

К ВОПРОСУ О НАДЕЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ШЛИЦЕВЫХ ВАЛОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Сидашенко А.И., к.т.н., проф.; Скобло Т.С., д.т.н., проф.;

Гончаренко А.А., ассистент; Алферов А.И., к.т.н.

*Харьковский национальный технический университет сельского
хозяйства имени Петра Василенко*

На основании результатов расчета модели вала методом конечных элементов, экспериментальных исследований и на примере вала повода гидронасоса было установлено, что при оценке технического состояния эксплуатируемой детали, для повышения безотказности, необходимо учитывать изменение механических свойств материала, а также конструктивные особенности вала, которые оказывают существенное влияние на напряженно-деформированное состояние.

Увеличение срока службы современных и, вновь создаваемых машин и механизмов, одно из важных звеньев общей проблемы повышения качества изделий. В этой связи становится первоочередным снижение износа и увеличение долговечности узлов трения. Чем ответственнее машины и механизмы, сложнее условия работы узлов трения, выше стоимость конструкции, тем ответственнее выбор материала пар трения и анализ происходящих процессов при эксплуатации. Главными характеристиками, которые учитываются при анализе работы пары трения, являются усилия при взаимном механическом контакте и способности материала сопротивляться им.

Считается, что сопротивление износу зависит от состава материала пары трения, но при этом почти полностью игнорируется структура материала, тем более не учитывается ее изменение в процессе трения. За последние десять лет накопился большой практический опыт структурных превращений, протекающих при трении [1].

Анализ отказов деталей машин и конструкций показывает, что значительная часть из них происходит вследствие усталости материалов. Развитие процесса сопровождается постепенным накоплением повреждений в материале в условиях воздействия переменных нагрузок. Частые случаи усталостного разрушения объясняются недостаточной изученностью явления, которое характеризуется исключительной сложностью и разнообразием процессов, происходящих в материалах в условиях действия переменных нагрузок, большой чувствительностью этих процессов к влиянию различных технологических, эксплуатаци-

онных и конструктивных факторов.

Развитие техники ставит новые задачи в области исследования работоспособности машин и их элементов. Повышение их надежности является важнейшим фактором, определяющим рост конкурентоспособности изделий. Наиболее эффективным и широко используемым современным средством анализа напряженно – деформированного состояния деталей является применение метода конечных элементов [2].

Целью работы является оценка надежности восстановленного вала наплавкой шлицов в среде CO_2 .

Метод конечных элементов - эффективное средство исследования поведения конструкций в условиях разнообразных нагрузок. В настоящее время имеются различные программы, которые позволяют проводить исследования методом оценки конечных элементов, в том числе INVENTOR, SOLIDWORKS и ANSYS.

Эти продукты относятся к категории программного обеспечения, применяемого при проектировании машиностроительных, строительных и других конструкций. Особенностью программ SOLIDWORKS и ANSYS является возможность решения широкого спектра задач, таких как: расчеты на прочность, теплообмена по гидродинамике и даже по акустике [3].

В качестве объекта исследования был выбран вал привода гидронасоса МНШ – 25 раздаточной коробки трактора Т – 150К, изготовленный из стали 45 и восстановленный проволокой 30ХГСА. Сталь 45 является среднеуглеродистой конструкционной машиностроительной сталью, характеризующейся достаточными механическими свойствами. Она обладает необходимой конструкционной прочностью, имеет хорошие технологические свойства.

Сталь 30ХГСА относится к низколегированному материалу.

Для оценки изменения свойств материала вала в процессе длительной эксплуатации были выполнены исследования, в том числе изучена микроструктура шлицевых частей вала, результаты которых были использованы для расчета модели вала привода методом конечных элементов [4].

В работе рассмотрены:

- оценка нагруженности шлица в зависимости от момента, создаваемого равнодействующей силой распределенной нагрузкой;
- построение трехмерной (3D) геометрической и конечно-элементной модели из Ст45, и 30ХГСА;
- анализ влияния изменения механических свойств материала на напряженно-деформированное состояние.

Для определения влияния изменения механических свойств материала на напряженно-деформированное состояние вала проведен сравнительный анализ результатов расчета моделей, соответствующих новому валу и восстановленному, обладающих свойствами материалов Ст45 и стали 30ХГСА.

Расчет методом конечных элементов был проведен для оценки уровня напряженно-деформированного состояния шлицов вала в местах наличия концентраторов напряжений. В качестве исходных данных были приняты геометрические размеры вала в соответствии с рабочими чертежами завода-изготовителя. А для проведения расчета детали из материала 30ХГСА помимо геометрических размеров, проведен дополнительный расчет параметров, которые включены в исходные данные. Построение геометрических моделей было произведено при использовании графических программ AutoCAD и INVENTOR.

Для расчета 3D моделей использовали исходные данные:

для стали 45 - модуль упругости, $E=2 \times 10^5$ МПа; модуль сдвига, $G=7,8 \times 10^4$ МПа; плотность, $\rho=7810$ кг/м³; предел текучести, $\sigma_T=360$ МПа; предел сопротивления разрыву, $\sigma_B=610$ МПа; ударная вязкость, $KCU=5$ Дж/см²; коэффициент теплопроводности $l=48$, Вт/(м·град); коэффициент линейного расширения $\alpha, 10^{-6}=11.9$ (1/град);

для стали 30ХГСА - модуль упругости, $E=2,15 \times 10^5$ МПа; модуль сдвига, $G=8,4 \times 10^4$ МПа; плотность, $\rho=7850$ кг/м³; предел текучести, $\sigma_T=830$ МПа; предел сопротивления разрыву, $\sigma_B=1080$ МПа; удельное электросопротивление $R=210 \cdot 10^9$, (Ом·м), $KCU=5$ Дж/см²; коэффициент теплопроводности, $l=38$ Вт/(м·град); коэффициент линейного расширения, $\alpha=11.7 \cdot 10^{-6}$, (1/град) $l=48$, Вт/(м·град), коэффициент Пуассона составляет $\mu=0,3$ для Ст45 и для 30ХГСА.

Исходя из предоставленных данных ОАО «Гидросила», можно рассчитать крутящий момент и эффективную мощность вала привода гидронасоса.

Крутящий момент вала оценивали в зависимости от крутящего момента насоса по формуле (1), что составляет: 60.5Нм; эффективная мощность (2) – 11.17кВт

$$T = \frac{1.59 \cdot DP \cdot z_{GM}}{10} = \frac{V_P \cdot DP \cdot z_{GM}}{2 \cdot p} \text{ [Нм]}; \quad (1)$$

$$P = \frac{T \cdot n}{9549} = \frac{2p \cdot T \cdot n}{60000} = \frac{g_v \cdot DP \cdot z}{60} \text{ [кВт]}. \quad (2)$$

$$T = \frac{25 \cdot 16 \cdot 0.95}{2 \cdot 3.14} = 60.5 \text{ [Нм]};$$

$$P = \frac{60.5 \cdot 1764}{9549} = 11.17 \text{ [кВт]}.$$

где V_p – рабочий объем, м^3 ;

ΔP – перепад давления, МПа.

n – частота вращения, мин^{-1} ;

η_v – объемный КПД.

η_{GM} – гидромеханический КПД

η – общий КПД ($z = z_v \cdot z_{GM}$)

Поскольку расчет крутящего момента вала производили в зависимости от крутящего момента насоса, то:

- рабочий объем $V_p = 25 \text{ см}^3$;

- ΔP - перепад давления в раздаточной коробке находится в пределах от 13 до 16 МПа, исходя из условий, что насос начинает работать с начала запуска двигателя, и для увеличения запаса прочности, принимали равным 16 МПа;

- частоту вращения вала учитывали равным 1764 мин^{-1} , что сопоставимо с частотой вращения вала двигателя 2100 мин^{-1} ;

η_v – принимаем 0,9 [5];

η_{GM} – находится в пределах 0,8 – 0,95, принимаем 0,95 [5];

Также необходимо определить среднюю распределенную нагрузку на шлиц (3)

$$q_{cp} = \frac{2 \cdot M}{z \cdot R_c \cdot h \cdot b_0}; \quad (3)$$

$$q_{cp} = \frac{2 \cdot 60,5}{6 \cdot 0,0182 \cdot 0,0055 \cdot 0,04} = 5037468,77 \text{ Н/м}^2 \quad (5037,47 \text{ кН/м}^2).$$

При решении поставленных задач рассмотрены только шлицевые части вала, т.к. его тело не несет никаких нагрузок.

Распределение интенсивности напряжений на частях вала показано на рис.2. При расчете максимальные напряжения находятся в местах начала шлицов (I).

Данные расчета приведены в табл. 1.

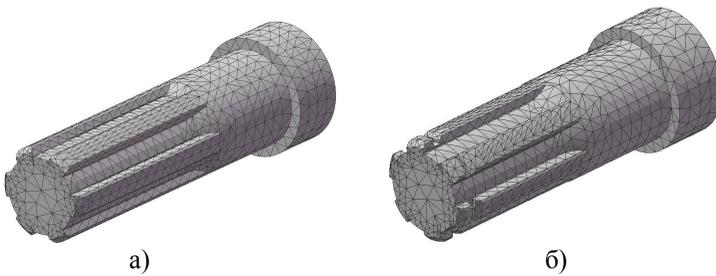


Рис. 1. 3D конечно-элементная модель вала: а) - вал в сопряжении с переходной втулкой; б) - вал в сопряжении с конической шестерней

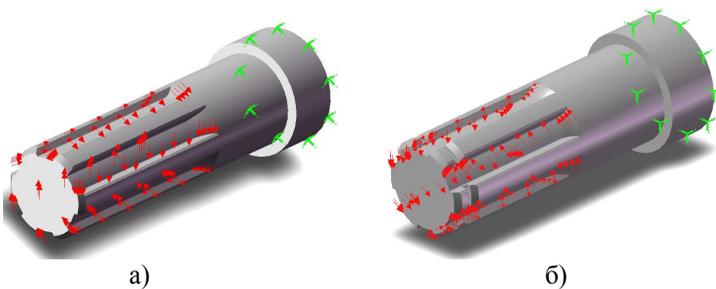


Рис. 2. Схема нагружения шлицевых частей вала: а) - вал в сопряжении с переходной втулкой; б) - вал в сопряжении с конической шестерней

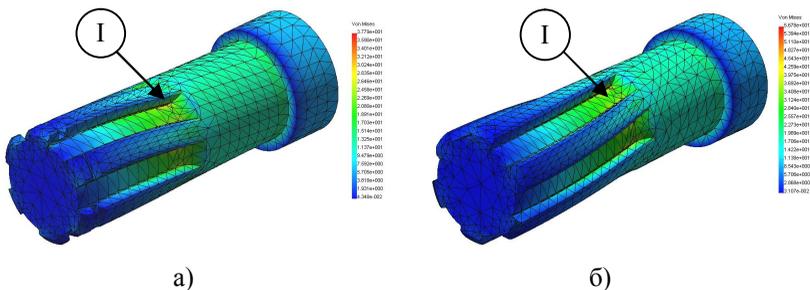


Рис. 3. Распределение интенсивности напряжений в 3D моделях: а) - вал в сопряжении с переходной втулкой; б) - вал в сопряжении с конической шестерней

Таблица 1 Анализ напряженно-деформированного состояния вала и оценка коэффициента запаса прочности

Марка стали	Вид расчета	Распределенная нагрузка, q, МПа	Градиент интенсивности по Мизесу, max σ , МПа	Градиент распределения деформаций max d, мм	Коэффициент запаса прочности
Ст 45(*)	расчетный	5,03747	56,78	$8,532 \cdot 10^{-3}$	10,74
	ориентировочный	17,62236	198,61	3,04	3,07
Ст 45(**)	расчетный	5,03747	37,79	$5,028 \cdot 10^{-3}$	16,14
	ориентировочный	17,62236	132,18	1,79	4,61
30ХГСА(*)	расчетный	5,03747	56,75	$7,932 \cdot 10^{-3}$	19,03
	ориентировочный	17,62236	198,61	3,04	5,43
30ХГСА(**)	расчетный	5,03747	37,79	$4,677 \cdot 10^{-2}$	28,57
	ориентировочный	17,62236	132,18	1,79	8,17

* - вал в сопряжении с переходной втулкой; ** - вал в сопряжении с конической шестерней

В качестве ориентировочного расчета был принят такой, при котором коэффициент запаса прочности, по требованиям завода изготовителя, составляет 3. Этому коэффициенту соответствует градиент распределенной деформации равный 3,04 мм по стали 45. В то время когда расчетный градиент распределенной деформации по 30ХГСА составляет $7,932 \cdot 10^{-3}$ - $4,677 \cdot 10^{-2}$ мм.

При выполнении вала с покрытием стали 30ХГСА коэффициент запаса прочности (к.з.п.) составляет 28,57, что на 57% больше по сравнению с изготовленным из стали 45 для шлицевой части вала в сопряжении с конической шестерней, а в сопряжении с переходной втулкой к.з.п. - 19,03, что на 56,43% больше.

Выводы.

На основании результатов расчета модели вала методом конечных элементов, экспериментальных исследований и на примере вала привода гидронасоса было установлено, что при оценке технического состояния эксплуатируемой детали, для повышения безотказности, необходимо учитывать изменение механических свойств материала, а также конструктивные особенности вала, которые оказывают существенное влияние на напряженно-деформированное состояние.

Список использованных источников

1. Горицкий В.М. Диагностика металлов. – М.: Metallurgizdat, 2004. – 408 с.;
2. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справочное пособие. – М: Машиностроение, 2004. – 512 с.;
3. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / Под общей редакцией

Д.Г. Красковского. – М: КомпьютерПресс, 2002. – 224 с.;

4. Закирничная М.М., Кузеев И.Р., Бердин В.К. Кириллова Н.Ю. Анализ изменения структуры и свойств стали 20 в условиях длительной эксплуатации. Известия высших учебных заведений. Нефть и газ, 2006. – № 4. – С. 75-82.

5. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов / Т.М.Башта, С.С.Руднев, Б.Б.Некрасов и др. – М.:Машиностроение, 1982. – 423 с.

Анотація

ДО ПИТАННЯ ПРО НАДІЙНІСТЬ ВІДНОВЛЕННЯ ШЛІЦЬОВИХ ВАЛІВ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

**Сідашенко О.І., Скобло Т.С., Гончаренко О.О.,
Алфьоров О.І.**

На підставі результатів розрахунку моделі валу методом кінцевих елементів, експериментальних досліджень і на прикладі валу приводу гідронасоса було встановлено, що при оцінці технічного експлуатованої деталі, для підвищення безвідмовності, необхідно враховувати зміну механічних властивостей матеріалу, а також конструктивні особливості валу, які спричиняють істотний вплив на напружено-деформований.

Abstract

TO QUESTION ABOUT RELIABILITY RENEWAL OF SHLITSEVYKH BILLOWS METHOD OF EVENTUAL ELEMENTS

A. Sidashenko, T. Skoblo, A. Goncharenko, A. Alferov

On the basis of results of calculation of model of billow by the method of eventual elements, experimental researches and it was set on the example of billow of drive of hydraulic pump, that at the estimation of the technical state of on-the-road detail, for the increase of faultlessness, it is necessary to take into account the change of mechanical properties of material, and also structural features of billow, which render substantial influence on tensely-deformed the state.