

УДК 626.2.056

В. Н. Стукач, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННО-УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ПРЕССОВЫХ ВАЛОВ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

Приводятся результаты исследования сопротивления усталости нержавеющей стали и бронз, используемых в бумагоделательном машиностроении, с учетом влияния концентрации напряжений и агрессивных рабочих сред.

Ключевые слова: бумагоделательное машиностроение, коррозионная усталость металлов.

Прессовые валы бумаго- и картоноделательных машин эксплуатируются в условиях интенсивного многоциклового нагружения в химически активных рабочих средах. В современных машинах для активного отсоса влаги широко используются перфорированные валы. Поэтому для проектирования этих деталей необходимо знать основные характеристики сопротивления материалов усталости с учетом влияния коррозионных сред и концентрации напряжений.

В машиностроении для изготовления рубашек прессовых валов используют коррозионноустойчивые оловянистые и алюминиевые бронзы (для валов небольшой длины) и нержавеющие стали [1]. Исследования рабочих сред прессовых частей бумагоделательных машин основных целлюлозно-бумажных комбинатов России (Балахнинского, Архангельского, Краснокамского, Соликамского ЦБК) показали [2], что эти среды относятся к кислым растворам, с водородным показателем pH в пределах 4...5.

Для определения основных характеристик сопротивления усталости материалов в условиях многоциклового нагружения были проведены испытания образцов из нержавеющей стали 10X13НГСМЛ и 10X12НДЛ, алюминиевой бронзы БрАЖНМц-7-2,5-2-9 (химический состав в процентах: Al = 6,5...7,5 %, Fe = 1,5...2,0 %, Ni = 2,0...3,0 %, Mn = 8...10 %) и оловянистой бронзы ОЦСН-6-4-2-1 (химический состав: Sn = 5...7 %, Zn = 3...5 %, Pb = 1,5...3 %, Ni = 0,5...1 %). Испытания в агрессивных средах проводились в растворах с показателями pH = 5,0; 4,5 и 4,0 при изгибе с вращением с частотой 3000 об/мин.

Для определения пределов выносливости металлов использовались гладкие образцы круглого профиля типа II (ГОСТ 25.502-79* «Методы испытаний на усталость») с диаметром рабочей части образца $d = 7,5$ мм. За базовое число циклов принималось значение $N_0 = 10^7$ циклов при испытании на воздухе и $N_0 = 10^8$ при испытании в коррозионных средах.

Результаты испытаний гладких образцов на воздухе представлены в виде кривых усталости на рис. 1, а.

Для оценки влияния концентрации напряжений испытывались образцы с надрезом (рис. 2) в виде кольцевой выточки кругового профиля (тип VIII).

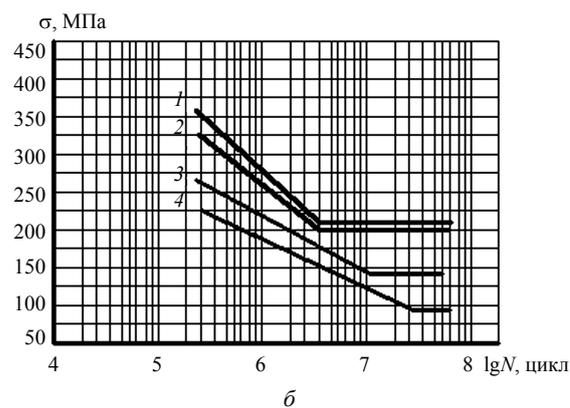
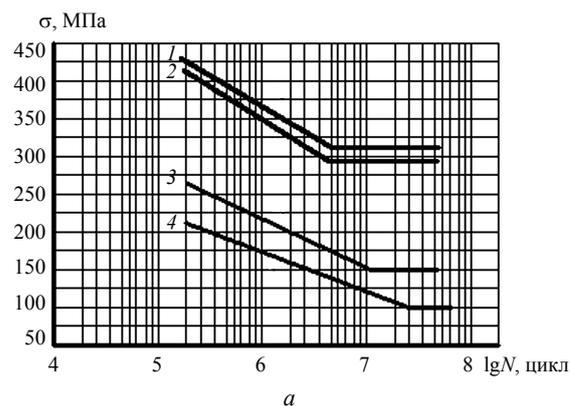


Рис. 1. Кривые усталости материалов на воздухе: а – гладкие образцы; б – образцы с надрезом; 1 – сталь 10X12НДЛ; 2 – сталь 10X13НГСМЛ; 3 – БрАЖНМц; 4 – БрОЦСН

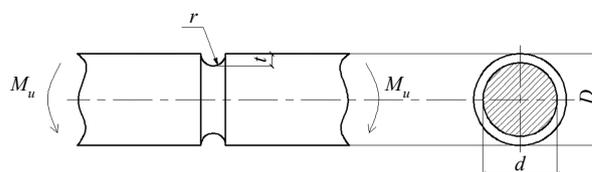


Рис. 2. Образец с концентратором в виде кольцевой выточки кругового профиля

На рис. 1, б представлены кривые усталости, полученные по результатам испытания образцов с концентратором напряжений.

Испытания аналогичных образцов проводились в коррозионных средах. На рис. 3 представлены кри-

вые усталости металлов в наиболее агрессивной среде $pH = 4,0$ (Соликамский ЦБК).

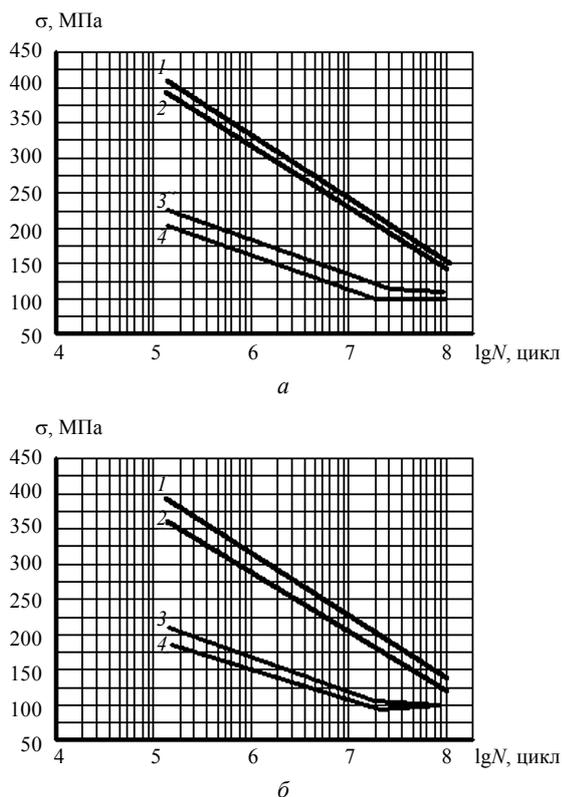


Рис. 3. Кривые усталости материалов в среде $pH = 4$: а – гладкие образцы; б – образцы с надрезом; 1 – сталь 10X12НДЛ; 2 – сталь 10X13НГСМЛ; 3 – БрАЖНМц; 4 – БрОЦСН

В табл. 1 приводятся значения механических характеристик материалов: статических – предела

Таблица 1. Значения механических характеристик материалов

Материал	σ_B , МПа	σ_T , МПа	σ_{-1} , МПа	$\sigma_{-1\text{кор}}$, МПа		
			на воздухе	$pH = 5,0$	$pH = 4,5$	$pH = 4,0$
Сталь 10X13 НГСМЛ	660	450	290	210	182	145
Сталь 10X12 НДЛ	660	450	310	224	196	154
БрОЦСН	270	120	100	100	100	100
БрАЖНМц	500	230	150	129	121	110

Таблица 2. Значения пределов выносливости материалов

Материал	σ_{-1n} , МПа	$\sigma_{-1\text{кор}}$, МПа		
	на воздухе	$pH = 5,0$	$pH = 4,5$	$pH = 4,0$
Сталь 10X13 НГСМЛ	210	180	160	130
Сталь 10X13 НДЛ	218	190	170	140
БрОЦСН	100	100	100	100
БрАЖНМц	140	119	109	106

Таблица 3. Значения K_σ

Материал	σ_{-1} , МПа	σ_{-1n} , МПа	K_σ
Сталь 10X13 НГСМЛ	290	210	1,38
Сталь 10X13 НДЛ	310	218	1,42
БрОЦСН	100	100	1,0
БрАЖНМц	150	140	1,07

прочности σ_B и предела текучести σ_T – и усталостных – пределов выносливости σ_{-1} , определенных по результатам испытаний гладких образцов на воздухе и в коррозионных средах.

В табл. 2 приводятся значения пределов выносливости материалов σ_{-1n} , найденных по результатам испытания образцов с надрезом.

По результатам испытаний на воздухе гладких образцов и образцов с надрезом можно определить эффективный коэффициент концентрации напряжений:

$$K_\sigma = \sigma_{-1} / \sigma_{-1n} \tag{1}$$

Значения K_σ приведена в табл. 3.

При одновременном воздействии переменных напряжений и коррозионной среды возникает более интенсивное накопление усталостных повреждений. Снижение предела выносливости вследствие влияния агрессивной среды характеризуется коэффициентом [4, 5]

$$K_{\text{кор}} = \sigma_{-1\text{кор}} / \sigma_{-1} \tag{2}$$

где $\sigma_{-1\text{кор}}$ и σ_{-1} – соответственно, предел выносливости гладких лабораторных образцов в коррозионной среде и на воздухе.

При расчете валов на циклическую прочность эффективный коэффициент концентрации напряжений K_σ определяется по зависимости

$$K_\sigma = 1 + q(\alpha_\sigma - 1) \tag{3}$$

где q – коэффициент чувствительности металла к концентрации напряжений; α_σ – теоретический коэффициент концентрации напряжений,

$$\alpha_\sigma = \sigma_{\text{max}} / \sigma_{\text{ном}} \tag{4}$$

Теоретический коэффициент концентрации α_σ с образца с кольцевой выточкой кругового профиля типа VIII (см. рис. 2) равен 1,89 [3].

По найденным значениям K_σ (см. табл. 3) исходя из зависимости (4) можно определить значения коэффициента чувствительности материала к концентрации напряжений:

$$q = \frac{K_\sigma - 1}{\alpha_\sigma - 1} = \frac{K_\sigma - 1}{0,89} \tag{5}$$

Значения коэффициентов чувствительности к концентрации напряжений для стали 10X13НГСМА $q = 0,43$, а для стали 10X12НДЛ – $q = 0,47$.

Значения коэффициента $K_{\text{кор}}$, характеризующего снижение сопротивления усталости вследствие коррозии, приведены в табл. 4.

Таблица 4. Значения коэффициента $K_{кор}$

Материал	$K_{кор}$		
	$pH = 5,0$	$pH = 4,5$	$pH = 4,0$
Сталь 10X13НГСМЛ	0,72	0,63	0,5
Сталь 10X12НДЛ	0,72	0,63	0,5
БрАЖНМц	0,86	0,81	0,73
БрОЦСН	1,0	1,0	1,0

Таким образом, усталостная прочность БрОЦСН не снижается при работе в данных рабочих средах [6]. У бронзы АЖНМц наблюдается с повышением агрессивности среды (падением показателя pH) падение сопротивлению усталости. Если механические характеристики БрАЖНМц при работе на воздухе существенно выше, чем у БрОЦСН, то при работе в агрессивных средах сопротивление усталости указанных сплавов практически выравнивается.

Коэффициенты $K_{кор}$ у сталей 10x13НГСМЛ и 10x12НДЛ практически одинаковы.

Влияние агрессивной среды на сопротивление усталости материалов можно представить графически в координатах $K_{кор} - pH$. Величина водородного показателя меняется от значения $pH = 7$ (нейтральная среда) до значения $pH = 4$ (наиболее агрессивная кислотная среда) (рис. 4).

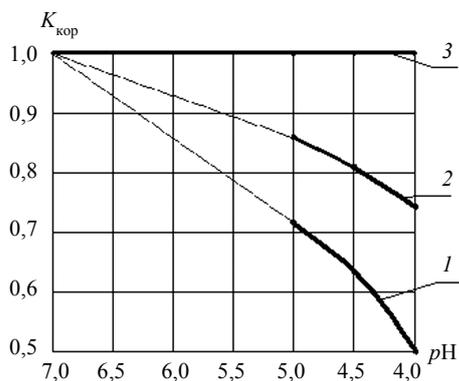


Рис. 4. Влияние агрессивной среды на величину коэффициента снижения предела выносливости: 1 – сталь 10X13НГСМЛ, сталь 10X12НДЛ; 2 – БрАЖНМц; 3 – БрОЦСН

По результатам испытаний были определены значения эффективных коэффициентов концентрации напряжений материалов при работе в агрессивных средах:

$$K_{сбор} = \sigma_{-1} / \sigma_{н.кор} \quad (6)$$

Результаты вычислений представлены в табл. 5.

Таблица 5. Значения эффективных коэффициентов концентрации напряжений материалов при работе в агрессивных средах

Материал	$K_{сбор}$			
	на воздухе	$pH = 5,0$	$pH = 4,5$	$pH = 4,0$
Сталь 10X13НГСМЛ	1,38	1,61	1,81	2,23
Сталь 10X12НДЛ	1,42	1,63	1,82	2,2
БрАЖНМц	1,07	1,26	1,38	1,5
БрОЦСН	1,0	1,0	1,0	1,0

Данные результаты можно использовать при проектировании и расчете элементов конструкций, работающих при циклическом нагружении в обычных и агрессивных средах.

Библиографические ссылки

1. Оборудование целлюлозно-бумажного производства. В 2 т. – Т. 2. Бумагоделательные машины / В. А. Чичаев [и др.]. – М. : Лесная промышленность, 1981. – 264 с.
2. Стерхов Ю. А. Прочность и долговечность центробежно-литых рубашек валовых прессовых установок : автореф. дис. ... канд. экон. наук. – Пермский политех. ин-т, 1986. – 20 с.
3. Школьник Л. М. Методика усталостных испытаний : Справочник. – М. : Металлургия, 1978. – 304 с.
4. Когаев В. П., Махутов Н. А., Гусенков А. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность : Справочник. – М. : Машиностроение, 1985. – 224 с.
5. Когаев В. П. Расчеты на прочность при напряженных, переменных во времени. – М. : Машиностроение, 1977. – 232 с.
6. Стукач В. Н. Сопротивление усталости бронз при многочисленном нагружении в агрессивных средах // Технологическое обеспечение надежности и долговечности машин : Сб. науч. тр. – Ижевск : Ин-т прикл. механики УрО РАН, 2006. – С. 191–193.

V. N. Stoukatch, PhD in Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Investigation of Corrosion Fatigue Strength of Materials for Press Rolls of Paper-Making Machines

The paper presents investigation results of fatigue strength of stainless steels and bronzes used in paper-making machinery with account of the influence of stress concentration and corrosive environments.

Key words: paper-making machinery, corrosion fatigue of metals.