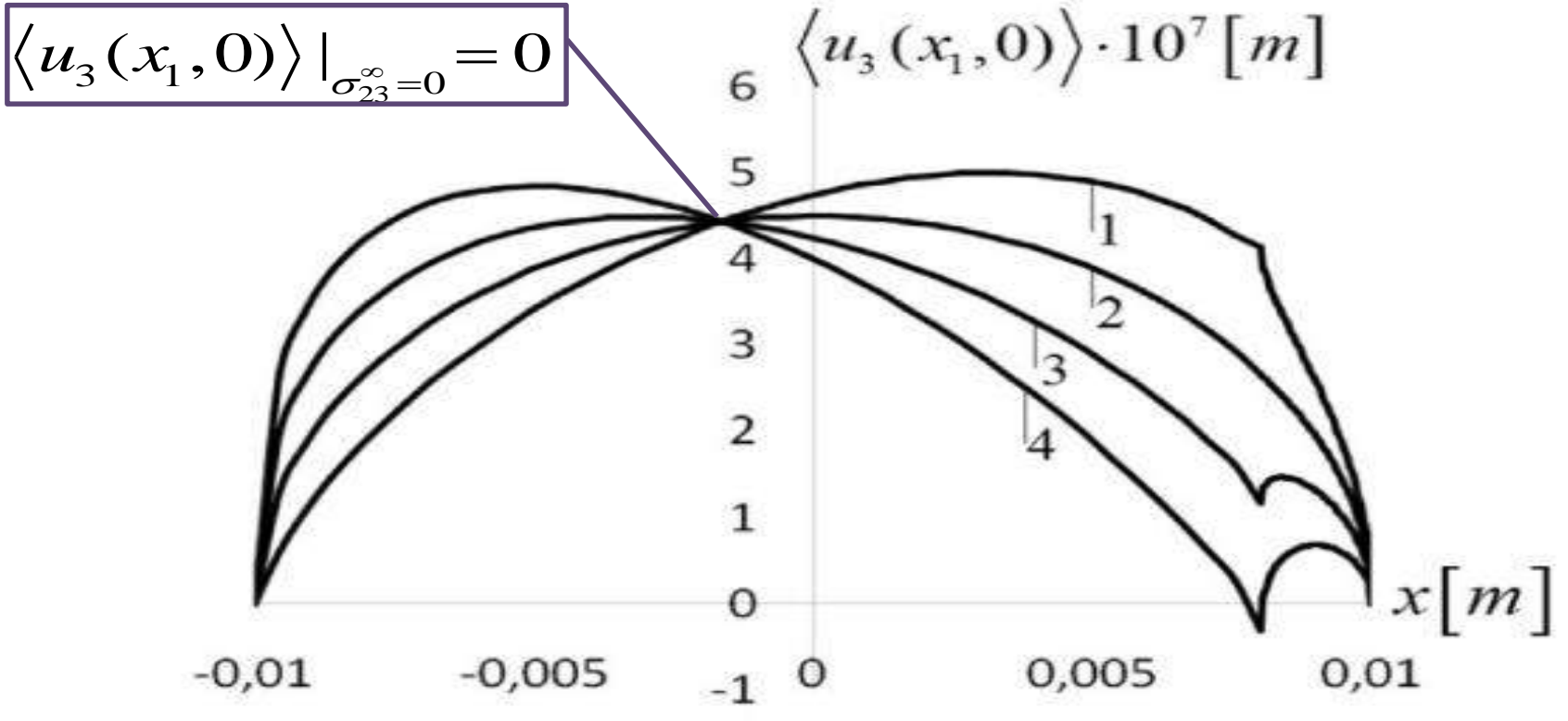
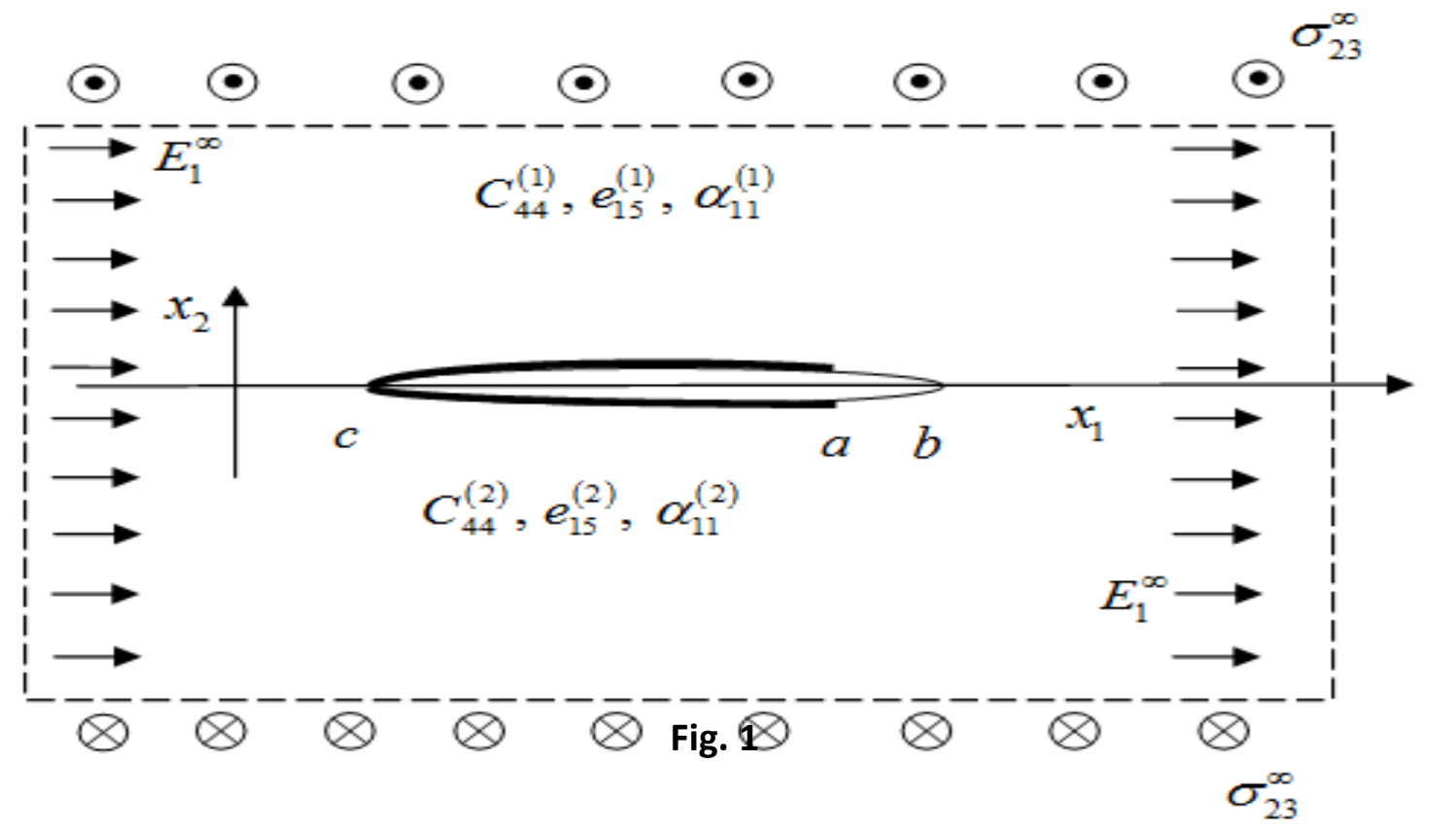


Fig. 2

. Зсувний стрибок переміщень $\langle u_3(x_1, 0) \rangle$ для $\lambda = 0.1$

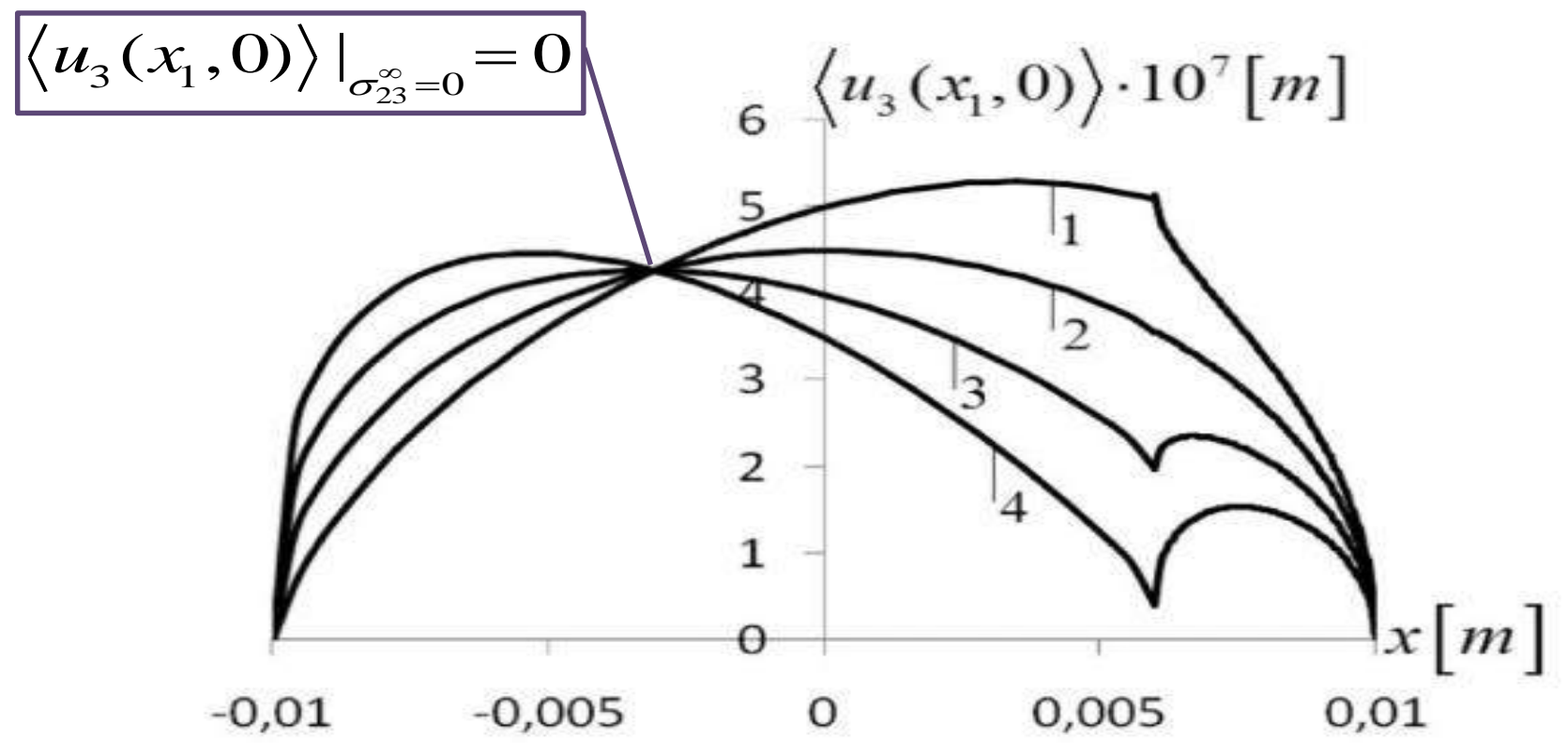
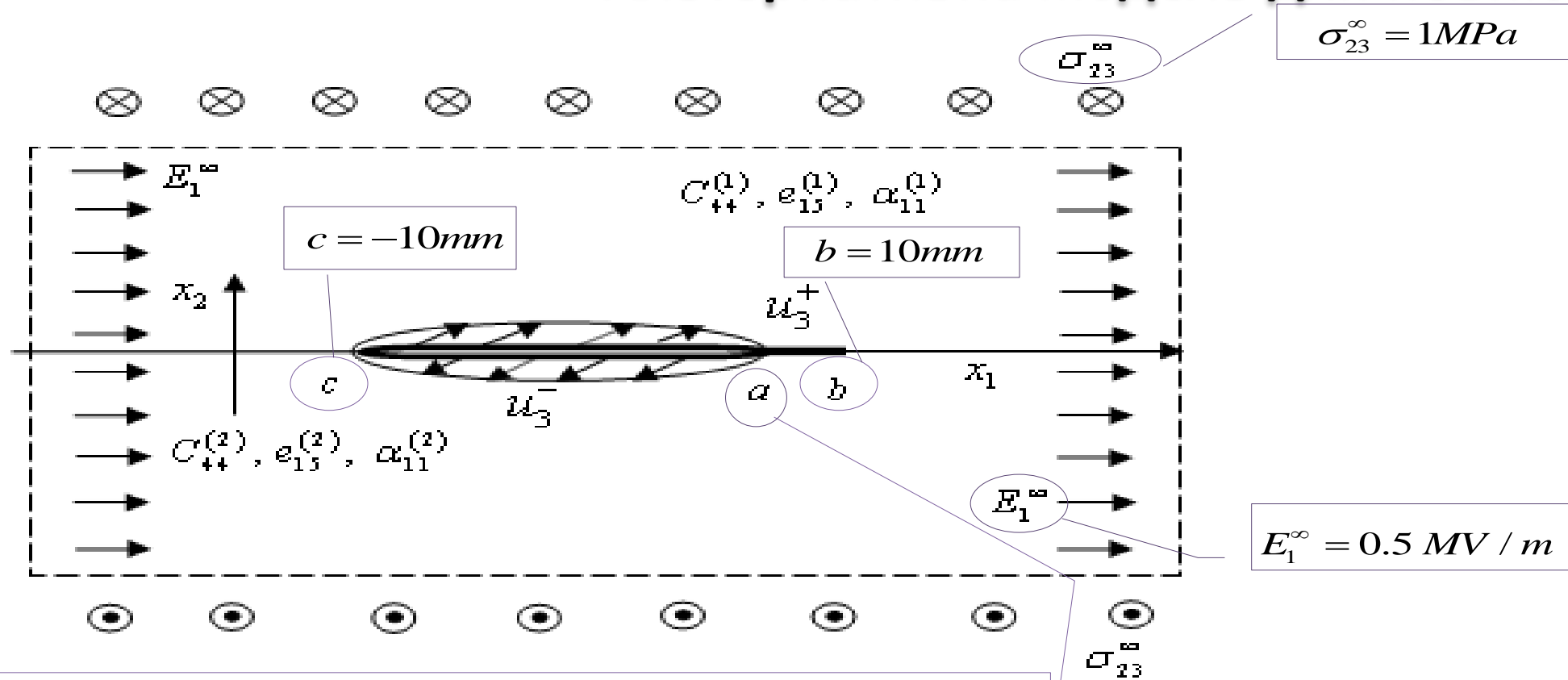


Fig. 3

для $\lambda = 0.2$

Альтернативна модель для повністю розширеного електрода



(4.12) $\Rightarrow \lambda = \lambda_0 \approx 0.037720, a = a_0 \approx 9.2456 \text{ mm}$

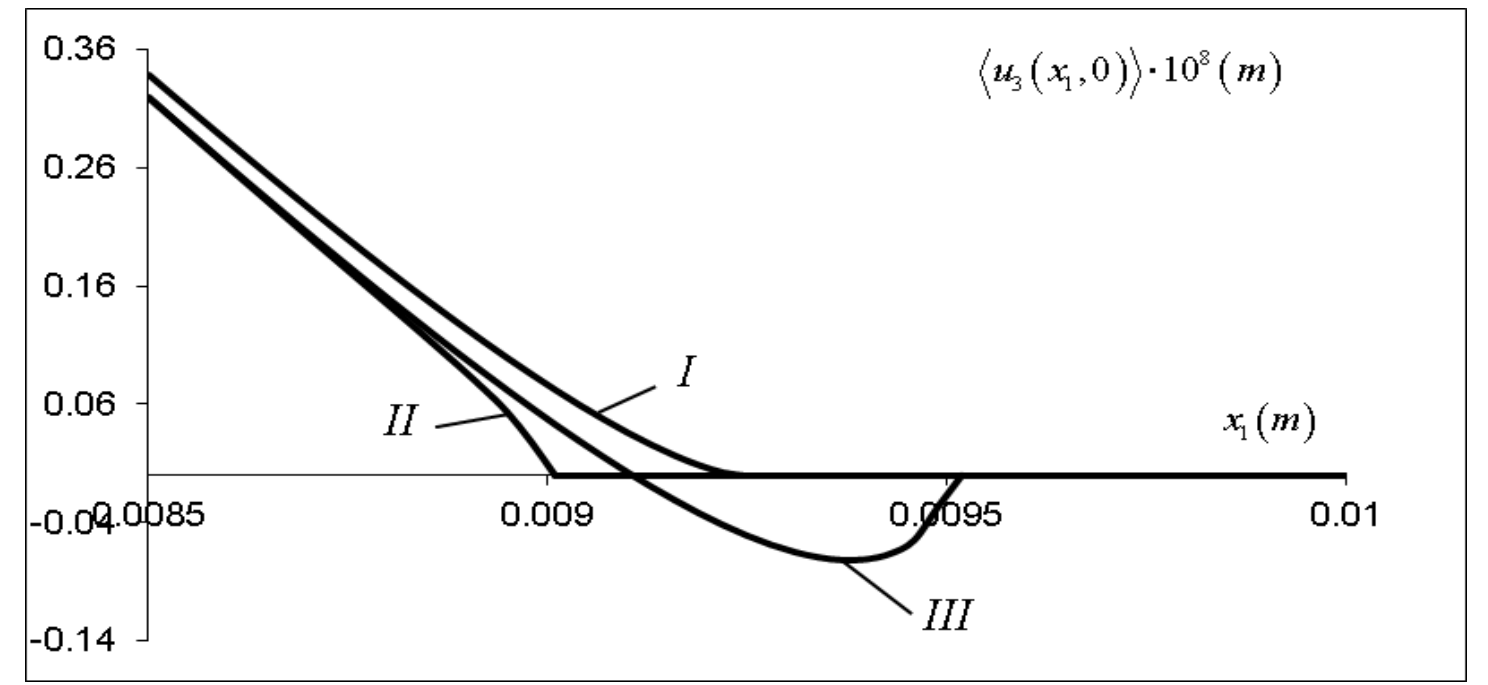


Fig. 4.8. Variation of the displacement jump at the right electrode tip for (line I) and for the values of λ different from λ_0 (lines II and III) $\lambda = \lambda_0$

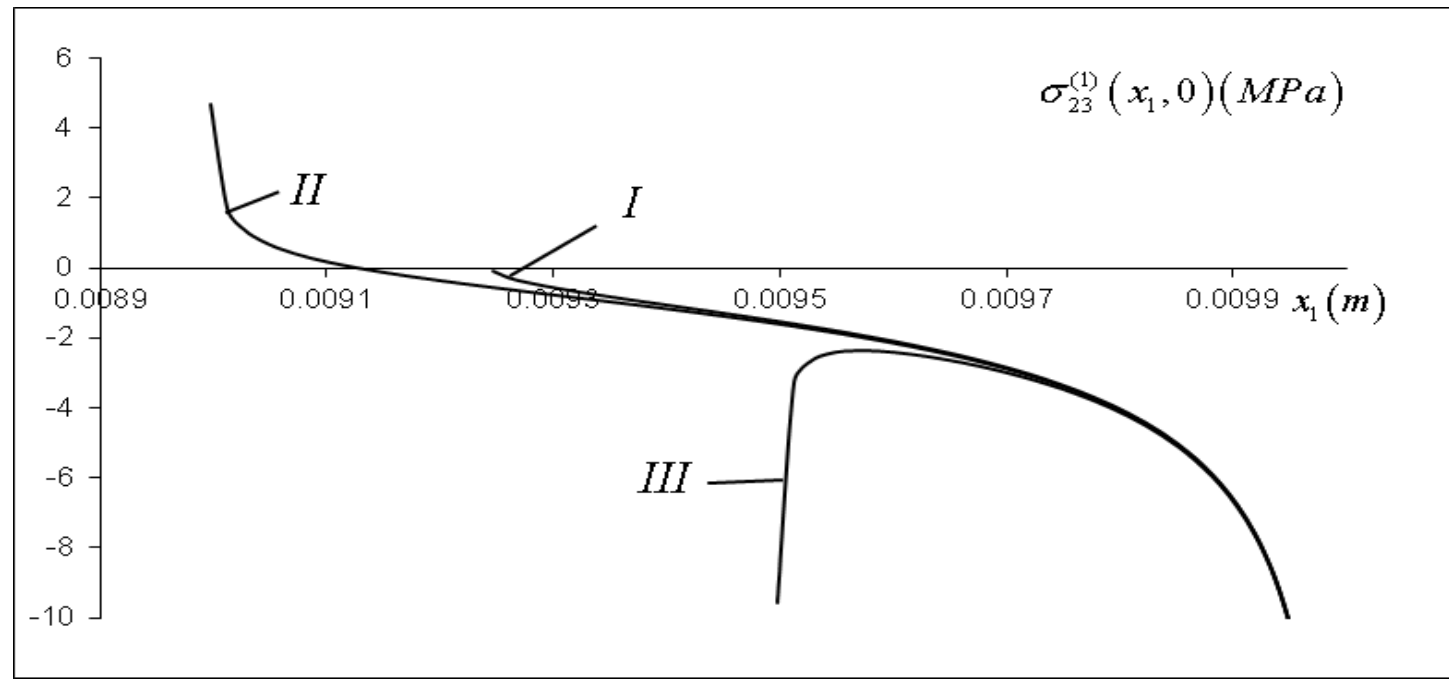


Fig. 4.9. Variation of shear stress along the "contact" zone for $\lambda = \lambda_0$ (line I) and for the values of λ different from λ_0 (lines II and III)

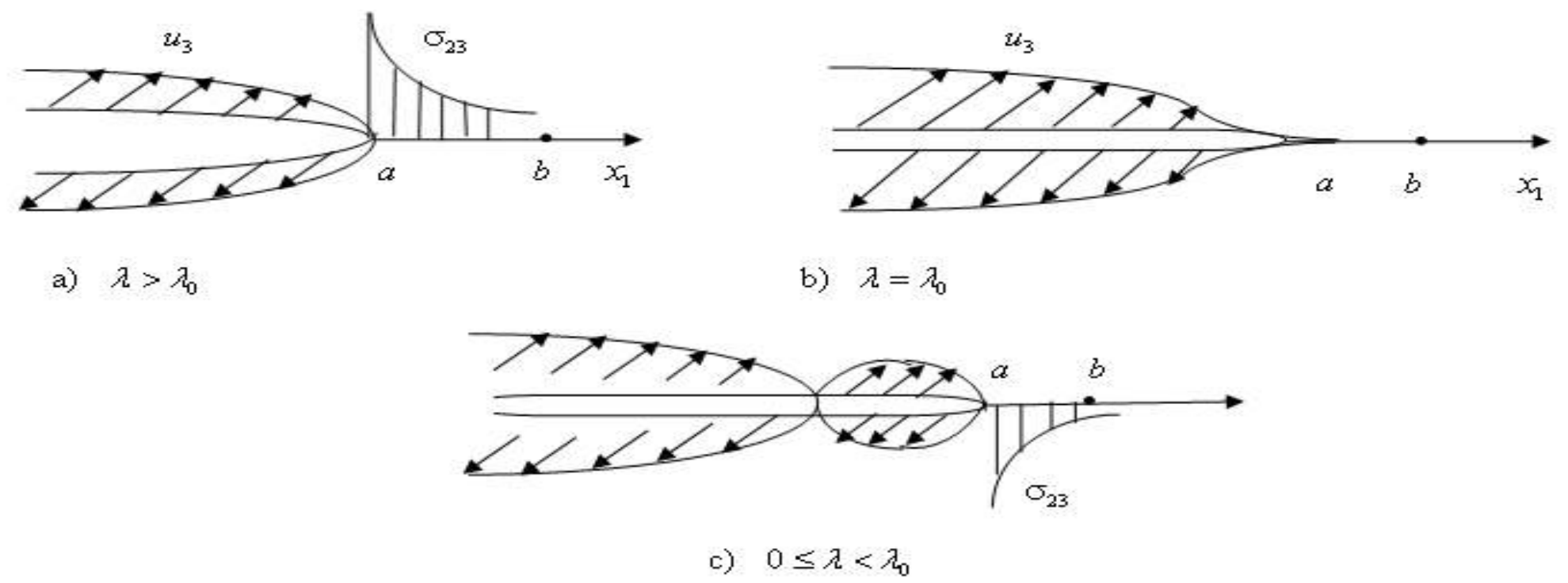


Fig. 4.10. Schematical illustration of the crack states for different crack lengths with respect to λ_0

Публікації та захист дисертацій

За результатами роботи опубліковано 3 монографії, з яких одна у видавництві Шпрінгер, 25 статей, серед яких 13 у базі даних Скопус, захищено 3 кандидатські дисертації, зроблено 16 доповідей на міжнародних конференціях.

1. Kozinov S., Sheveleva A., Loboda V. Fracture behavior of periodically bonded interface of piezoelectric bi-material under compressive-shear loading // *Math. and Mech. of Solids*. 2019. – 24 (10). – P. 3216-3230. <https://doi.org/10.1177/1081286519838304>.
2. Onopriienko O., Loboda V., Sheveleva A., Lapusta Y. Bond zone model for a conductive crack at the interface of piezoelectric materials under anti-plane mechanical and in-plane electric loadings // *ZAMM*. – 2019. – 99 (9). – e201800230. DOI: 10.1002/zamm.201800230.
3. Loboda V., Sheveleva A., Chapelle F., Lapusta Y. A dielectric breakdown model for an electrode along an interface between two piezoelectric materials // *Engineering Fracture Mechanics*. – 2020. – 224. –106809.
4. Loboda V., Komarov O., Bilyi D., Lapusta Y. An analytical approach to the analysis of an electrically permeable interface crack in a 1-D piezoelectric quasicrystal // *ActaMechanica*. – 2020. – 231 (8). – P. 3419-3433. DOI: 10.1007/s00707-020-02721-8.
5. Sheveleva A., Loboda V., Lapusta Y. A conductive crack and a remote electrode at the interface between two piezoelectric materials // *Applied Mathematical Modelling*. – 2020. – 87. – P. 287-299. DOI: 10.1016/j.apm.2020.06.003.

