

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-255-7-80-82>

УДК 539.43

## ЦИКЛИЧЕСКАЯ ПОЛЗУЧЕСТЬ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 03X13AG19 ПРИ ГЛУБОКОМ ОХЛАЖДЕНИИ

Татарченко Г.О., Медведь И. И., Белошицкая Н.И.

## CYCLIC CREEP OF CONSTRUCTION STEEL 03H13AG19 AT DEEP COOLING

Tatarchenko G.O., Medved I.I. Beloshitskaya N.I.

*Приводятся данные экспериментального исследования по выявлению влияния глубокого охлаждения на малоцикловую усталость и циклическую ползучесть конструкционной стали в интервале температур 293-77К. Исследуется характер деформирования и разрушения стали 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 текучес-

ти, 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 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 стали 03X13AG19.

**Изложение материала и его результаты.** В настоящей работе экспериментальные исследования по выявлению влияния глубокого охлаждения на малоцикловую усталость и циклическую ползучесть проводились на нержавеющей стали 03X13AG19. 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. 1).

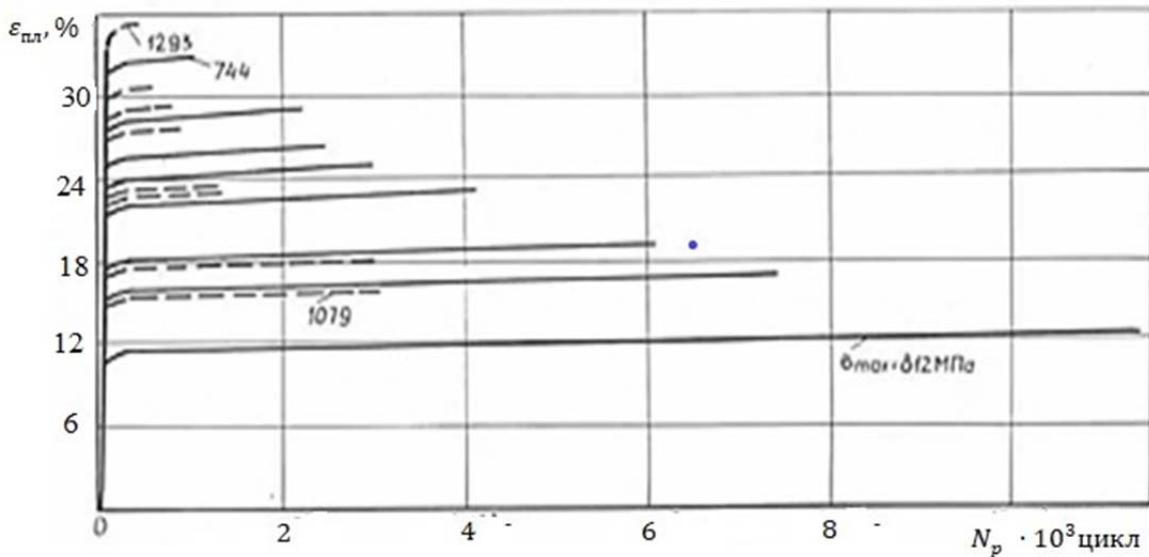


Рис. Кривые циклической ползучести стали 03X13AG19  
— - 293К; ---- - 77К

У сталі 03X20H16AG6 процеси циклічної ползучості найбільш інтенсивно протікають в області напружень, відповідних квазістатическому руйнуванню (рис. ). Криві, характеризуючі кінетику змінення пластическої деформації від числа циклів напруження в цій області напружень, мають три характерні участка: неустановившеїся затухаючої, установившеїся та неустановившеїся ускореної ползучості. При цьому основна частина пластическої деформації реалізується на двох останніх стадіях.

У сталі 03X13AG19 на базі  $10^4$  циклів квазістатическе руйнування не було зафіксовано. Тому на відповідних кривих зона неустановившеїся ускореної ползучості відсутня, а основна частина деформації реалізується в першому циклі напруження [2].

Пониження температури испытання до 77К не вносить качественних змін в характер деформування та руйнування досліджуваних матеріалів, однак при цьому спостерігається різке гальмування процесів направленої пластическої деформування, характеризується зміною кута нахилу участків установившеїся ползучості на кривих, побудованих для однакових значень приведених напружень при температурах испытання 293 та 77К відповідно.

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 деформування сталі 03X13AG19 при температурах 293 та 77К з достаточною ступенню точності може бути описана з позиції теорії упрочнення.

Существенные изменения в поведении конструкционных материалов происходят при их испытании в условиях глубокого охлаждения ( $T = 4,2\text{К}$ ). Изменяется механизм деформування, резко уменьшается пластичность [3]. Вся накопленная до руйнування деформація реалізується в першому напівциклі напруження в результаті актів прерывистої текучесті, число яких однозначно визначається рівнем максимальних напружень циклу.

При дальнейшем циклическом напруженні пластическе деформування матеріалів обнаружено не было. Это свидетельствует о том, что процесс направленного пластического деформування при  $T = 4,2\text{К}$  оказывается полностью подавленным и руйнування 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 зафіксовано прерывистое течение в начальной стадии циклического напруження. Следовательно, отсутствие циклической ползучести у конструкционных сталей и сплавов при  $T = 4,2\text{К}$  нельзя считать абсолютно установленным фактом. Для более глубокого изучения этого явления требуется проведение дополнительных экспериментальных исследований.

**Выводы.**

1. При температуре испытания 293К в диапазоне долговечностей  $0,5-10^4$  циклов у образцов стали 03Х13АГ19 имеет место направленное пластическое деформирование.

2. Для образцов стали 03Х13АГ19 на базе  $10^4$  циклов квазистатическое разрушение не было зафиксировано, зона неустановившейся ускоренной ползучести отсутствует, а основная часть деформации реализуется в первом цикле нагружения.

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 77К не вносит качественных изменений в характер деформирования и разрушения исследованных материалов.

**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 (293-4,2К) / 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.

**R e f e r e n c e s**

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.

**Татарченко Г.О., Медведь І.І., Белошицька Н.І.**  
**Циклічна повзучість сталі 03Х13АГ19 при глибокому охолодженні**

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

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

**Tatarchenko G., Medved I., Beloshitskaya N. Cyclic creep of construction steel 03H13AG19 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.

It has been experimentally established that under low-cycle loading there is a directed plastic deformation of structural alloys, which is most clearly manifested in an asymmetric cycle of load change. The process of one-sided accumulation of plastic deformation, which occurs as a result of the action of variable loads, is called cyclic creep.

In the temperature range 293-77K on the cyclic creep curves, the stage of accelerated creep is very limited in terms of durability, or is absent altogether, it can be said with certainty that the number of cycles before the destruction of these materials in the low-cycle region will be determined by their ability to resist deformation at the established stage. Moreover, the kinetics of directional plastic deformation of 03Kh13AG19 steel at temperatures of 293 and 77K can be described with a sufficient degree of accuracy with the view of hardening theory.

Significant changes in the behavior of structural materials occur when they are tested under conditions of deep cooling ( $T = 4.2\text{K}$ ). The mechanism of deformation changes, ductility sharply decreases. All deformation accumulated prior to failure is realized in the first half-cycle of loading as a result of discontinuous yield acts, the number of which is uniquely determined by the level of maximum stresses of the cycle, which indicates that the process of directed plastic deformation at  $T = 4.2\text{K}$  is completely suppressed and the destruction of the samples occurs as a result of the formation and development of a fatigue crack to a critical value.

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

**Татарченко Г.О.** – д.т.н., професор, завідувач кафедри « Будівництва, урбаністики та просторового планування» Східноукраїнського національного університету, e-mail: [tatarchenkogalina@gmail.com](mailto:tatarchenkogalina@gmail.com)

**Медведь І.І.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри « Будівництва, урбаністики та просторового планування» Східноукраїнського національного університету, e-mail: [iw.medwed@yandex.ua](mailto:iw.medwed@yandex.ua)

**Белошицька Н.І.** - к.т.н., доцент, доцент кафедри « Будівництва, урбаністики та просторового планування» Східноукраїнського національного університету, e-mail: [beloshitska@ukr.net](mailto:beloshitska@ukr.net)

Стаття подана 4.05.2019.