

УДК 620.178.3:620.194.8

## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ШТАМПУЕМЫХ ЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ

Пачурин Г.В., Кузьмин Н.А.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,  
Нижегород, e-mail: PachurinGV@mail.ru

Эксплуатационные свойства металлоизделий в значительной мере определяется структурой и свойствами используемых материалов, зависящих от их вида и режима технологической обработки, а также условий эксплуатации (воздух, коррозионная среда). В процессе изготовления деталей большинство металлов и сплавов подвергаются различным видам и режимам технологической обработки, среди которых наиболее распространенным и является пластическое деформирование. В автомобильной и других отраслях промышленности широко используются штампуемые листовые конструктивные малоуглеродистые стали. Однако сведения по влиянию видов и режимов их технологической обработки на эксплуатационные свойства ограничены. В работе приводятся результаты исследования влияния степени объемной пластической деформации на циклическую долговечность листовых конструктивных сталей и их сварных соединений на воздухе и в коррозионной среде. Получены конкретные экспериментальные данные усталостных свойств некоторых широко применяемых в автомобильной и машиностроительной промышленности деформированных с разной степенью листовых сталей, позволяющие повысить точность оценки эксплуатационной надежности металлоизделий и, в ряде случаев, снизить их металлоемкости.

**Ключевые слова:** листовые автомобильные стали, сварные соединения, коррозионная среда, упрочнение, степень деформации, микроструктура, повреждение, фрактография, циклическая долговечность

## EFFECT OF TEMPERATURE ON MECHANICAL PROPERTIES OF STRUCTURAL STEEL SHEET

Pachurin G.V., Kuzmin N.A.

Nizhny Novgorod State Technical University. RE Alekseev, Nizhny Novgorod,  
e-mail: PachurinGV@mail.ru

Operational properties of metal is largely determined by the structure and properties of materials, depending on their type and mode of processing, as well as operating conditions (air, corrosive environment). In the process of manufacturing parts, most metals and alloys subjected to various types and modes of processing, among which the most common is plastic deformation. In the automotive and other industries widely used sheet metal formability design low-carbon steel. However, information on the influence of species and their modes of processing on the performance of the limited. The paper presents results of investigation of the degree of bulk plastic deformation on fatigue life of sheet of structural steels and their welded joints in air and in corrosive environments. Experimental data obtained specific fatigue properties of some widely used in the automotive and engineering industries with varying degrees of deformed sheet steels that improve the estimation accuracy of operational reliability of hardware, in some cases, reduce their metal content.

**Keywords:** automotive sheet steel, welded joints, corrosive environment, hardening, the degree of deformation, microstructure, damage, fractography, cyclic durability

Эксплуатационные свойства металлоизделий в значительной мере определяется структурой и свойствами используемых материалов, зависящих от их вида и режима технологической обработки, а также условий эксплуатации (воздух, коррозионная среда). зависящих от вида и режима их технологической обработки.

В процессе изготовления деталей автомобилей большинство металлов и сплавов подвергаются различным видам и режимам технологической обработки, среди которых наиболее распространенным является пластическое деформирование методом холодной штамповки.

В автомобильной и других отраслях промышленности широко используются штампуемые листовые конструктивные малоуглеродистые стали. Однако сведения по влиянию видов и режимов их технологиче-

ской обработки на механические свойства при различных температурах ограничены и разрозненны [10]. Поэтому исследования влияния технологического пластического деформирования на циклическую долговечность листовых автомобильных сталей при их эксплуатации, как на воздухе, так и в коррозионной среде является весьма актуальными.

В настоящей работе приводятся результаты исследования влияния степени объемной пластической деформации на эксплуатационные свойства листовых конструктивных сталей и их сварных соединений при циклическом нагружении на воздухе и в коррозионной среде.

### Материалы и методы исследования

С целью выполнения поставленной задачи в работе выбраны стали 08Ю, 08кп, 08пс, 08ГСЮТ, 07ГСЮФТ и сварные соединения из сталей 08пс,

08кп, 20кп, 07ГСЮФ, 08ГСЮФ. Предварительная деформация осуществлялась при комнатной температуре растяжением образцов на универсальной разрывной машине УМЭ-10ТМ со скоростью деформации  $2 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$  (табл. 1). При этом осадке подвергался не весь образец, а только его участок в опасном сечении.

Испытания на статическое растяжение образцов проводились на разрывной машине ZD 10/90 со скоростью деформации  $2 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ . На каждую экспериментальную точку одновременно обрабатывалось по 4 образца.

По результатам статических испытаний строились кривые упрочнения в координатах  $\lg \sigma_i$  ( $\sigma_i$  – истинное напряжение) –  $\lg \varepsilon_i$ , ( $\varepsilon_i$  – истинная деформация), которые позволяют определить показатель степени  $A$  в уравнении кривой деформационного упрочнения [8] исследованных материалов в состоянии поставки и после технологической обработки

$$\sigma_i = \sigma_0 \cdot \varepsilon_i^A,$$

где  $\sigma_i$  – истинное напряжение течения при истинной деформации  $\varepsilon_i = \lg(1+\delta)$ , МПа;  $\sigma_0$  – постоянная, равная истинному напряжению течения при  $\varepsilon_i = 1$ , МПа.

Знакопеременное нагружение плоских образцов осуществлялось на специально спроектированной [3] двухпозиционной машине по «жесткой» схеме симметричного консольного изгиба частотой 25 Гц. В качестве коррозионной среды использовался широко распространенный и достаточно агрессивный по отношению к сталям 3%-й водный раствор морской соли.

Изучение микроструктуры материалов образцов и фрактографический анализ их изломов проводились с помощью оптический компаратора «МИР-12», оптического «AKASHI» и электронного «Джеол Т-20» микроскопов.

Результаты экспериментальных исследований при циклическом нагружении на воздухе и в коррозионной среде представлялись в виде кривых усталости, аппроксимируемых соответствующими уравнениями, и вероятностными кривыми распределения циклической долговечности.

### Результаты исследования и их обсуждение

Установлено, что с ростом степени предварительной деформации ( $\varepsilon_{\text{пр.д}}$ ) материалов их условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$  и предел прочности  $\sigma_b$  возрастают, а показатели пластичности (относительные удлинение  $\delta$  и сужение  $\psi$ ) снижаются. Ранее было показано [2], что эта зависимость проявляется тем значительней, чем ниже энергия дефектов упаковки (э.д.у.) материала. При этом кривые упрочнения для каждого материала располагаются тем выше, чем больше степень их предварительной деформации [4, 5]. Зависимость «истинное напряжение – истинная деформация» предварительно деформированных металлических материалов иногда оказывается немонотонной, то есть кривые имеют перегиб. В этом случае показатели  $A_1$  и  $A_2$  характеризуют наклон кривой упрочнения соответственно до и после перегиба  $A_1 < A_2$ . Величина параметров

$A_1$  и  $A_2$  уменьшается с ростом степени предварительного растяжения. Из сопоставления кривых упрочнения для различных сплавов при равных относительных степенях предварительной деформации ( $\varepsilon_{\text{пр.д}}/\varepsilon_i$ , где  $\varepsilon_i$  – истинная деформация до разрушения при статическом растяжении) следует, что их наклон возрастает с понижением энергии дефекта упаковки материала, э.д.у. (Дж/м<sup>2</sup>). Эта зависимость особенно выражена в области малых степеней предварительной деформации.

Микроструктура стали 20кп на уровне зеренного представления (увеличение  $\times 300$ ) практически одинаковая как у исходных, так и у деформированных образцов. При этом увеличение степени предварительно наклёпа от 0 до 17% обуславливает повышение прочностных характеристик  $\sigma_p$ ,  $\sigma_{0,2}$  и  $\sigma_b$  и понижение характеристик пластичности  $\delta$ ,  $\psi$  и  $\delta_p$ .

Исходная микроструктура сталей 08кп, 08ГСЮТ и 08ГСЮФТ состоит преимущественно из зёрен феррита и небольшого количества перлита для 08кп, а также карбидных включений для 07ГСЮФТ и 08ГСЮТ [5]. Размер зерна феррита сталей 08кп и 08ГСЮТ равен 10...30 мкм, а для стали 07ГСЮФТ – 20...40 мкм.

Результаты испытания на статическое растяжение плоских образцов со сварным швом показали, что околошовная зона (зона термического влияния) образцов после различных режимов предварительной пластической обработки деформируется одинаково с обеих сторон шва с образованием подобных шеек, а кривые упрочнения для обеих околошовных зон совпадают.

Деформационное поведение сварных образцов из сталей 08кп и 08ГСЮТ характеризуется примерно одинаковым (0,23 и 0,22 соответственно) показателем  $A_2$ , у стали 07ГСЮФТ он ниже (0,16...0,19). При этом если у первых двух сталей перелома на кривых упрочнения практически нет, то у стали 07ГСЮФТ он явно выражен, и первая стадия деформации у неё имеет довольно значительную протяженность (~ 5%).

При растяжении исходных (предварительно не деформированных) образцов ( $\varepsilon_{\text{пр.д}} = 0\%$ ) в начале наблюдается стадия инкубационного деформирования ( $\varepsilon_1 \dots 2\%$ ) с низким значением показателя  $A_1$ , а затем начинается интенсивное упрочнение с высоким значением  $A_2$ . С понижением температуры испытания продолжительность стадии инкубационного упрочнения увеличивается, что отражается на величине общего и равномерного удлинения.

У сварных образцов из стали 08ГСЮТ наблюдаются более высокие прочностные

свойства  $\sigma$  и  $\sigma_{0,2}$  по сравнению со сталями 08кп и 07ГСЮФТ, у которых они практически одинаковые. Более высокая пластичность у стали 08кп, у сталей 08ГСЮТ и 07ГСЮФТ параметры  $\delta$  и  $\delta_p$  примерно одинаковы, а  $\psi$  различается незначительно [9].

Структура листовой стали 08пс преимущественно состоит из зерен  $\alpha$ -твердого раствора, которые в результате пластической деформации получают определенную вытянутость, что отражается на повышении, в связи с этим, прочностных характеристик и снижении показателя упрочнения.

Как и в случае ферритной, в ферритно-перлитных сталях 08кп, 07ГСЮФТ и 08ГСЮТ с величиной зерна 10...40 мкм происходит внутризеренное, относящееся к разным системам, неоднородное скольжение, отличительной особенностью которого является наличие следов механизмов пересечения и поперечного скольжения. С увеличением степени деформации скольжение становится множественным, а плотность следов скольжения возрастает. Момент появления микротрещин и последующее разрушение обуславливаются сдвиговыми актами внутри зерен феррита в условиях сильно развитого множественного скольжения. Карбидные включения сталей 07ГСЮФТ и 08ГСЮТ препятствуют движению дислокаций при пластическом деформировании и с ростом степени деформации повышают прочностные характеристики. Однако при растяжении они являются источниками образования микротрещин.

Фотографии поверхностей разрыва при растяжении образцов из сталей 07ГСЮФТ, 08кп и 08ГСЮТ свидетельствуют о вязком характере разрушения [6]. Марка стали практически не изменяет на морфологию поверхностей разрыва образцов. При этом в изломе сталей 08ГСЮТ и 07ГСЮФТ четко наблюдаются карбидные частицы размером около 4 мкм, расположенные преимущественно в ямках поверхности разрыва.

Установлено, что предварительный наклеп неоднозначно влияет на циклическую долговечность материалов на воздухе и в коррозионной среде (табл. 1).

Коррозионная долговечность термообработанных конструкционных материалов ниже (в 1,5 ÷ 2,0 раза) долговечности на воздухе и также определяется амплитудой приложенного напряжения: чем ниже амплитуда, тем сильнее эффект среды. При этом пластическое деформирование обуславливает значительное повышение сопротивления коррозионно-усталостному разрушению всех исследованных матери-

алов по сравнению с их недеформированным состоянием.

Холоднокатаная сталь 08кп на воздухе имеет ограниченный предел выносливости на базе  $10^6$  циклов в 1,9 и 1,7 раза выше, чем у горячекатаных сталей 07ГСЮФТ и 08ГСЮТ, соответственно. Коррозионная среда снижает ограниченный предел выносливости (база  $10^5$  циклов) в 1,8 и 1,6 раза у сталей 07ГСЮФТ и 08ГСЮТ, соответственно, против стали 08кп. Осадка до 29% снижает сопротивление усталости на воздухе до 1,3 раза у стали 08кп и повышает у сталей 08ГСЮТ (до 1,1 раза) и 07ГСЮФТ (до 1,36 раза). Однако сталь 08кп показывает более стабильные и превосходящие сталей 07ГСЮФТ и 08ГСЮТ параметры сопротивления усталостному разрушению. В коррозионной среде после осадки на 29% ограниченный предел выносливости для стали 08кп (база  $10^5$  циклов) выше в 1,34 и 1,11 раза, чем у сталей 07ГСЮФТ и 08ГСЮТ, соответственно.

Сопротивление усталости на воздухе и в коррозионной среде листовых сталей 08кп, 20 и 08ГСЮТ в 3-6 раз выше их сварных соединений. Установлен [1] оптимальный режим дробеструйной обработки сварных соединений сталей 20, 08кп и 08ГСЮТ (обдувка смесью из чугунной колотой крошки  $\text{Æ } 0,8 \div 1,5$  мм и стальной дроби  $\text{Æ } 1 \div 3$  мм в течение 120 с), повышающий коррозионную долговечность соответственно в 2,3, 3,3 и 3,6 раза. Это обусловлено тем, что при обработке дробью максимально снимаются вредные растягивающие остаточные напряжения в околошовной зоне и наводятся сжимающие. При этом отрицательное влияние коррозионной среды сказывается на сварных соединениях из стали 08кп меньше, чем из сталей 20 и 08ГСЮТ.

Листовых сталей 08кп, 08ГСЮТ и 20кп показал, что влияние среды в большей степени сказывается на стали 08ГСЮТ. Коэффициент влияния среды  $\beta_c$  для нее составляет 1,8 при  $\epsilon_a = 0,25\%$ , а у сварных образцов этой стали при той амплитуде  $\beta_c = 2,6$ , в то время как у стали 08кп, например,  $\beta_c = 1,97$ . Увеличение амплитуды деформации ( $\epsilon_a = 0,5\%$ ) приводит к снижению влияния среды. Так, например, коэффициент  $\beta$  составляет лишь 1,06 и 1,03 для стали 08ГСЮТ и сварного соединения соответственно.

Несмотря на более низкие значения пределов прочности и текучести сталь 08кп (цельная и сварная) обладает более высоким сопротивлением усталости, как на воздухе, так и в коррозионной среде по сравнению со сталями 08ГСЮТ и 20 и их сварными соединениями.

Таблица 1

Уравнения кривых усталости сталей при испытании на воздухе и в коррозионной среде

№ п/п	Сталь	Предварительная деформация		Среда испытания	$\lg \sigma = -\operatorname{tg} \alpha_0 \lg N + \lg \sigma_a$ или $Y = -AX + B$	Коэффициент корреляции, $r_{xy}$
		схема	степень, %			
1	2	3	4	5	6	7
1	08кп	-	ИС (х/к)	воздух	$Y = -0,088 X + 3,024$	0,992
2	08кп	-	ИС (х/к)	раствор	$Y = -0,101 X + 3,065$	0,985
3	08кп	Осадка	5	воздух	$Y = -0,099 X + 3,066$	0,978
4	08кп	Осадка	5	раствор	$Y = -0,088 X + 3,010$	0,944
5	08кп	Осадка	17	воздух	$Y = -0,085 X + 3,005$	0,970
6	08кп	Осадка	17	раствор	$Y = -0,106 X + 3,055$	0,994
7	08кп	Осадка	29	воздух	$Y = -0,083 X + 2,980$	0,929
8	08кп	Осадка	29	раствор	$Y = -0,122 X + 3,102$	0,989
9	08Ю	-	ИС (х/к)	воздух	$Y = -0,132 X + 2,921$	0,995
10	08Ю	-	ИС (х/к)	раствор	$Y = -0,159 X + 3,016$	0,967
11	08Ю	Осадка	12	воздух	$Y = -0,134 X + 2,910$	0,943
12	08Ю	Осадка	12	раствор	$Y = -0,171 X + 3,068$	0,962
13	08ЮА	-	ИС (г/к)	воздух	$Y = -0,121 X + 3,163$	0,947
14	08ЮА	Растяжение	2,5	воздух	$Y = -0,194 X + 3,484$	0,949
15	08ЮА	Растяжение	5	воздух	$Y = -0,204 X + 3,582$	0,954
16	08ЮА	Растяжение	10	воздух	$Y = -0,291 X + 4,157$	0,973
17	08ЮА	Растяжение	15	воздух	$Y = -0,339 X + 4,364$	0,982
18	08ЮА	Растяжение	20	воздух	$Y = -0,416 X + 4,812$	0,986
19	08ГСЮТ	Осадка	ИС (г/к)	воздух	$Y = -0,096 X + 2,933$	0,947
20	08ГСЮТ	Осадка	ИС (г/к)	раствор	$Y = -0,162 X + 3,150$	0,921
21	08ГСЮТ	Осадка	5	воздух	$Y = -0,067 X + 2,812$	0,871
22	08ГСЮТ	Осадка	5	раствор	$Y = -0,115 X + 2,976$	0,967
23	08ГСЮТ	Осадка	17	воздух	$Y = -0,089 X + 2,925$	0,925
24	08ГСЮТ	Осадка	17	раствор	$Y = -0,116 X + 2,990$	0,934
25	08ГСЮТ	Осадка	29	воздух	$Y = -0,090 X + 2,943$	0,933
26	08ГСЮТ	Осадка	29	раствор	$Y = -0,102 X + 2,931$	0,930
27	07ГСЮФТ	Осадка	ИС (г/к)	воздух	$Y = -0,161 X + 3,258$	0,993
28	07ГСЮФТ	Осадка	ИС (г/к)	раствор	$Y = -0,225 X + 3,489$	0,966
29	07ГСЮФТ	Осадка	5	воздух	$Y = -0,150 X + 3,240$	0,986
30	07ГСЮФТ	Осадка	5	раствор	$Y = -0,173 X + 3,249$	0,989
31	07ГСЮФТ	Осадка	17	воздух	$Y = -0,142 X + 3,207$	0,980
32	07ГСЮФТ	Осадка	17	раствор	$Y = -0,194 X + 3,335$	0,960
33	07ГСЮФТ	Осадка	29	воздух	$Y = -0,109 X + 3,067$	0,955
34	07ГСЮФТ	Осадка	29	раствор	$Y = -0,163 X + 3,229$	0,997

Коррозионно-усталостное разрушение развивается, как правило, из нескольких очагов и инициируется повреждением поверхности, возникновением на ней межкристаллической коррозии, язв и питтингов. Трещины менее ориентированы, чем усталостные трещины при испытании на воздухе.

Сравнительные испытания образцов из Коррозионно-активная среда, приводя к появлению коррозионных поражений различного вида, обуславливает многоочаговый характер возникновения и развития корро-

зионно-усталостного разрушения. Однако, несмотря на существенные особенности этого процесса, кривые изменения текущего прогиба образцов при циклическом нагружении в 3%-м водном растворе NaCl имеют качественно такой же характер, как и при испытании на воздухе. Это объясняется тем, что определяющим фактором качественных данных о текущем состоянии материалов в процессе циклического нагружения по параметру изменения текущего прогиба является, наряду с механизмами



упрочнения-разупрочнения, уменьшение живого сечения образца. Поэтому, хотя из-за многоочаговости коррозионно-усталостного разрушения с физической точки зрения довольно сложно четко разделить этот процесс на ряд периодов, как это имеет место на испытании на воздухе, тем не менее, с определенными допущениями такое условное деление может быть оправдано для облегчения изучения кинетики коррозионно-усталостного разрушения, которое с определенным допущением можно разделить на три характерных участка:

1 – начальный период – характеризуется процессами, определяемыми воздействием среды на поверхность металла, избирательным анодным растворением, наводороживанием катодных участков и другими процессами, активируемыми циклическими механическими напряжениями и приводящими к образованию микротрещин глубиной, достаточной для заметной концентрации механических напряжений;

2 – период подрастания коррозионно-усталостных трещин до критических размеров;

3 – период ускоренного долома.

При этом коррозионная среда практически не оказывает влияния на характер и продолжительность разрушения металлических материалов на третьем этапе, однако существенно влияет на первом и втором, продолжительность которых зависит также от природы материала, наведенной технологической обработкой структуры и амплитуды приложенного напряжения.

Электронно-микроскопические исследования показывают [7], что сталь 08кп имеет структуру феррита с небольшим количеством перлита, излом происходит по вязкому механизму, степень предварительной пластической деформации почти не сказывается на процессе усталостного разрушения. Стали 07ГСЮФТ и 08ГСЮТ имеют карбидные включения, которые препятствуют движению дислокации в материале. Это приводит к некоторому повышению прочностных свойств при статическом нагружении и циклической долговечности в результате предварительной осадки. Однако, карбидные включения, являясь источниками образования вторичных трещин, отрицательно сказываются на параметрах пластичности и сопротивлении усталостному разрушению. В процессе усталости микротрещины, зародившиеся у карбидных включений, инициируют в этих материалах продольное растрескивание, обуславливающие более низкие значения ограниченного предела выносливости по сравнению со сталью 08кп, независимо от режима технологической обработки.

Коррозионно-усталостное разрушение сталей 08кп, 08ГСЮТ, 08ГСЮФТ также развивается из нескольких очагов и инициируется повреждением поверхности, появлением на ней питтингов и межкристаллитной коррозии, усиливаемых наличием в малолегированных сталях карбидных включений. Трещины не только многочисленны и менее ориентированы, чем при испытании на воздухе, но и имеют на поверхности продукты коррозии, окисления. В общем случае для всех исследованных материалов и режимов их обработки повышению их циклической и коррозионной долговечности соответствует рост величины зоны усталостного разрушения, увеличение длительности до зарождения трещин, уменьшение скорости их последующего развития и размера зоны долома образца.

Создание структуры в результате предварительной пластической деформации на сопротивлении усталости металлических материалов в зависимости от амплитуды нагружения сказывается по-разному. Однако равномерное пластическое деформирование материалов и их сварных соединений целесообразно проводить для повышения долговечности в области низких амплитуд (при  $N > 10^5$  циклов).

Деформация, не соответствующая равномерной, обуславливает ухудшение сопротивления усталостному разрушению конструкционных материалов. При этом наблюдается снижение долговечности в области низких амплитуд напряжений в большей мере у исходных, чем у предварительно деформированных материалов.

Анализ результатов экспериментов не выявил корреляцию параметров усталостного разрушения исследованных пластически деформированных конструкционных материалов при циклическом нагружении в коррозионной среде со стандартными механическими характеристиками при статическом нагружении. Так, например, с ростом степени предварительной деформации до 29% пределы прочности и текучести горячекатаных сталей 07ГСЮФТ, 08ГСЮТ и холоднокатаной стали 08кп повышаются. Однако, ограниченный предел коррозионной выносливости  $\sigma_{RC}$  на базе  $10^5$  циклов возрастает у сталей 07ГСЮФТ и 08ГСЮТ, но снижается у стали 08кп, а  $\sigma_{RCe}/\sigma_{Be}$  и  $\sigma_{RCe}/\sigma_{0,2e}$  ( $\sigma_{RCe}$ ,  $\sigma_{Be}$  и  $\sigma_{0,2e}$  – ограниченный предел коррозионной выносливости, пределы прочности и текучести деформированного материала, соответственно) изменяются неоднозначно.

Однако, проведенная ранее теоретическая проработка вопроса, показала [7,10], что чувствительность деформированных

конструкционных материалов к циклической долговечности в коррозионной среде при прочих равных условиях можно оценивать величиной показателя степени  $A$  деформационного упрочнения при статическом нагружении. При этом понижению величины показателя  $A$  в результате равномерного предварительного деформирования материала должно соответствовать повышение сопротивления коррозионно-усталостному разрушению. Этот вывод подтверждается результатами экспериментов [4, 9].

### Выводы

1. Установлено, степень предварительной пластической деформации исследованных материалов оказывает существенное влияние на их механические характеристики.

2. С увеличением степени предварительной деформации величины условного предела текучести и предела прочности материалов возрастают, а относительных сужения и удлинения – уменьшаются. При этом кривые упрочнения располагаются выше и становятся положе.

3. Более высокие значения параметров пластичности ферритной стали 08кп характеризует ее лучшую штампуемость по сравнению с низколегированными сталями 08ГСЮТ и 07ГСЮФТ, что имеет место на практике.

4. Деформация, отличная от равномерной, обуславливает ухудшение сопротивления усталостному разрушению конструкционных материалов и их сварных соединений. При этом снижение долговечности наблюдается в области низких амплитуд напряжений в большей мере у исходных, чем у предварительно деформированных материалов.

5. Получены конкретные экспериментальные данные прочности, пластичности

и циклической долговечности на воздухе и в коррозионной среде некоторых широко применяемых в автомобильной и машиностроительной промышленности деформированных с разной степенью листовых сталей, позволяющие повысить точность оценки эксплуатационной надежности металлоизделий при снижении, в ряде случаев, их металлоемкости.

### Список литературы

1. Бережничая М.Ф., Меженин Н.А., Власов В.А., Пачурин Г.В. и др. Коррозионная усталость конструкционных сталей и их сварных соединений в морской воде. // Физ.-хим. мех. матер. 1993, Т.29. №1. – С. 129-131.
2. Власов В.А., Пачурин Г.В., Гусякова Г.П. Коррозионная усталостная прочность пластически обработанных материалов // Автомобильная промышленность. – 1996, № 8. – С. 24-25.
3. Пачурин Г.В., Гусякова Г.П. Двухпозиционная установка для усталостных испытаний тонколистовых сварных образцов // Заводская лаборатория. – 1980. №10. – С.969.
4. Пачурин Г.В. Долговечность листовых штампованных материалов на воздухе и в коррозионной среде // Материаловедение. – 2003. № 7. – С. 29-32.
5. Пачурин Г.В. Повышение долговечности листовых штампованных деталей из высокопрочных сталей и сплавов // КШП. ОМД. 2003. № 11. – С. 7-11.
6. Пачурин Г.В. Долговечность на воздухе и в коррозионной среде деформированных сталей // Технология металлов. 2004. № 12. – С. 29-35.
7. Пачурин Г.В. Повышение коррозионной долговечности и эксплуатационной надежности изделий из деформационно-упрочненных металлических материалов. – Н. Новгород: НГТУ, 2005. – 132 с.
8. Пачурин Г.В. Технология комплексного исследования разрушения деформированных металлов и сплавов в различных условиях нагружения: учеб. пособие / Г.В. Пачурин, А.Н. Гушин, К.Г. Пачурин и др. – Н. Новгород: НГТУ, 2005. – 139 с.
9. Pachurin G.V. Ruggedness of structural material and working life of metal components // Steel in Translation. 2008. №3. Т. 38. – P. 217-220.
10. Пачурин Г.В. Долговечность пластически деформированных коррозионно-стойких сталей // Вестник машиностроения. 2012. № 7. – С. 65-68.