

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ УЗЛОВ ТРЕНИЯ НА ПРИРАБАТЫВАЕМОСТЬ

Волченков А.В.

Муromский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Муром, Россия (602264, Муром, ул. Орловская, д. 23), e-mail: volchenkov@yahoo.com

Внешние воздействия при обкатке механизма обеспечивают условия эффективной приработки в том случае, если работа узла трения проходит в режиме устойчивого смешанного трения. Область эффективной приработки находится в зоне критических значений параметра Зоммерфельда. Эта зона ограничена с одной стороны, достижением в начале каждой ступени нагрузки режима смешанной смазки без перехода к граничному трению, с другой – областью жидкостной смазки с полным разделением поверхностей гидродинамическим давлением. То есть, реализуется такое изменение внешних параметров, при котором узлам трения обеспечиваются эффективные условия контактирования поверхностей - при постоянной относительной доле разрушения разделяющего слоя смазки. Проведение приработки с учетом специфических особенностей триботехнических свойств материалов позволяет достичь максимальной нагрузочной способности за минимальное время при минимальном износе. Таким образом, для проведения эффективной приработки материалов в лабораторных условиях по мере роста нагрузочного воздействия необходимо выполнение следующих критериальных условий: убывание ступеней роста внешнего нагрузочного воздействия, увеличение продолжительности приработки на каждой ступени, сохранение необходимой интенсивности роста нагрузки при поддержании постоянной относительной части запаса нагрузочной способности прирабатываемых материалов.

Ключевые слова: режим приработки, эффективная приработка, трибосопряжение, антифрикционные материалы, параметр Зоммерфельда.

STUDY OF ANTI-FRICTION MATERIALS OF FRICTION UNITS ON THE RUNNING

Volchenkov A.V.

Murom Institute (branch) Federal state budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nickolay Grigoryevich Stoletovs" (602264, Murom, Orlovskaya, 23), e-mail: volchenkov@yahoo.com

External influences when they were run mechanism provides the effective break-in if the work takes place in the assembly of friction mode of sustainable mixed friction. Effective area is in the running area of critical parameter values Sommerfeld. This area is bounded on the one hand, the achievement of the beginning of each step the mixed lubrication regime load without switching to a boundary friction, on the other - the fluid lubrication region with complete separation of the surfaces with hydrodynamic pressure. That is, such a change is implemented outside the parameters at which the friction units are provided with effective conditions of contacting surfaces - at constant relative share of the destruction of the separating layer of grease. Carrying extra earnings to the circumstances of the tribological properties of materials to achieve maximum load capacity in minimum time with minimum wear. Thus, for an effective running-materials in the laboratory with increasing load impact criterion requires the following conditions: highest first stages of growth of the external load impacts, longer break-in at each step, the preservation of the necessary intensity of load growth while maintaining a constant relative load capacity of the stock burnished materials.

Keywords: the running mode, the effective break-in period, tribounit, antifricition materials, parameter of Sommerfeld

По мере увеличения удельной мощности новых механизмов и машин все более актуальной становится проблема рационального выбора материалов узлов трения, лимитирующих надежность и долговечность как самих узлов так и машины в целом. Проблема усугубляется необоснованным выбором режимов обкаточного нагружения, приводящих к нерацио-

нальному расходованию энергоресурсов и чрезмерному прирабочному износу узлов трения, что также приводит к сокращению общего ресурса машины.

Цель исследования. Изучение особенностей антифрикционных материалов узлов трения машин на прирабатываемость в зависимости от характера изменения внешнего нагрузочного воздействия.

Материал и методы исследования. Исследованные материалы баббит БК2 ГОСТ 1209-90, бронза БрС30 ГОСТ 493-79, алюминиево-оловянный сплав АО20-1 ГОСТ 14113-78, антифрикционный чугун СЧХН ГОСТ 1585-85 представляют собой многокомпонентные системы. Исходный структурный состав материалов определяет значение критических параметров внешнего воздействия. Однако известно, что при приработке более существенную роль играет изменение структуры активного слоя [1].

Внешние воздействия при обкатке механизма обеспечивают условия эффективной приработки в том случае, если работа узла трения проходит в режиме устойчивого смешанного трения. Область эффективной приработки находится в зоне критических значений параметра Зоммерфельда. Эта зона ограничена с одной стороны, достижением в начале каждой ступени нагрузки режима смешанной смазки без перехода к граничному трению, с другой – областью жидкостной смазки с полным разделением поверхностей гидродинамическим давлением. То есть, реализуется такое изменение внешних параметров, при котором узлам трения обеспечиваются эффективные условия контактирования поверхностей - при постоянной относительной доле разрушения разделяющего слоя смазки.

Предпочтительным механизмом адаптации антифрикционных сплавов является процесс образования легко подвижных пленок мягкой фазы. Их свойства определяются характером внешнего воздействия и, в свою очередь, определяют процессы, происходящие в контакте. Изменение параметров внешнего воздействия вызывает динамические изменения свойств таких пленок и соответствующий механизм адаптации. В условиях проведенных нами испытаний определяющим параметром внешнего воздействия была нормальная нагрузка и в меньшей степени скорость скольжения и температура. Характер изменения нагрузки позволяет выявить существенные различия в поведении одноименных материалов, прирабатываемых по разным режимам.

При низком уровне скорости роста нагрузки на начальных ступенях приработки образующийся поверхностный слой в силу малой выжимаемости для гетерогенных сплавов АО20-1, БРС30, СЧХН и малого пластического течения для баббита БК2 имеет недостаточную толщину, что усугубляется несоответствием микрогеометрии поверхностей в начале приработки. Для бронзы БрС30 и чугуна СЧХН, склонных к значительному фрикционному упрочнению, что крайне нежелательно. В определенной степени это

относится и к сплаву АО20-1. В силу этого по мере дальнейшего роста нагрузки процесс выдавливания мягкой структурной составляющей еще более затрудняется. Рост контурной площади осуществляется главным образом за счет механического износа поверхностей. Для баббита приработка по таким режимам вызывает значительный фрикционный разогрев с распространением тепла вглубь материала, возникновением условий глубинного пластического течения.

Процесс интенсивного роста доли мягкой фазы на поверхности трения с самого начала приработки по режиму с высокой скоростью нагружения способствует быстрому росту площади контакта, резкому снижению давлений, локализации термического воздействия в граничном слое. Выполняющая роль твердой смазки в начале приработки, мягкая структурная составляющая препятствует значительному упрочнению твердой матрицы гетерогенных сплавов или пластическому глубинному течению баббита.

Поддержание критического уровня значений параметров внешнего воздействия на протяжении всей приработки способствует оптимальному сочетанию свойств разупрочненного поверхностного и упрочненного подповерхностного слоев, что увеличивает эффект положительного градиента прочности.

Результаты исследования и их обсуждение. В результате экспериментальных исследований выявлено, что при приработке сплавов БК2, АО20-1, БрС30 и СЧХН существует такой диапазон изменения внешних параметров (нагрузка, скорость скольжения, температура), в котором происходит наиболее интенсивное формирование вторичных структур, обладающих особыми свойствами. Для сплавов АО20-1 и БК2 приработка с убывающими степенями роста силы трения позволила получить более высокую предельную нагрузочную способность за более короткое время. Серый чугун СЧХН и бронза БрС30 за большее время были приработаны до наибольшей предельной нагрузки. Достигнутые значения нагрузочной способности для одних и тех же материалов, приработанных по экстенсивным режимам, значительно ниже. При приработке с постоянными степенями роста силы трения сплавы БрС30 и СЧХН достигли минимального значения предельной нагрузочной способности за максимальное время. При возрастающих степенях роста силы трения – промежуточные значения. Для сплавов АО20-1 и БК2 наблюдалась обратная картина.

Скорость роста нагрузочной способности при приработке по эффективному режиму максимальна для всех исследованных сплавов. Следует отметить ее убывающий характер для всех режимов. Это объясняется тем, что на каждой ступени приработка материалов осуществлялась до стабилизации текущих трибопараметров, то есть до полного ее завершения на данной нагрузке. Таким образом, для всех материалов результаты, полученные при приработке по такому режиму, позволяют сделать вывод об образовании на

каждой ступени нагрузочного воздействия поверхностных структур [3], имеющих более высокое значение предельной нагрузочной способности, достигнутое за более короткое время при наименьшем износе. Переход в состояние с меньшей диссипацией энергии трибосистемы в конце каждой ступени приработки происходит вследствие неустойчивости состояния в начале ступени, возникающего при текущих (критических) параметрах внешнего воздействия [2].

Несмотря на существенные отличия характеристик образующихся поверхностных слоев, формирующихся при различных условиях приработки, защитные структуры обладают целым рядом общих свойств. Это: локализация воздействий в поверхностном слое, экранирующем нижележащий материал от механического, термического и химического воздействия; меньшая интенсивность изнашивания поверхностей, что обуславливается их более высоким запасом пластичности и предопределяет усталостный механизм износа, в отличие от абразивного, характерного для поверхностных слоев; имеет место уменьшение интенсивности изнашивания с ростом внешнего воздействия на этих режимах.

Формирующиеся при эффективной приработке поверхностные структуры обладают более высокой термической устойчивостью. При более высокой температуре контакта в начале приработки они обладают более высокой износостойкостью. Поддержание динамического равновесия между процессами разрушения и восстановления поверхностной пленки предопределяет более низкую температуру контакта и снижение коэффициента трения по мере роста внешнего воздействия. По износостойкости наиболее высокие характеристики имеет СЧХН, а из мягких сплавов – АО20-1, который хотя имеет величину накопленного износа за время испытаний такую же, как и сплав БрС30, но достигаемая предельная нагрузочная способность при приработке по всем режимам выше, меньше также и время приработки, то есть для сплава АО20-1 «цена» приработки ниже.

Температура является одним из основных параметров, определяющих состояние образующегося активного слоя при приработке. Существенно не только значение температуры поверхности трения, но и ее градиент по глубине. Этот параметр позволяет выявить взаимосвязь между внешним воздействием и имманентными характеристиками трибосистемы. Характер изменения температуры в контакте, а также ее абсолютные значения свидетельствуют, что эффективная приработка для всех испытанных материалов является наименее теплонапряженной. Приработка происходит с меньшей скоростью роста температуры и завершается при более низких ее значениях.

Образованные поверхностные структуры при эффективной приработке обуславливают лучшую совместимость трибосистемы: имея более высокую температуру в контакте в начале приработки, сопряжения имеют минимальную интенсивность изнашивания. Свойства

образующегося активного слоя определяют преобладающий механизм изнашивания – микроконтактное схватывание, вызванное интенсивным пластическим деформированием и фрикционным разогревом при приработке по экстенсивным режимам и усталостный характер износа для эффективного режима. Условием деформирования устойчивого поверхностного слоя является достаточно высокая скорость отвода тепла из зоны трения, которая при прочих равных условиях определяется градиентом температур. Известно, что с увеличением скорости скольжения растет температура вспышки на единичном пятне контакта, увеличивается плотность пятен контакта, нагретых до высоких температур, проявляется суперпозиция температурных полей. При экстенсивной приработке этот процесс носит наиболее неблагоприятный характер. С увеличением нормальной нагрузки и скорости скольжения степень фрикционного разогрева увеличивается, растет локальная температура. В этот период температура в зоне контакта увеличивается в 2 – 3 раза, в зависимости от исследуемого материала.

При эффективной приработке материалов температура после нагрузки, приблизительно равной половине нагрузки заедания $1/2P_z$ практически стабилизируется. Сравнение характера изменения температур образцов при приработке по различным режимам свидетельствует о том, что в последнем случае температура контакта достаточна для поддержания соответствующих деформационных условий в контакте. При этом уровень напряжений сопоставим с напряжением пластической деформации активного слоя. Имеет место ускоренный переход пластического контакта к упругому и соответствующий ему механизм усталостного износа. Более низкая объемная температура на заключительных этапах приработки материалов, обуславливаемая соответствующим изменением внешних параметров, смещает изменение механизма изнашивания в сторону более высоких значений нагрузки и скорости скольжения, поскольку оптимальный температурный режим, лимитирующий формирование необходимого активного слоя, достигается при более высоком уровне фрикционного разогрева [4,5].

Характер изменения нормальной нагрузки приводит к изменению температурных условий в зоне контакта и, как следствие, к смещению начала области формирования вторичных структур, обладающих особыми свойствами. Повышение начальной температуры приработки расширяет область высокой износостойкости исследованных материалов, связанную с формированием пластичных вторичных структур на поверхности трения в сторону более высоких значений внешнего воздействия.

Наиболее низкую общую теплонапряженность приработки из исследованных сплавов имеет баббит БК-2, наивысшую – сплав БрС30 и чугун СЧХН, имеющие также и самую высокую скорость роста температуры по мере роста внешнего воздействия.

Сравнение полученных значений нагрузок перехода к жидкостному режиму трения и нагрузок заедания свидетельствует о более широком диапазоне работоспособности образующихся поверхностных структур для исследованных материалов, приработанных по режиму с высокой скоростью нагружения. Возможность перехода к жидкостному режиму трения при более высокой температуре и при более высоком значении текущей нагрузки обусловлено более высокой степенью совместимости образующихся вторичных структур. Безопасный диапазон догружения при текущем значении нагрузки приработки можно оценить, сравнивая изменение нагрузки заедания. Этот запас монотонно убывает с ростом нагрузки приработки. Однако и сам запас, и достигаемая предельная нагрузочная способность сопряжения определяются режимом приработки. С этой точки зрения режим с убывающими ступенями роста начальной силы трения является наиболее эффективным. Сопоставление полученных результатов позволяет выявить, что баббит БК-2 имеет по данному критерию наиболее высокие относительные значения из исследованных материалов в данных условиях испытаний. За ним следует сплав АО20-1, бронза БрС30 и затем чугун СЧХН.

Таким образом, формирование в процессе приработки слоя вторичных структур, являющееся общим свойством материалов различных типов, при поддержании критического уровня внешних воздействий, обуславливает структурные превращения, приводящие к образованию поверхностного слоя, обладающего особыми свойствами.

Анализ полученных результатов позволяет выявить значительные различия в прохождении приработочных процессов при различном характере изменения внешнего воздействия. Для методик с возрастающими и постоянными ступенями роста силы трения ΔF характерно ужесточение режимов трения по мере возрастания параметров внешнего воздействия – нормальной нагрузки и скорости скольжения. При эффективном прохождении приработки согласно известной диаграмме Герси с убыванием параметра Зоммерфельда коэффициент трения должен убывать. При приработке с убывающим размером ΔF имеет место монотонное снижение как начального f_n (в момент окончания нагружения), так и стабильного f_n (в конце ступени) коэффициентов трения.

Область, ограниченная значениями начального и стабильного коэффициентов трения для условий эффективной приработки имеет наименьшую величину, что свидетельствует о более интенсивном протекании приработочных процессов в этом случае, при этом общая «направленность» области приработки соответствует изменению переходного коэффициента трения к жидкостному режиму смазки, что свидетельствует об детерминированности приработочных процессов в сторону облегчения трения, отсутствии ужесточения режима смазки на протяжении всей приработки. Завершению приработки

материалов по режиму с убывающими ступенями начальной силы трения соответствует совпадению величин начального и стабильного коэффициентов трения, что свидетельствует о полном завершении приработочных процессов в данном сопряжении. Подобное сравнение областей приработки позволяет выявить основные отличия прохождения эффективной приработки: об ускоренной оптимизации поверхностей в процессе приработки по методике с убывающими размерами ΔF свидетельствует более быстрое возрастание площади контакта, соответственно возможность более быстрого возрастания внешних нагрузочных параметров при более устойчивом режиме смазки между прирабатываемыми поверхностями. Имеет место наиболее сильный сдвиг параметра Зоммерфельда, то есть расширение области безопасной работы в режиме жидкостного трения; сопряжение имеет самый низкий коэффициент трения.

В результате проведения испытаний получен режим изменения нагрузки по мере приработки. Для режима с убывающим размером ΔF – это монотонное убывание ступеней роста по мере приработочного нагружения. Два остальных режима имеют примерно постоянную скорость роста нагрузки приработки. Наиболее низкая «цена» достижения предельной нагрузочной способности имеет место при приработке с убывающим размером ΔF для всех исследованных материалов.

Аналогичные результаты получены для всех исследованных материалов в данных условиях испытаний. При проведении приработки в режиме устойчивой смешанной смазки в начале каждой ступени для каждого исследованного материала достигается наивысшая предельная нагрузочная способность P_z за наиболее короткое время при минимальном износе и минимальном фрикционном разогреве.

Проведение приработки с учетом специфических особенностей триботехнических свойств материалов позволяет достичь максимальной нагрузочной способности за минимальное время при минимальном износе. Таким образом, для проведения эффективной приработки материалов в лабораторных условиях по мере роста нагрузочного воздействия необходимо выполнение следующих критериальных условий:

1. Убывание ступеней роста внешнего нагрузочного воздействия.
2. Увеличение продолжительности приработки на каждой ступени.
3. Сохранение необходимой интенсивности роста нагрузки при поддержании постоянной относительной части запаса нагрузочной способности прирабатываемых материалов.

Список литературы

1. Буше Н.А., Алексеев Н.М., Трушин В.В., Маркова Т.Ф. Механические процессы формирования вторичных структур подшипниковых сплавов.- Трение и износ, 1981, т.2, № 3 с.212-220.
2. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. - М.: Мир. - 1979. - 512 с.
3. Основы трибологии. / Под ред. А.В. Чичинадзе. - М.: Центр “Наука и техника”. - 1995. - с. 481-501
4. Волченков, А.В., Буше Н.А. Улучшенные режимы обкатки дизелей / А.В. Волченков, Н.А. Буше // Железнодорожный транспорт. – 1987. - №7. – с. 53 - 57
5. Волченков А.В. К вопросу интерпретации приработки при трении Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. VI Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 2014 г.– Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2014.– 695 с.: ил.

Рецензенты:

Шпаков П.С., д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматизированного проектирования машин и технологических процессов Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром.

Соловьёв Д.Л., д.т.н., профессор кафедры автоматизированного проектирования машин и технологических процессов Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром.