

УДК 539.43

ЦИКЛИЧЕСКАЯ ПОЛЗУЧЕСТЬ СПЛАВА ПТ-3В ПРИ ГЛУБОКОМ ОХЛАЖДЕНИИ

Медведь И. И.

CYCLIC CREEP OF ALLOY PT-3V AT DEEP COOLING

Medved I.

Приводятся данные экспериментального исследования по выявлению влияния глубокого охлаждения на малоцикловую усталость и циклическую ползучесть титанового сплава в интервале температур 293-77К. Исследуется характер деформирования и разрушения сплава в условиях глубокого охлаждения.

Ключевые слова: конструкционные сплавы, глубокое охлаждение, малоцикловая усталость, циклическая ползучесть.

Введение. Малоцикловая усталость является одним из главных факторов, определяющих долговечность (ресурс) основных деталей конструкции. Согласно мировой статистике основная доля разрушений в инженерной практике происходит именно по причине усталости, поэтому проблема усталости является одной из наиболее актуальных научно-технических задач современности, решение которой требует дополнительных комплексных экспериментальных и теоретических исследований

Постановка задачи. Задача оценки несущей способности и долговечности в условиях воздействия циклических нагрузок имеет чрезвычайно большое значение. Среди ответственных конструкций и объектов низкотемпературного назначения широкое распространение получили конструкции, которые работают в условиях циклического отнулевого растяжения, повторяющегося с низкой частотой. Такие условия нагружения возникают при эксплуатации емкостей для транспортировки и хранения сжиженных газов (кислорода, азота, водорода, гелия), криогенных трубопроводов, сосудов высокого давления, криогенераторов и т.п. В результате циклического изменения нагрузки в материале этих конструкций (особенно в зонах концентраторов) могут возникать значительные по величине напряжения, достигающие и превосходящие предел текучести, что приводит к их разрушению после небольшого числа циклов нагружения.

Анализ последних достижений и публикаций. Экспериментально установлено, что при малоцикловом нагружении имеет место направленное пластическое деформирование конструкционных сплавов, которое наиболее отчетливо проявляется при асимметричном цикле изменения нагрузки. Процесс одностороннего накопления пластической деформации, происходящий в результате действия переменных нагрузок, получил название циклической ползучести.

В ряде отечественных работ, а также в работах зарубежных авторов приводятся экспериментальные данные, свидетельствующие о том, что при высоких уровнях напряжений и низких частотах нагружения циклическая ползучесть является определяющим фактором долговечности материала не только в области высоких температур, но также и для интервала температур 293-77К [1].

Цель работы. Экспериментальное исследование влияния температуры испытания на малоцикловую усталость и циклическую ползучесть титанового сплава ПТ-3В.

Изложение материала и его результаты. В настоящей работе экспериментальные исследования по выявлению влияния глубокого охлаждения на малоцикловую усталость и циклическую ползучесть проводились на сплаве ПТ3В. Нагружение осуществлялось по пульсирующему циклу с частотой $0,033 \text{ с}^{-1}$ (2 цикл/мин) на воздухе и в средах жидких хладагентов (азота и гелия) при температурах 293,77 и 4,2К соответственно.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что при температуре испытания 293К в диапазоне долговечностей $0,5-10^4$ циклов у всех исследованных материалов имеет место направленное пластическое деформирование (рис.).

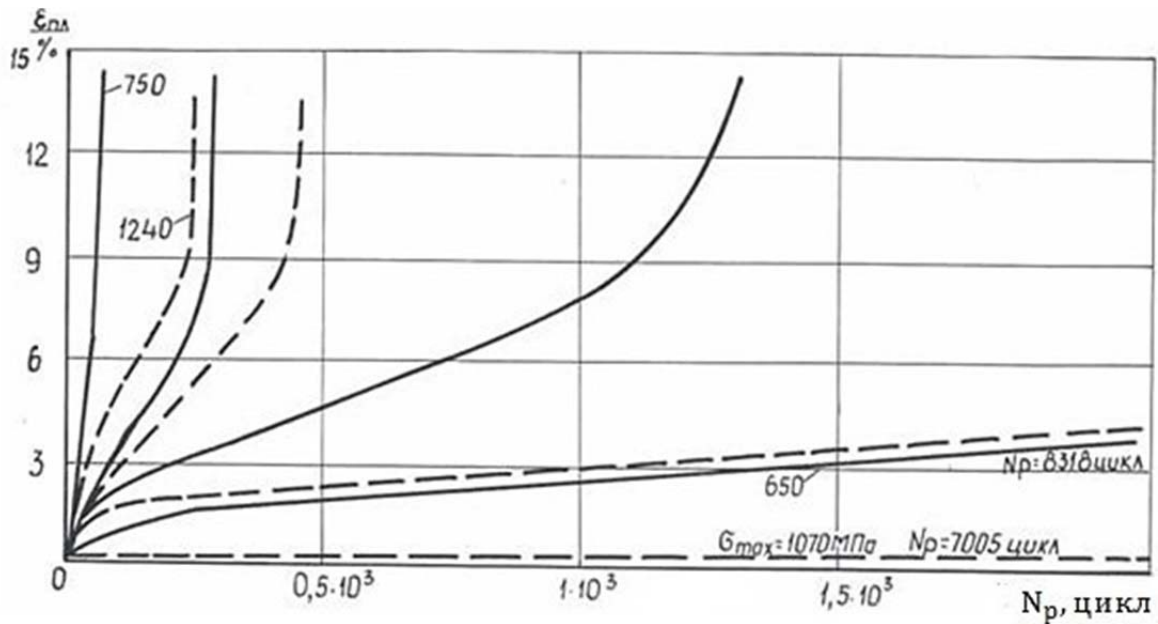


Рис. Кривые циклической ползучести сплава ПТ-3В:
— - 293К; ---- - 77К

У сплава ПТЗВ процессы циклической ползучести наиболее интенсивно протекают в области напряжений, соответствующих квазистатическому разрушению. Кривые, характеризующие кинетику изменения пластической деформации от числа циклов нагружения в этой области напряжений, имеют три характерных участка: неустановившейся затухающей, установившейся и неустановившейся ускоренной ползучести. При этом основная часть пластической деформации реализуется на двух последних стадиях.

Понижение температуры испытания до 77К не вносит качественных изменений в характер деформирования и разрушения исследованных материалов, однако при этом наблюдается резкое торможение процессов направленного пластического деформирования, характеризующееся изменением угла наклона участков установившейся ползучести на кривых, построенных для одинаковых значений приведенных напряжений при температурах испытания 293 и 77К соответственно.

Таким образом, учитывая этот факт, что в интервале температур 293-77К на кривых циклической ползучести стадия ускоренной ползучести весьма ограничена по долговечности можно с уверенностью сказать, что число циклов до разрушения сплава ПТ-3В в малоцикловой области будет определяться его способностью сопротивляться деформированию на установившейся стадии.

При этом, кинетика направленного пластического деформирования сплава ПТЗВ при температурах 293 и 77К с достаточной степенью точности может быть описана с позиций теории упрочнения.

Существенные изменения в поведении конструкционных материалов происходят при их испытаниях в условиях глубокого охлаждения ($T = 4,2\text{K}$).

Изменяется механизм деформирования, резко уменьшается пластичность [3]. Вся накопленная до разрушения деформация реализуется в первом полцикле нагружения в результате актов прерывистой текучести, число которых однозначно определяется уровнем максимальных напряжений цикла.

При дальнейшем циклическом нагружении пластическое деформирование сплава обнаружено не было. Это свидетельствует о том, что процесс направленного пластического деформирования при $T = 4,2\text{K}$ оказывается полностью подавленным и разрушение образцов происходит в результате образования и развития до критической величины усталостной трещины. В то же время следует отметить, что у ряда конструкционных материалов экспериментально было зафиксировано прерывистое течение в начальной стадии циклического нагружения. Следовательно, отсутствие циклической ползучести у конструкционных сталей и сплавов при $T = 4,2\text{K}$ нельзя считать абсолютно установленным фактом.

Для более глубокого изучения этого явления пластического деформирования сплава ПТЗВ при температурах 293 и 77К с достаточной степенью точности может быть описана с позиций теории упрочнения.

Существенные изменения в поведении конструкционных материалов происходят при их испытаниях в условиях глубокого охлаждения ($T = 4,2\text{K}$). Изменяется механизм деформирования, резко уменьшается пластичность [3]. Вся накопленная до разрушения деформация реализуется в первом полцикле нагружения в результате актов прерывистой текучести, число которых однозначно определяется уровнем максимальных напряжений цикла.

При дальнейшем циклическом нагружении пластическое деформирование сплава обнаружено

не было. Это свидетельствует о том, что процесс направленного пластического деформирования при $T = 4,2\text{K}$ оказывается полностью подавленным и разрушение образцов происходит в результате образования и развития до критической величины усталостной трещины. В то же время следует отметить, что у ряда конструкционных материалов экспериментально было зафиксировано прерывистое течение в начальной стадии циклического нагружения. Следовательно, отсутствие циклической ползучести у конструкционных сталей и сплавов при $T = 4,2\text{K}$ нельзя считать абсолютно установленным фактом.

Для более глубокого изучения этого явления требуется проведение дополнительных экспериментальных исследований.

Выводы.

1. При температуре испытания 293K в диапазоне долговечностей $0,5-10^4$ циклов у образцов сплава ПТЗВ имеет место направленное пластическое деформирование.

2. Для образцов сплава ПТЗВ процессы циклической ползучести наиболее интенсивно протекают в области напряжений, соответствующих квазистатическому разрушению.

3. Процесс направленного пластического деформирования конструктивных сталей при $T = 4,2\text{K}$ оказывается полностью подавленным и разрушение образцов происходит в результате образования и развития до критической величины усталостной трещины.

4. Понижение температуры испытания до 77K не вносит качественных изменений в характер деформирования и разрушения сплава.

Л и т е р а т у р а

1. Стрижало В.А. Циклическая прочность и ползучесть металлов при малоцикловом нагружении в условиях низких и высоких температур / Стрижало В.А. - К.: Наук. Думка, 1978. - 238 с.
2. Медведь И.И. Малоцикловая усталость хромомарганцевой стали 03Х13АГ19 при низких температурах

(293-4,2K) / И.И. Медведь // Проблемы прочности. - 1986. - № 4. - С. 38-41.

3. Клявин О.В. Физика пластичности кристаллов при гелиевых температурах / Клявин О.В. - М.: Наука, 1987. - 256 с.

References

1. Strizhalo V.A. Cyclic strength and creep of metals under low-cycle loading under conditions of low and high temperatures / Strizhalo V.A. - K.: Science. Dumka, 1978. - 238 p.
2. Medved I.I. Low-cycle fatigue of chromium-manganese steel 03H13AG19 at low temperatures (293-4.2K) / I.I. Bear // Problems of strength. - 1986. - № 4. - p. 38-41.
3. Klyavin O.V. Physics of plasticity of crystals at helium temperatures / Klyavin O.V. - M.: Science, 1987. - 256 p.

Медвідь І.І. Циклічна повзучість сплава пт-Зв при глибокому охолодженні

Наводяться дані експериментального дослідження з виявлення впливу глибокого охолодження на малоциклову втоми і циклічну повзучість титанового сплаву в інтервалі температур 293-77К. Досліджується характер деформування і руйнування сплаву в умовах глибокого охолодження.

Ключові слова: конструкційні сплави, глибоке охолодження, малоциклова втома, циклічна повзучість.

Medved I. Cyclic creep of alloy pt-3v at deep cooling

The data of an experimental study to determine the effect of deep cooling on low-cycle fatigue and cyclic response of the titanium alloy in the temperature range 293-77K are given. The nature of deformation and destruction of the alloy under conditions of deep cooling is investigated.

Keywords: structural alloys, deep cooling, low-cycle fatigue, cyclic creep.

Медвідь І.І. – к.т.н., доцент, доцент кафедри «Будівництва, урбаністики та просторового планування» Східноукраїнського національного університету, e-mail: iw.medwed@yandex.ua.

Рецензент: д.т.н., проф. **Татарченко Г.О.**

Стаття подана 15.02.2019.