

Концентрация напряжений в элементах конструкций из поликристаллических материалов при различных видах напряженного состояния

Е.Е. Евдокимов, Л.М. Арзамаскова, В.И. Клименко, О.В. Коновалов

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: Исследовано перераспределение растягивающих напряжений в элементах строительных конструкций из поликристаллических металлов с гексагональной кристаллической решеткой при линейном и плоском напряженных состояниях. Определены коэффициенты концентрации растягивающих напряжений k_{σ_y} в металлических пластинах, имеющих центральное круглое отверстие, при линейном и плоском напряженных состояниях. Установлена зависимость между видами напряженного состояния и значениями k_{σ_y} , определенными с учетом микроструктуры материала.

Ключевые слова: линейное и плоское напряженные состояния, поликристаллическая структура, микроструктурные факторы, неоднородность напряжений.

В современном промышленном и гражданском строительстве все большее применение находят структурно-неоднородные материалы – поликристаллические, текстурированные металлы, армированные, композиционные пластики, бетон, дерево и др., что требует разработки расчетных физико-механических моделей элементов конструкций, которые основываются на реальных свойствах материалов, учитывают их структурную неоднородность и анизотропию упругих и пластических свойств. Для поликристаллических металлов, наиболее распространенных в строительстве, тип кристаллической решетки является одним из важнейших факторов, влияющих на неоднородность микронапряжений и микродеформаций [1 – 5].

С помощью разработанной авторами автоматизированной конечно-элементной модели поликристаллического тела [6 – 9] были выполнены исследования неоднородности распределений нормальных напряжений при

линейном и плоском напряженных состояниях в плоской металлической пластине с центральным круглым вырезом (рис. 1).

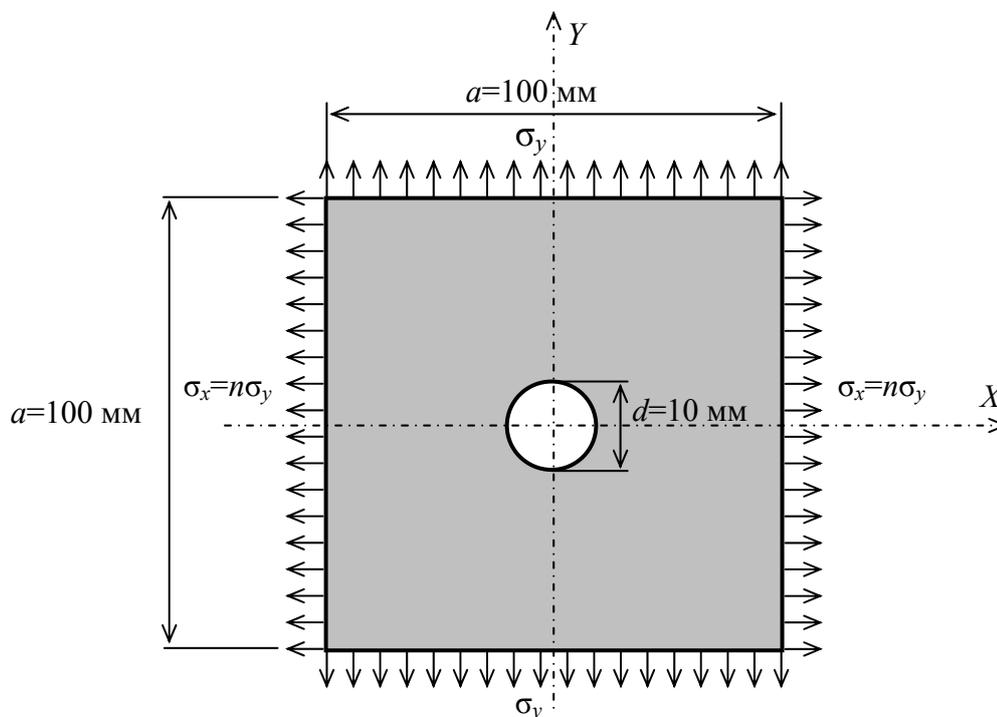


Рис. 1. Исследуемая плоская пластина в условиях общего напряженного состояния.

В качестве материала пластины рассматривались три металла с гексагональной кристаллической решеткой – магний, цинк и титан. Вид напряженного состояния формировался с помощью параметра n , а именно: при $n=0$ имеет место линейное напряженное состояние – одноосное растяжение, при $n=\pm 1$ – плоское напряженное состояние (двухосное равномерное растяжение и чистый сдвиг, соответственно) (табл. №1).

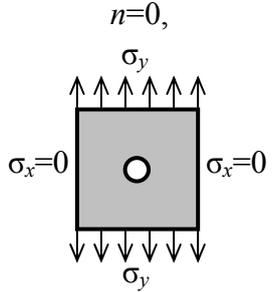
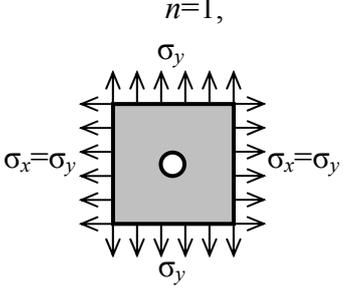
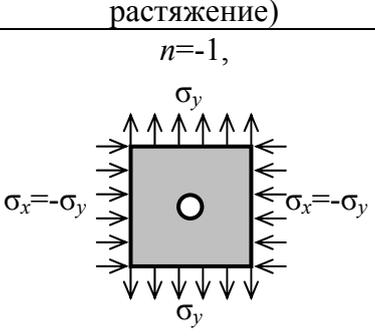
Приведенные исследования (табл. №1) позволяют сделать выводы о следующем:

1. Значения коэффициентов концентрации напряжений k_{σ_y} , полученные для квазиизотропного мелкозернистого материала

соответствуют известным решениям для изотропных и однородных материалов.

Таблица №1

Зависимость k_{σ_y} от материала и вида напряженного состояния

№	Параметр n , напряженное состояние	Квазиизотропный мелкозернистый материал	Поликристаллические металлы		
			Магний	Титан	Цинк
1	$n=0$,  линейное (одноосное растяжение)	3	6,1	6,2	7,05
2	$n=1$,  плоское (двухосное равномерное растяжение)	1,94	1,97	1,96	1,95
3	$n=-1$,  плоское (чистый сдвиг)	4,05	9,55	9,81	10,4

2. Успешное апробирование метода расчета и модели структурно-неоднородного тела (поликристалла), а также разработанного авторами

программного комплекса для реализации указанных метода и модели, подтверждает надежность и достоверность проведенных авторами исследований.

3. Методика расчета, включающая автоматизированное построение конечно-элементной модели элемента строительной конструкции с различными по форме и виду вырезами, ослаблениями, выточками и другими конструктивными особенностями геометрии элемента, может использоваться для решения классических задач теории упругости, рассматривающих сплошное, линейно-упругое и однородное тело.

Неоднородность растягивающих напряжений при одноосном растяжении подробно рассматривалась в работе [10], в настоящей статье, по мнению авторов, более важен анализ результатов исследований k_{σ_y} при двух других видах напряженного состояния – двухосного растяжения и чистого сдвига. Результаты, указанные в таблице №1, свидетельствуют о значительных увеличениях коэффициентов концентрации при чистом сдвиге, причем это увеличение зависит от степени анизотропии упругих свойств рассматриваемого металла. Для магния, который обладает меньшей, в сравнении с титаном и цинком, степенью анизотропии упругих свойств, это превышение составило около 136% относительно значения, полученного при расчете пластины из квазиизотропного мелкозернистого материала. Для титана, степень анизотропии которого занимает промежуточное значение между рассмотренными металлами, увеличение значения k_{σ_y} составило 142%. Для цинка, который обладает наибольшей в данном случае степенью анизотропии упругих свойств, имеет место наиболее значительное превышение соответствующей величины k_{σ_y} – на 157% (табл. №1).

Отличительной особенностью рассмотренных металлов с гексагональной кристаллической решеткой является приблизительное равенство значений k_{σ_y} при двухосном равномерном растяжении независимо от анизотропии упругих свойств и микроструктуры металлов – эти значения превышают значение, полученное для квазиизотропного мелкозернистого материала на 0,5 – 1,6% (табл. №1).

В заключении авторы считают необходимым отметить, что в процессе деформирования рассмотренного элемента конструкции в результате сложного взаимодействия отдельных зерен поликристалла могут быть активизированы до шести плоскостей скольжения. Кроме того, полученное существенное увеличение значений коэффициентов концентрации растягивающих напряжений в реальных конструкциях и их элементах может быть и не достигнуто в связи с тем, что в результате прохождения локальных пластических деформаций возможно перераспределение напряжений на микроуровне в пластичных материалах и локальные микроразрушения в хрупких материалах. Авторы считают, что указанные обстоятельства требуют дополнительного изучения, в том числе, на основе внесения методологических и программных дополнений в разработанную авторами модель структурно-неоднородного тела, которые учитывали бы эти обстоятельства.

Литература

1. Болотин В.В, Новичков Ю.Н. Механика многослойных конструкций. М.: Машиностроение, 1980. 375 с.
2. Kukxa, L.V. and E.E. Evdokimov, 2002. On the problem of microstresses and microstrains in polycrystals. Russian metallurgy (Metally), 5: pp. 477-483.
- 3 Милешников И.В., Воронкова Г.В., Епифанова Е.В. Восстановление несущей способности и эксплуатационной пригодности строительных



конструкций отделения шламбассейнов // Инженерный вестник Дона, 2017, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4460.

4. Игнатъев В.А., Глухов А.В., Глухова С.Г. и др. Анализ эффективности применения классических методов при расчете изгибаемой пластинки с произвольными граничными условиями // Инженерный вестник Дона, 2018, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5144.

5. Кукса Л.В., Евдокимов Е.Е. Исследование концентрации напряжений в элементах конструкций при различных видах напряженного состояния на основе построения физико-механических моделей структурно-неоднородных материалов // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. научн. ст. №11(59) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»; вып. 3.). С. 123-127.

6. Кукса Л.В., Евдокимов Е.Е. Метод оценки концентрации напряжений и деформаций на основе разработки физико-механических моделей структурно-неоднородных тел // Заводская лаборатория. 2001. Т.67. - №1. С. 30-34.

7. Кукса Л.В., Евдокимов Е.Е. Разработка конечно-элементной модели и метода расчета элементов конструкций из структурно-неоднородных материалов с факторами концентрации напряжений // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2002. №5. С. 16-21.

8. Kuksa, L.V., L.M. Arzamaskova, E.E. Evdokimov and A.V. Sergeev, 2006. Development of methods for designing structural elements made of structurally heterogeneous materials by developing physicommechanical models. Strength of materials, 4(V.38): pp. 404-408.

9. Кукса Л.В., Арзамаскова Л.М., Евдокимов Е.Е. Методы расчета элементов конструкций из структурно-неоднородных материалов с учетом анизотропии физико-механических свойств, масштабных и геометрических факторов // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. научн. ст. №10(48) / ВолгГТУ. –



Волгоград, 2008. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»; вып. 2.). С. 112-118.

10. Евдокимов Е.Е., Арзамаскова Л.М., Клименко В.И. и др. Исследование концентрации напряжений в элементах конструкций из поликристаллических материалов // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5349.

References

1. Bolotin V.V., Novichkov YU.N. Mekhanika mnogoslojnyh konstrukcij [Mechanics of multilayer structures]. M.: Mashinostroenie, 1980. 375 p.

2. Kuksa, L.V. and E.E. Evdokimov, 2002. Russian metallurgy (Metally), 5: pp. 477-483.

3. Mileshnikov I.V., Voronkova G.V., Epifanova E.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4460.

4. Ignatyev V.A., Gluhov A.V., Gluhova S.G. i dr. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5144.

5. Kuksa L.V., Evdokimov E.E. Izvestija VolgGTU: mezhvuz. sb. nauchn. st. №11 (59). VolgGTU. Volgograd, 2009. (Serija «Problemy materialovedeniya, svarki i prochnosti v mashinostroenii»; vyp. 3.). pp. 123-127.

6. Kuksa L.V., Evdokimov E.E. Zavodskaya laboratoriya. 2001. T.67. №1. pp. 30-34.

7. Kuksa L.V., Evdokimov E.E. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2002. №5. pp. 16-21.

8. Kuksa, L.V., L.M. Arzamaskova, E.E. Evdokimov and A.V. Sergeev, 2006. Strength of materials, 4(V.38): pp. 404-408.



9. Kuksa L.V., Arzamaskova L.M., Evdokimov E.E. Izvestija VolgGTU: mezhvuz. sb. nauchn. st. №10 (48). VolgGTU. Volgograd, 2008. (Serija «Problemy materialovedeniya, svarki i prochnosti v mashinostroenii»; vyp. 2.). pp. 112-118.

10. Evdokimov E.E., Arzamaskova L.M., Klimenko V.I. i dr. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5349.