

*к.т.н. Медведь И.И.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина),
к.т.н. Белевцова Н.Л.
(ГЭТУТ, г. Киев, Украина)*

ЦИКЛИЧЕСКАЯ ПОЛЗУЧЕСТЬ КОНСТРУКЦИОННЫХ СПЛАВОВ ПРИ ГЛУБОКОМ ОХЛАЖДЕНИИ

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

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

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

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

Анализ исследований 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 долговечность материала фактором не только в области высоких температур, но также и для интервала температур 293-77К [1].

Этот факт имеет большое практическое значение потому, что среди ответственных конструкций и объектов низкотемпературного назна-

чения 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.

Цель работы. Экспериментальное исследование напряженно - деформированного состояния конструкционных сплавов на малоцикловую усталость и циклическую ползучесть в условиях глубокого охлаждения.

Изложение материала и его результаты. В настоящей работе экспериментальные исследования по выявлению влияния глубокого охлаждения на малоцикловую усталость и циклическую ползучесть проводились на контрастных по своим циклическим свойствам материалах: титановом сплаве ПТЗВ и нержавеющей сталях 03Х20Н16АГ6 и 03Х13АГ19. 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 $0,5 \cdot 10^4$ циклов у всех исследованных материалов имеет место направленное пластическое деформирование (рисунок 1, 2, 3).

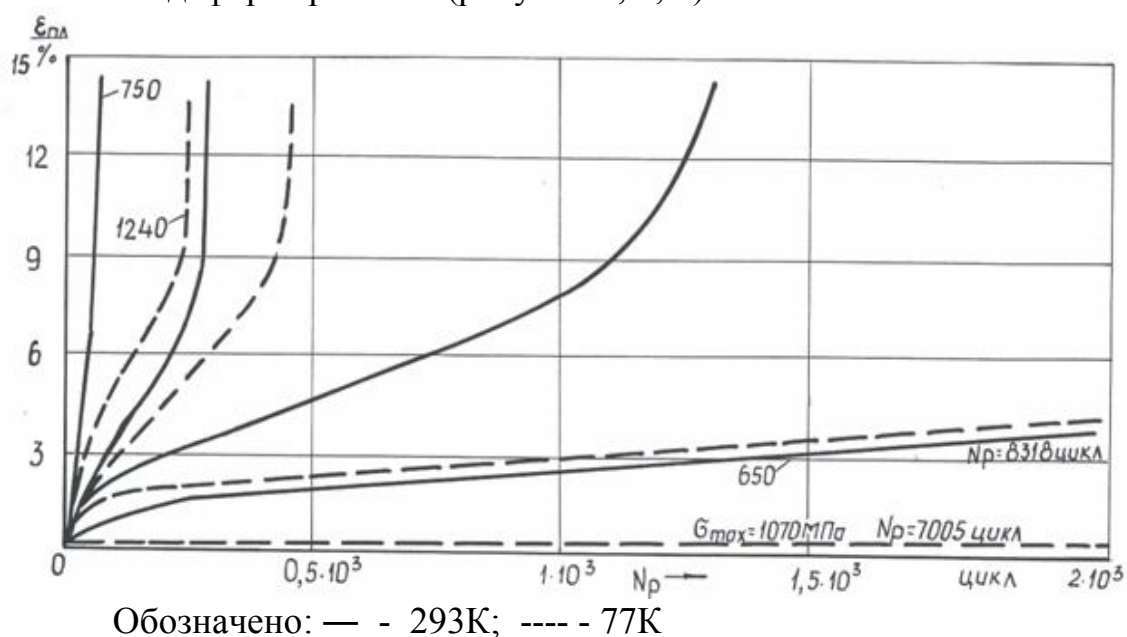
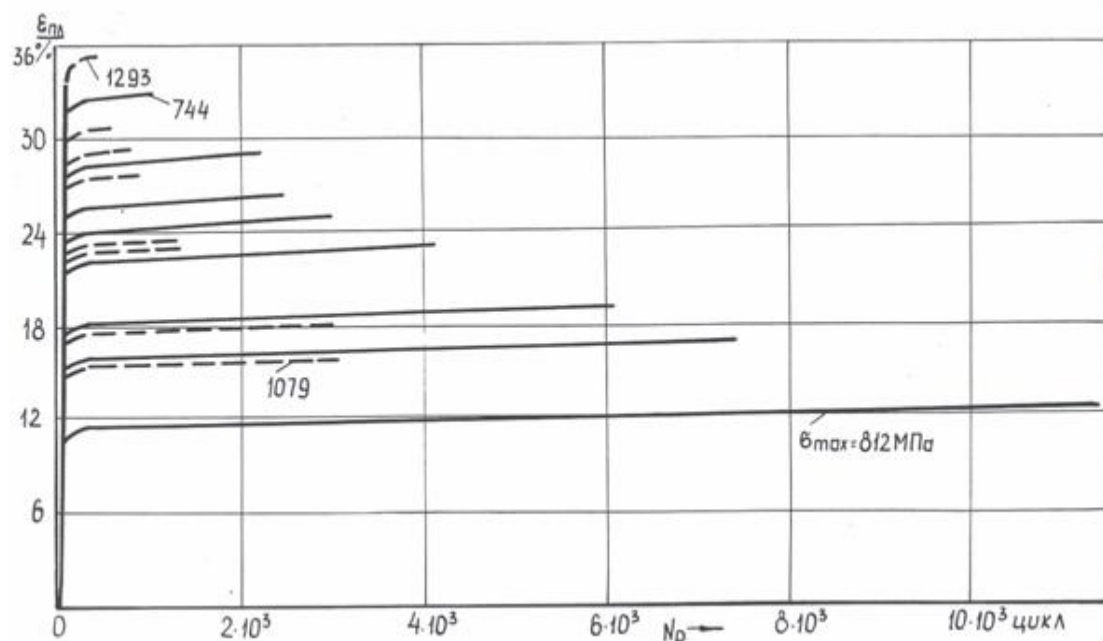
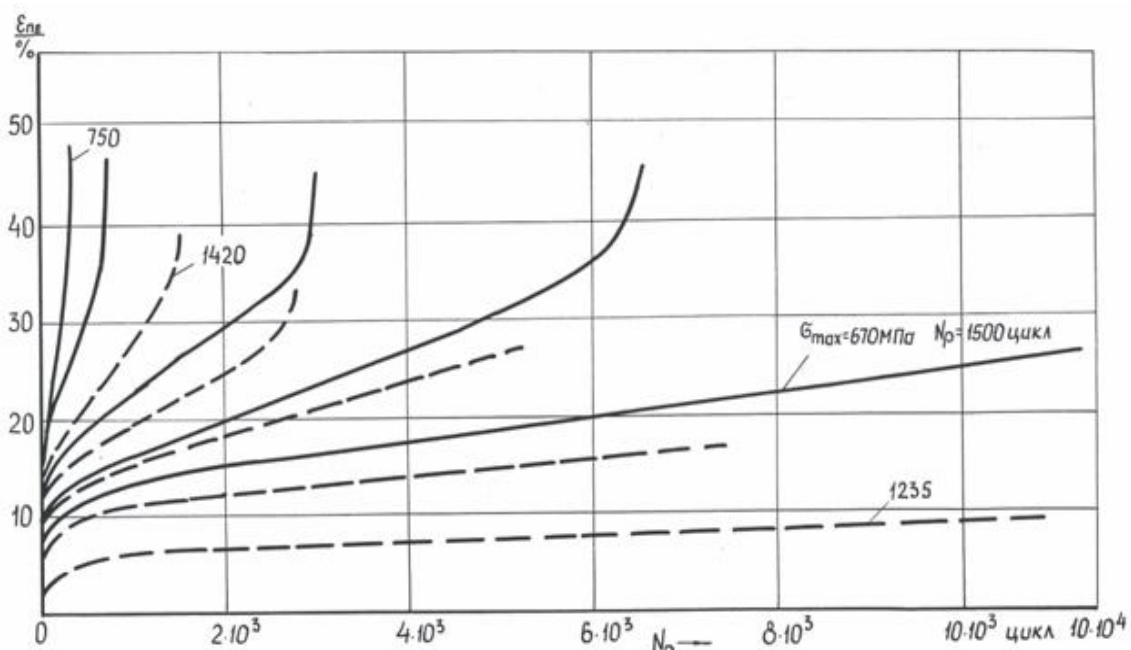


Рисунок 1 - Кривые циклической ползучести титанового сплава ПТЗВ



Обозначено: — - 293К; ---- - 77К

Рисунок 2 - Кривые циклической ползучести стали 03X13AG19



Обозначено: — - 293К; ---- - 77К

Рисунок 3 - Кривые циклической ползучести стали 03X20N16AG6

У стали 03X20N16AG6 и сплава ПТЗВ процессы циклической ползучести наиболее интенсивно протекают в области напряжений, соответствующих квазистатическому разрушению (рисунок 1, 3). Кривые, характеризующие кинетику изменения пластической деформации от числа циклов нагружения в этой области напряжений, имеют три харак-

терных участка: неустановившейся затухающей, установившейся и неустановившейся ускоренной ползучести. При этом основная часть пластической деформации реализуется на двух последних стадиях.

У стали 03X13AG19 на базе 10^4 циклов квазистатическое разрушение не было зафиксировано. Поэтому на соответствующих кривых зона неустановившейся ускоренной ползучести отсутствует, а основная часть деформации реализуется в первом цикле нагружения (рисунок 2) [2].

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, либо вообще отсутствует, можно с уверенностью сказать, что число циклов до разрушения этих материалов в малоцикловой области будет определяться их способностью сопротивляться деформированию на установившейся стадии.

При этом, кинетика направленного пластического деформирования сталей 03X20N16AG6, 03X13AG19 и сплава ПТЗВ при температурах 293 и 77К с достаточной степенью точности может быть описана с позицией 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 полуцикле нагружения в результате актов прерывистой текучести, число которых однозначно определяется уровнем максимальных напряжений цикла.

При дальнейшем циклическом нагружении пластическое деформирование материалов 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 сталей 03X20H16AG6, 03X13AG19 и сплава ПТЗВ имеет место направленное пластическое деформирование.

2. Для образцов стали 03X20H16AG6 и сплава ПТЗВ процессы циклической ползучести наиболее интенсивно протекают в области напряжений, соответствующих квазистатическому разрушению.

3. Для образцов стали 03X13AG19 на базе 10^4 циклов квазистатическое разрушение не было зафиксировано, зона неустановившейся ускоренной ползучести отсутствует, а основная часть деформации реализуется в первом цикле нагружения.

4. 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.

5. Понижение температуры испытания до 77K не вносит качественных изменений в характер деформирования и разрушения исследованных материалов.

Библиографический список

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 03X13AG19 при низких температурах ($293-4,2\text{K}$) / 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.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Должиковым П.Н.