

условия испытаний к эксплуатационным, прикладывая нагрузку непосредственно к шинам.

Объект испытаний – контейнер виброзащищенный, содержит полки для размещения транспортируемых хрупких грузов; подвеску, которая включает в себя демпферы вязкого трения, демпферы сухого трения, параллелограммный механизм и для перемещения контейнер снабжен колесами.

Оценочными параметрами, которые фиксировались в процессе испытаний контейнеров являлась величина вертикальных ускорений в характерных точках подрессоренной массы.

Регистрация ускорений проводилась в трех направлениях датчиками, установленными: на рамах контейнера, на стенках контейнера, для сравнения заданных значений и регистрируемых был произведен замер ускорений на столе установки. Регистрация измеряемых величин производилась при различных режимах работы установки от 0,5 g до 4 g.

Для съема и обработки диагностической информации использовались датчики вибрации, микропроцессорное приборное обеспечение нового поколения, и персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением.

Таблица 1.

№ п/п ре- жима ус- та-новки	Виброускорения на рабочем столе установки (дБ)					Виброускорения на 4 полке контейнера (отсчет снизу) (дБ)				
	в широком спектре частот	в полосе частот с октавными фильтрами				в широком спектре частот	в полосе частот с октавными фильтрами			
		8	16	31	63		8	16	31	63
1	90	70	70	80	80	60	55	66	65	65

В таблице 1 представлены результаты измерений на рабочем столе установки и на 4 полке снизу. Коэффициент зависимости виброизоляции от частоты рассчитывался по формуле $T(\omega) = (f_0/f_1)_{u_0=0} = (u_0/u)_{f_0=0}$.

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что выбранная конструкция контейнера виброзащищенного является эффективной и целесообразной.

УДК 681.326.34

О.М. Еловой, С.А. Тюрин

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОВРЕЖДЕНИЯ ПРИ КОНТАКТНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ

*Институт механик машин НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь*

Введена система характеристик контактно-механической усталости при прямом и обратном эффектах. Разработана методика определения этих характеристик.

Ключевые слова: контактно-механическая усталость, прямой эффект, обратный эффект.

1. ВВЕДЕНИЕ

При испытаниях на контактно-механическую усталость (КМУ) изучают два эффекта: прямой и обратный [1,2]. В первом случае строят график $N(\sigma_a, p_0 = const)$, характеризующий зависимость между амплитудой напряжений цикла σ_a и циклической долго-

вечностью $N_{p\sigma}$ для одинаковых моделей силовой системы, построенный по параметру контактных напряжений при трении качения $p_0 = const$. Во втором случае строят график $N(p_0, \sigma_a = const)$, характеризующий зависимость между контактными напряжениями при трении качения p_0 и контактной долговечностью $N_{p\sigma}$ для одинаковых моделей силовой системы, построенный по параметру амплитуды напряжений цикла $\sigma_a = const$.

2. СХЕМА ИСПЫТАНИЙ

В соответствии с этой концепцией были проведены испытания на КМУ. Схемы испытаний представлены на рисунке 1. Образец круглого сечения с диаметром рабочей части 10 мм закреплен в шпинделе испытательной машины и вращается с угловой скоростью ω_1 . К свободному концу образца прикладывается изгибающая нагрузка Q . В рабочей части образца (в зоне растянутых волокон) к нему прижимается ролик с силой F_N . Ролик свободно вращается в подшипнике качения с угловой скоростью ω_2 .

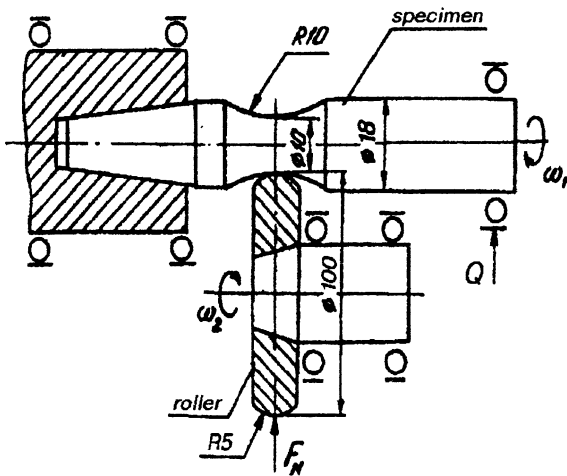


Рисунок 1. Схема испытаний

Была изготовлена серия гладких образцов из нормализованной стали 45, а ролики - из стали 25ХГТ. Рабочие поверхности образцов и роликов полировали. Испытания проводили на машине для износоусталостных испытаний при частоте 50 Гц в условиях нормальной температуры. При испытаниях в зону контакта капельным способом подавали смазочный материал (масло МГЕ-46) со скоростью 12-14 капель в минуту. Критерий предельного состояния при испытаниях на механическую усталость и при испытаниях на КМУ в случаях, когда преимущественный вклад в процесс повреждения вносят циклические (изгибающие) напряжения σ_a - разделение образца на две части в результате развития поперечной магистральной трещины. Критерий предельного состояния при испытаниях на контактную усталость и при испытаниях на КМУ в случаях, когда преимущественно процесс повреждения определяется контактными сжимающими напряжениями p_0 - образование на дорожке катания образца ямок выкрашивания критического размера и (или) их критической концентрации, такой, что $S_{\sigma}/S_0 = 0,1$, где S_{σ} - средняя суммарная площадь ямок выкрашивания, S_0 - средняя площадь дорожки катания. Базу испытаний приняли равной 10^7 циклов по критерию механической усталости и $2 \cdot 10^7$ циклов по критерию контактной усталости.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Испытания на механическую усталость вели по стандартной методике, при этом контактная нагрузка $F_N=0$ (рисунок 1). Полученная кривая механической усталости представлена на рисунке 2,а в двойных логарифмических координатах. Там же указаны параметры кривой механической усталости: предел выносливости σ_{-1} , абсцисса точки ее перелома N_{σ} , показатель наклона m_{σ} , численные значения которых даны в таблице.

Испытания на контактную усталость вели по стандартной методике, при этом изгибающая нагрузка $Q = 0$ (рисунок 1). Накопление контактных повреждений контролировали визуально, с помощью микроскопа МБС-9 через каждые $1 \cdot 10^5$ циклов. Кривая контактной усталости образцов из стали 45, полученная в результате стандартных испытаний, представлена на рисунке 2,б в двойных логарифмических координатах. Зна-

чения параметров этой кривой: предел выносливости r_f , абсцисса точки перелома N_p , показатель наклона m_p даны в таблице.

Результаты испытаний стали 45 на КМУ для случая, когда предельное состояние силовой системы наступало по критерию механической усталости, представлены на рисунке 2,с. Здесь дана кривая усталости при $p_0 = 0,25r_f = 400$ МПа. Значения параметров этой кривой (предел выносливости σ_{-1p} , абсцисса точки ее перелома $N_{\sigma p}$, показатель наклона $m_{\sigma p}$) даны в таблице.

На рисунке 2,d представлены результаты испытаний стали 45 на КМУ для случая, когда предельное состояние наступало по критерию контактной усталости. Значения параметров этой кривой усталости при $\sigma_a = 0,7\sigma_{-1} = 110$ МПа (предел выносливости $r_{f\sigma}$, абсцисса точки ее перелома $N_{p\sigma}$, показатель наклона $m_{p\sigma}$) даны в таблице.

Таблица. Характеристики кривых усталости при различных условиях износоусталостных испытаний

Характеристики свойств	Кривая механической усталости		Кривая контактной усталости		Кривые контактно-механической усталости			
	$N(\sigma_a)$		$N(p_0)$		$N(\sigma_a, p_0 = \text{const})$		$N(p_0, \sigma_a = \text{const})$	
Предел выносливости, МПа	σ_{-1}	165	r_f	1760	σ_{-1p}	256	$r_{f\sigma}$	2200
Абсцисса точки перелома кривой усталости, цикл	$N_{\sigma G}$	$9 \cdot 10^6$	N_{pG}	$2,6 \cdot 10^7$	$N_{\sigma pG}$	$5 \cdot 10^6$	$N_{p\sigma G}$	$2 \cdot 10^7$
Показатель наклона кривой усталости, —	m_{σ}	7,5	m_p	14,5	$m_{\sigma p}$	11,6	$m_{p\sigma}$	24,4

Опытные данные (рисунок 2 и таблица) показывают, что наличие сжимающих контактных напряжений p_0 может существенно повысить сопротивление стали 45 механической усталости (прямой эффект). Так, при $p_0 = 400$ МПа предел выносливости образца σ_{-1} увеличился на 55 % по сравнению с испытаниями на механическую усталость (при $p_0 = 0$). Можно также утверждать, что воздействие циклических (изгибных) напряжений σ_a на образец из этой стали, работающий в условиях трения качения, замедляет процесс образования ямок выкрашивания (обратный эффект): увеличение предела выносливости r_f составило 25 % при $\sigma_a = 110$ МПа по сравнению с испытаниями на контактную усталость (при $\sigma_a = 0$). Следует заметить, что имеет место не только перемещение вверх горизонтальной ветви соответствующих кривых усталости в результате совместного действия изгибной Q и контактной F_N нагрузок, но и изменение наклона левых ветвей этих кривых, которые становятся более пологими. Так, значение показателя наклона кривой механической усталости m_{σ} (при $p_0 = 0$) выросло в 1,5 раза при наличии контактных напряжений $p_0 = 400$ МПа. А значение показателя наклона кривой контактной усталости m_p (при $\sigma_a = 0$) увеличилось в 1,7 раза при действии изгибных напряжений $\sigma_a = 110$ МПа.

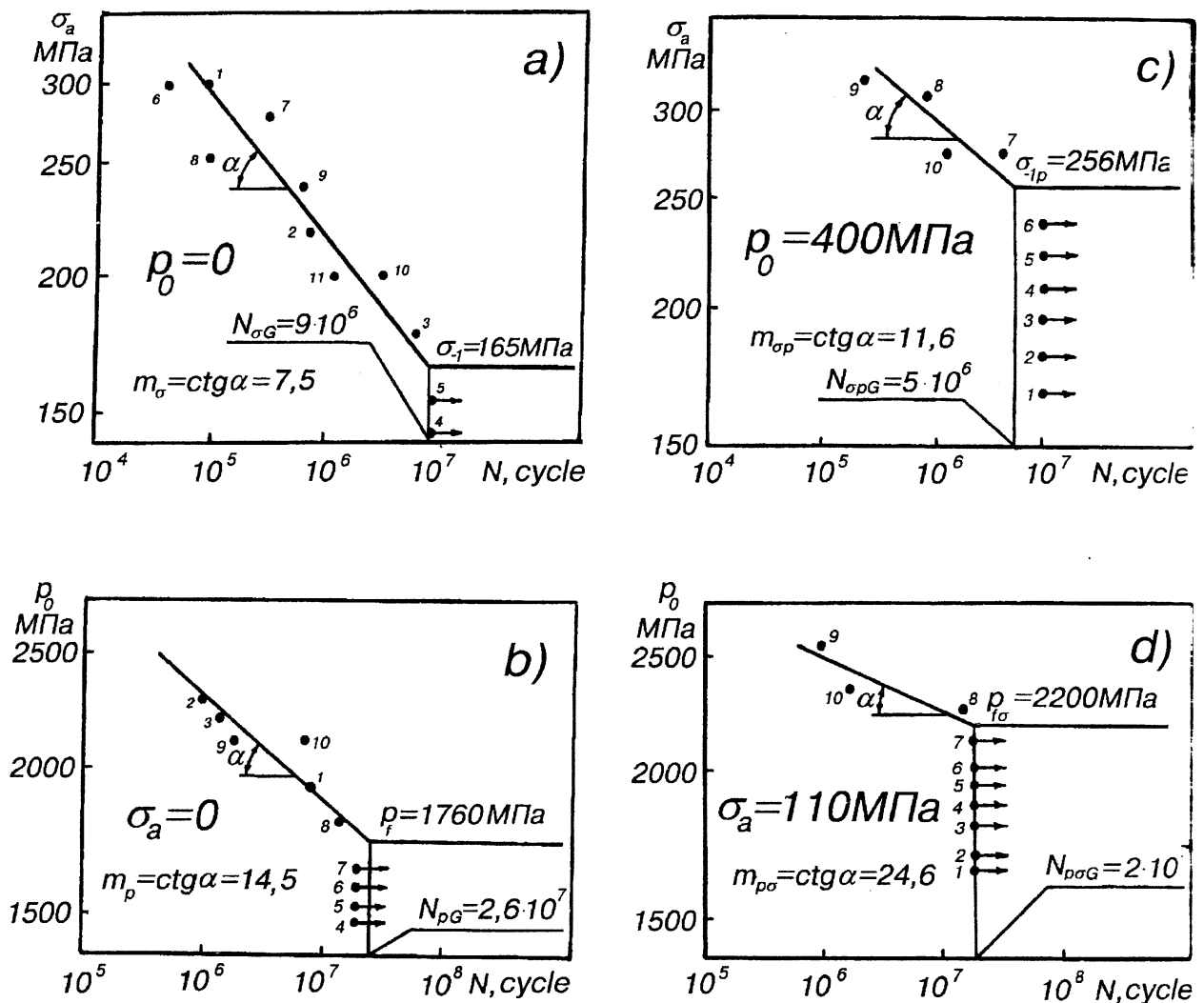


Рисунок 2. Четыре типа кривых предельных состояний: (а) - кривая механической усталости $N(\sigma_a)$; (б) - кривая контактной усталости $N(p_0)$; (с) - кривая контактно-механической усталости, построенная по параметру максимальных контактных напряжений $N(\sigma_a, p_0 = \text{const})$; (д) - кривая контактно-механической усталости, построенная по параметру амплитуды напряжений цикла $N(p_0, \sigma_a = \text{const})$

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные результаты экспериментов показывают, что при определенных условиях износоусталостных испытаний (механическая усталость + трение качения) можно повысить предел выносливости стали 45 на 25...60%, а ее долговечность на 1-2 порядка.

Литература. 1. Сосновский Л.А., Трощенко В.Т., Махутов Н.А., Гао Ванчжен, А.В. Богданович, С.С. Щербаков. Износоусталостные повреждения и их прогнозирование (трибофатика) / Международная монография. - Гомель. Киев. Москва. Ухань: Международный координационный совет по трибофатике. - Гомель: НПО «ТРИБОФАТИКА», 2001. - 170 с. 2. Еловой О.М. Экспериментальное исследование процессов повреждения при трении качения и контактно-механической усталости // Вестник Могилевского государственного технического университета, 2001, №1. - С. 59 - 66. 3. СТБ

1233-2000. Трибофатика. Методы износоусталостных испытаний. Ускоренные испытания на контактно-механическую усталость. Мн.: Госстандарт. 2000. 25 с.

УДК 62-587.5

Мардосевич Е.И.

СЛУЖЕБНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНЕТАРНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С КОМПОЗИЦИОННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ НА ОСНОВЕ ОКСИДОКЕРАМИКИ НА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ТРУЩИХСЯ СОПРЯЖЕНИЙ

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное развитие робототехнических, мехатронных и сервисных систем неразрывно связано с постоянно растущими требованиями к повышению их надежности при одновременном снижении генерируемых шумов и вибраций, веса и энергопотребления. К одному из перспективных путей комплексного решения этой задачи является создание зубчатых передач планетарного типа с малой разностью зубьев, сочетающих в себе небольшие габаритные размеры при значительном передаточном отношении. Изготовление основных деталей этих редукторов из алюминиевых сплавов, на рабочих поверхностях которых сформированы многослойные композиционные покрытия на основе металлокерамики, имеющей твердость 12 ± 22 ГПа при толщине $0,070\pm 0,3$ мм позволяет обеспечить пониженный вес и соответствующую повышенную удельную мощность передачи и увеличенный, по сравнению со стальными поверхностно упрочненными передачами, ресурс работоспособности [1-3]. Расширенные возможности использования при изготовлении деталей пластического деформирования, отсутствие высокотемпературной обработки и, связанных с ней, короблений обеспечивает повышенную технологичность и низкую себестоимость изготовления передачи. Вместе с тем повышенные хрупкость покрытия при интенсивном воздействии динамических нагрузок и фрикционные свойства оксидокерамики в ряде случаев ограничивают возможности ее использования, и в процессе проектирования приводов целесообразно комплексно решать проблемы обеспечения их повышенной надежности и коэффициентов полезного действия.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью исследований являлось оценка влияния трибологических свойств трущихся сопряжений планетарной зубчатой передачи на коэффициенты ее полезного действия и определение наиболее рациональных путей их повышения.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Кинематические схемы рассматриваемых планетарных зубчатых передач приведены в таблице 1.

Однопоточная передача состоит из входного вала 1, эксцентрика 2, сателлита 3, корончатого зубчатого колеса 4 с внутренними зубьями, связанного с корпусом 5, выходного вала 6 с фланцем 7, на котором установлены пальцы 8, входящие в пазы 9 сателлита 3. Ее конструкция относительно проста, но требует специальной балансировки противовесом 10.

В двухпоточной кинематической схеме параллельно основному сателлиту 3 установлен идентичный ему сателлит 11, взаимодействующий с корончатым колесом 4 на диаметрально противоположном участке его обода, что позволяет сбалансировать конструкцию в плоскости, перпендикулярной оси входного вала 1, и в определенной мере разгрузить его от радиальных нагрузок.