

Моделирование микро-, мезо- и макроразрушения титановых сплавов при одноосном нагружении во всем диапазоне коэффициентов асимметрии цикла при низких и высоких частотах нагружения.

Научный руководитель – Завойчинская Элеонора Борисовна

Лавриков Георгий Евгеньевич

Студент (специалист)

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
Механико-математический факультет, Кафедра теории упругости, Москва, Россия
E-mail: georgii.lavrikov@math.msu.ru

Процесс усталостного разрушения титановых сплавов ВТЗ-1, ВТ6, ВТ22, ТС17 с ($\alpha + \beta$)-структурой, ВТ1-0 с α -структурой и ПТ-3В с псевдо α -структурой определяется структурой и зависит от типа кристаллической решетки, неоднородности распределения химических элементов, наличии примесных элементов и др. [n1,n2,n3,n4]. При коэффициенте асимметрии $R = \sigma_{min}/\sigma_{max}$ (σ_{min} , σ_{max} - минимальное и максимальное значения напряжения цикла соответственно), в среднем, $R \leq 0.5$, для всех рассматриваемых сплавов имеет место развитие нанодфектов в полях остаточных микронапряжений в областях геометрических неоднородностей с образованием наноструктурных частиц сферической формы, по границам которых имеет место разупрочнение с формированием свободной поверхности; зарождение микротрещин, раскалывающих пластинчатую α -фазу с формированием гладких фасеток. Рост и слияние микротрещин в результате достижения их предельной концентрации ведет к фазовому переходу на следующий масштабный уровень с образованием мезотрещин и разрушению β -фазы с формированием речного узора, дальнейшему слиянию мезотрещин с образованием хрупких макротрещин и макротрещины-лидера некоторой характерной длины при упругом макродеформировании. В многоцикловой области ($N_f \in (10^4, 10^6)$) циклов до макроразрушения) микродефекты зарождаются, как правило, на поверхности тела, в гигацикловой области ($N_f \in (10^6, 10^{11})$), в основном, от геометрических концентраторов в объеме тела: в матрице, на границах зерен, от включения и др., с формированием области мелкогранулированной зернистой структуры “рыбий глаз”.

По модели хрупкого разрушения [n1] строятся области развития микро-, мезо- и макродефектов и кривые усталости по уровням дефектности для титановых сплавов при симметричных дозвуковых и ультразвуковых колебаниях. Предлагается рассматривать кривые усталости по макроразрушению в виде суммы независимых событий: разрушений по дефектам мезо- и макроуровня. Получено хорошее соответствие известным опытным данным. Обнаруживается, что зависимость от частоты нагружения связана с различной подготовкой структуры сплава (например, как для сплава ВТ6). Усталостные характеристики сплава ВТЗ-1 зависят от частоты нагружения. Во всем диапазоне величины R выделяются четыре области и предлагаются зависимости базовых функций от R . Расчетные кривые усталости по макроразрушению для сплава ПТ-3В при $R = -2, -5$ и для сплава ВТ6 при $R = 0.6$ удовлетворительно соответствует опытным данным. Для ПТ-3В наблюдается уменьшение σ_{max} при одинаковом N_f и $R = -5$, примерно в 3.8 раза, по сравнению с симметричным циклом. Для ВТ6 наблюдается увеличение σ_{max} при $R = 0.6$, примерно в 1.2 раза, по сравнению с пульсирующим циклом. Для ПТ-3В строятся поверхности мезо- и макроразрушения в координатах: σ_{max} , N_f , R , которые удовлетворительно описывают опытные данные [n4], их линии уровня при постоянном числе циклов являются известными диаграммами Хейя-Смита.

Источники и литература

- 1) E.V. Zavoychinskaya. A Stochastic Theory of Scale-Structure Fatigue and Structure at Operational Loading // Understanding complex systems. Springer Complexity. 2021. p. 71-89.
- 2) А. А. Шанявский, А. Л. Никитин, Т. Palin-Luc, С. Bathias. Масштабная иерархия процессов малоциклового, многоциклового и сверхмногоциклового усталости разрушения титанового сплава ВТЗ-1 // Физическая мезомеханика. 2014. Т. 17. № 4. с. 59-68.
- 3) M. Janecsek, F. Novy, P. Hancuba, J. Strasky, L. Trsko, M. Nhade, L. Wagner. The Very High Cycle Fatigue Behaviour of Ti-6Al-4V Alloy // Acta Physica Polonica A. 2015. V. 128. p. 497-502.
- 4) В. П. Багмутов, В. И. Водопьянов, О. В. Кондратьев, К. А. Бадиков. Усталостная прочность при отрицательных значениях коэффициента асимметрии стали 45 и титанового сплава ПТ-3В // Известия ВолгГТУ. 2015. с. 69-73.