

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Кожевникова Г.В.¹, Щукин В.Я.², Дубенец С.С.¹

1).Физико-технический институт НАН Беларуси

2).Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Применение усовершенствованных теорий разрушения металла при пластических деформациях позволяет улучшить качество поковок и способствует более широкому использованию в промышленности малопластичных металлов и сплавов с высокими эксплуатационными свойствами. Повышение ресурса пластичности титановых сплавов ТС21 и ВТ9 обеспечит повышение качества поковок валов авиационных двигателей и беспилотных летательных аппаратов.

Использование усовершенствованной феноменологическую деформационную теорию разрушения [1] позволяет определить ресурс пластичности поковки, вероятность разрушения металла по закону нормального распределения Гаусса, место в поковке, где произойдет разрушение, оптимизировать параметры технологии производства поковки. Совершенствуется теория В.Л. Колмогорова: диаграмма пластичности преобразуется в поверхность пластичности, показано влияние видов деформации на разрушение, в качестве критерия разрушения принят ресурс пластичности, создано множество экспериментальных методов определения пластических свойств металлов, способов повышения ресурса пластичности поковок.

Деформационный, энергетический и эмпирический критерии разрушения металлов при пластическом деформировании не противоречат друг другу, но феноменологический деформационный критерий до последнего времени считался наиболее универсальным [2].

Существующие энергетические критерии построены на предположении, что разрушение наступает после совершения для конкретного материала определенной работы. Для зарождения трещины, ее роста и объединения микротрещин в макрополость необходимо совершить определенную работу, которая постоянна для конкретного материала при стабильной температуре. В существующих теориях не учитывает весь тензор напряжений, а только его часть.

Эмпирическая теория предполагает экспериментальное определение зависимости разрушения от параметров процесса [3]. Недостаток этого направления – необходимость постановки эксперимента и требование с одной стороны не пропустить все факторы, влияющие на процессы разрушения, и с другой стороны диапазон экспериментов должен перекрывать диапазон параметров процесса.

Теории разрушения металлов должны отражать два фактора: среда, в которой деформируется металл, и свойства этого металла. Третий фактор – это критерий, по которому оценивается событие – разрушение металла. В феноменологической деформационной и энергетической теориях критерием пластичности служит ресурс пластичности. Это безразмерная величина. Для феноменологической деформационной теории ресурс пластичности равен единица минус отношение накопленной степени деформации сдвига, деленной на предельную степень деформации сдвига, при которой происходит разрушение. Для энергетической теории – единица минус отношение энергии материальной точки материала при ее движении вдоль линии тока к энергии материальной точки при разрушении. Ресурс пластичности суммируется по этапам деформации.

Среда, в которой происходит деформация, определяется следующими параметрами: напряженное состояние (среднее напряжение, параметр третьего инварианта тензора напряжений), температура среды, скорость нагрева и скорость охлаждения, скорость деформации, вид деформации (монотонная однонаправленная, монотонная разнонаправленная, немонотонная разнонаправленная), температура фазового изменения материала, импульсный ток, магнитное поле, ядерное излучение (последние два параметра – это гипотеза).

Свойства металла определяются следующими параметрами: плотность дислокаций, неметаллические включения, размеры трещин и полостей, размеры зерен металла, ориентация зерен, тип кристаллической решетки. У исследуемых в работе ТС21 и ВТ9 титановых сплавов гексагональная плотноупакованная кристаллическая решетка.

Совершенствование феноменологической деформационной теории предполагается провести по следующему направлению – ресурс пластичности коррелировать с плотностью дислокаций, изменяющийся от накопленных деформаций и воздействия температуры нагрева [1].

1. Кожевникова, Г.В. Пластические свойства металлов и сплавов: феноменологическая деформационная теория разрушения при пластическом течении / Г.В. Кожевникова, В.Я. Щукин. – Минск: Беларуская навука, 2021. – 277 с.

2. Кожевникова, Г. В. Критерии вскрытия осевой полости при поперечно-клиновой прокатке / Г. В. Кожевникова, В. Я. Щукин, С. С. Дубенец // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2022. Т.67. – № 4. – С. 370–378.

3. Pater, Z. Establishment of a new hybrid fracture criterion for cross wedge rolling / Z. Pater, J. Tomczak, T. Bulzak // Int. J. Mech. Sci. – 2020, 167, e105274.