

Раздел 2. МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.9

Новоселов Ю. К., Шрон Б. Л.

ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ЗОНЫ КОНТАКТА НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ «ВАЛ-МАНЖЕТА»

Аннотация. Выполнен анализ возможных причин истечения жидкости из соединения «вал-манжета». Определены основные технические требования, предъявляемые к валу. Построена математическая модель, описывающая движения манжеты по поверхности вала в зоне контакта «вал-манжета». Модель взаимодействия манжеты с валом основана на анализе контакта при относительном перемещении двух шероховатых поверхностей, имеющих отклонения формы, а именно волнистость. На основе анализа соединения «вал-манжета» в процессе вращения вала выявлен характер происхождения износа поверхностей вала и манжеты. По скорости вращения вала определили максимально допустимое количество волн на поверхности вала. Построен график зависимости допустимого количества волн на поверхности вала от частоты вращения вала.

Ключевые слова: вал, манжета, истечение жидкости, кольцевой зазор, волнистость, шероховатость.

Новоселов Ю. К., Шрон Б. Л.

ВПЛИВ СТАНУ ЗОНИ КОНТАКТУ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ З'ЄДНАННЯ «ВАЛ-МАНЖЕТА»

Анотація. Виконано аналіз можливих причини витікання рідини з пари «вал-манжета». Визначено основні технічні вимоги, пропоновані до валу в даному з'єднанні. Побудовано математичну модель, що описує рух манжети по поверхні вала в зоні контакту «вал-манжета». Модель взаємодії манжети з валом заснована на аналізі контакту при відносному переміщенні двох шорстких поверхонь, що мають відхилення форми, а саме хвилястість. На основі аналізу з'єднання «вал-манжета» в процесі обертання валу виявлено характер походження зносу поверхонь валу і манжети. За швидкістю обертання валу визначили максимально допустиму кількість хвиль на поверхні валу. Побудовано графік залежності допустимої кількості хвиль на поверхні вала від частоти обертання валу.

Ключові слова: вал, манжета, витікання рідини, кільцевої зазор, хвилястість, шорсткість.

Novoselov Y. K., Shron B. L.

INFLUENCE OF THE STATE OF THE CONTACT ZONE ON THE «SHAFT-CUFF» CONNECTION PERFORMANCE

Summary. The analysis of the possible causes of liquid outflow from the «shaft-cuff» connection is made. Design and technology quality assurance system of the shaft cuff connection is proposed. A scheme of the influence of the elements of the shaft cuff on its work is built. The basic specifications applicable to the shaft in a given connection are revealed. A mathematical model illustrating the movement of the cuff on the shaft surface in the "shaft cuff" contact area is offered. A model of cuff interaction with the shaft is based on the analysis of the relative movement in the contact between two rough surfaces having shape deviations, namely waviness. Basing on the analysis of the «shaft-cuff» connection in the process of shaft rotation the nature of origin of wear surfaces of the shaft and collar are revealed. The speed of rotation of the shaft determines the maximum allowable number of waves on the surface of the shaft. The cross-plot of allowable number of waves on the surface of the shaft from the shaft rotational speed is drawn.

Key words: shaft, cuff, liquid discharge, annular gap, waviness, roughness.

Постановка проблемы. Самым слабым звеном в двигателях внутреннего сгорания является соединение «вал-манжета». Основная проблема – пропускание масла в данном соединении, что требует дорогостоящих ремонтных работ.

Проблему истечения жидкости в соединении «вал-манжета» нельзя решать только при помо-

щи изменения типа рабочей среды соединения. Это связано с тем, что не во всех случаях можно использовать смазки и масла с меньшим коэффициентом текучести, или работать при более низких температурах, или же только использовать новые манжеты с усовершенствованными конструкциями или из новых материалов. Такой

подход не решит полностью данную проблему, так как на надежность работы соединения также оказывает влияние качество поверхностного слоя, точность изготовления и микрорельефов поверхности вала.

Для решения данной проблемы нужно выполнить анализ всех элементов данного соединения, построить схемы взаимодействия элементов

системы и их влияние на работу системы в целом, т. е. построить модель работы соединения «вал-манжета».

Анализ последних исследований и публикаций. Свойства манжеты исследователи определяют режимом работы соединения, материалом вала, свойствами изолируемой полости: его вязкостью, температурой и т. д. (рис. 1) [1].

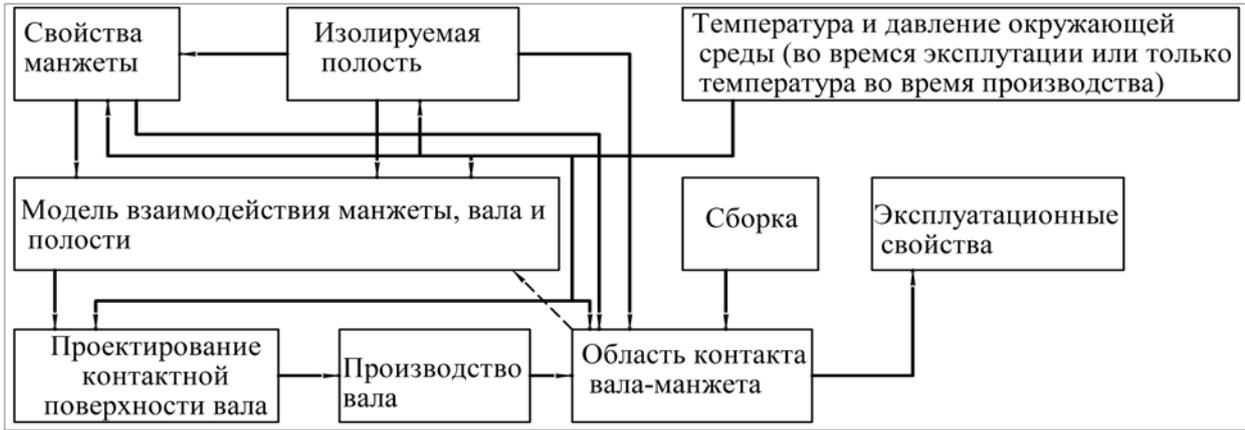


Рис. 1. Схема конструкторско-технологической системы обеспечения качества соединений «вал-манжета».

При этом авторы [1] не учитывают возможные состояния контактной поверхности вала.

В соединении «вал-манжета» (объект А) возможно взаимодействие различных объектов (см. рис. 2):

- для объектов (2-1) возможны повреждения в виде локального износа вала, образование канавок, задиров;
- взаимодействие объектов (3-2) приводит к истечению смазки в результате дефектов и износа манжеты или же их неплотного прилегания;

- воздействие объектов (4-3) приводит к изменению свойств объектов 3 (жидкотекучесть) и 2 (свойства материала манжеты) со всеми последствиями их влияния на объект А (износ, утечка смазки из полости объекта 3 в результате избыточного давления полости объекта 3);
- объекты (1-2-3), представляют собой сложную систему взаимодействия на соединении «вал-манжета» (объект А) и их взаимодействие будет проявляться в объекте 5 с последующим влиянием на объект А.

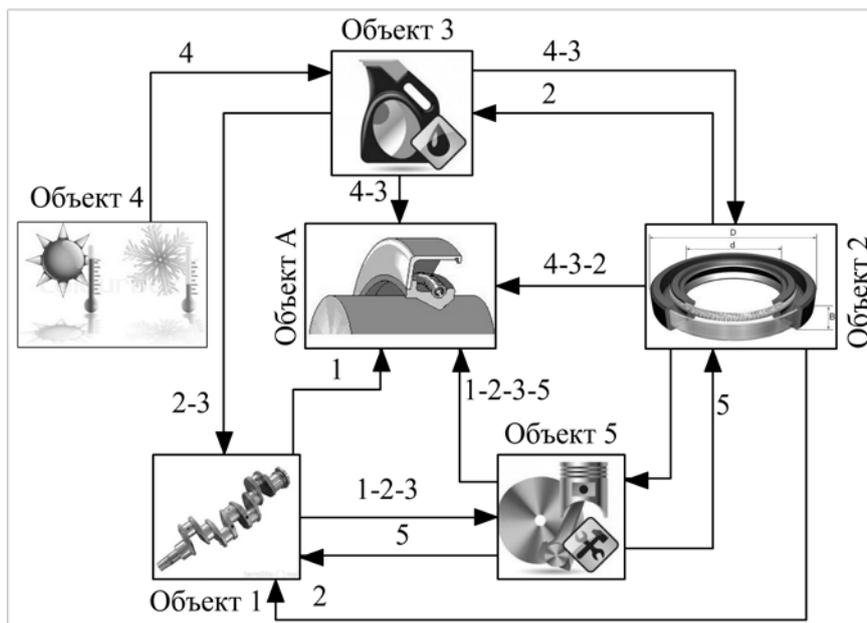


Рис. 2. Схема влияния элементов соединения «вал-манжета» на его работу, где объект А – соединение «вал-манжета», объект 1 – вал, объект 2 – манжета, объект 3 – смазка, объект 4 – температурные воздействия, объект 5 – сборка, ремонт.

Основные взаимодействия в зоне контакта возникают из-за состояния поверхности вала объект 1 (погрешность формы, способ и точности обработки). Так, волнистость контактной поверхности приводит к отрыву манжеты.

Качество обработки влияет на маслосъемность поверхностного слоя в зоне контакта. Вид и технологические особенности обработки могут способствовать как ускорению, так и замедлению истечения смазки в зоне контакта «вал-манжета».

Объект 5, как правило, усложняет исследуемую проблему, т. к. при ремонте увеличивается вероятность перекоса вала, неправильной установки манжет и др.

Из представленного выше материала следует, что наиболее проблемным и менее изученным звеном из соединения «вал-манжета» является вал.

Проведенный нами анализ ГОСТ Р 53808-2010 [2] позволил установить, что в настоящее время основными требованиями, предъявляемыми к валам, являются:

- твердость – в диапазоне 45...50 HRC;
- шероховатость поверхности – 0,16...0,32 мкм;
- округлость – соответствует 5...6 степени точности;
- отклонения профиля продольного сечения шейки вала – 5...7 степень точности;

- биение на опорных шейках вала на длине до 1000 мм – не более 0,025...0,03 мм;
- биение на опорных шейках вала на длине свыше 1000 мм – не более 0,35...0,04 мм.

Из вышеприведенного материала видно, что представленная информация недостаточная, а в ряде случаев необоснованно рекомендованная. Так, снижение параметров шероховатости приводит к уменьшению маслосъемности поверхности. Нет отдельных требований к поверхности в зоне контакта «вал-манжета». Отсутствует информация о волнистости.

В этой связи **целью** данной статьи является построение математической модели, позволяющей выполнить оценку основных параметров вала и их точностных характеристик, влияющих на работоспособность соединения «вал-манжета».

Изложение основного материала. Модель взаимодействия манжеты с валом основана на анализе контакта при относительном перемещении двух шероховатых поверхностей, имеющих отклонения формы, а именно волнистость [1].

Для анализа этих параметров, оказывающих наибольшее влияние на отрыв манжеты от вала, построена математическая модель.

За основу построения математической модели была взята модель работы системы вынужденных колебаний и адаптирована под работу пары «вал-манжета» (рис. 3).

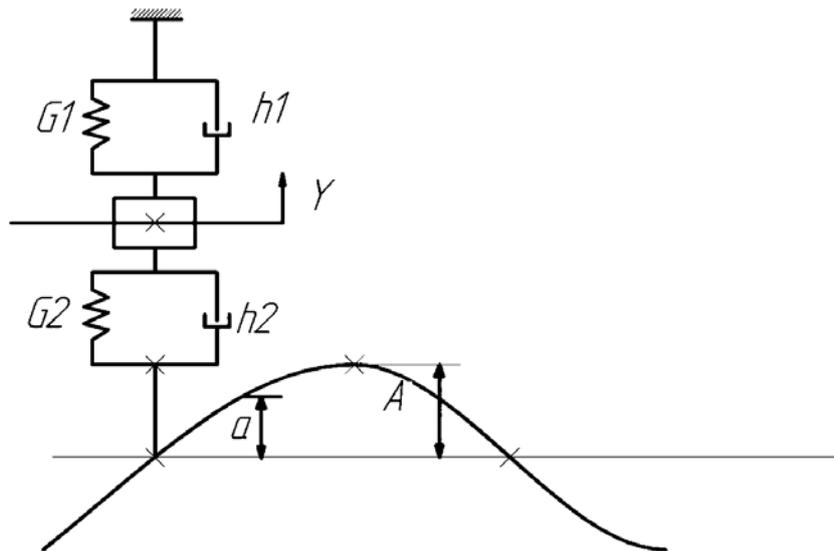


Рис. 3. Схема работы манжеты по поверхности вала в соединении «вал-манжета».

Для описания представленной схемы предложено дифференциальное уравнение, описывающее работу данной схемы:

$$m \ddot{x} - G_1 x + (h_2 - h_1) \dot{x} = G_2 A \sin(\omega t + a) - G_2 x, \quad (1)$$

где m – масса элемента манжеты;

G_1 – жесткость манжеты;

G_2 – жесткость вала;

h_1 – демпфирующие свойства манжеты;

h_2 – демпфирующие свойства вала;

n – количество волн на поверхности вала на 2ПР;

$\omega = 2\pi n v_b$ – круговая частота;

A – амплитуда [2; 3].

Из полученного уравнения (1) найдем x при известном A и ω :

$$x = A_0 \times e^{-bt} \times \sin k_1 + B \times \sin p \quad (2)$$

$$y = A \times \sin \omega \quad (3)$$

Рассчитав значения x и y , можно установить, выполняются ли условия неравенства, при которых будет известно, произойдет отрыв манжета или нет.

Если $x \geq y$, то манжета не отрывается, а если $x < y$, то отрывается.

Из полученных результатов можно определить по скорости вращения вала максимально допустимое количество волн.

Определим и построим график, при какой частоте вращения может быть максимальное количество волн (рис. 4).

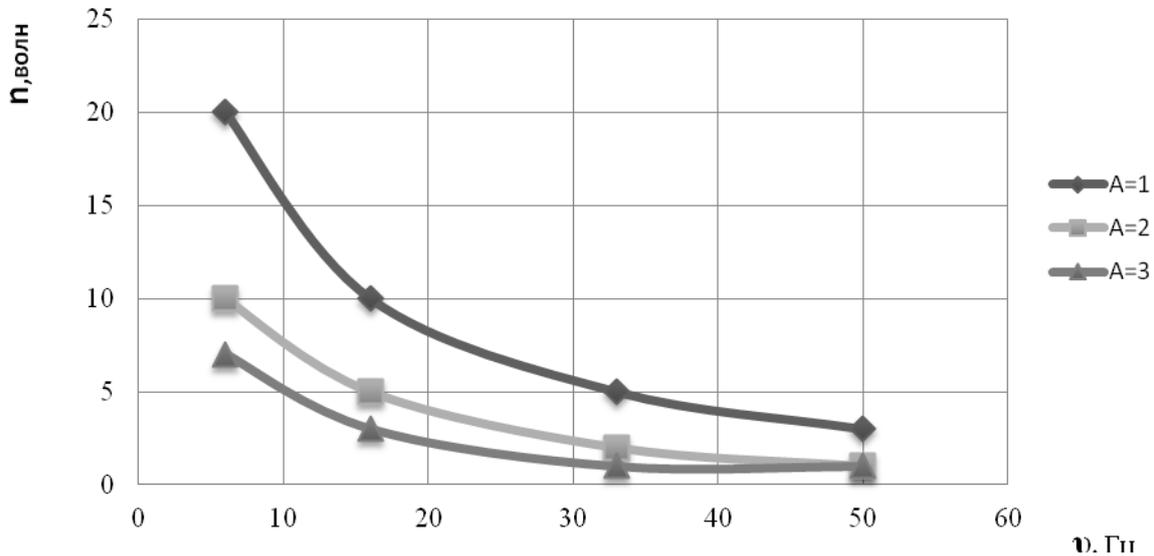


Рис. 4. График зависимости максимально допустимого количества волн от частоты вращения вала.

Выводы. На основе анализа соединения «вал-манжета» в процессе вращения вала выявлен характер происхождения износа поверхностей вала и манжеты. Построена математическая модель, описывающая движения манжеты по поверхности вала в зоне контакта «вал-манжета». Математическая модель позволяет по скорости вращения вала определить максимально допустимое количество волн на его поверхности.

В дальнейшей работе необходимо провести анализ влияния различных микрорельефов и «смазочных карманов» на поверхности вала на истечение жидкости и повышение надежности соединения «вал-манжета».

ЛИТЕРАТУРА

1. Грабовый В. М. Повышение производительности и качества при обработке деталей двигателя на операциях шлифования / В. М. Грабовый, А. Н. Пономаренко. – К. : Общество «Знание» Украины, 1993. – 24 с.
2. ГОСТ Р 53808-2010 Национальный стандарт Российской Федерации. Двигатели автомобильные. Валы распределительные. Технические требования и методы испытаний [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-53808-2010>.
3. Новоселов Ю. К. Взаимодействие контактных поверхностей соединений вал-манжета / Ю. К. Новоселов, Н. Р. Голдыбина // Вестник СевНТУ : материалы международной науч. конф. – Севастополь, 2008. – С. 43–45.