ISSN 2311-1364

МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ

научно-технический журнал

2022, №2 (19)

УДК 621.73.06

Н.С. Кравцов, И.В. Тимохин
ООО «Надёжность ТМ»
г. Москва, Россия
Email: info@nadezhnost.com
Дата поступления 01.10.2022

ВЛИЯНИЕ ФРЕТТИНГ-ИЗНОСА НА НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЦИЛИНДРОВ МОЩНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССОВ

Аннотация

Рассмотрена проблема существенного увеличения действующих напряжений в радиусных галтелях рабочих цилиндров ковочных гидравлических прессов в результате протекания процессов фреттинг-износа. Предложена методика проведения конечно-элементного расчёта напряжённо-деформированного состояния рабочих цилиндров с учётом перераспределения площади контактной поверхности между рабочим цилиндром и архитравом; приведены результаты расчёта. Предложены технологические решения, позволяющие снизить значения действующих напряжений.

Ключевые слова: фреттинг-износ; конечно-элементный анализ; усталостная прочность; износ рабочих цилиндров мощных гидравлических прессов.

Введение

Мощные гидравлические прессы усилием 60 МН широко распространены на российских и зарубежных предприятиях. Они применяются для свободной ковки изделий из чёрных и цветных металлов. Простои данного оборудования, связанные с внезапными отказами, приводят к экономическим потерям, поэтому предупреждение возникновения данных отказов на этапе проектирования и ранних этапах эксплуатации поможет снизить вероятность незапланированных финансовых затрат.

В процессе эксплуатации при нагружении рабочим давлением в конструкции пресса возникают упругие деформации базовых деталей, которые, в свою очередь, приводят к взаимному проскальзыванию их сопрягаемых поверхностей. Данные взаимные проскальзывания измеряются десятыми долями миллиметров, что создаёт необходимые условия для протекания процессов фреттинг-износа. Износ контактных поверхностей приводит к перераспределению напряжений, действующих в узлах гидравлических прессов, что в свою снижает их прочностные параметры.

Основная часть

Под термином «фреттинг» понимают совокупность механических, физических и химических процессов, развивающихся в зонах контакта сопряжённых деталей при малых колебательных смещениях одной поверхности относительно другой [1]. Тот факт, что при фреттинге поверхности остаются в контакте, затрудняя продуктам износа возможность покидать контактную область, оказывает ещё более негативное влияние на процесс изнашивания.

Стоит отметить, что интенсивность процессов фреттинг-износа находится в прямой зависимости с величиной взаимного смещения контактирующих поверхностей. Причём при значениях проскальзывания $\Delta>0{,}1$ мм интенсивность износа значительно возрастает по линейному закону (рисунок 1).

В результате фреттинг-износа уменьшается площадь опорной поверхности контакта сопряжённых деталей, что приводит к тяжёлым последствиям, таким как фреттинг-усталость, т.е. к усталостным разрушениям деталей, повреждённых фреттинг-коррозией. Предел выносливости, деталей при этом может снижаться в 1,5...5 раз [2].

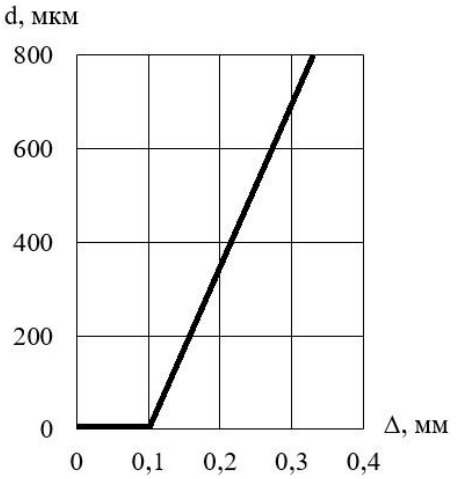
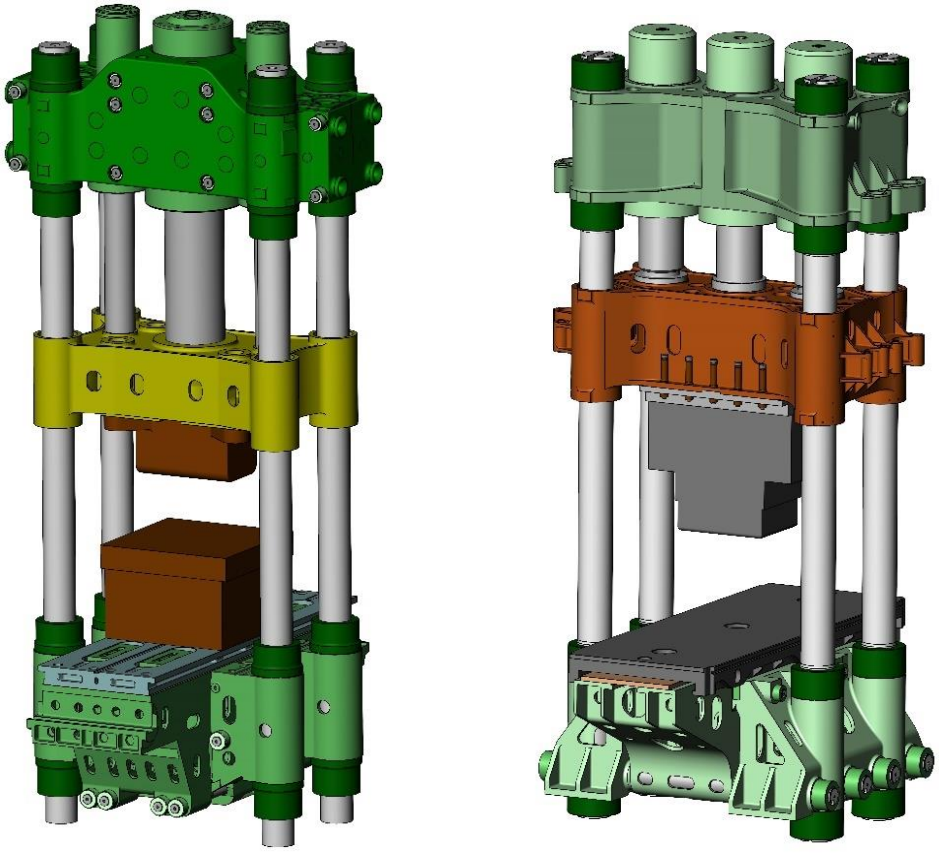


Рисунок 1. График зависимости интенсивности износа от величины взаимного проскальзывания контактных поверхностей деталей

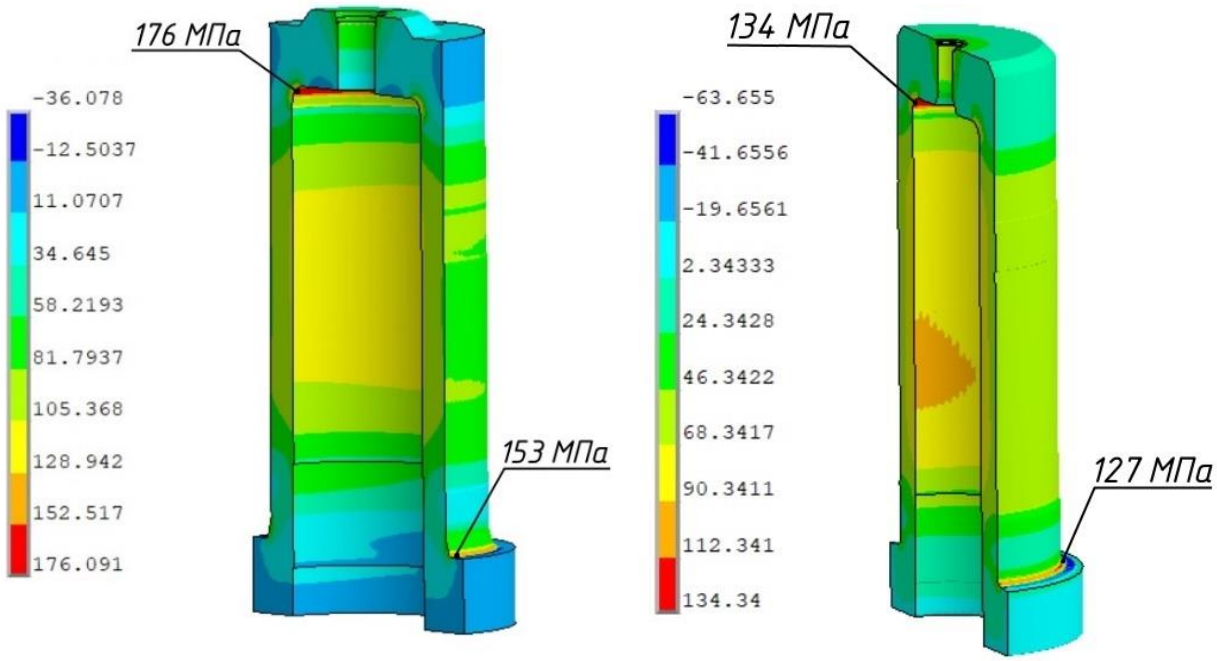
Рассмотрим, как влияние процессов фреттинг-износа приводит к внезапным отказам рабочих цилиндров на примере вертикальных гидравлических ковочных прессов производства чешской фирмы Škoda и отечественного УЗТМ. Оба пресса построены по традиционной схеме с четырёхколонной силовой рамой (Рисунок 2 а, б).

По результатам конечно-элементного расчёта, напряжения, действующие в радиусных галтелях опорных фланцев главных рабочих цилиндров прессов при проектных режимах эксплуатации, не превышали максимально допустимых значений. Максимальные напряжения растяжения для цилиндра пресса фирмы Škoda реализуются в зоне радиусного скругления днища и составляют σ_1 = 176 *МПа* (Рисунок 3 а). Для цилиндра конструкции УЗТМ зона концентрации максимальных растягивающих напряжений также локализована в галтели днища. Значение максимальных напряжений составляет σ_1 = 134 *МПа* (Рисунок 3 б). Цилиндры изготовлены из стали 30Л, предел усталости которой составляет σ_0 = 250 *МПа*.



а) б)

Рисунок 2. Ковочные гидравлические прессы усилием 60 *МН*
а) Пресс производства фирмы Škoda
б) Пресс производства УЗТМ

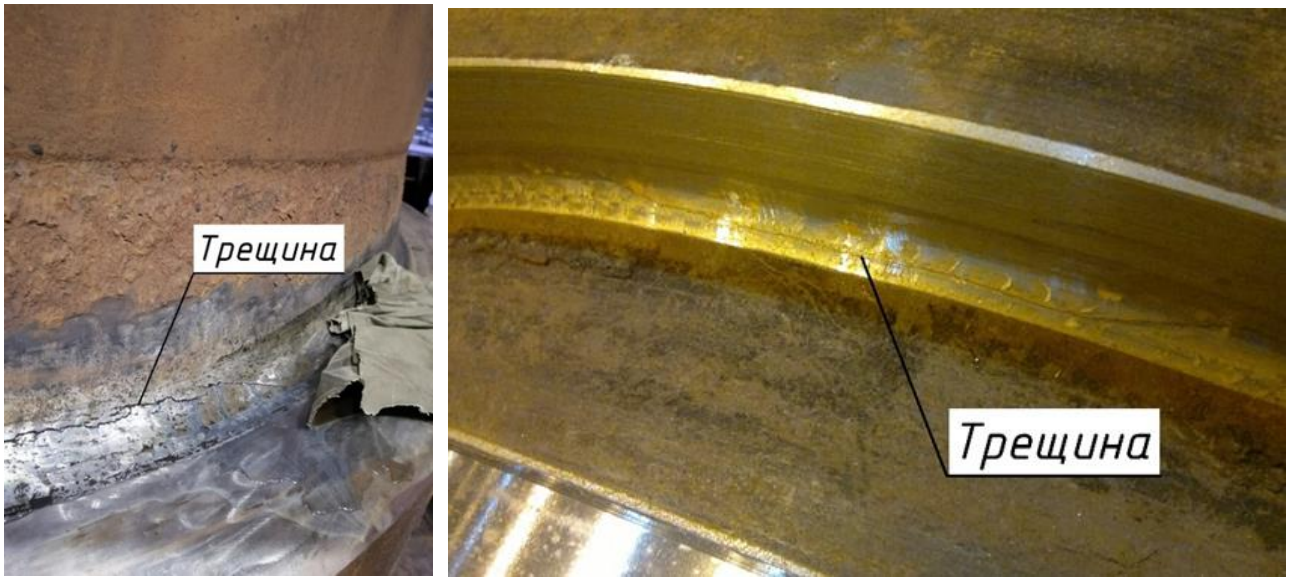


а) б)

Рисунок 3. Напряжённое состояние цилиндров при проектных режимах эксплуатации, главные напряжения σ_1, *МПа*

а) Центральный цилиндр пресса Škoda усилием 60 *МН*

б) Боковой цилиндр пресса УЗТМ усилием 60 *МН*



а) б)

Рисунок 4. Фотографии трещин в радиусных скруглениях фланцев главных рабочих цилиндров

а) цилиндр пресса Škoda

б) цилиндр пресса УЗТМ

Коэффициенты запаса усталостной прочности для цилиндров, определённые из выражения (1) равны соответственно n_{f1} = 1,4 для пресса Škoda и n_{f2} = 1,9 для пресса УЗТМ.

$$n_f = \frac{\sigma_0}{\sigma_1^{max}}, \quad (1)$$

где σ_0 – предел усталостной прочности для стали 30Л;

σ_1^{max} – максимальные первые главные напряжения, действующие в конструкции.

Рекомендуемое значение коэффициента запаса по усталости для узлов и деталей крупногабаритных гидравлических прессов составляет {n} = 1,2 [3]. Расчётные значения коэффициентов запаса усталостной прочности рассматриваемых цилиндров больше допустимого, что давало основания заявлять, о неограниченной долговечности данных деталей. Несмотря на это, оба цилиндра подверглись внезапному разрушению (рисунок 4).

.

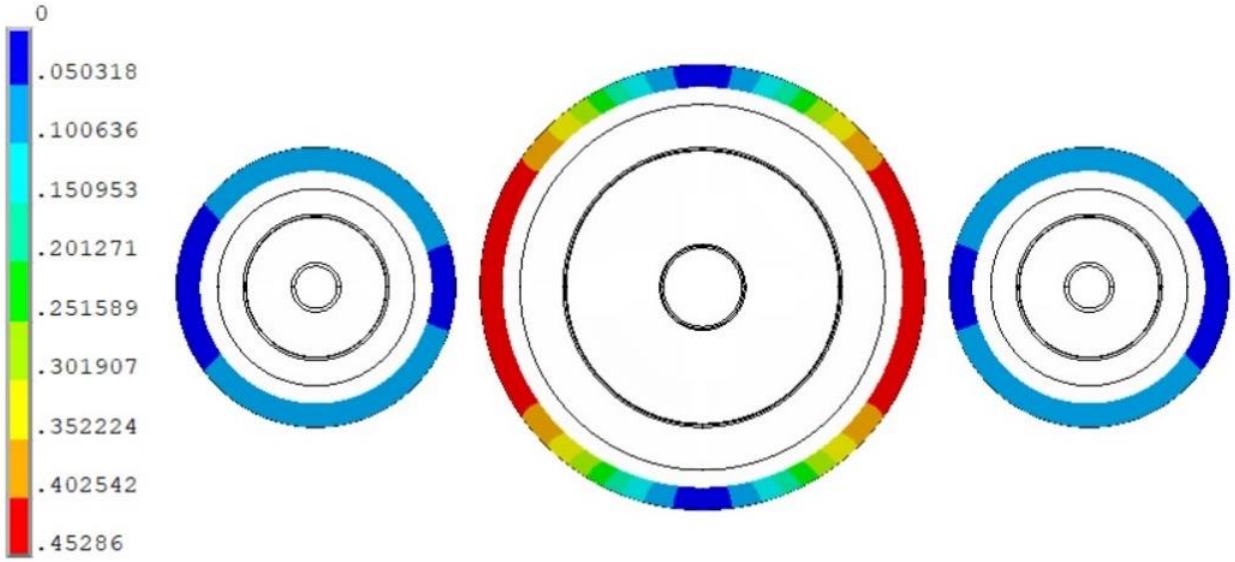


Рисунок 5. Поле смещений рабочих цилиндров пресса Škoda относительно архитрава

При длительной работе из-за протекания процессов фреттинг-износа происходит изменение условий контактного взаимодействия базовых деталей, что, в свою очередь, приводит к возрастанию напряжений в галтели опорного фланца цилиндра до опасных значений. Для оценки указанного явления был проведён расчёт напряжённого состояния цилиндров прессов с учётом протекания процессов износа в программном комплексе ANSYS.

Анализ распределения поля взаимных смещений контактирующих поверхностей узла «архитрав-рабочий цилиндр» пресса Škoda показал, что величина проскальзывания между фланцем центрального цилиндра и опорной поверхностью архитрава достигает значения Δ = 0,45 мм. Причём зона, в которой возникают подобного рода проскальзывания, составляет около 50% всей опорной поверхности контакта (рисунок 5)

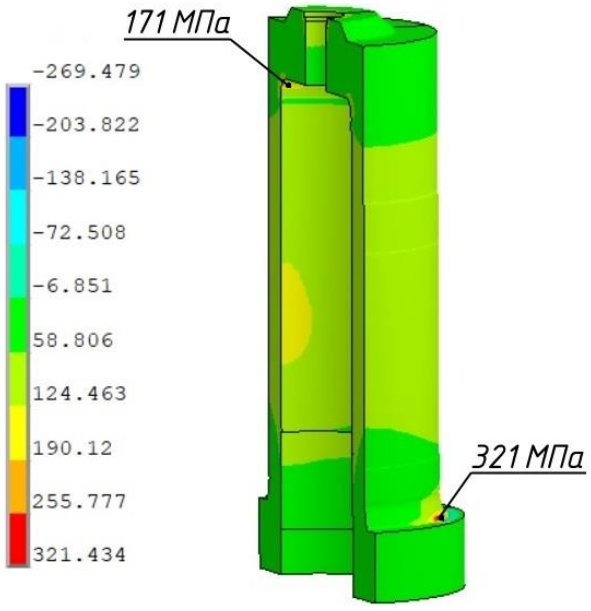


Рисунок 6. Напряжённое состояние центрального цилиндра пресса Škoda с учётом влияния процесса фреттинг-износа, главные напряжения σ_1, *МПа*

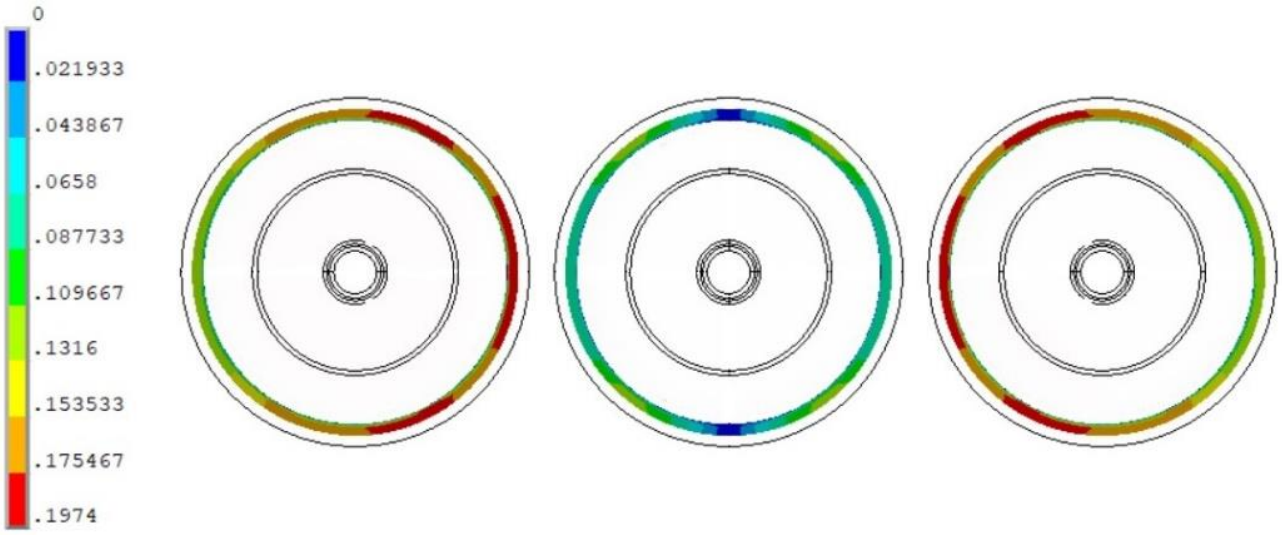


Рисунок 7. Поле смещений рабочих цилиндров пресса УЗТМ относительно архитрава

Для качественного анализа влияния фреттинг-износа был проведён расчёт напряжённого состояния цилиндра с учётом износа указанной зоны, путём удаления её из области контакта. Проведённый расчёт показал, что в результате уменьшения площади контакта, напряжения в радиусной галтели фланца цилиндра выросли более чем в 2 раза: с σ_1 = 153 МПа при проектном режиме эксплуатации до σ_1 = 321 МПа в условиях протекания процессов износа (рисунок 6). Полученное значение превышает предел усталостной прочности материала цилиндра, который составляет σ_0 = 250 МПа.

Конечно-элементный расчёт напряжённого состояния конструкции пресса УЗТМ 60 МН показал, что благоприятные условия для протекания процессов фреттинг-износа реализуются для узла «архитрав-боковой цилиндр». Для большей части опорной поверхности фланца цилиндра (около 70% от всей площади контакта) значения проскальзывания находятся в диапазоне 0,15-0,20 мм (рисунок 7).

Статический расчёт конструкции, учитывающий уменьшение площади контактной поверхности в процессе износа, показал, что напряжения в зоне радиусной галтели фланца возрастают в 2,8 раза: с 127 МПа при проектном режиме, до 356 МПа в условиях неполного контакта (рисунок 8).

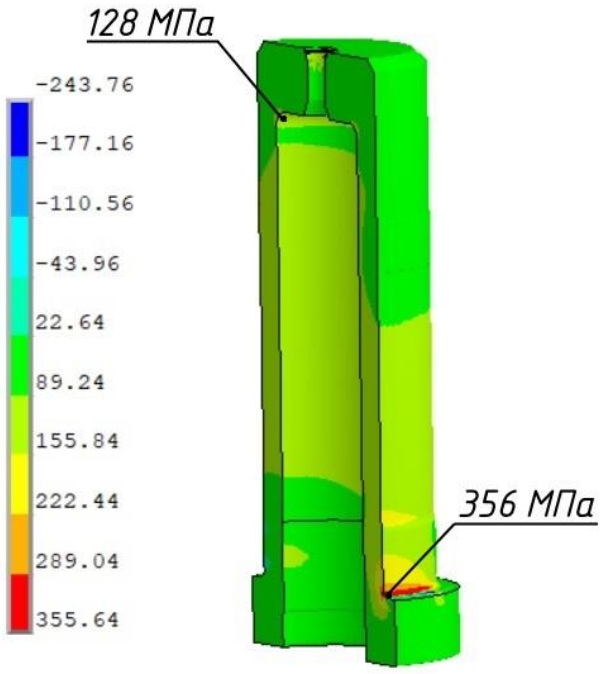


Рисунок 8. Напряжённое состояние бокового цилиндра пресса УЗТМ с учётом влияния процесса фреттинг-износа, главные напряжения σ_1, *МПа*

Анализ проделанных расчётов показал, что процесс фреттинг-износа представляет серьёзную опасность для рабочих цилиндров мощных гидравлических прессов, т.к. уменьшение зоны контакта приводит к значительному увеличению действующих напряжений.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод, что в конструкциях рассмотренных прессов узел

«архитрав-рабочий цилиндр» имеет предрасположенность к протеканию процессов интенсивного фреттинг-износа. Принимая во внимание тот факт, что гидравлические прессы, построенных по традиционной схеме, имеет схожую конструкцию, можно сделать вывод, что данный узел подвержен влиянию процессов фреттинг-износа, приводящих к зарождению усталостных трещин в зоне радиусного скругления опорных фланцев рабочих цилиндров.

Заключение

В заключении следует отметить, что для обеспечения долговечности крупных металлургических машин, на стадии проектирования следует проводить предварительный расчёт взаимного проскальзывания сопрягаемых деталей. Исходя из полученных результатов, проводить анализ надёжности конструкции по предложенной методике и, при необходимости, вносить конструктивные изменения, которые бы обеспечили сведение взаимных проскальзываний к минимуму.

Особое внимание стоит уделить зоне радиусного скругления опорного фланца цилиндра. Добиться увеличения коэффициента запаса прочности данной зоны можно путём локальной пластической деформации, например, упрочняющей накаткой. Также одним из способов увеличения долговечности является внесение изменения в конструкцию цилиндра – увеличение радиуса галтели [4].

Для предупреждения внезапных отказов металлургического оборудования, находящегося в эксплуатации, рекомендуется проводить периодическую экспертизу фактического состояния его базовых деталей. При выявлении факта износа контактных поверхностей сопряжённых деталей проводить восстановительно-ремонтные работы для обеспечения взаимного прилегания по всему периметру.

Библиографический список

1. Когаев В. П., Дроздов Ю. Н. Прочность и износостойкость деталей машин: Учебное пособие. – Высшая школа, 1991.
2. Петухов А. Н. Фреттинг и фреттинг-усталость конструкционных материалов и деталей //М.: ФГУП" Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова. – 2014.
3. Розанов Б. В. Гидравлические прессы. М.: Машгиз, 1959.
4. Коркин Н. П. и др. Анализ отказов, предупреждение разрушений и восстановление базовых деталей мощных гидравлических прессов //Технология легких сплавов. – 2006. – №. 1-2. – С. 181-189.

Information about the paper in English

N.S. Kravtsov, I.V. Timokhin
LLC Reliability of Heavy Machinery
Moscow, Russia
E-mail: info@nadezhnost.com

Receipt date: October 01, 2022

EFFECT OF FRETTING WEAR ON THE STRESS AND STRAIN STATE OF CYLINDERS OF HEAVY HYDRAULIC PRESSES

Abstract

The paper describes a problem of a significant increase in existing stresses in radial fillets of working cylinders of forging hydraulic presses as a result of fretting wear. The authors suggest a procedure for carrying out the finite element analysis of the stress and strain state of operating cylinders, factoring into a redistribution of an area of the contact surface between the working cylinder and the crown. The resulting calculations are given by the authors. The paper contains process solutions aimed at reducing the existing stresses.

Keywords: fretting wear, finite element analysis, fatigue strength, wear of operating cylinders of heavy hydraulic presses.