

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ БАЛАНСИРОВКИ РОТОРОВ

Бутенко В.И., Костюков А.В. (кафедра механики ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Одной из особенностей современного научно-технического прогресса является систематическое увеличение скоростей вращения роторов машин, приводов и механизмов. В связи с этим актуальным становится вопрос об организации и проведении балансировки роторного оборудования, так как вибрации, возникающие при работе машин и механизмов, создают дополнительные нагрузки на детали, увеличивают их износ, снижают срок службы изделий, оказывают неблагоприятное физиологическое воздействие на организм человека. Поэтому в процессе эксплуатации машин и механизмов с вращающимися деталями необходимо постоянно осуществлять контроль и настройку балансировочных частей.

Выполнение балансировки и уравнивания роторов обычно проводится путём применения метода одновременного измерения амплитуд и фаз. При этом решение задачи уравнивания ротора осуществляется аналитическим или графическим методами [1], которые позволяют определить массу компенсационного груза. Известно [2, 3], что амплитуда вибрации каждого подшипника двухопорного ротора (рис. 1) при условии линейности системы может быть представлена в виде следующей векторной суммы:

$$\bar{A}_0 = \bar{A}_I + \bar{A}_{II} + \bar{A}_{III} + \dots + \bar{A}_N, \quad (1)$$

где \bar{A}_I , \bar{A}_{II} , \bar{A}_{III} , \bar{A}_N - компоненты амплитуды вибрации, полученные от воздействия на данный подшипник сил, вызванных неуравновешенными массами Q_I , Q_{II} , Q_{III} и т.д., расположенными на роторе.

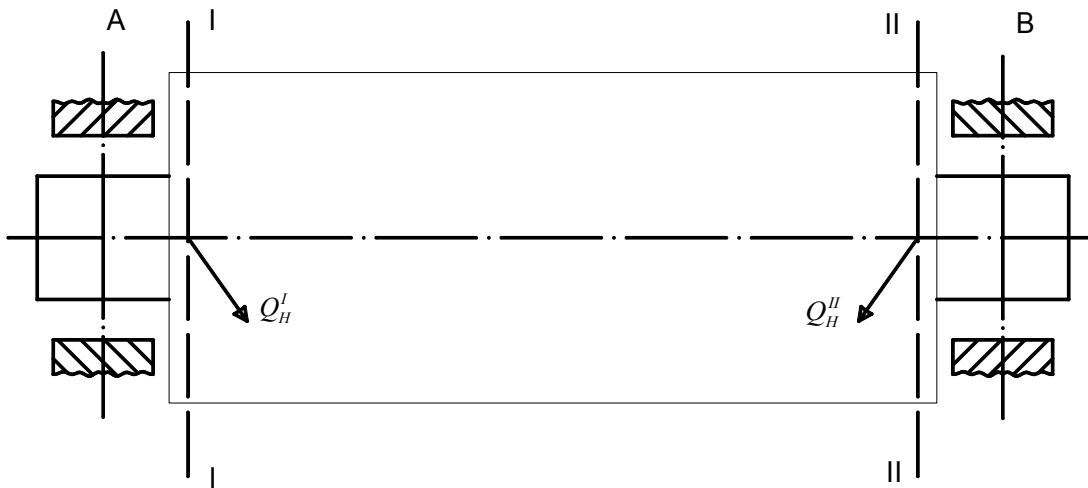


Рис.1. Схема двухопорного ротора и его уравнивания в двух плоскостях

Неуравновешенность двухопорного ротора приводится к двум массам Q_H^I и Q_H^{II} , расположенным в плоскостях приведения I-I и II-II (рис. 1). В этом случае амплитуды вибраций опорных подшипников A и B могут быть представлены в виде [2]:

$$\left. \begin{aligned} \bar{A}_0 &= \bar{A}_I + \bar{A}_{II} \\ \bar{B}_0 &= \bar{B}_I + \bar{B}_{II} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где \bar{A}_I и \bar{B}_I – компоненты амплитуды вибрации подшипников от воздействия неуравновешенной массы Q_H^I ; \bar{A}_{II} и \bar{B}_{II} – компоненты амплитуды вибрации подшипников от воздействия неуравновешенной массы Q_H^I .

Если в плоскости I-I добавить пробный груз P_1 , то амплитуда вибрации подшипника A в результате совместного действия неуравновешенных Q_H^I , Q_H^{II} и пробной P_1 масс станет равной A_{01} , при этом вектор вибрации, соответствующий пробному грузу P_1 будет:

$$\bar{A}_{P1} = \bar{A}_{01} - \bar{A}_0. \quad (3)$$

Вследствие линейности системы можно написать:

$$\frac{\bar{A}_I}{\bar{A}_{P1}} = \frac{Q_H^I}{P_1}; \quad \bar{A}_I = \left(\frac{Q_H^I}{P_1} \right) \times \bar{A}_{P1}. \quad (4)$$

Аналогично можно выразить и остальные члены уравнений:

$$\begin{aligned} \bar{A}_{II} &= \left(\frac{Q_H^{II}}{P_2} \right) \times \bar{A}_{P2}; \\ \bar{B}_I &= \left(\frac{Q_H^I}{P_1} \right) \times \bar{B}_{P1}; \quad \bar{B}_{II} = \left(\frac{Q_H^{II}}{P_2} \right) \times \bar{B}_{P2}. \end{aligned} \quad (5)$$

В результате получаем систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \bar{A}_0 &= \left(\frac{Q_H^I}{P_1} \right) \times \bar{A}_{P1} + \left(\frac{Q_H^{II}}{P_2} \right) \times \bar{A}_{P2}; \\ \bar{B}_I &= \left(\frac{Q_H^I}{P_1} \right) \times \bar{B}_{P1} + \left(\frac{Q_H^{II}}{P_2} \right) \times \bar{B}_{P2}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Решая эту систему уравнений, получим;

$$\begin{aligned} \left(\frac{Q_H^{II}}{P_2} \right) &= \frac{\bar{B}_0 \times \bar{A}_{01} - \bar{A}_0 \times \bar{B}_{01}}{\bar{\Delta}_2}, \\ \bar{\Delta}_2 &= \bar{A}_{01} \times \bar{B}_{02} - \bar{B}_{01} \times \bar{A}_{02}. \end{aligned} \quad (7)$$

Полученные выражения являются общей формой решения задачи уравнивания двухопорного ротора при двухплоскостной балансировке [3]. Значения $\frac{Q_H^I}{P_1}$ и $\frac{Q_H^{II}}{P_2}$

определяют угол сдвига фазы между искомым положением компенсационного груза и местом закрепления пробного груза, а также коэффициенты, на которые следует умножить массы компенсационных грузов. Анализ полученных формул показывает, что в линейной системе любая неуравновешенность двухопорного ротора вызывает вибрации обоих подшипников. Амплитуды этих вибраций находятся между собой в определенном, постоянном соотношении, как по значению, так и по взаимному расположению, не зависящим от величины самого груза. Так, например, векторы амплитуд вибрации опор \bar{A}_{02} и \bar{B}_{02} , а также \bar{A}_{03} и \bar{B}_{03} при компенсации динамической неуравновешенности, должны быть противофазны, вследствие чего уравнивающие грузы для компенсации динамических дисбалансов подсчитывают без предварительного разложения векторов на симметричные и кососимметричные составляющие [1,3]:

$$\bar{Q}_{KC} = -\frac{\bar{A}_{02}}{\bar{A}_{03} - \bar{A}_{02}} \times \bar{P}_{KC} = \frac{\bar{B}_{02}}{\bar{B}_{03} - \bar{B}_{02}} \times \bar{P}_{KC}. \quad (8)$$

Если $\bar{A}_{02} \neq \bar{B}_{02}$ и $\bar{A}_{03} \neq \bar{B}_{03}$, то берут их средние значения (по величине и углу). В этом случае, если после разложения векторов начальных вибраций \bar{A}_0 и \bar{B}_0 в соответствии с формулами (2), преобладающими являются кососимметричные составляющие, тогда на роторе сразу устанавливают пару кососимметричных грузов. При этом, после пуска с грузами $2 \times \bar{P}_{KC}$, определяется балансировочная чувствительность ротора к кососимметричным грузам:

$$a_{KC} = \frac{\bar{A}_1^{KC}}{\bar{P}_{KC}}, \quad (9)$$

где $\bar{A}_1^{KC} = \bar{A}_{01}^{KC} - \bar{A}_0^{KC}$ и $\bar{B}_1^{KC} = -\bar{A}_1^{KC} = \bar{B}_{01}^{KC} - \bar{B}_0^{KC}$ - искомая пара уравнивающих кососимметричных грузов:

$$\bar{Q}_{KC} = -\frac{\bar{A}_0^{KC}}{a_{KC}} = -\frac{\bar{A}_0 - \bar{B}_0}{\bar{A}_1 - \bar{B}_1} \times \bar{P}_{KC}. \quad (10)$$

При уравнивании изложенным выше способом важно, чтобы устанавливаемая система грузов (пробных и уравнивающих) давала строго симметричные или строго кососимметричные реакции, т.е. грузы должны находиться в одной плоскости ротора. В результате будет обеспечена минимальная вибрация роторного оборудования.

Список литературы: 1. Сидоров В.А., Сотников А.Л., Цыба С.А. Балансировка роторного оборудования // Вибрация машин. Измерение, снижение, защита. – 2007, №2(9). – С. 45-51. 2. Справочник по балансировке // Под общей редакцией М.Е. Левита. – М.: Машиностроение, 1992. – 464с. 3. Основы балансировочной техники. Том 1, 2. / Под редакцией В.А. Щепетильникова. – М.: Машиностроение, 1975.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ. РОЛЬ МАТЕРИАЛОВ В СОВРЕМЕННОМ АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ

Галкин Н.В., Рыбинская Т.А. (кафедра Механики, ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Автомобилестроение является одним из крупнейших потребителей конструкционных материалов в мире. При этом рост требований к материальным ресурсам формирует конкуренцию между производителями различных видов материалов, прогресс в разработки их новых видов и рост качества.

Требования к конструкционным материалам являются составным элементом общих требований к современному автомобилю. Из множества факторов, определяющих выбор материала, основными являются: масса автомобиля, технологичность и надежность материала. Так как конструктивно-технологические моменты использования различных материалов в настоящее время определены, то ведущую роль играет ценовой фактор.

При выборе материалов в настоящее время важнейшим условием является рост экономичности производства при не снижении уровня потребительского качества автомобиля. Данная проблема значительно обострилась в последнее десятилетие, так как

лидерство по инновациям ведущих западных компаний не обеспечивает соответствующее лидерство на автомобильном рынке. Наблюдается рост конкуренции со стороны новых производителей, прежде всего, из стран Юго-Восточной Азии.

Процесс модернизации автомобилестроения принял глобальный характер. Об этом свидетельствуют многочисленные государственные и неправительственные программы инновационного развития.

Тенденции спроса на материалы в автомобилестроении

При анализе изменения доли отдельных видов материалов в структуре потребления автомобилестроения следует учитывать, что группа, определяемая по виду материала, включает разнообразные виды продукции, существенно различающиеся между собой. Так, за последние 20 лет номенклатура, условно определяемая как готовый прокат, существенно изменилась. В настоящее время основную роль в данной группе играет оцинкованная сталь и металлы с покрытиями.

Выделим только основные направления перспективного развития систем материалопотребления в автомобилестроении. Несмотря на рост использования в автомобилестроении новых конструкционных материалов, ведущую роль в производстве продолжает играть стальной прокат. В России роль черных металлов несколько выше, чем в других странах мира. Так, на автомобиль класса «Лада» приходится 75% готового проката, метизов и стальных труб, а 25% составляют чугун, цветные металлы, пластмасса, резина, стекло и прочие материалы. Уступая пластмассам и легким металлам по удельному весу изделий, стальные изделия обеспечивают более высокую прочность и соответственно надежность и безопасность.

Анализ изменения потребления стальной металлопродукции показывает, что определяющую роль при выборе материала играют два диаметрально противоположенных критерия. С одной стороны, требование по снижению массы изделий предполагает использование высокопрочных материалов, с другой рост требований по технологичности производства предполагает использование высокопластичных материалов. В соответствии с требованиями потребителей в металлургии можно отметить три основные группы изменений:

1. *Требование по снижению прочности материала (повышению пластичности) для повышения технологичности обработки.* Использование сверхпластичных сталей обеспечивает высокую технологичность штамповки деталей и нанесение на нее специальных покрытий.

2. *Требование по повышению прочности материалов для уменьшения массы автомобиля при сохранении уровня надежности конструкций.* Использование микролегированных сталей вместо традиционных углеродистых определило основной эффект по снижению массы автомобиля в 1970-1980-х годах (примерно на 20-25%). Источником эффекта стало применение проката уменьшенной толщины, качество листа (минусовые допуски).

3. Успешное сочетание свойств различных материалов в едином продукте является *будущим* совершенствования системы обеспечения потребностей автомобилестроения ресурсами. Как потенциально важное для эффективного использования металлов в автомобилестроении оценивается возможность использования композиционных заготовок, сваренных из сталей различных уровней прочности и толщины (tailored blanks), а также применение биметаллов. В настоящее время производится более 50 видов биметаллов. Использование биметаллов позволяет, во-первых, существенно снизить расход дорогостоящих цветных металлов (никеля, меди, молибдена, титана, бронзы и т. д.) и, во-вторых, использовать их главное преимущество - возможность сочетания в одном

материале различных свойств. Толщина лакирующего слоя обычно составляет 10-20% общей толщины биметаллического листа. Наиболее широкое применение в автомобилестроении получила оцинкованная сталь, ставшая в настоящее время в мире базовым материалом.

4. Цветные металлы обеспечивают три важнейших направления улучшения качества автомобилей - коррозионную стойкость, легкость конструкций и эстетичность.

4.1. *Из всех цветных металлов, применяемых в автомобилестроении, наиболее быстро растет потребление цинка*, прежде всего, за счет расширения использования оцинкованного листа. В среднем на один отечественный автомобиль приходится 10,2 кг цинка, в том числе 5 кг литых деталей, 3 кг цинковых покрытий, 1,2 кг латунных изделий и 1 кг шины.

4.2. *Из цветных металлов наибольшее применение в автомобилестроении получил алюминий*. Если отставание по использованию цинка в отечественном автомобилестроении относится к 1990-м годам, то по алюминию потребление в России соответствует западному уровню начала 1980-х годов (в 1976 году в США алюминий составлял 3% массы автомобиля или 39 кг). В настоящее время в РФ в среднем на автомобиль затрачивается 44 кг алюминиевых сплавов, по сравнению с 75 кг в Западной Европе и 112 кг в США (11% общей массы автомобиля). За последние 10 лет уровень удельного потребления алюминия в США был увеличен на 42%, а в РФ на 15%. Рост использования алюминия позволяет уменьшать вес автомобиля. По данным IAI в 1990-х годах каждый килограмм алюминия в автомобиле заменил 1,78 кг стали. Следует особо подчеркнуть, что основой для расширения использования алюминия стали не только его конструктивные особенности, но и удешевление изделий. Так детали для автомобилей изготавливаются преимущественно (на 80% в ЕС и на 60% в США) из вторичного сырья. Впервые технология формовки панелей кузова автомобилей была применена в 1976 году (для корпусных панелей автомобиля Aston Martin Lagonda). Полностью алюминиевый корпус был у Audi A8 и у Audi A2 (масса в 2 раза ниже по сравнению со стальным кузовом). Использование алюминия в модели Jaguar XJ (2003 г.) позволило сделать его на 40% (на 200 кг) легче и на 60% прочнее по сравнению с предшествующей моделью. Алюминиевые отливки применяются, главным образом, в конструкциях двигателей (головки цилиндров, всасывающие коллекторы, блоки цилиндров, поршни, корпусные детали, крышки и т. п.). Алюминиевый прокат используется, в основном, для отделки салонов автобусов, троллейбусов, легковых автомобилей, элементов обшивки, теплообменников и др.

4.3. *Автомобилестроение является одним из наиболее крупных и относительно устойчивых направлений спроса на медь и медные сплавы*. Медь и медная металлопродукция в автомобилестроении используются в производстве грузовых и легковых автомобилей, автобусов, автотракторной прицепной техники, троллейбусов, автопогрузчиков, мото-велотехники, дизельных двигателей, автотракторного электрооборудования и приборов, многочисленных комплектующих изделий. При производстве автомобильной техники следует выделить основные области использования медьсодержащих материалов:

- Медный прокат составляет около 29,5% общих затрат меди на автомобиль. Его назначение - теплообменники (охлаждающие пластины, уплотняющие прокладки), детали электрооборудования (якоря, стартеры, коллекторы, щетки, болты, заклепки и другие мелкие детали), системы подвода топлива (круглые цельнотянутые трубки) и
- Латунный прокат (41,6% общих затрат меди) используется для изготовления радиаторов (охлаждающие трубки, бачки, радиаторы, патрубки). В составе больше-

грузных видов автомобильного техники доля радиаторов может составлять 60–70% потребляемого проката медных сплавов. В целом на теплообменники расходуется свыше 40% всего объема медного и латунного проката.

- Литейные медные сплавы (латуни и бронзы составляют 21,4% в структуре потребляемой медной металлопродукции). Основная сфера применения литейных бронз - отливки втулок, вкладышей подшипников, клапанов и др. Средний расход литейной бронзы на одну тысячу большегрузных автомобилей составляет 4,1 т, бронзового проката - 1,8 т.

5. *Легкие полимерные и композиционные материалы составляют около 12 % от веса автомобиля среднего класса в США и Западной Европе.* При этом автомобили более высокого класса имеют более высокую долю данных материалов. При повышенных ценах автомобиля затраты на материалы перестают играть существенную роль по сравнению с выигрышем в эксплуатационных характеристиках. Так пластиковый кузов Dodge ESX3 (Daimler Chrysler) меньше стального по массе более чем на 40%. Композиционные материалы нашли применение в изготовлении рессор (стеклопластик), двигателей (металлокерамика), кузовов грузовых автомобилей и карданных валов.

Среднесрочная и долгосрочная перспектива. Очевидно, что перспективный спрос на материалы будет значительно отличаться от текущего материалопотребления. Создать качественный автомобиль без использования современных материалов невозможно, также как и рассчитывать на то, что цены на качественные и, как правило, дефицитные материалы будут ниже мирового уровня. Относительно более низкие темпы роста спроса в металлопродукции по сравнению с ростом производства в обрабатывающих отраслях экономики будут определяться техническим прогрессом в автомобилестроении, в том числе повышением коэффициента использования металла, снижением металлоемкости машин, увеличением замены стальных изделий другими материалами. Важнейшим процессом, влияющим на тенденции материалопотребления, будет изменение структуры выпуска продукции автомобилестроения.

1. *Наиболее вероятно расширение использования в России сборочных производств апробированных западных моделей.* Это не приведет к непосредственному увеличению спроса на отечественные материалы. Проблема ресурсного обеспечения производства при освоении иностранных моделей автомобиля решается на основе импортных поставок. До момента окончательной доводки производства западные компании используют апробированные материалы, используемые и в течение гарантийного периода эксплуатации технологических линий. Опыт Бразилии (3,2 млн.шт) и Аргентины (1 млн. шт.), имеющих хорошую металлургическую базу, но использующих импортные поставки для автомобилестроения – убедительное тому подтверждение. Сборочные заводы России также используют импортные комплектующие.

2. *Отечественное производство новых моделей автомобиля* является вопросом выживания действующих автомобильных заводов.

3. *Адаптация автомобиля под нужды отдельных групп потребителей* предполагает его оснащение специальным периферийным оборудованием целевого назначения (холодильники, цистерны, диагностические лаборатории и т. д.).

Кузова всех современных автомобилей, за небольшим исключением, изготавливаются из того же материала, который Генри Форд использовал для производства автомобилей Model T. В следующем веке сталь сохранит свое преимущество 100-летнего использования и низкой, по сравнению с большинством конструкционных материалов, стоимости.

Уже завоевавшие себе место в автомобильной промышленности алюминий, магний и композиты продолжают участие в борьбе автопроизводителей за снижение веса. "Однако в 2025 г. лидирующие позиции по-прежнему будет занимать сталь", - считает Jeff Dieffenbach, руководитель проекта, IBIS Associates, Wellesley, Массачусетс. Данная компания консультирует в области материалов и производства. Что, вероятнее всего, изменится - так это технология получения металла. Штампованный несущий кузов, скорее всего, трансформируется в конструкцию типа пространственной рамы, представляющую собой переплетение балок из выдавленных и гнутых профилей.

На Токийском автосалоне 2001 года был представлен концепт Honda Unibox, кузовом, а точнее несущим каркасом которого служит алюминиевая пространственная рама. Снаружи к ней крепятся наружные панели кузова из пластика. Панели выполнены прозрачными, но как только пассажиров или водителя начнет смущать повышенное внимание окружающих, их можно заменить на панели, окрашенные в любой требуемый цвет, а можно наоборот «раздеть» свою машину до алюминиевого скелета. Панелью приборов служит складывающийся выдвигающийся дисплей. Самая необходимая информация проецируется на ветровое стекло, а зеркала заднего вида заменяет широкий панорамный экран, дающий полную картину происходящего за бортом.

Панели кузова легковых автомобилей в 2100 г. будут сделаны из термопласта, и их форму можно будет изменять с помощью электрического заряда. В основе получения этого принципиально нового пластика будет лежать технология, аналогичная той, которая сегодня применяется для реологических жидкостей. Применение термопласта для автомобильного каркаса позволит изготавливать автомобили на трех базах: для 2, 4 и 6 пассажиров. Эта система позволит один и тот же каркас раздвигать в длину или укорачивать, в зависимости от требуемого размера. Прибавляя или убирая пластиковые панели, кузов можно укорачивать или удлинять. В качестве опоры для пластиковых панелей кузова будут использоваться конструкционные элементы из пластика, которые для быстрой смены плотно вставляются в друг друга краями ("зашелкиваются"). Известная своими экстравагантными автомобилями швейцарская фирма Rinspeed построила новую экспериментальную машину Presto с трансформируемым кузовом. В "сложенном" состоянии Presto, имеющий длину 2990 мм, представляет собой крохотный переднеприводный двухместный родстер, пассажирам которого придется перелезть через борта автомобиля - двери у Presto не предусмотрены.

Список литературы: 1. Рунец М.А. Справочник автомобильного механика. – М.: Транспорт, 1996. – 272 с. 2. Двигатели внутреннего сгорания. Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. Орлина А.С., Круглова М.Г. – М.: Машиностроение, 2003. 3. <http://www.avtoprices.com/article/420> 4. <http://www.ecfor.ru>

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Козлов К.Г., Рыбинская Т.А. (кафедра механики, ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Существенное влияние на надежность и качество электроснабжения оказывают кондуктивные электромагнитные помехи, которые характеризуются показателями качества электроэнергии (ПКЭ). Исследования и оценка влияния ПКЭ на различные приёмники электроэнергии (ЭЭ) и электрооборудование проводятся давно и постоянно.

Электромагнитная среда формируется как результат определенного технологического процесса. В электроэнергетике это – производство, передача и потребление электроэнергии. Каждому этапу этого процесса свойственны определенные изменения, вызванные отклонениями от заданного режима, принципом действия электрооборудования оборудования и его состоянием, действиями обслуживающего персонала, климатическими факторами, работой средств защиты и автоматики. Эти изменения и являются причиной ЭМП. Так, изменения скорости вращения генераторов приводят к изменениям частоты. Изменения режима по передаваемой (потребляемой) мощности приводят к изменениям напряжения. Регулирование частоты и напряжения обеспечивается электрической системой, ее средствами производства и передачи электроэнергии. В результате попадания молнии в линию электропередачи по сети распространяется импульс тока, вызванное этим короткое замыкание ликвидируется средствами защиты и автоматики.

Таким образом, электроэнергетическая система (ЭЭС) является той электромагнитной средой, в которой ЭМП создаются, распространяются и воздействуют на ЭП (рис. 1), но и сами ЭП являются источниками ЭМП. Поэтому качество электроэнергии – это совокупность свойств, характеризующих систему электроснабжения по уровню помех, называемых показателями качества электроэнергии в этой системе.

Значения ПКЭ и их номенклатура установлены ГОСТ 13109–97 «Электромагнитная совместимость. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». Обеспечивая нормативные значения ПКЭ, энергоснабжающая организация гарантирует электромагнитную совместимость присоединенных электроприемников, если уровень их помехоустойчивости выше ПКЭ в сети. С другой стороны, разработчики электроприемников, зная нормативные значения ПКЭ, должны конструировать электроприемники так, чтобы их помехоустойчивость была выше показателей качества электроэнергии.

Основные формы ущерба, который несут потребители и энергосистема вследствие ухудшения качества ЭЭ, следующие:

- снижение эффективности процессов генерации, передачи и потребления электроэнергии за счет увеличения потерь в элементах сети;
- уменьшение срока службы и выход из строя электрооборудования из-за нарушения его нормальных режимов работы и старения изоляции;
- нарушение нормальной работы и выход из строя устройств релейной защиты, автоматики и связи;
- снижение производительности;
- остановку производства с затратами на его возобновление;
- порчу технологического оборудования;
- брак продукции.

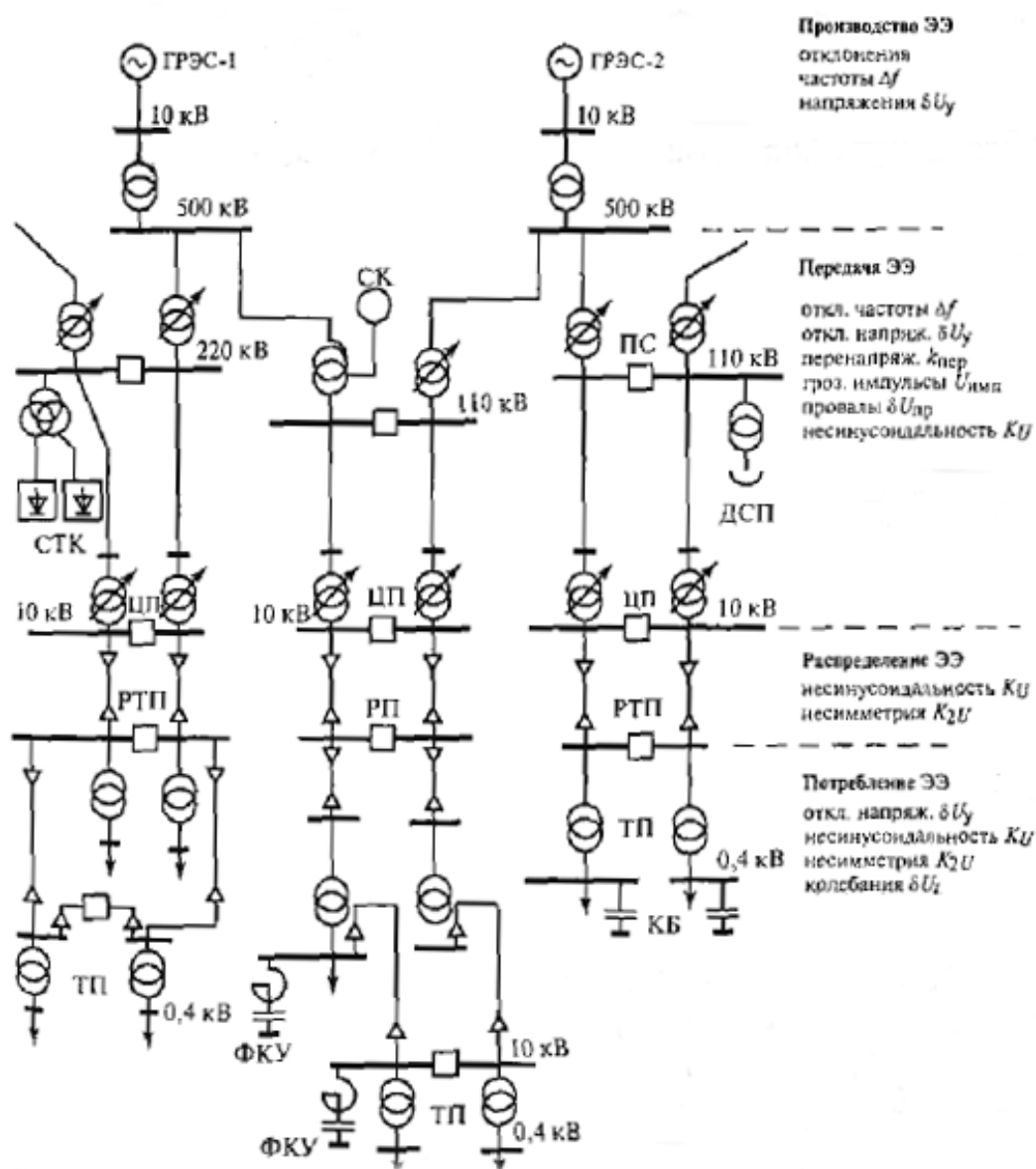


Рис. 1. Характерные виды помех в системе электроснабжения в процессе производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии:

ПС – подстанции; ЦП – центры питания; ГРЭС – генераторы электростанций; РТП, РП, ТП – распределители трансформаторных подстанций; СК – синхронные компенсаторы; СТК – статистические тиристорные компенсаторы; ФКУ – фильтрокомпенсирующие устройства; КБ – конденсаторные батареи; ДСП – дуговые сталеплавильные печи

Причиной **дополнительных потерь энергии** в трансформаторах является поток гармонических составляющих. При нагрузке трансформатора, близкой к максимальной, эти потери могут вызвать отказы оборудования вследствие общего дополнительного нагрева и нагрева отдельных участков обмоток.

Гармоники увеличивают потери на вихревые токи при наличии обычной смешанной нагрузки в девять раз, т.к. возрастают пропорционально квадрату частоты, практи-

чески удваивая суммарные потери в нагрузке. Отсюда следует, что до расчета потерь в трансформаторе, должен быть определен спектр гармоник.

Дополнительные потери, вызывающие перегрев трансформаторов при наличии высших гармоник, возникают из-за скин-эффекта меди обмотки, а также в связи с увеличением потерь на гистерезис и вихревые токи в магнитопроводе трансформатора.

Перегрев проводников вследствие поверхностного скин-эффекта.

Высшие гармоники являются причиной дополнительных потерь в проводниках. Действие скин-эффекта (увеличение активного сопротивления проводника с ростом частоты) значительно возрастает на частоте 350 Гц (7-ая гармоника) и выше. Например, полное сопротивление проводника сечением 20 мм на частоте 350 Гц возрастает на 60% по сравнению с его сопротивлением постоянному току. Рост сопротивления, особенно его реактивной составляющей (на высоких частотах), приводит к дополнительному падению напряжения и, соответственно, дополнительным потерям.

Дополнительные потери в кабелях силовой сети при наличии высших гармоник, вызываются следующими основными причинами:

- увеличением действующего значения негармонического тока;
- увеличением активного сопротивления проводника из-за скин-эффекта;
- увеличением потерь в диэлектрике изоляции кабеля.

Перегревание цепи нейтрали.

Одной из причин перегревания цепи нейтрали является тот эффект гармоник, что гармоники, кратные третьей, суммируются в проводнике нейтрали. В результате, с учетом того, что они составляют большую долю в действующем значении фазных токов, общий ток в нейтрали может превышать фазные токи, если при этом имеется повышенный коэффициент обратной последовательности токов.

Нагрев конденсаторов.

Дополнительные потери в конденсаторах при наличии высших гармоник обусловлены увеличением «угла потерь» в диэлектрике и ростом действующего значения тока конденсатора. Возникающий перегрев в конденсаторе может привести к пробое диэлектрика.

Конденсаторные установки при несимметрии напряжений неравномерно загружаются реактивной мощностью по фазам, а в таком режиме невозможно использовать их на полную мощность. Кроме того, конденсаторные установки в этом случае усиливают уже существующую несимметрию, т.к. мощность, передаваемая в сеть по фазе с наименьшим напряжением, будет меньше, чем по остальным фазам.

Недостовверный учет электрической энергии и претензии к энергоснабжающим организациям

Пока далеко не все предприятия выставляют претензии энергоснабжающим организациям к качеству электроэнергии. Но это неизбежно случится в будущем, т.к. при использовании современной аппаратуры и методов анализа качества электроэнергии, возможен точный расчет экономического ущерба, нанесенного предприятию при недопоставке ЭЭ или ее недостаточном качестве, и соответственно, юридически обоснованные требования компенсации финансовых потерь.

Влияние на надежность

Например, при пониженном на 10% напряжении срок службы асинхронного двигателя (АД) сокращается в 2 раза. При повышении на 1% реактивная мощность возрастает на 5-7%. При несимметрии напряжений 2% срок службы АД сокращается на 10, 8%, синхронных – на 16, 2%, трансформаторов – на 4%.

При несинусоидальном напряжении с $K_f=7\%$ ток утечки в изоляции кабеля за 3,5 года возрастает на 43%. В конденсаторных батареях за 2 года $\tan\delta$ увеличивается в 2 раза.

Понятно, что снижение сроков службы электротехнического оборудования ведет к снижению надежности электроснабжения в целом.

Отдельно следует рассматривать такой ПКЭ, как провал напряжения. Провалы имеют случайный характер, а значимость их последствий весьма существенна.

Для решения технической задачи коммерческого учёта ПКЭ предлагается встроить АИИС-ПКЭ в действующую АИИСКУЭ. Параллельно электросчетчикам в точках учета нужно установить приборы регистрации ПКЭ типа «Энергомонитор 3.2», которые передают учётную информацию через GSM-модемы или иные каналы связи на сервер ПКЭ. Информация передается в виде суточного массива данных. При наличии сети стандарта Ethernet от приборов «Энергомонитор 3.2» на сервер передаются текущие измеренные значения в режиме реального времени, что позволяет организовать автоматический анализ ПКЭ и оперативно принимать решения. Таким образом, обеспечивается учёт ПКЭ, в т.ч. определяется и фиксируется виновник снижения качества ЭЭ в пределах каждого суток, поскольку прибор измеряет и регистрирует мощности искажений с учетом знака (потребление/генерация). Из сказанного очевидно, что для проведения взаиморасчетов «поставщик-потребитель» по ПКЭ необходимо вести непрерывный учет энергии искажений (кВт·час) с разделением «потребление-генерация» за отчетный период.

Взаимодействие с поставщиком.

В экономико-правовой части ключевым является практическое введение договорных обязательств о разделении взаимной ответственности за КЭ между поставщиками и потребителями электроэнергии. Договорами на электроснабжение должно устанавливаться безусловное обязательство энергоснабжающей организации поддерживать в точке общего присоединения (или в другой оговоренной точке контроля) значения ПКЭ в соответствии с нормами ГОСТ 13109-97 (или более жесткими). Со стороны потребителя обязательными условиями договора должно быть: установка АИИС и выполнение оговоренных графиков электропотребления и других режимных мероприятий. Договор должен составляться с указанием конкретных нормально и предельно допускаемых значений ПКЭ. Следующим шагом должен быть договорной учёт ПКЭ, т.е. потребления и генерации энергии искажений, с их тарификацией и последующими взаимными финансовыми расчётами. Здесь принцип простой – мощность искажений оплачивает тот, кто эти искажения генерирует. Особым образом в договорах должны расцениваться перерывы поставки ЭЭ (провалы напряжения) – конкретно для каждого потребителя. Основная цель внедрения систем мониторинга ПКЭ на промышленных предприятиях – это сокращение издержек за счёт тесного взаимодействия с поставщиком электроэнергии.

Для электросетевых предприятий АИИС-ПКЭ – это инструмент для анализа состояния электрооборудования и выявления источников технических потерь.

Дополнительные возможности.

Дополнительно, мониторинг ПКЭ и электроэнергетических величин даёт измерительную информацию для проведения энергетических обследований (энергоаудитов) как у потребителей, так и у поставщиков электроэнергии. При этом анализ охватывает длительный период (например, год) без пропусков, что даёт совершенно объективную картину состояния энергоснабжения предприятия и позволяет выбрать оптимальные варианты решения проблем его надежности и эффективности.

Прибор «Энергомонитор 3.2» может измерять коэффициент реактивной мощности ($\text{tg}\varphi$) на заданных интервалах времени, что позволит определять коэффициент к тарифу (приказ Минпромэнерго № 49 от 22/02/2007). Это является экономическим стимулом для снижения нагрузки на сетевое оборудование и повышение пропускной способности сетей.

Таким образом, внедрение систем мониторинга ПКЭ на предприятиях энергетического комплекса и промышленности позволяет легитимно решать экономически значимые проблемы надежного и качественного электроснабжения, эффективного использования сетевого оборудования. Анализ результатов мониторинга позволяет находить оптимальные решения проблем электромагнитной совместимости.

Список литературы: 1. ГОСТ 13109–97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск: ИПК Изд-во стандартов, 1998. 2. Кармашев В.С. Электромагнитная совместимость технических средств: Справочник. – М.: Научно-технический центр «Норт», 2001. 3. Карташев И.И., Тульский В.Н. «Управление качеством электроэнергетики».

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Максименко М.В. Рыбинская Т.А., Шаповалов Р.Г.
(кафедра механики, ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Вопросы экологии в настоящее время выходят на первый план в развитии промышленности и общества.

Технологические процессы изготовления отливок характеризуются большим числом операций, при выполнении которых выделяются пыль, аэрозоли и газы. Пыль, основной составляющей которой в литейных цехах является кремнезём, образуется при приготовлении и регенерации формовочных и стержневых смесей, плавке литейных сплавов в различных плавильных агрегатах, выпуске жидкого металла из печи, внепечной обработке его и заливке в формы, на участке выбивки отливок, в процессе обрубки и очистки литья, при подготовке и транспортировке исходных сыпучих материалов.

В воздушной среде литейных цехов, кроме пыли, в больших количествах находятся оксиды углерода, углекислый и сернистый газы, азот и его окислы, водород, аэрозоли, насыщенные оксидами железа и марганца, пары углеводородов и др. Источниками загрязнений являются плавильные агрегаты, печи термической обработки, сушилка для форм, стержней и ковшей и т.п.

Одним из критериев опасности является оценка уровня запахов. На атмосферный воздух приходится более 70 % всех вредных воздействий литейного производства [1].

При производстве 1 т отливок из стали и чугуна выделяется около 50 кг. пыли, 250 кг оксидов углерода, 1,5–2 кг оксидов серы и азота и до 1,5 кг других вредных веществ (фенола, формальдегида, ароматических углеводородов, аммиака, цианидов). В водный бассейн поступает до 3 куб. м сточных вод и вывозится в отвалы до 6 т отработанных формовочных смесей.

Интенсивные и опасные выделения образуются в процессе плавки металла. Выброс загрязняющих веществ, химический состав пыли и отходящих газов при этом различен и зависит от состава металлозавалки и степени ее загрязнения, а также от состоя-

ния футеровки печи, технологии плавки, выбора энергоносителей. Особо вредные выбросы при плавке сплавов цветных металлов (пары цинка, кадмия, свинца, бериллия, хлор и хлориды, водорастворимые фториды).

Применение органических связующих при изготовлении стержней и форм приводит к значительному выделению токсичных газов в процессе сушки и особенно при заливке металла. В зависимости от класса связующего в атмосферу цеха могут выделяться такие вредные вещества как аммиак, ацетон, фенол, формальдегид, фурфурол и т.д. При изготовлении форм и стержней с тепловой сушкой и в нагреваемой оснастке загрязнение воздушной среды токсичными компонентами возможно на всех стадиях технологического процесса: при изготовлении смесей, отверждении стержней и форм и охлаждении стержней после извлечения из оснастки [2].

Рассмотрим токсичное воздействие на человека основных вредных выделений литейного производства.

Оксид углерода (класс опасности – IV) – вытесняет кислород из оксигемоглобина крови, что препятствует переносу кислорода из лёгких к тканям; вызывает удушье, оказывает токсическое действие на клетки, нарушая тканевое дыхание, и уменьшает потребление тканями кислорода.

Оксиды азота (класс опасности – II) – оказывают раздражающее действие на дыхательные пути кровяные сосуды.

Формальдегид (класс опасности – II) – общеядовитое вещество, вызывающее раздражение кожи и слизистой оболочки.

Бензол (класс опасности – II) – оказывает наркотическое, отчасти судорожное действие на центральную нервную систему; хроническое отравление может привести к смерти.

Фенол (класс опасности – II) – сильный яд, оказывает общетоксическое действие, может всасываться в организм человека через кожные покровы.

Бензопирен $C_{20}H_{12}$ (класс опасности – IV) – канцерогенное вещество, вызывающее генные мутации и раковые заболевания. Образуется при неполном сгорании топлива. Бензопирен обладает высокой химической стойкостью и хорошо растворяется в воде, из сточных вод распространяется на большие расстояния от источников загрязнения и накапливается в донных отложениях, планктоне, водорослях и водных организмах [3].

Твёрдые отходы литейного производства содержат до 90 % отработанных формовочных и стержневых смесей, включая брак форм и стержней; также они содержат просыпи и шлаки из отстойников пылеочистной аппаратуры и установок регенерации смесей; литейные шлаки; абразивную и галтовочную пыль; огнеупорные материалы и керамику.

Количество фенолов в отвалных смесях превышает содержание других токсичных веществ. Фенолы и формальдегиды образуются в процессе термодеструкции формовочных и стержневых смесей, в которых связующим являются синтетические смолы. Эти вещества хорошо растворимы в воде, что создает опасность попадания их в водоёмы при вымывании поверхностными (дождевыми) или грунтовыми водами.

Сточные воды поступают главным образом от установок гидравлической и электрогидравлической очистки отливок, гидрорегенерации отработанных смесей и мокрых пылеуловителей. Как правило, сточные воды линейного производства одновременно загрязнены не одним, а рядом вредных веществ. Также вредным фактором является нагрев воды, применяемой при плавке и заливке (водоохлаждаемые формы при кокиль-

ном литье, литье под давлением, непрерывное литье профильных заготовок, охлаждении катушек индукционных тигельных печей).

Попадание тёплой воды в открытые водоёмы вызывает снижение уровня кислорода в воде, что неблагоприятно влияет на флору и фауну, а также снижает самоочищающую способность водоёмов. Расчёт температуры сточных вод производится с учётом санитарных требований, чтобы летняя температура речной воды в результате спуска сточных вод не поднималась более чем на 3° С.

Газовыделения на различных переделах рассчитываются:

– при плавке – умножением удельных газовыделений (в пересчёте на диоксид) на массу выплавляемого металла;

– при изготовлении форм и стержней – умножением удельных газовыделений (в пересчёте на диоксид) на массу стержня (формы).

Проблема предупреждения выделения вредностей, их локализации и обезвреживания, утилизации отходов является особенно острой. Для этих целей применяется комплекс природоохранных мероприятий, включающий использование следующих материалов и устройств:

– **для очистки от пыли** – искрогасителей, мокрых пылеуловителей, электростатических пылеуловителей, скрубберов (вагранки), тканевых фильтров (вагранки, дуговые и индукционные печи), щебёночных коллекторов (дуговые и индукционные электропечи);

– **для дожигания ваграночных газов** – рекуператоры, системы очистки газов, установки низкотемпературного окисления СО;

– **для уменьшения выделения вредностей формовочных и стержневых смесей** – снижение расхода связующего, окисляющие, связующие и адсорбирующие добавки;

– **для обеззараживания отвалов** – устройство полигонов, биологическая рекультивация, покрытие изоляционным слоем, закрепление грунтов и т. д.;

– **для очистки сточных вод** – механические, физико-химические и биологические методы очистки.

Все эти мероприятия связаны со значительными затратами. Очевидно, следует прежде всего бороться не с последствиями поражения вредностями, а с причинами их возникновения. Это должно быть главным аргументом при выборе приоритетных направлений развития тех или иных технологий в литейном производстве. С этой точки зрения использование электроэнергии при плавке металла наиболее предпочтительно, так как при этом минимальны выбросы самих плавильных агрегатов.

Вопрос о выборе процесса формовки базируется на анализе трёх факторов:

1) технологического – включает основные свойства смесей (прочность, текучесть, выбиваемость, вероятность образования дефектов);

2) экономического – включает стоимость смесей и стержней, брак стержней и отливок, возможность экономии металла за счёт повышения точности, снижения толщины стенок отливок, стоимости и стойкости оснастки и т. д.;

3) экологического – включает объём газовыделений в холодной стадии процесса и при заливке, охлаждении и выбивке, возможность и стоимость депонирования отходов, утилизации и т. д.

По этим критериям несомненными преимуществами обладают смеси неорганического происхождения.

Природоохранное законодательство в России развивается крайне медленно. Ещё в 1991 году был принят «Закон об охране окружающей природной среды», суть которого во введении платы за загрязнения и штрафов за превышение нормативов. Имелось вви-

ду стимулирование природоохранных технологий и нормализация экологической обстановки. С предприятий предусматривалось брать плату за использование природных ресурсов или штраф за превышение экологических нормативов в размере, превышающем затраты на предотвращение вредных выбросов. Если предприятие внедряет экологически чистую технологию, то штраф с него не взимается, а плата за природные ресурсы существенно уменьшается. Плата за основные производственные фонды, используемые в природоохранной деятельности, не производится.

Острота экологических санкций заключается в том, что штраф взимается из прибыли. Он является некоторой усреднённой величиной, сумма которой может быть, с учётом местных условий, либо увеличена (для экологически неблагоприятных регионов), либо уменьшена для регионов, где экологическая обстановка благоприятна. Предприятиям устанавливается срок внедрения природоохранных мероприятий, по истечении которого будут браться прогрессивные отчисления из фондов предприятия.

В настоящее время проблемы экологии одна из самых наиболее значимых проблем в мире. Какими бы не были разработки по охране и защите окружающей среды, все равно вредные вещества будут накапливаться, т.к. «идеальных» механизмов в природе нет.

Список литературы: 1. Болдин А.Н., Давыдов Н.И., Жуковский С.С. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия. – М.: Машиностроение, 2006. – 507 с. 2. Инженерная экология литейного производства: Учебное пособие /Под общ. ред. А.Н. Болдина. – М.: Машиностроение, 2010. – 352 с.

ОБЩАЯ МЕТОДИКА И ПОДХОД ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ НА БАЗЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ И ФОП

Меркулов М.В., Сухинин Е.С. (кафедра ТМ, ДонНТУ, Донецк, Украина)

С развитием научно-технического прогресса непрерывно повышаются требования к качеству функционирования различных машин и оборудования. Создаваемые технические системы постоянно совершенствуются, при этом расширяются их эксплуатационные характеристики, решаются вопросы экологии, эстетики и эргономики. Для реализации этого, на всех этапах жизненного цикла технических систем необходимо обеспечивать их качественно новую совокупность свойств. Это может быть достигнуто посредством повышения качества отдельных подсистем, узлов, деталей и элементов машин. [1]

Для повышения качества изделий машиностроения и реализации полного потенциала работоспособности деталей в настоящее время широко применяются специальные вакуумные ионно-плазменные покрытия, которые выполняются на базе различных переходных металлов, их сплавов или их композиций с неметаллами. Применение данных покрытий обеспечивает изделиям машиностроения новые свойства. При этом создаваемые машины и технические системы с использованием этих изделий существенно повышают их эксплуатационные возможности. Однако применяемые в данное время методы и способы изготовления изделий с покрытиями не позволяют обеспечить качественно новую совокупность свойств и меру полезности изделий, а также реализовать полный потенциал их эксплуатационных свойств и возможностей. Это снижает технико-экономические показатели выпускаемых машин.

В статье представлены основы создания нового класса покрытий изделий машиностроения и общей методологии их синтеза, обеспечивающих повышение технико-экономических параметров их эксплуатации. Этот класс покрытий именуется функционально-ориентированными покрытиями. Для достижения поставленной цели планируется решить целый комплекс различных задач, а именно: разработать принципы синтеза функционально-ориентированных покрытий, предложить общую методологию нанесения функционально-ориентированных покрытий, изучить особенности предлагаемого нового класса покрытий и их нанесения, предложить научно-обоснованную классификацию функционально-ориентированных покрытий. [2]

Функционально-ориентированное покрытие изделия это специальное покрытие поверхностей или отдельных зон одним или множеством различных покрытий варьируемых по виду, типу, варианту, качеству и технологии нанесения, которые функционально соответствуют условиям их эксплуатации в каждой отдельной зоне изделия. При этом их вид, тип, вариант, качество и технологии нанесения целенаправленно определяются, а также топологически, функционально и количественно ориентируется при нанесении на каждые отдельные зоны изделия в зависимости от заданных функциональных особенностей их эксплуатации. Применение функционально-ориентированных покрытий для изделий машиностроения позволяет максимально повысить их общие эксплуатационные параметры за счет местного увеличения технических возможностей и свойств отдельных элементов и/или поверхностей изделия в зависимости от его зональных функциональных особенностей эксплуатации элементов. При этом изделия машиностроения максимально адаптируются по своим свойствам к особенностям их эксплуатации. Здесь на отдельные зоны поверхностей наносятся различные по своим свойствам покрытия. К ним относятся покрытия различных видов, типов, вариантов, которые реализуются по различным технологиям. Предлагаемый новый класс покрытий обеспечивает качественно новую совокупность свойств изделий. Это дает возможность существенно повысить технико-экономические показатели создаваемых машин и систем. [3]

Для обеспечения необходимого процесса нанесения покрытий данного класса разработана общая методология синтеза функционально-ориентированных вакуумных ионно-плазменных покрытий изделий машиностроения. В предлагаемой методологии, процесс нанесения этих покрытий реализуется на основе следующих принципов:

1. Изоморфного топологического соответствия геометрических параметров каждой зоны изделия, в которой реализуется заданная функция при эксплуатации, зоне нанесения требуемого покрытия с необходимыми свойствами.

2. Функционального соответствия параметров качества покрытия (тип, вид, вариант покрытия, технологии нанесения и обработки) каждой зоны особенностям действия в ней эксплуатационных функций.

3. Полного или частичного количественного соответствия множества различных функциональных зон поверхностей изделия, имеющих при эксплуатации, множеству зон нанесения различных покрытий соответствующего качества.

На основе данных принципов выполняется нанесение функционально-ориентированных покрытий, которые обеспечивают полную адаптацию изделия и его элементов по эксплуатационным свойствам к условиям эксплуатации. При этом тело изделия может изготавливаться из недорогостоящего материала, а функционально-ориентированные вакуумные ионно-плазменные покрытия изделий машиностроения обеспечивают им полный потенциал функциональных возможностей. Это существенно повышает технико-экономические показатели изготовления и эксплуатации изделий.

Можно отметить, что первый принцип при нанесении функционально-ориентированных покрытий обеспечивает геометрическую ориентацию каждого покрытия (по толщине, геометрии и пространственному расположению), имеющего заданные свойства, в соответствии геометрией зон действия различных функций на поверхностях изделия. Второй принцип накладывает ограничения по обеспечению функционального соответствия параметров качества покрытия (тип, вид, вариант покрытия, технологии нанесения и обработки) каждой зоны особенностям действия в ней эксплуатационных функций. То есть покрытие в каждой зоне должно иметь максимально возможные параметры качества для данных условий ее эксплуатации. На основании третьего принципа обеспечивается покрытие всех зон изделия необходимым, с точки зрения обеспечения всему изделию максимально возможных свойств, покрытием. Таким образом, на изделие наносится поле (множество) различных по качеству покрытий, параметры каждого из которых обеспечиваются в соответствии с множеством функциональных особенностей эксплуатации изделия в машине. [4]

В целом общая методология синтеза функционально-ориентированных вакуумных ионно-плазменных покрытий изделий машиностроения базируется на разработанных новых принципах их нанесения. Общая методология синтеза функционально-ориентированных вакуумных ионно-плазменных покрытий изделий машиностроения обусловлена полем различных по качеству покрытий, общая структура и параметры каждого из которых обеспечиваются в соответствии с функциональными особенностями эксплуатации изделия.

В заключении можно отметить, что разработанный новый класс специальных покрытий, новые принципы нанесения функционально-ориентированных покрытий и технологическое обеспечение позволяют обеспечить качественно новую совокупность свойств и меру полезности изделий машиностроения. А это дает возможность создавать машины и технологические системы с новыми возможностями, что существенно повышает их технико-экономические показатели при эксплуатации. При этом разработанная методология и методика синтеза функционально-ориентированных покрытий дают возможность производить создание новых видов, типов и вариантов этих покрытий и решать вопросы повышения эксплуатационных свойств изделий для различных условий работы машин и систем.

Можно отметить, что функционально-ориентированные технологии позволяют не только обеспечивать высокие физико-механические местные свойства материала изделия, но и создавать местные специальные нетрадиционные его свойства.

В качестве примера на рис. 1 приведены некоторые варианты схем, поясняющие различные виды реализации специальных функциональных свойств материала элементов изделий, изготавливаемых с применением функционально-ориентированных технологий. [5]

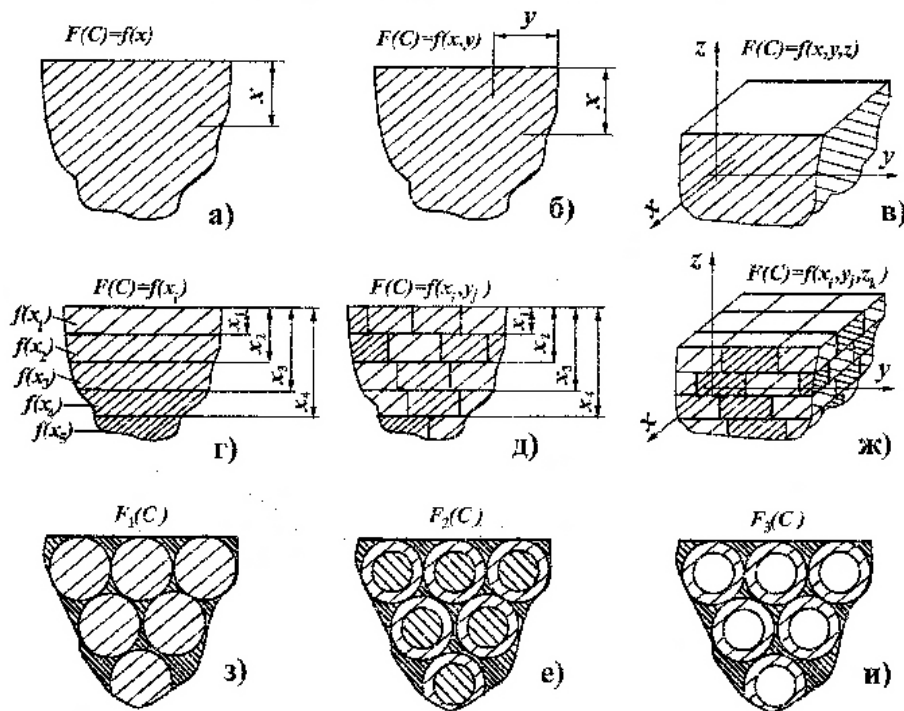


Рис. 1. Виды реализации специальных функциональных свойств материала элементов изделий

Список литературы: 1. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства. – Л.: Машиностроение, 1983. 2. Внуков Ю.Н. Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент. – К.: «Техника», 1992. 3. Михайлов А.Н. Общие особенности функционально-ориентированных технологий и принципы ориентации их технологических воздействий и свойств изделий // Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIV международной научно-технической конференции в г. Севастополе 17-22 сентября 2007 г. В 5-ти томах. – Донецк: ДонНТУ, 2007. Т. 3. С. 38-52. 4. Михайлов А.Н., Михайлов В.А., Михайлова Е.А. Методика и основные принципы синтеза функционально-ориентированных вакуумных ионно-плазменных покрытий изделий машиностроения. // Упрочняющие технологии и покрытия. – М.: Машиностроение, 2005. – №7. – С. 3 – 9. 5. Фомин И.А., Михайлов А.Н. Возможности функционально-ориентированных технологий в машиностроении // Прогрессивные направления развития машиноприборостроительных отраслей и транспорта. Тезисы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Севастополь: Издательство СевНТУ, 2010.

ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО И КАЧЕСТВО ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**Погромский И.В., Рыбинская Т.А.***(кафедра механики, ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)*

XX век принес человечеству немало благ, связанных с бурным развитием научно-технического прогресса, и в то же время поставил жизнь на Земле на грань экологической катастрофы. Рост населения, интенсификация добычи и выбросов, загрязняющих Землю, приводят к коренным изменениям в природе и отражаются на самом существовании человека. Часть из таких изменений чрезвычайно сильна и настолько широко распространена, что возникают глобальные экологические проблемы. Имеются серьезные проблемы загрязнения (атмосферы, вод, почв), кислотных дождей, радиационного поражения территории, а также утраты отдельных видов растений и живых организмов, оскудения биоресурсов, обезлесения и опустынивания территорий.

Проблемы возникают в результате такого взаимодействия природы и человека, при котором антропогенная нагрузка на территорию (ее определяют через техногенную нагрузку и плотность населения) превышает экологические возможности этой территории, обусловленные главным образом ее природно-ресурсным потенциалом и общей устойчивостью природных ландшафтов (комплексов, геосистем) к антропогенным воздействиям.

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются машины и установки, использующие серосодержащие угли, нефть, газ. Значительно загрязняют атмосферу автомобильный транспорт, ТЭЦ, предприятия черной и цветной металлургии, нефтегазоперерабатывающей, химической и лесной промышленности. Большое количество вредных веществ в атмосферу поступает с выхлопными газами автомобилей, причем их доля в загрязнении воздуха постоянно растет; по некоторым оценкам в России – более 30%, а в США – более 60% от общего выброса загрязняющих веществ в атмосферу.

С ростом промышленного производства, его индустриализации, средозащитные мероприятия, базирующиеся на нормативах ПДК и их производных, становятся недостаточными для снижения уже образовавшихся загрязнений. Поэтому естественно обращение к поиску укрупненных характеристик, которые, отражая реальное состояние сред, помогли бы выбору экологически и экономически оптимального варианта, а в загрязненных (нарушенных) условиях – определили очередность восстановительно-оздоровительных мероприятий.

С переходом на путь интенсивного развития экономики важная роль отводится системе экономических показателей, наделенных важнейшими функциями хозяйственной деятельности: плановой, учетной, оценочной, контрольной и стимулирующей. Как всякое системное образование, представляющее собой не произвольную совокупность, а взаимосвязанные элементы в определенной целостности, экономические показатели призваны выражать конечный результат с учетом всех фаз воспроизводственного процесса.

Одной из важных причин увеличения природоемкости экономики стал превышающий все допустимые нормативы износ оборудования. В базовых отраслях промышленности, транспорта износ оборудования, в том числе очистного, достигает 70–80%. В условиях продолжающейся эксплуатации такого оборудования резко увеличивается вероятность экологических катастроф.

Типичной в этом отношении стала авария нефтепровода в арктическом районе Коми около Усинска, в результате которой на хрупкие экосистемы Севера вылилось – по различным оценкам – до 100 тыс. т нефти. Эта экологическая катастрофа стала одной из крупнейших в мире в 90-х гг., и она была вызвана крайней изношенностью трубопровода. Авария получила мировую огласку, хотя по оценкам некоторых российских специалистов она является одной из многих – просто другие удалось скрыть. Например, в том же регионе Коми в 1992 г., по данным межведомственной комиссии по экологической безопасности, произошло 890 аварий.

Колоссален экономический ущерб экологических катастроф. На сэкономленные в результате предотвращения аварий средства в течение нескольких лет можно было бы реконструировать топливно-энергетический комплекс, существенно снизить энергоемкость всей экономики.

Ущерб, наносимый природе при производстве и потреблении продукции, - результат нерационального природопользования. Возникла объективная необходимость установления взаимосвязей между результатами хозяйственной деятельности и показателями экологичности выпускаемой продукции, технологией ее производства. Это в соответствии с законодательством требует от трудовых коллективов дополнительных затрат, которые необходимо учитывать при планировании. На предприятии целесообразно разграничивать затраты на охрану окружающей среды, связанные с производством продукции и с доведением продукта до определенного уровня экологического качества, либо с заменой его другим, более экологичным.

Существует связь между качеством продукции и качеством окружающей среды: чем выше качество продукции (с учетом экологической оценки использования отходов и результатов природоохранной деятельности в процессе производства), тем выше качество окружающей среды.

Каким образом можно удовлетворить потребности общества в должном качестве окружающей среды? Преодолением негативных воздействий с помощью обоснованной системы норм и нормативов, с увязкой расчетных методов ПДВ, ПДС и средозащитных мероприятий; разумным (комплексным, экономичным) использованием природных ресурсов, отвечающим экологическим особенностям определенной территории; экологической ориентации хозяйственной деятельности, планирование и обоснование управленческих решений, выражающихся в прогрессивных направлениях взаимодействия природы и общества, экологической аттестации рабочих мест, технологии выпускаемой продукции.

Обоснование экологичности представляется неотъемлемой частью системы управления, влияющей на выбор приоритетов в обеспечении народного хозяйства природными ресурсами и услугами в пределах намечаемых объемов потребления.

Различие производственных интересов и отраслевых заданий определяет особенности взглядов специалистов на проблему экологизации производств, применяемой и создаваемой техники и технологии.

Предпринимаются попытки на основе единого методического подхода, расчетом частных и обобщающих показателей выразить взаимосвязь натуральных и стоимостных характеристик в принятии экономически целесообразного и экологически обусловленного (приемлемого) решения. Приоритетность натуральных параметров, показателей отвечает потребностям ресурсообеспечения общественного производства. Стоимостные показатели должны отражать результативность усилий по снижению (или повышению) техногенной нагрузки на природу. С их помощью производится расчет

экологического ущерба и оценивается эффективность мер по стабилизации режима природопользования.

Надо сказать, что кроме этого принимаются и такие меры, как:

- обеспечение организации производства нового, более совершенного оборудования и аппаратуры для очистки промышленных выбросов в атмосферу от вредных газов, пыли, сажи и других веществ;
- проведение соответствующих научных исследований и опытно-конструкторской работ по созданию более совершенной аппаратуры и оборудования для защиты атмосферного воздуха от загрязнения промышленными выбросами;
- осуществление на предприятиях и организациях монтажа и наладки газоочистного и пылеулавливающего оборудования и аппаратуры;
- осуществление государственного контроля за работой газоочистных и пылеулавливающих установок на промышленных предприятиях.

Природно-промышленные системы в зависимости от принятых качественных и количественных параметров технологических процессов отличаются друг от друга по структуре, функционированию и характеру взаимодействия с природной средой. В действительности даже одинаковые по качественным и количественным параметрам технологических процессов природно-промышленные системы отличаются друг от друга неповторимостью экологических условий, что приводит к различным взаимодействиям производства с окружающей его природной средой. Поэтому предметом исследования в инженерной экологии является взаимодействие технологических и природных процессов в природно-промышленных системах.

В то же время в более развитых странах подход к проблемам окружающей среды со стороны правительств гораздо более жесток: например, ужесточаются нормы содержания вредных веществ в выхлопных газах. Чтобы не потерять свою долю рынка в сложившихся условиях, компания Honda Motors установила под капот современный 32-разрядный компьютер и озадачила его проблемой сохранения окружающей среды. Микропроцессорное управление системой зажигания – не новость, однако, похоже, впервые в истории автомобильной промышленности программно реализован приоритет чистоты выхлопа, а не выжимания лишних «лошадей» из мотора. Надо сказать, компьютер в очередной раз продемонстрировал свой интеллект, уже на промежуточном этапе снизив токсичность выхлопа на 70% и потеряв при этом всего 1,5% мощности двигателя. Вдохновленный результатом, коллектив инженеров и программистов начал экологическую оптимизацию всего, что хоть как-то такую оптимизацию в состоянии вынести. Электронный эколог под капотом бдительно следит за составом рабочей смеси, впрыскиваемой в цилиндры, и «в режиме реального времени» управляет процессом сгорания топлива. А если, несмотря на все старания, что-то в выхлопную трубу и проскочит, то наружу не выйдет: специальные датчики тут же сообщают об этом компьютеру, который, перенаправив коварную порцию выхлопа в специальный отсек, уничтожит ее там с помощью электричества. Разумеется, не забыли навесить на двигатель и специально разработанный каталитический дожигатель особой конструкции. Результат, как говорится, превзошел все ожидания: мощность двигателя снизилась совсем ненамного, экономичность не пострадала, а что касается выхлопа – забавно, но факт: процентное содержание в нем вредных веществ заметно меньше, чем в воздухе, которым дышат жители, например, центральных районов Лос-Анджелеса.

В данной работе сделана попытка рассмотреть экологические проблемы при развитии промышленного производства.

Следует также сказать, что общеэкономические реформы иногда приводят к непредвиденному ущербу для окружающей среды. Существование отжившей политики, несовершенство рынка и организационных структур где-либо в экономике могут непредусмотренным образом взаимодействовать с более общими экономическими реформами и создавать стимулы для чрезмерного использования природных ресурсов и деградации окружающей среды. Исправление такого положения обычно не требует отказа от первоначальной экономической политики. Вместо этого требуются определенные дополнительные меры, устраняющие несовершенство рынка, организационных структур или отжившую политику. Такие меры обычно не только благоприятно сказываются на окружающей среде, но и являются решающим компонентом успеха общеэкономических реформ.

Охрана природы – задача нашего века, проблема, ставшая социальной. Чтобы в корне улучшить положение, понадобятся целенаправленные и продуманные действия. Ответственная и действенная политика по отношению к окружающей среде будет возможна лишь в том случае, если мы накопим надёжные данные о современном состоянии среды, обоснованные знания о взаимодействии важных экологических факторов, если разработает новые методы уменьшения и предотвращения вреда, наносимого природе человеком.

Список литературы: 1. Закон Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» // «Народная газета» – 15 января 1993 г. 2. Порядок начисления и внесения в бюджетные фонды охраны природы в 1998 г. (Утвержден ГКН РБ №02/62, Минприроды РБ №02-8/2528, Минфином РБ №17 от 22 июля 1998 г.). 3. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Основы экоразвития. Учебное пособие. – М.: Издательство Российской экономической академии им. Г.В. Плеханова, 1994. – 312 с. 4. Голуб А.А., Струкова Е.Б. Экономические методы управления природопользованием. – М.: Наука, 1993. – 136 с. 5. Неверов А.В. Экономика природопользования. Учебн. пособие для вузов. – Минск: Вышэйшая школа, 1990. – 216 с. 6. Быстраков Ю.И., Колосов А.В. Экономика и экология. – М.: Агропромиздат, 1988. – 204 с.

УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ФРЕТТИНГ-КОРРОЗИИ В ЗУБЧАТЫХ МУФТАХ

Польченко В.В., Аксенов А.С. (кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Зубчатые муфты, обладая несомненными достоинствами (компенсация несоосности валов, простота конструкции, передача значительных крутящих моментов и т.д.), имеют серьезный недостаток – малую долговечность по износу зубчатого венца. Одним из часто встречающихся видов износа является фреттинг-коррозия. Устранение или минимизация изнашивания при фреттинг-коррозии обеспечит повышение долговечности зубчатых муфт [1]. Этому вопросу посвящена данная работа.

Зубчатая муфта общего назначения состоит из двух зубчатых зацеплений с передаточным отношением равным единице. При отсутствии погрешностей изготовления и монтажа в контакте одновременно находятся все зубья, и нагрузка между ними распределяется равномерно. Но практически этого не бывает, так как даже при соосных валах наблюдается перекося осей обоймы и втулки, обусловленный наличием боковых и радиальных зазоров между зубьями.

Если на распределение зазоров между зубьями определяющее влияние оказывает угол перекоса осей обоймы и втулки, то при работе муфты в каждом зацеплении возникают две диаметрально противоположные контактные зоны, симметричные оси наибольших перекосов. Каждая пара зубьев последовательно проходит обе контактные зоны, причем в одной из них наблюдается цикл возвратно-поступательного скольжения рабочих поверхностей зубьев.

Скорости относительного перемещения зубьев, обусловленные углом перекоса осей обоймы и втулки и частотой вращения муфты также имеют знакопеременный характер и для стандартных муфт лежат в пределах 0,2-1,0 м/с.

Величина относительного перемещения (возвратно-поступательного) зависит от размеров муфты, точности изготовления зубчатого зацепления, угла перекоса осей обоймы и втулки и изменяется от 0 (при отсутствии погрешностей изготовления и монтажа) до 3,5 мм (для углов перекоса до $1,5^\circ$). Такая относительная скорость скольжения контактирующих зубьев не обеспечивает постоянного масляного клина, защищающего контакт зубьев при трении.

При таких условиях работы зубьев на их рабочих поверхностях развивается разрушение, вызываемое фреттинг-коррозией, которая была установлена в результате исследования состояния поверхностного слоя зубьев. При проведении исследований применяли металлоструктурный анализ, изучали микрогеометрию поверхности трения и микротвердость поверхностных слоев, а также внешний вид поврежденных участков зубьев, что с достаточной точностью позволило установить ведущий вид разрушения – фреттинг-коррозию.

Фреттинг-коррозия обладает рядом отличительных особенностей по сравнению с другими видами разрушения поверхностей. При трении сопряженных зубьев скорость относительного перемещения контактирующих поверхностей мала по сравнению со скоростями при обычном трении скольжения; малая амплитуда смещений затрудняет

удаление продуктов износа из зоны контакта; процесс фреттинг-коррозии отличается большой интенсивностью разрушения по сравнению с другими видами изнашивания поверхностей; продуктами фреттинг-коррозии металлов являются, в основном, их окислы [2].

Интенсивность разрушения контактирующих поверхностей при фреттинг-коррозии

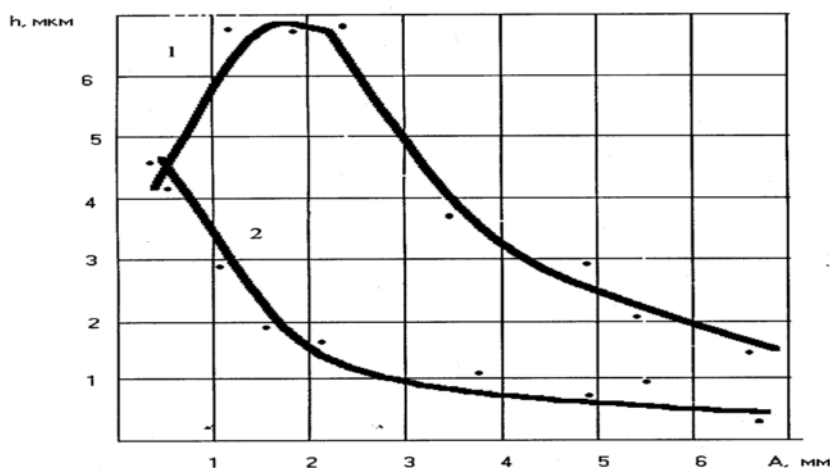


Рис. 1. Влияние амплитуды A на износ образца h при $P=890$ МПа, $n=560$ мин⁻¹, $l=3 \times 10^4$ мм, сталь 45, НВ 197...205: 1-сухое трение; 2-со смазкой И-30

зависит от ряда факторов: внешних механических воздействий, химической активности газовой среды, природы контактирующих материалов, свойств продуктов износа и т. д. Параметрами внешнего механического воздействия являются продолжительность нагружения, удельная нагрузка, амплитуда скольжения и частота колебаний. Они, в ос-

новном, определяют характер и интенсивность разрушения контактирующих металлических поверхностей при фреттинг-коррозии.

Авторами исследовалось влияние амплитуд скольжения от 0,1 до 3,6 мм на интенсивность фреттинг-коррозии зубьев зубчатых муфт. Исследования проводились на специально спроектированной установке, моделирующей условия контактирования зубьев муфты. Эксперименты проводились в режиме граничного трения и в среде смазки «Индустриальное-30». Для оценки интенсивности разрушения поверхности в зависимости от величины скольжения линейный износ приводился к единице пути трения. Эксперименты проводились при пути скольжения равном 3×10^4 мм. Зависимость линейного износа h от амплитуды скольжения A представлена на рис.1. Из графика следует, что с уменьшением амплитуды скольжения линейный износ при трении со смазкой на всем диапазоне изменения амплитуды скольжения увеличивается.

Иной характер изменения линейного износа при изменении амплитуды скольжения выявлен при трении без смазки. В этом случае зависимость линейного износа от амплитуды скольжения имеет максимум, который обнаружен при амплитудах близких к 1 мм.

Полученную экспериментальную зависимость можно объяснить изменением условий кинетики разрушения и образования защитных пленок, причем решающим фактором, влияющим на величину износа, является время контакта поверхностей трения с внешней средой.

Металловедческий анализ поверхностей трения показал, что с увеличением амплитуды скольжения (увеличением времени контактирования поверхностей трения с газовой и жидкой средой) процессы схватывания минимизируются и переходят в нормальный механо-химический износ. Это явление проявляется при значениях амплитуд близких к 2 мм.

При уменьшении амплитуды скольжения (уменьшения времени контактирования

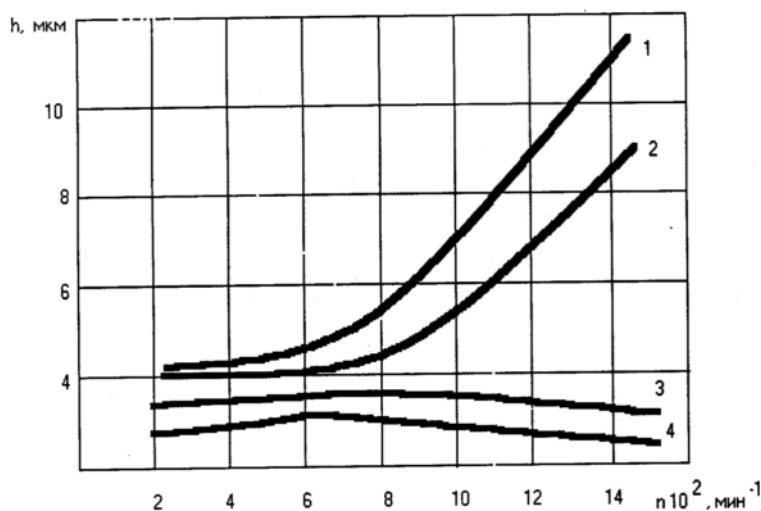


Рис. 2. Влияние частоты колебаний n на износ образца при $A=2,5$ мм, $l=1,5 \times 10^4$ мм: 1-сухое трение, $P=1035$ МПа; 2-сухое трение, $P=890$ МПа; 3-смазка И-30, $P=1035$ МПа; 4-смазка И-30, $P=890$ МПа

1,0мм при трении без смазки основным процессом является усталостное разрушение металла, сопровождающееся появлением значительного количества трещин и повыше-

поверхностей с газовой и жидкой средой) пленка окислов не успевает образоваться достаточной толщины, и на поверхностях трения остаются ювенильные поверхности, образовавшиеся от предыдущего цикла разрушения. При таких условиях процессы схватывания интенсифицируются при малых давлениях. Кроме того, при малых амплитудах скольжения затрудняется выход частиц износа из зоны трения, которые оказывают абразивное действие.

В условиях трения с амплитудами близкими к

нием химической активности поверхности трения. В этом случае износ осуществляется через механизм динамического окисления.

Результаты эксперимента показывают, что уменьшение величины линейного износа зубьев зубчатых муфт может быть достигнуто выбором определенной амплитуды относительного скольжения. Идеальным случаем работы зубчатых муфт можно считать такой, когда отсутствует реверсивное трение скольжения.

Второй путь уменьшения износа – это увеличение амплитуды относительного скольжения, при которой процессы схватывания минимизируются. Следует иметь в виду, что для каждого значения амплитуды существует определенное значение давления, при котором возникает схватывание. Увеличение амплитуды относительного скольжения достигается увеличением угла перекоса осей обоймы и втулки. При этом увеличивается путь трения для зуба втулки, что не всегда желательно.

Влияние частоты колебаний на величину линейного износа исследовалось в диапазоне от 3 до 10 Гц при амплитуде 1,25 мм и постоянном пути трения 15×10^3 мм в среде смазки «Индустриальное-30» и без смазки. Полученные экспериментальные зависимости представлены на рис.2. В диапазоне исследованных частот, износ увеличивается с увеличением частот колебаний при трении без смазки. При работе в среде смазки «Индустриальное-30» в области низких частот наблюдается больший износ, чем в области высоких частот.

Увеличение износа при высоких частотах нагружения контакта в условиях сухого трения можно объяснить изменением скорости относительного перемещения зубьев и разупрочнения поверхности трения.

По данным эксперимента изменение скорости на низких и высоких частотах составляет примерно 7 раз. Такое повышение скорости при высоких частотах приводит к повышению температуры поверхностного слоя. Это способствует увеличению поверхностной энергии образца, интенсификации диффузионных процессов и образованию пленок окислов большой толщины. При трении с высокими частотами было замечено обильное выделение продуктов износа, что косвенно подтверждает высказанное предположение.

Металлографический анализ поверхностей трения показывает, что при высоких частотах происходит снижение микротвердости изнашиваемой поверхности. Снижение микротвердости объясняет интенсивный износ при высоких частотах возвратно-поступательного скольжения.

В условиях трения со смазкой при низких частотах скорость относительного скольжения мала ($\approx 0,4$ м/с), что неблагоприятно сказывается на образовании масляного клина между трущимися поверхностями. Увеличение частоты колебаний увеличивает скорость относительного скольжения и способствует образованию жидкостной смазки на некоторых участках контактирующих зубьев. Этим положением объясняется уменьшение износа при высоких частотах колебаний.

Проведенные исследования условий возникновения фреттинг-коррозии и ее интенсивности позволят на стадии конструирования, изготовления и эксплуатации управлять долговечность зубчатых муфт.

Список литературы: 1. Польшенко В.В., Михайлов А.Н. Износ в зубчатых муфтах. //Прогрессивные технологии и системы машиностроения: сб. научных трудов. - Донецк: ДонГТУ, 1997. Вып. 4 - с. 131-135. 2. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. Киев, 1970. 396 с.

МЕХАНИЗМ И ПАРАМЕТРЫ СВЕЧЕНИЙ НАД МАЛЫМИ ИСКУССТВЕННЫМИ СПУТНИКАМИ ЗЕМЛИ*

Цымбалов Д.С. (ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Значимость аэрокосмической техники ставит проблемы ее функциональности и надежности в ранг приоритетных направлений науки и техники. Предназначенные для длительной орбитальной работы в целях сбора ценной информации, искусственные спутники Земли (ИСЗ) подвергаются оптическому экранированию со стороны приповерхностных свечений [1-3]. В результате требуются специальные меры для ослабления негативного влияния свечений на бортовые оптические системы. Выработка таких мер требует надежной идентификации излучающих агентов и механизмов их образования и/или возбуждения.

Анализ экспериментальных данных, приведенных в обзорах [1-4] и появившихся в последние годы экспериментальных работах, позволил факторизовать зависимость яркости свечения над наветренными поверхностями ИСЗ от длины волны λ , угла атаки α , высоты H и температуры поверхности T_w [5].

Уточнить расчет характеристик свечения над малыми ИСЗ можно, подобрав физико-химического механизма, обеспечивающий наблюдаемую радиационную кинетику. Отыскание реалистичного физико-химического механизма свечений над ИСЗ ставилось целью проведенных исследований.

Установлено [1-4], что спектральный состав и пространственный масштаб свечения над малыми спутниками отвечает излучению колебательно-возбужденных частиц ОН($X^2\Pi$). Далее возможны два сценария образования возбужденных ОН($X^2\Pi$): 1) т.н. процесс *Лэнгмюра – Хиниельвеуда*, в котором налетающие на поверхность атомы О адсорбируются поверхностью и мигрируют по ней некоторое время $\tau_{\text{адс}}$ до вступления в реакцию, затем после образования *горячие частицы* ОН покидают поверхность КЛА и 2) процесс *Или – Ридела*, состоящий в непосредственном ударном реагировании налетающих частиц О с адсорбированными на поверхности молекулами H_2O . В обоих случаях продукт реакции существенно и неравновесно возбужден.

Факт пропорциональности яркости и энергии торможения позволяет оценить энергию активации гетерогенного процесса



на основе аррениусовской модели реакции. Требуется только заменить температурный фактор (тепловую энергию) – на энергетический фактор набегающего потока, т.е. считать, что скорость W реакции (I) связана с энергией торможения E_k зависимостью

$$W \sim e^{-E_A/E_k} \quad (1)$$

Логарифмическое дифференцирование зависимости (1) и последующее приравнивание величины $\partial \ln W / \partial \ln E_k$ к единице (отражает экспериментальный факт прямой пропорциональности яркости свечения и энергии соударения) дает возможность оценить снизу энергию активации $E_A = E_k$ как ~ 5 эВ или 500 кДж/моль. Это значение примерно в семь раз больше, чем для аналогичной (1) реакции в газовой фазе. Различие объясняется упорядоченностью адсорбированных частиц H_2O в невыгодном для реакции направлении – атомами Н «под удар» набегающего потока атомов О. Эффективная «неупругость» столкновения, эквивалентная степени передачи поступательной энергии потока О в колебательные степени свободы $H_2O_{\text{адс}}$, оказывается в восемь раз (отноше-

* Работа выполнена при поддержке Фонда ALCOA.

ние массы атомов кислорода и водорода) меньше.

Иначе объяснить повышение энергии активации процесса (I) по сравнению с *адиабатической* газофазной реакцией между теми же реагентами – до уровня прочности связи О – НО можно, если предположить существенную неадиабатичность элементарного акта. Лимитирующей стадией такого процесса является отрыв водородного атома от адсорбированной молекулы воды; образующиеся в результате свободные атомы Н реагируют впоследствии с высокоэнергетичными атомами О без энергии активации. Вторая стадия протекает сравнительно быстро благодаря 1) высокой взаимной скорости реагентов, 2) их совершенной форме и 3) отсутствию у них внутренней колебательной структуры. Роль *третьей частицы*, гасящей избыточное возбуждение продукта, выполняют как поверхность аппарата, так и радиационная дезактивация $\text{OH}(\text{X}^2\Pi)$. Угловая зависимость скорости процесса в этой постановке возникает из-за снижения вероятности соединения О и Н, а также вследствие интенсификации отвода избыточной энергии от образовавшейся горячей частицы ОН поверхности по мере увеличения угла атаки. Каждый из этих двух факторов примерно пропорционален косинусу угла атаки. Таким образом, предлагаемый двухстадийный механизм взаимодействия атмосферных частиц с поверхностью ИСЗ позволяет интерпретировать наблюдаемую экспериментально угловую зависимость яркости свечения.

Теоретическое рассмотрение кинетики радиационной дезактивации $\text{OH}(\text{X}^2\Pi)$, выполненный в данной работе на основе подходов и результатов численного эксперимента [4,5], позволило выразить интенсивность свечения посредством функции, аргументами которой служат перечисленные параметры, а областью работоспособности – диапазон $(580 \leq \lambda \leq 4200 \text{ нм}) \times (0 \leq \alpha \leq 90 \text{ град}) \times (140 \leq H \leq 280 \text{ км}) \times (170 \leq T_w \leq 470 \text{ К}) \times (2 \text{ кК} \leq T_v \leq \infty)$. Полученная зависимость выражается формулой

$$I = I(\Delta\nu, r, T_v, \alpha, H, T_w) = S_{\Delta\nu} e^{-hc/k \cdot \omega_e \Delta\nu / T_v} e^{-[\alpha_{\Delta\nu}(T_v) r - (\beta_{\Delta\nu} / l_e(\Delta\nu)) r^2] / [1 + \beta_{\Delta\nu} r]} \times \\ \times \cos^3 \alpha \cdot e^{-0.141 H + 0.000254 H^2 + 1625 / T_w}, \text{ Р/нм}, \quad (2)$$

где $\Delta\nu$ – разность колебательных квантовых чисел комбинирующих уровней; r – расстояние от поверхности КЛА; $S_{\Delta\nu}$ – интегральная интенсивность свечения в секвенции $\Delta\nu$; параметр $-1/l_e(\Delta\nu)|_{T_v \rightarrow 0} \leq \alpha_{\Delta\nu} \leq l_e(\Delta\nu + 1/2)|_{T_v \rightarrow 0} / 2l_e(\Delta\nu + 1)|_{T_v \rightarrow 0}^2$ отвечает степени колебательного возбуждения $\text{OH}(\text{X}^2\Pi)$, а $\beta_{\Delta\nu} = 1/l_e(\Delta\nu + 1)|_{T_v \rightarrow 0}$ – величине, обратной временному масштабу радиационной релаксации ближайшей «накачивающей» секвенции $\Delta\nu + 1$. Значения параметров в (2) и зависимости $\Delta\nu = \Delta\nu(\lambda)$ и $\alpha_{\Delta\nu} = \alpha_{\Delta\nu}(T_v)$ сведены в табл. 1-2.

Таблица 1. Спектральное положение и интегральная сила секвенций $\text{OH}(\text{X}^2\Pi)$ в излучении

$\Delta\nu$	1	2	3	3 и 4	4	5	6
$\Delta\lambda, \text{ нм}$	2600-4200	1300-2000	930-1300	830-930	720-830	580-720	510-580
$S_{\Delta\nu}, \text{ Р/нм}$	$4 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	10^4	$6 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$

Полученный результат в пределах 25 %-й погрешности согласуется как с экспериментом, так и с данными, полученными численным интегрированием уравнений квантовой радиационной кинетики [3]. Это обстоятельство является следствием универсальности механизма свечений над малыми ИСЗ.

Таблица 2. Зависимость длины е-кратного ослабления яркости свечения от номера секвенции и степени колебательного возбуждения ОН($X^2\Pi$)

$\Delta\nu$	$l_e(\Delta\nu)$, м			Делегированный масштаб $l_e(\Delta\nu) _{T_V \rightarrow \infty} - l_e(\Delta\nu) _{T_V \rightarrow 0}$, м	Квантовый инвариант $\Delta\nu l_e(\Delta\nu)$, м
	$T_V \rightarrow \infty$	$T_V = 20$ кК	$T_V = 2$ кК		
1	37	35	24	13	$24 \div 37$
2	17	14	11	6	$22 \div 28$
3	11	8	6.5	4.5	$19.5 \div 33$
4	6.5	5.5	4.4	2.1	$17.6 \div 26$
5	5	3.4	3	2	$15 \div 25$
6	3.5	3.0	2.7	—	$16.2 \div 21$

При помощи соотношения (2) можно не только оценивать параметры свечения перспективных ИСЗ, но также разрабатывать и уточнять процедуры регистрации свечений для определения количественных характеристик реакции (I). Из него, в частности, следует важность экспериментального определения профилей типа изображенных на рис. 1 при различных высотах и прочих условиях полета. Полученные путем непосредственных измерений данные о зависимости $I = I(\Delta\nu, r, H)$ позволят уточнить количественную сторону процесса.

Практически ценно, что предложенные модели пригодны для целенаправленного совершенствования техники орбитальных оптических измерений – как выбором надлежащих приборных единиц, так и средствами программной коррекции спектроскопических данных.

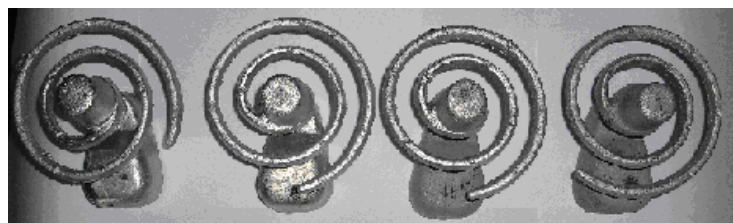
Список литературы: 1. Гаррет Х.Б., Чатджян А., Гэбриэл С.Б. // Аэрокосмическая техника. 1989. № 10. С. 64-90. 2. Хантон Д.И. // В мире науки. 1990. № 1. С. 56-63. 3. Дорошенко В.М., Кудрявцев Н.Н., Мазяр О.А. и др. / Препринт ИВТАН № 8-340. М., 1992. 4. Дорошенко В.М., Кудрявцев Н.Н., Яценко О.В. // Журн. прикл. спектр. 1992. Т. 57. № 5-6. 5. Яценко О.В. // Полет. 2005. № 10. С. 19-23.

A NEW TYPE OF AL - SI - MG ALLOY WITH DIFFERENT CA CONTENT REGARDING STRUCTURE AND FLUIDITY

Střihavková E., Weiss V. (*The Department of Technology and Material Engineering, the Faculty of Production Technology and Management, J. E. Purkyně University in Ustí nad Labem, the Czech Republic*). E-mail: střihavkova@fvtm.ujep.cz

INTRODUCTION. An alloy AlSi7Mg0,3 is considered to be a classic representative of Al-Si alloys. The alloy is used for thin, extremely complex or medium-duty castings, it belongs to the class of hardening silumins which hardenability is guaranteed by Mg_2Si eliminating phase [1]. Mechanical properties are not the same as those of Al-Si-Cu alloy type, but on the other hand, comparing with the alloys of this type, corrosion resistance is significantly improved. One of the possibilities how to improve mechanical properties can be rare alkaline earth metals application, which considerably reduces dendrite porosity [2]. Being under modi-

fied and hardened condition the alloy reaches tensile strength of 200 MPa. Strength properties of Al-Si-Mg silumin alloy can be positively influenced by vaccination, which provides grain softening, when we can reach the value approaching 300MPa.



A) B) C) D)
Fig. 1. Casting spirals for Curry fluidity test

(alkali metals and alkaline earth metals) is demonstrated, but the only modification of sodium, strontium and antimony has practical importance. The elements added as the modifier, which include calcium, are used less often and their influence on Al-Si modification is currently investigated [3]. Some researches consider calcium as a modifier; other researches take it as a harmful element because of its modification properties.

In the past calcium was used for binding impurities in aluminium alloys, although the results were not stable. Calcium was also offered to improve electrical conductivity of commercial aluminium.

EXPERIMENT METHODOLOGY. For experimental purposes aluminum alloy from the group of hypereutectic AlSi7Mg0,3 silumins was used. It is a ternary alloy with the initial chemical composition as listed in Table 1. Alloying was carried out using calcium in the form of master alloy AlCa10. There was a total of 4 cast melts. The first one was without the addition of master alloys AlCa10 and the other three were with graded amounts of calcium (0,1%, 0,5% and 1% Ca).

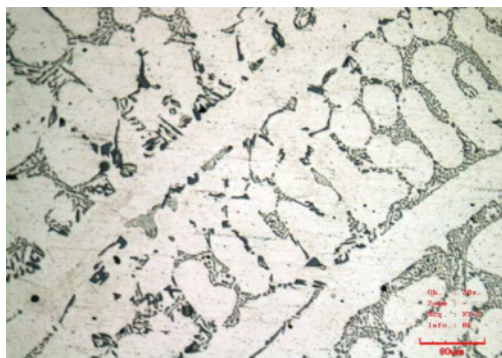
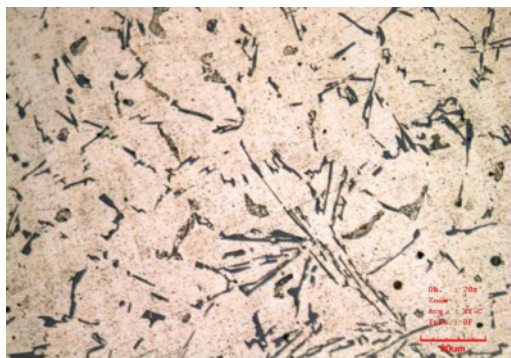


Fig. 2. The microstructure of alloys AlSi7Mg0,3 without the addition of Ca (200x magnification to the left) alloy microstructure AlSi7Mg0,3 with added amount of calcium 0.1% Ca (200x magnification to the right)

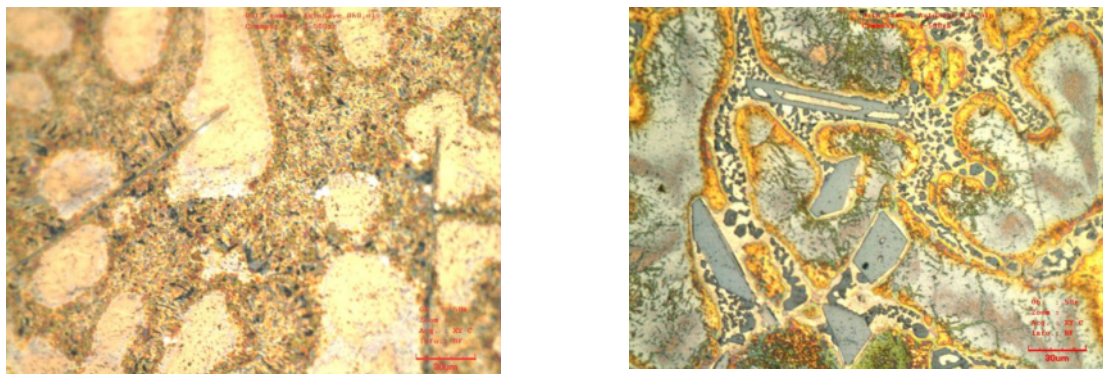


Fig. 3. The microstructure of alloys AlSi7Mg0,3 with added amount of calcium 0,5% Ca (500x magnification to the left) alloy microstructure AlSi7Mg0,3 with added amount of calcium 1% Ca (500x magnification to the right)

2.1. Fluidity testing for different types of alloys

Alloy fluidity is the ability to fill the form perfectly; it depends on the ratio between the alloy flow speed and its cooling speed. Fluidity test was performed on the shortened Curry spiral. The form was made of sand mixture used by the company Unitherm Ltd. from Jablonec nad Nisou (this company is engaged into the production of standard aluminum alloy castings in sand molds). There was silica sand material, betonies cement, coal powder and 3,5% water. The melt for the experiments was prepared from AlSi7Mg0,3 material, which contained 0%, 0,1%, 0,5% and 1% Ca. Melting took place in a graphite crucible in electrical furnace PEK-1 under 750 °C. After melting the treated melt was always refined from salt, and skimming was removed from the melt surface.

After temperature measurement, 720 °C melt was casted into a casting mold with the shortest delay. The casting time which did not exceed 5 seconds was kept. In the Picture 1 there are casting spirals and in the Table 2 there are Curry spiral measured values for each alloy.

2.2. Structural analysis of different alloy types

Metallographic thin sections were prepared to evaluate the microstructure of AlSi7Mg0,3Ca (0%, 0,1%, 0,5% and 1% Ca) alloy casting. The microstructure of the prepared casts was analyzed using black and white metallography after etching phosphoric acid H_3PO_4 during 7 minutes and applying colour contrast method after etching potassium permanganate solution in alkaline medium of sodium hydroxide. These prepared samples were observed by the means of laser confocal microscope Olympus LEXT OLS 3100.

The original microstructure of hypereutectic unmodified silumin alloy is constituted by α -phase grains and eutectic silicon formed by eutectic silicon plates in decomposed solid solution α , which appear as dark grey needles in metallographic sections (Fig. 2, to the left).

The amount of calcium contained in the second melt was 0,1% Ca. A substantial modification effect of calcium on the resulting structure is noticed. The structure shows rounded Si particles of granular or elongated shapes (Fig. 2, to the right). On the whole, it is very fine-grained structure.

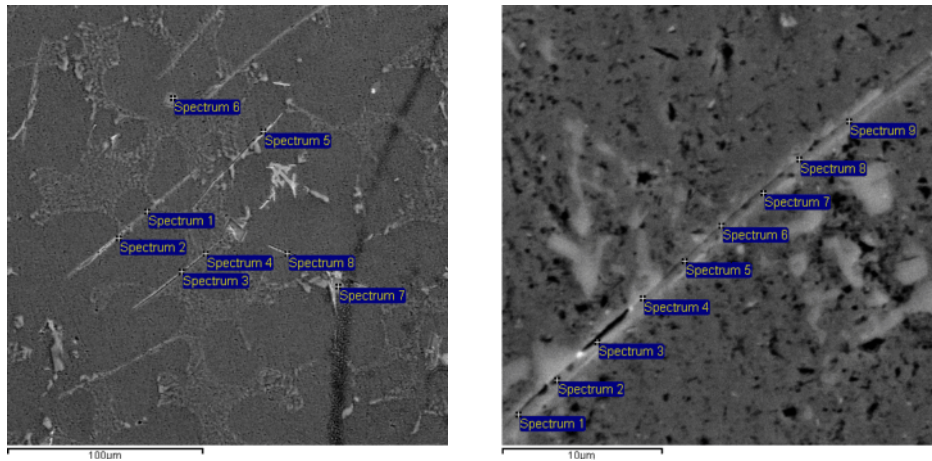


Fig. 4. Image AISi7Mg0,3 alloy microstructure, with added amount of calcium 0,5 % Ca with marked locations for analysis

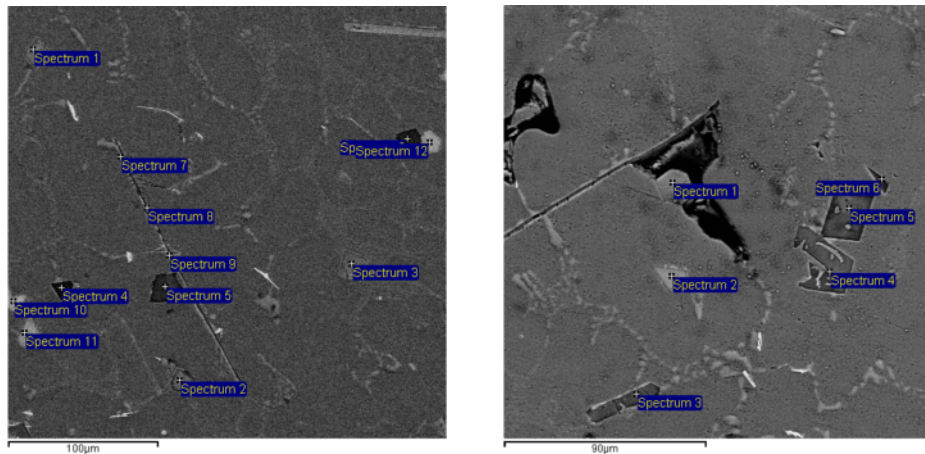


Fig. 5. Image AISi7Mg0,3 alloy microstructure, with added amount of calcium 1 % Ca with marked locations for analysis

The amount of calcium added to the third cast was 0,5% Ca. The increase in porosity in the shape of local clusters and the presence of granular particles of eutectic silicon is evident. The separate coarse dark needles (spatial plates) of intermetallic compounds are also noticed in the structure (Fig. 3, to the left).

The amount of calcium contained in the last fourth melt was 1,0% Ca. The local appearance of coarsen eutectic silicon particles (Fig. 3, to the right) and further increase in the appearance of intermetallic compounds in the form of dark needles are observed in the analysed microstructure. In the terms of research sources [2] intermetallic compound CaSi_2 and other intermetallic compounds have been still unidentified compositions, they are analyzed below in EDX spot analysis.

2.3. EDX spot analysis of the intermetallic phases containing calcium

The cast samples containing 0,5% calcium and 1% Ca were studied in the view of EDX spot analysis in order to determine the chemical composition of different intermetallic phases containing calcium.

Table 1. Entrance chemical composition of alloys AlSi7Mg0,3

Alloy	Chemical composition in % by weight								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti
AlSi7Mg0,3	7,09	0,105	0,001	0,017	0,230	0,001	0,001	0,003	0,118
	Chemické složení in % by weight								
	B	Be	Ca	Cd	Ga	Li	Na	V	Hliník
	<0,0001	<0,0000	<0,0002	0,0036	0,0131	<0,0000	0,0004	0,0031	<92,41

Table 2. Curry spiral measured values for each alloy AlSi

Alloy	Curry spiral values [cm]			
AlSi7Mg0,3	A = 0% Ca	B = 0,1% Ca	C = 0,5% Ca	D = 1,0% Ca
	80,1	70,0	88	93

Table 3. Results of chemical analysis of the spectra of alloys AlSi7Mg0, 3 with added amount of calcium 0,5 % Ca

Sp.	Mg	Al	Si	Ca	Mn	Fe	Total
1	0,21	55,76	33,41	10,36	0,01	0,01	100,00
2	0,20	48,75	33,85	8,32	0,70	8,18	100,00
3	0,22	97,48	1,79	0,40	0,02	0,09	100,00
4	0,21	82,50	17,23	0,03	0,00	0,02	100,00
5	0,47	97,98	1,51	0,01	0,03	0,00	100,00
6	0,24	97,87	1,91	-0,02	-0,03	0,02	100,00
7	0,05	11,69	88,30	-0,10	0,01	0,05	100,00
8	0,27	60,85	25,29	10,20	0,27	3,12	100,00
Max.	0,47	97,98	88,30	10,60	0,70	8,18	
Min.	0,05	11,69	1,51	-0,10	-0,03	0,00	
Ø	0,23	69,11	25,41	3,68	0,13	1,44	

Sp.	Mg	Al	Si	Ca	Mn	Fe	Total
1	0,20	72,96	24,71	2,09	0,00	0,05	100,00
2	0,16	51,80	47,93	0,06	0,02	0,04	100,00
3	0,25	92,37	6,33	0,00	0,02	0,04	100,00
4	0,19	68,65	31,17	-0,02	0,02	-0,01	100,00
5	0,18	63,93	35,89	0,02	-0,02	-0,01	100,00
6	0,23	81,76	17,98	0,01	0,02	0,01	100,00
7	0,22	76,80	22,97	0,10	0,01	-0,01	100,00
8	0,27	98,37	1,34	-0,01	0,02	0,01	100,00
Max.	0,28	98,38	47,93	2,09	0,02	0,05	
Min.	0,16	51,80	1,34	-0,02	-0,04	-0,01	
Ø	0,22	78,41	21,11	0,24	0,00	0,02	

On the basis of spot analysis results (Tab. 3 and Tab. 4) and with the help of stoichiometric ratios calculations, separate morphologically diverse intermetallic phases containing calcium in the form of long fine needles CaAl_6Si_4 (Fig. 4) and coarse sharp particles of irregular geometric shapes CaAl_2Si_4 and CaAl_2Si_3 (Pic. 5), which showed the expected presence of various intermetallic phases with calcium observed in a scanning microscope and by a carried out EDX spot analysis, were examined.

The presence of phosphorus, which is higher due to the application of refining and salt and phosphorus covering, is apparent among some spectra.

CONCLUSIONS. On the basis of experiments studying the fluidity of an aluminum alloy which belongs to the group of hypereutectic AlSi7Mg0,3 silumin alloys it can be stated that by the means of adding calcium to the alloy it is possible to improve fluidity.

After comparison the castings without the addition of calcium and with addition of 0,5% and 1% Ca an integrated upward trend in calcium influence on the alloy fluidity was demonstrated. The length of castings without the addition of Ca and with 0,5% Ca is about 8cm longer, and after further addition of 1% Ca the length increases at about 5 cm, so it can be stated that the addition of calcium has a positive impact on the alloy fluidity. The process error came during the casting with calcium 0,1%, since it is necessary to follow certain requirements which can effect fluidity and in-

clude mold temperature, cast alloy surface, which helps to lose heat, hardening time interval, alloy fluidity speed and the form's property to reduce heat.

Table 4. Results of chemical analysis of the spectra of alloys AlSi7Mg0,3 with added amount of calcium 1 % Ca

Sp.	Mg	Al	Si	Ca	P	Total
1		28,81	48,90	22,29		100,00
2		29,29	48,17	22,54		100,00
3		28,17	49,19	22,08	0,56	100,00
4		20,07	62,72	16,59	0,62	100,00
5		23,88	55,70	19,56	0,86	100,00
6	0,24	25,15	57,48	16,45	0,65	100,00
7	0,25	68,50	19,67	11,57		100,00
8		47,39	41,87	10,74		100,00
9	2,54	50,80	29,78	15,99		
10		35,19	41,69	23,12		
11	0,38	98,21	1,41			100,00
12.	0,34	33,63	41,77	24,26		100,00
Max.	2,54	98,21	62,72	24,26	0,86	100,00
Min.	0,25	20,07	1,41	10,74	0,56	100,00

Sp.	Mg	Al	Si	Ca	P	Ni	Fe	Total
1	0,06	29,40	45,75	23,67	1,04	0,05	0,01	100,00
2	0,07	31,87	42,64	25,01	0,35	0,01	0,06	100,00
3	0,05	25,95	50,76	22,20	1,07	0,01	-0,04	100,00
4	0,02	26,83	49,40	23,11	0,54	0,10	0,00	100,00
5	0,04	27,29	48,90	22,65	1,13	0,01	-0,01	100,00
6	0,65	80,11	18,12	0,45	0,68	-0,02	0,01	100,00
Max.	0,65	80,11	50,76	25,01	1,13	0,10	0,06	100,00
Min.	0,02	25,95	18,12	0,45	0,35	-0,02	-0,04	100,00
Ø	0,15	36,91	42,59	19,52	0,80	0,03	0,01	100,00

The evaluation of the observed structural analysis of individual types of alloys revealed significant structural heterogeneity in the distribution and coarsen tabular particles of intermetallic phases on the edges of type CaSi_2 dendrites. Picture 2 shows that after adding the minimum amount of calcium, there is a modification of the structure and after the addition of 0,1% Ca the original structure consisted of α -phase dendrites and eutectic silicon plates is very fine-grained. With further addition of Ca the amount of gas is increasing and it stimulates porosity growth and appearance of coarsen particle of irregular geometric shape on the edge of dendrites and intermetallic compounds of CaSi_2 types in the form of dark needles.

With the help of EDX spot analysis and spot values calculated using the stoichiometric ratio for each intermetallic phase with calcium, it can be stated about these phase types that:

1. From the morphological point of view, among alloys containing 0,5% calcium (Fig.4) there is the presence of long fine needles of intermetallic phases with the stoichiometric composition of calcium CaAl_6Si_4 .

2. According to stoichiometric ratio and in terms of morphology, among alloys containing 1% calcium (Fig.5) the presence of two types of intermetallic phases with calcium can be observed:

a.) dark long fine needles which reveal stoichiometric CaAl_2Si_4 composition,

b.) coarse sharp particles of irregular geometric shapes which reveal stoichiometric CaAl_2Si_3 composition.

References: 1. Lukáč, I., Grutková, J.: Vlastnosti a štruktúra neželezných kovov II, Alfa 1975. 2. Bolibruchová, D., Tillová, E.: Zlievarenské zliatiny Al-Si, ŽU v Žiline – EDIS, 2005, ISBN 80-8070-485-6. 3. Mondolfo, L.F.: Aluminium Alloys, Structure and Properties, Butterworths, London 1979.