

Исследование концентрации напряжений в элементах конструкций из поликристаллических материалов

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

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: В работе приводятся результаты исследований распределений напряжений в элементах строительных конструкций с учетом структурной неоднородности материалов. С помощью конечно-элементной модели структурно-неоднородного тела (поликристалла) построены эпюры растягивающих напряжений при одноосном напряженном состоянии в поликристаллических пластинах с гексагональной кристаллической решеткой и центральным круговым отверстием. Установлено, что коэффициенты концентрации напряжений, вычисленные с учетом структурной неоднородности и анизотропии упругих свойств поликристаллических металлов, могут принимать значения, значительно превышающие значения для квазиизотропного мелкозернистого материала.

Ключевые слова: распределение напряжений, структурная неоднородность материала, поликристаллические металлы, микронапряжения и микродеформации, концентрация напряжений.

Структурно-неоднородные материалы, в частности, поликристаллические металлы, имеют широкое применение в строительстве и технике. Действие повышенных значений локальных микронапряжений по сравнению со средними значениями напряжений способствует более быстрому исчерпанию несущей способности материала, что приводит к разрушению. Поэтому учет неоднородности микронапряжений и микродеформаций в поликристаллах, зависящей от структуры, физических и механических свойств, должен иметь большое значение при выполнении расчетов на прочность, в особенности, для элементов конструкций, ослабленных различными концентраторами напряжений [1 – 4].

Для изучения влияния структурной неоднородности и различных геометрических ослаблений на перераспределение напряжений в элементах конструкций авторами была разработана конечно-элементная модель структурно-неоднородного тела (поликристалла). Обоснование построения этой модели и алгоритм ее формирования рассмотрены в работах [5 – 8].

В настоящей статье показаны результаты расчетов элементов конструкций, выполненных из поликристаллических металлов магния, титана и цинка, которые имеют гексагональную кристаллическую решетку. Рассматривались квадратные пластины со стороной 100 мм с центральными круговыми отверстиями диаметром 10 мм в условиях простого растяжения. Полученные эпюры растягивающих напряжений в центральных поперечных сечениях этих пластин приведены на рис. 1 (симметрия рассчитываемых элементов конструкций позволяет показать только четвертую часть пластин).

Из трех рассмотренных металлов магний и титан имеют достаточно близкую степень анизотропии упругих свойства, а, следовательно, имеют и близкие по характеру распределения растягивающих напряжений (рис. 1, а, б). В части центрального горизонтального поперечного сечения пластины, достаточно удаленной от кругового ослабления, растягивающие напряжения имеют разброс значений в интервале от 7,76 МПа до 11,6 МПа для пластины из магния, и от 7,88 МПа до 11,92 МПа для титановой пластины (среднее напряжение 10 МПа). Коэффициенты концентрации напряжений для этих пластин имеют значения $\alpha=6,1$ и $\alpha=6,2$, что почти в два раза больше значения $\alpha=3$, полученного для квазиизотропного мелкозернистого материала. Наиболее существенная неоднородность напряжений обнаружена для пластины, выполненной из поликристаллического цинка, имеющего более высокую степень анизотропии упругих свойств (рис. 1, в). Интервал значений, которые принимают растягивающие напряжения для цинковой пластины, больше - от 7,88 МПа до 13,2 МПа, при этом $\alpha=7,05$, что превышает значение $\alpha=3$ в 2,34. Таким образом, для всех трех рассмотренных металлов коэффициенты концентрации напряжений, вычисленные с учетом неоднородности структуры поликристаллов, могут достигать значений, которые более чем в два раза превышают известные решения для квазиизотропного мелкозернистого материала.

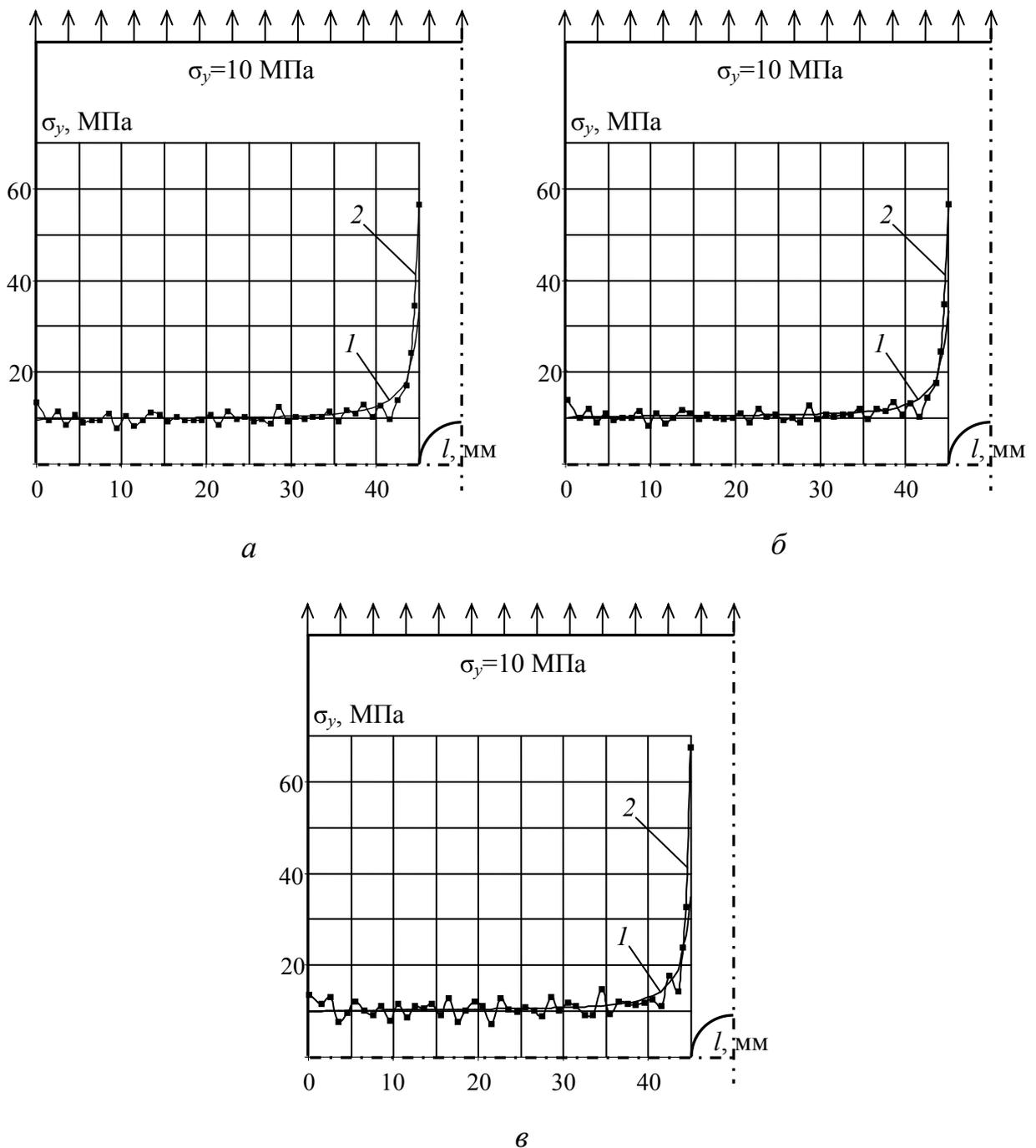


Рис. 1. – Распределение растягивающих напряжений σ_y в центральных сечениях пластин из: *a* – магния, *б* – титана, *в* - цинка; 1 – квазиизотропный мелкозернистый материал, 2 – поликристаллический металл.

Представленные авторами данные согласуются с полученными ранее результатами расчетов элементов конструкций, имеющих центральное круговое ослабление и выполненных из поликристаллических металлов с кубической кристаллической решеткой [9, 10].

Разработанная физико-механическая модель структурно-неоднородного тела позволяет изучать локальные микронапряжения в элементах конструкций при других видах напряженного состояния и при наличии различных по форме и виду концентраторов напряжений, что является предметом дальнейших исследований.

Литература

1. Болотин В.В, Новичков Ю.Н. Механика многослойных конструкций. М.: Машиностроение, 1980. 375 с.
2. Kuksa, L.V. and E.E. Evdokimov, 2002. On the problem of microstresses and microstrains in polycrystals. Russian metallurgy (Metally), 5: pp. 477-483.
3. Дородов П.В., Кулагин А.В. Исследование напряжений возле плоского горизонтального выреза // Инженерный вестник Дона, 2012, №2 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/813/.
4. Царьков А.В., Пащенко В.В., Зиновьева О.И. Исследование влияния концентраторов напряжений на НДС в плоских образцах труб под давлением Инженерный вестник Дона, 2014, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2014/2675/.
5. 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.
6. 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.

7. 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 physicomaterial models. Strength of materials, 4(V.38): pp. 404-408.

8. 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.

9. Кукса Л.В., Евдокимов Е.Е. Концентрация напряжений в элементах конструкций из изотропных, анизотропных и поликристаллических материалов // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. научн. ст. №3(29) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»; вып. 1.). С. 81-84.

10. 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.

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. Dorodov P.V., Kulagin A.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/813/.
4. Car'kov A.V., Pashchenko V.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2014/2675/.
5. Kuksa L.V., Evdokimov E.E. Zavodskaya laboratoriya. 2001. T.67. №1. pp. 30-34.
6. Kuksa L.V., Evdokimov E.E. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2002. №5. pp. 16-21.
7. Kuksa, L.V., L.M. Arzamaskova, E.E. Evdokimov and A.V. Sergeev, 2006. Strength of materials, 4(V.38): pp. 404-408.
8. 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.
9. Kuksa L.V., Evdokimov E.E. Izvestija VolgGTU: mezhvuz. sb. nauchn. st. №3 (29) VolgGTU. Volgograd, 2007. (Serija «Problemy materialovedeniya, svarki i prochnosti v mashinostroenii»; vyp. 1.). pp. 81-84.
10. 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.