

отклонение имеет показатель E_{np} - до 45-50%, почти одинаковым отклонение у R_v и R_s - до 25-30%. Ухудшение диэлектрических характеристик с увеличением глубины дефектного слоя связано с поглощением влаги и других атмосферных ингредиентов, увеличивающих его электропроводность. Нельзя не учитывать при этом влияния засоренности металлическими продуктами износа инструмента поверхностного слоя стеклопластика, которая, несомненно, тоже ухудшает диэлектрические характеристики.

Выводы

Установленная взаимосвязь между качеством поверхностного слоя волокнистых полимерных композитов после механической обработки и их эксплуатационными свойствами создает предпосылки для обеспечения требуемого уровня этих свойств на стадии механической обработки изделий из композитов. Обеспечение более высокого уровня эксплуатационных свойств волокнистых полимерных композитов за счет повышения качественных характеристик поверхностного слоя позволяет расширить функциональные возможности вышеупомянутых материалов, что в свою очередь создает предпосылки для замены дорогих титановых сплавов и легированных сталей. Это позволяет применять полимерные композиты в разных высокоразвитых отраслях производства:

- **АЭРОКОСМИЧЕСКАЯ ОТРАСЛЬ:** детали фюзеляжа, корпуса ракет, обтекатели ракет, космические капсулы, защитные купола антенн, рули, закрылки, панели для крыльев, кожухи электрических устройств, передние и задние кромки, трубопроводы, шангоуты, лопасти винтов для вертолетов, обтекатели антенн и двигателей, детали крыльев малых летательных аппаратов, гребни консоли крыла, горизонтальные стабилизаторы, предкрылки, рули поворота, кесон крыла, трубчатые стойки, ступицы винта, лонжероны, подкрыльевые обтекатели, нервюры, панели обшивки, зализы стыка крыла с фюзеляжем, спойлеры, верхний руль направления, балки крепления пола, пол, гондолы и детали двигателя, дверцы приборных отсеков, кожухи и теплозащитные экраны, ребра жесткости, емкости для хранения сжатых газов, контейнеры для пуска ракет.
- **СУДОСТРОЕНИЕ:** корпуса малых и средних судов, палубы, обтекатели, палубные надстройки, мачты, резервуары, поплавки,

буи, шангоуты, стрингеры, переборки, кожуха, обтекатели подводных лодок, балки, рубки, командирские мостики, резервуары для хранения топлива и питьевой воды, крышки гидроракетов, обтекатели антенн, защитные покрытия для металлов и дерева, стойки, панели.

- **АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ:** кузова автомобилей, панели пола, ящики для аккумуляторных батарей, бамперы, капоты и крышки багажников, задние откидные борта фургонов, передние панели, корпуса фар, крылья, кронштейны крыла, опорные кронштейны, основания сидений, задние двери грузовых пассажирских автомобилей-фургонов, мостики вдоль наливных горловин автоцистерн, боковые кронштейны буферов, дверные кронштейны, балки радиаторов, панели крыши и кузова, детали бампера.
- **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА:** корпуса приборов, корпуса низковольтных распределительных устройств, корпуса механизированного инструмента, корпуса кондиционеров с улитками вентиляторов, детали крепления органов управления, воздухопроводы, детали холодильников, посудомоечных машин, увлажнителей, электроизоляторы.

К практическим результатам проведенного исследования следует также отнести разработку ряда экспериментальных методик: определения статических и динамических свойств композитов, количественной оценки качества поверхностного слоя после механической обработки, определения влияния качества поверхностного слоя композитов после механической обработки на их эксплуатационные характеристики.

Список использованных источников: 1. Батаев А.А. Композиционные материалы. – М.: Логос, 2006. – 400 с. 2. Белецкий Е.Н. Обеспечение заданной точности и качества поверхности на операциях сверления углепластиков на основе моделирования процесса резания – дисс. на соиск. степ. канд. техн. наук. – Саратов, 2010. – 184 с. 3. Тарасюк А.П. Научные основы расширения функциональных возможностей полимерных композитов за счет создания эффективных процессов механической обработки. – дисс. на соиск. учен. докт. техн. наук. – Харьков 2011. – 484 с. 4. Дрожжин В.И. Физические особенности и закономерности процесса резания слоистых пластмасс. дисс. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук. – Харьков, 1982. – 388 с.

Поступила в редакцию 15.05.2012

УДК 621.794.61:621.891: 537.533.2

В.В. Тихоненко, А.М. Шкилько, канд. физ.-мат. наук, Харьков, Украина

ИЗНАШИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ, УПРОЧНЕННОГО МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

Исследованы триботехнические характеристики покрытия, полученного методом микродугового оксидирования на алюминии сплаве Д16, с привлечением физических методов диагностики.

Досліджено триботехнічні характеристики покриття, отриманого методом микродугового оксидування на алюмінієвому сплаві Д16, із залученням фізичних методів діагностики.

Tribological characteristics of coatings produced by microarc oxidation on aluminum alloy D16 are researched with the involvement of physical methods of diagnosis.

Введение. Детали из алюминиевых сплавов, применяемые в современном оборудовании, обладают повышенной прочностью и хорошей технологичностью изготовления, но имеют низкую твердость и невысокую износостойкость. Одним из наиболее перспективных способов поверхностного упрочнения является метод микродугового оксидирования (МДО), который позволяет получать на деталях из алюминия и его сплавов многофункциональные покрытия с уникальным комплексом свойств и высокими эксплуатационными характеристиками [1]. Технология МДО является гибкой и экологически чистой, она универсальна, поскольку может применяться как при изготовлении, так и при восстановлении деталей машин. Однако, технология МДО не позволяет получать одинаковую износостойкость упрочненных оксидных слоев, т.к. при приближении к поверхностным слоям основного металла их твердость снижается. Неодинаковое распределение твердости способствует различной кинетике изнашивания сопрягаемых деталей при эксплуатации и особенно при их приработке.

Износостойкость деталей машин должна оцениваться в соответствии со свойствами их поверхностных слоев и процессами, протекающими при износе. Изменения в поверхностном слое при эксплуатации характеризуются степенью пластической деформации, процессами диффузии и адсорбции, термическими и усталостными явлениями. В результате этих изменений возможно как упрочнение поверхностного слоя (механическое, термодиффузионное), так и разупрочнение [2].

Согласно ГОСТ 30480-97 исследование поверхностей, подвергнутых износу, предлагается осуществлять методами акустической эмиссии, контактной разности потенциалов (КРП), микротвердости и т.д. Данные методы и были выбраны нами при проведении исследований, но вместо акустической эмиссии выбрана не менее эффективная экзоземиссионная диагностика. На интенсивность и кинетику экзоземиссионной эмиссии влияют характеристики материала, из которого изготовлены образец и контртело (химический состав, размер зерен, дефектность структуры, физическо-химическое состояние поверхности), состав атмосферы, окружающей трущуюся пару, а также вид трения [3]. Метод КРП обладает высокой чувствительностью к изменению физико-химических свойств поверхности трения и позволяет контролировать режимы трения, изучать динамику дефектов на трущейся поверхности, выявлять локальные очаги разрушения поверхности трения, изучать взаимодействия смазочных материалов с поверхностью трения. Он может найти широкое применение при подборе материалов и смазок для конкретных узлов трения, т.е. при решении широкого ряда задач практической триботехники [4].

Целью настоящей работы является исследование триботехнических характеристик покрытия, полученного методом микродугового оксидирования на алюминии сплаве Д16, с привлечением физических методов диагностики.

Методика эксперимента.

Износостойкость поверхностей образцов с покрытием, полученным микродуговым оксидированием на алюминии сплаве Д16, исследовали в динамике трения в условиях сухого трения по схеме «диск-колодка». МДО-покрытие толщиной 150-200 мкм наносилось на диск.

Экспериментальная установка для исследования процессов трения включала три основных узла – измеритель КРП, устройство для измерения фотостимулированной эмиссии заряженных частиц (ФСЭЭ) и узел трения. Устройство для измерения ФСЭЭ представляло собой модифицированный метод измерения фотоэмиссионного тока на воздухе [5]. Узел трения принципиальных отличий от известных не имел. Стимулирование экзоземиссионной эмиссии осуществлялось ультрафиолетовым осветителем с набором светофильтров.

До и после эксперимента измерялись микротвердость дорожек трения с помощью ПМТ-3М. Износ покрытий определялся по уменьшению размера

тела в направлении, перпендикулярном к поверхности трения (линейный износ, J), при помощи индикатора часового типа с точностью $\pm 0,001$ мм.

Общий вид устройств для совместного исследования трения, экзозмиссии и КРП представлены на рис. 1.

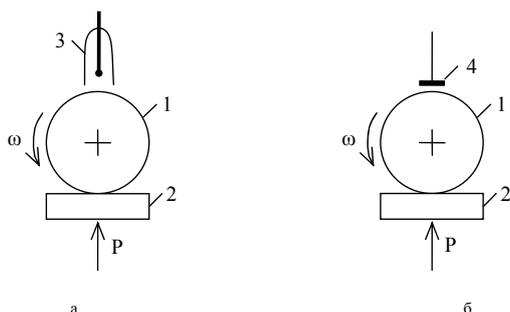


Рисунок 1 – Схемы узлов устройства для регистрации экзозмиссии (а) и КРП (б) в динамике трения: 1 – диск с МДО-покрытием; 2 – контролобразец (колодка); 3 – детектор экзозлектронов, 4 – эталонный образец измерителя КРП

Методика измерений экзозмиссии при трении аналогична предложенной в работе [6]. Диск 1 подвергается трению о контртело 2, а экзозмиссия измеряется детектором 3, находящимся в верхней части кольца. Свободное пространство перед детектором облегчает его монтаж и эксплуатацию, смену заградительных щитков, установку эталона, а также позволяет вести визуальное наблюдение и применять одновременно другие методы исследования. При снятии нагрузки контртело 2 опускается, трение прекращается в нужный момент, а кольцо продолжает вращаться на холостом ходу, не внося дополнительных погрешностей в экспериментальные результаты. Комплекс аппаратуры, обслуживающей счетчик, с добавлением двухкоординатного самопишущего прибора ПДС-021 позволял непрерывно наблюдать и записывать возникающую в воздушной среде в динамике трения электронную эмиссию.

На рис. 1 (б) вал 1 подвергается трению о контртело 2, выполненное в виде колодки. КРП измеряется между трущейся поверхностью вращающегося вала 1 и эталонным образцом 4.

Сухое трение является наиболее жестким режимом изнашивания пар трения. При этом наиболее четко выявляются свойства материалов, связанные с сопротивлением его изнашиванию, когда происходит непосредственное взаимодействие контактирующих поверхностей. В процессе сухого трения верхний слой металла подвергается интенсивной пластической деформации, развитию дислокационной структуры в приповерхностных слоях металлов и сплавов, интенсивной эмиссии заряженных частиц и изменению КРП.

Механическое воздействие при трении переводит поверхностные слои металла в энергетическое состояние, когда энергии квантов облучения достаточно для возникновения эмиссии электронов. В таком состоянии, как допускают авторы [6], под воздействием энергии облучения возможен процесс последовательного (каскадного) перехода электрона с более низких на более высокие энергетические уровни, который обладает определенным временем развития. Информация, получаемая с помощью методов экзозмиссии заряженных частиц и КРП, позволяет проследить достаточно глубокую связь интенсивности эмиссии экзозлектронов и изменения поверхностного потенциала с различными параметрами, характеризующими дефектность поверхности при трибонагрузении.

В результате сравнительной оценки износостойкости оксидных слоев на алюминии Д16 установлено, что у композиционного материала с оксидным покрытием износостойкость выше, чем у материала без покрытия. Измерения микротвердости показали, что характер ее изменения одинаков для каждой марки упрочненного сплава и прослеживается взаимосвязь с интенсивностью изнашивания оксидных слоев, что не противоречит результатам работы [7].

На рис. 2 представлены результаты измерений скорости изнашивания, интенсивности ФСЭЭ, КРП во времени и распределение микротвердости по толщине МДО-покрытия. По интенсивности изнашивания в покрытии выделяются три зоны, соответствующие трем слоям МДО-покрытия. Рыхлый поверхностный слой характеризуется наибольшей интенсивностью и скоростью изнашивания, поскольку имеет максимальное количество микро- и макродефектов, наибольшую из всех слоев пористость и относительно низкую величину микротвердости. В основном рабочем слое с наивысшей микротвердостью (до 22-25 ГПа) наблюдается наименьшая скорость изнашивания вплоть до переходного слоя, являющегося приграничной зоной перехода между материалом детали и покрытием. Когда опора нагрузки проходит границу раз-

дела покрытие-подложка и достигает мягкой, необработанной алюминиевой подложки, происходит резкое увеличение скорости износа.

Авторы работы [8] причинами наивысшей износостойкости МДО-слоев на сплавах типа Д16 считают, во-первых, то, что нитевидные кристаллы α -Al₂O₃ (корунда), содержащиеся в основном слое покрытия и закрученные в клубки совместно с мелкокристаллической матрицей, практически лишены возможности деформационных смещений за счет деформации одной матрицы, а, во-вторых, локализацию очагов разрушения на поверхностях, имеющих ячеистую структуру, поскольку микротрещины, разделяющие отдельные глобулы, задерживают смазку и уменьшают напряжения, передаваемые от деформированной глобулы к соседним.

Таким образом, учитывая вышесказанное и работы [7-10], можно заключить, что МДО-покрытие, по сути, является композиционным материалом, который удачно сочетает в себе относительную пластичность матрицы, состоящей из твердого раствора муллита 3Al₂O₃·2SiO₂ с незначительным количеством γ -Al₂O₃ и сложнooksидных соединений элементов основы с упрочняющей фазой α -Al₂O₃, которая, главным образом, и обеспечивает высокую износостойкость покрытий.

Выявлено, что сплав Д16 по сравнению с АМгб и АК5 технологичнее, поскольку имеет повышенную микротвердость упрочненных слоев за счет значительного содержания α -фазы Al₂O₃, а также, как предполагается в работе [7], вследствие большей плотности и меньшей величины зерна при оксидировании.

В начальной фазе процесса трения наблюдается скалывание микронеровностей. В процессе приработки на поверхности образца возникает большое количество эмиссионно-активных центров, которыми являются обнаженные поверхности срезанных микронеровностей с повышенной плотностью дислокаций [3]. Количество таких центров в процессе приработки увеличивается за счет увеличения реальной площади контакта, в результате чего наблюдается рост ФСЭЭ в начальной фазе совместной работы образца – контртела, причем наклон кривой почти постояен. Интенсивность ФСЭЭ увеличивается с ростом скорости изнашивания, либо вместе с увеличением давления контртела на образец или при увеличении угловой скорости образца [3]. За определенный отрезок времени при постоянной нагрузке эмиссия достигает насыщения. Повышенному значению микротвердости основного слоя покрытия соответствует менее интенсивная экзозмиссия. С возрастанием износа до определенной глубины слоя наступает разупрочнение металла, раз-

рушение его поверхностного слоя, что приводит к изменению интенсивности и кинетики ЭЭ во времени. Затуханию эмиссии экзозлектронов отвечает аналогичное увеличение микротвердости поверхности трения.

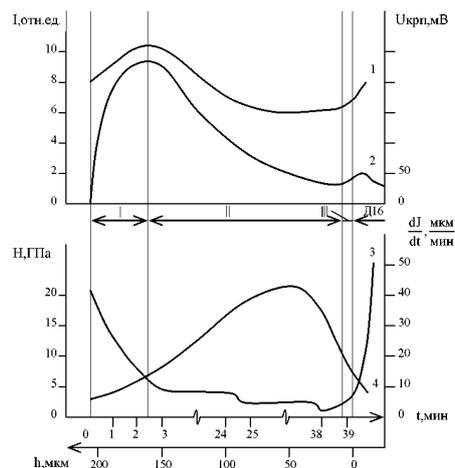


Рисунок 2 – Изменение КРП (1), интенсивности ФСЭЭ (2), скорости изнашивания (3) во времени и распределение микротвердости (4) по толщине покрытия, нанесенного методом МДО: I – наружный слой, II – основной слой, III – переходной слой.

Изменения КРП характеризуют те процессы, которые проходят в материале пары трения в различные моменты ее работы. В начальный момент работы пары отмечается скачкообразное повышение КРП, что связано с первоначальным этапом в формировании поверхностей трения (разрушение адсорбционных слоев, обнажение ювенильных участков, приработка контактируемых поверхностей), а также особенностью строения МДО-покрытия. При достижении основного слоя наблюдается снижение КРП относительно ее исходной величины, и через некоторое время КРП принимает установившееся значение до достижения материала подложки. В случае максимальных значений КРП поверхность образца имеет наибольшую дефектность, средним уча-

сткам подъема КРП соответствует интенсивное образование параллельных поверхности трения трещин, минимальное упрочнение соответствует наибольшим значениям КРП. Выявлена зависимость между коэффициентом трения и КРП пар трения: с увеличением коэффициента трения КРП возрастает.

Отметим, что МДО-покрытия обладают высокими антифрикционными свойствами, однако, наличие рыхлого слоя существенно ухудшает антифрикционные свойства пары трения, в процессе эксплуатации наблюдается осыпание частиц этого слоя покрытий, в зонах трения скапливаются порошкообразные продукты износа, которые существенно повышают коэффициент трения и интенсивность износа. Поэтому при работе МДО-покрытий в парах трения рекомендуется предварительно удалять рыхлый слой механическим путем или предусматривать операцию приработки.

Заключение

На основании проведенных исследований показано, что износостойкость оксидных слоев зависит от физико-химического состояния поверхности, оказывающего влияние на величину коэффициента трения, и микротвердости слоя. Высокая твердость, низкий коэффициент трения, малая пористость и шероховатость получаемых МДО-покрытий позволяет использовать их в качестве износостойких в различных областях промышленности.

Планируется разработка способа контроля многофункциональных МДО-покрытий по совокупности контролируемых характеристик и рабочей методики испытаний износостойких покрытий, полученных микродуговым оксидированием на алюминиевых сплавах.

Список использованных источников: 1. Тихоненко В.В. Метод микродугового оксидирования / В.В. Тихоненко, А.М. Шкелько // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 2/13 (56). – С. 13-18. 2. Зенкин Н.А. Повышение эксплуатационных характеристик композиционных материалов путем оптимизации упрочняющих технологий: Монография / Зенкин Н.А., Копылов В.И. – Киев, 2002. – 271 с. 3. Хандель-Повержа З. Экзоэлектронная эмиссия при исследовании трения скольжения стали 45 / З. Хандель-Повержа, А. Перикала, М. Пурж // Трение и износ. – 1981. – Т. 11, № 1. – С. 22-26. 4. Ибрагимов Х.И. Работа выхода электрона в физико-химических исследованиях / Ибрагимов Х.И., Корольков В.А. – М: Интермет Инжиниринг, 2002. – 526 с. 5. Шкелько А.М. Экзоэмиссионная диагностика поверхности конструкционных материалов: монография / Шкелько А.М. – Харьков: НоуДиж, 2009. – 240 с. 6. Евдокимов В.Д. Экзоэлектронная эмиссия при трении / Евдокимов В.Д., Семов Ю.И. – М.: Наука, 1973. – 182 с. 7. Федоров В.А. Влияние микродугового оксидирования на износостойкость алюминиевых сплавов / В.А. Федоров, Н.Д. Великосельская // Трение и износ. – 1989. – Т. 10, № 3. – С. 521-524. 8. Особенности микроструктуры упрочненных слоев, получаемых микродуговым оксидированием / В.П. Алексин, В.А. Федоров, С.И. Бульчев [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 1991. – № 5. – С. 121-126. 9. Кинетика изнашивания покрытий, нанесенных методом микродугового оксидирования / А.А. Петросян, В.Н. Малышев, В.А. Федоров [и др.] // Трение и износ. – 1984. – Т. 5, № 2. – С. 350-353. 10. Износостойкость покрытий, нанесенных анодно-катодным микродуговым методом / Г.А. Марков, В.И. Белвенцев, О.П. Терлева [и др.] // Трение и износ. – 1988. – Т. 9, № 2. – С. 286-290.

Поступила в редакцию 12.05.2012

297

УДК 621.7

Т.Л. Тринева, Ю.Г. Гуцаленко, Е.В. Балака, Харьков, Украина

СОВРЕМЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ УСКОРЕННОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЛОЖНОЙ МОДЕЛЬНОЙ ОСНАСТКИ

Наводиться огляд та приклади виконуваних в НТУ «ХПІ» розробок з прискореного виготовлення складної модельної оснастки на основі застосування лазерних технологій послідовного генеративного формоутворення. Розробки підтримуються методикою прогнозування часу повного циклу виготовлення виробів для прийняття обґрунтованих рішень на ранніх стадіях планування та організації виробництва.

Ключові слова: модельна оснастка, прискорене виготовлення, лазерна стереолітографія, селективне лазерне спекання, час повного циклу, прогнозування.

Приводится обзор и примеры выполняемых в НТУ «ХПИ» разработок по ускоренному изготовлению сложной модельной оснастки на основе применения лазерных технологий последовательного генеративного формообразования. Разработки поддерживаются методикой прогнозирования времени полного цикла изготовления изделий для принятия обоснованных решений на ранних стадиях планирования и организации производства.

Ключевые слова: модельная оснастка, ускоренное изготовление, лазерная стереолитография, селективное лазерное спекание, время полного цикла, прогнозирование.

An overview and examples of carried out in the NTU "KPI" development of the composite pattern equipment rapid manufacturing based on the use of laser technology layered generative morphogenesis are presented. The development is supported by the methods of forecasting the full cycle time of manufacturing of products to make informed decisions in the early stages of planning and organization of production.

Keywords: model tooling, rapid manufacturing, laser stereolithography, selective laser sintering, full-time, forecasting.

Введение. Роль скорости материализации конструкторских решений в конкурентном развитии промышленности особенно возросла в соответствующих нынешнему пятому и зарождающемуся на его базе шестому технологическому укладу [1] условиях глобализации экономики и открытого информационного пространства. Основанная на лазерном спекании порошковых композиций техническая идеология быстрого прототипирования послойным формообразованием [2] заданных электронным чертежом или аналитическими виртуальных конструкций, а также отображенных сканированием трехмерных реальностей сегодня реализуется в широкой гамме оборудования различных производителей применительно к производству твердотельных объектов из различных материалов – от полимеров до твердых сплавов.

Представленные статьи разработки опираются на практику Конструкторско-технологического бюро верификационного моделирования и подготовки производства, которое в рамках Учебно-научно-производственного объединения «Высокие технологии в машиностроении» при НТУ «ХПИ» является полигоном исследований по НИР «Разработка метода статистического

прогнозирования времени полного цикла рабочих процессов технологий лазерной стереолитографии (SLA) и селективного лазерного спекания (SLS)» (2010-2012 гг., научный руководитель профессор Грабченко А.И., номер государственной регистрации 0110U001237 (шифр M2237 в НТУ «ХПИ»). Страной-экспортером для этого КТБ первого в Украине оборудования реализации технологий SLA и SLS стала в 2001 г. Германия (3D Systems GmbH) – современный лидер европейской экономики и наиболее успешная европейская страна в условиях преодоления испытаний мировым кризисом последних лет, что не может не определять оценку актуальности и качества выполняемых в этой стране индустриальных проектов и научных исследований.

По данным одного из них, являющегося непосредственным предшественником темы M2237 и выполненного воспитанницей научной школы физики процессов резания НТУ «ХПИ» и диссертантом Магдебургского университета Кушаренко О.Н. [3], а также сайта www.werkzeug-formenbau.de в немецкоязычном сегменте Интернет, собственно германский опыт техники и технологий быстрого прототипирования генеративным металлическим формообразованием опирается на 5 основных предприятий и 10 основных поставляемых ими технологических установок (систем): кроме упомянутого выше предприятия-партнера КТБ из УНПО «Высокие технологии в машиностроении» 3D Systems GmbH (Darmstadt) с его 3D Systems Vanguard Anlage and Sinterstation 2500 plus. 230 SLS, это Concept Laser GmbH (Lichtenfels) с установками M1 CUSING, M2 CUSING, M3 Linear; EOS GmbH (Krailing) с установками EOSINT M 250 Xtended и EOSINT M 270; MCP Group HEK GmbH (Borcheln) с установками MCP Realizer 100 и MCP Realizer 250; Trumpf Laser and Systemtechnik GmbH (Ditzingen) с установками Trumaform LF 250 и Trumaform DMD 505. Рабочими металлами формообразования в возможных этих установках являются конструкционные и инструментальные стали, в том числе высококачественные и специальные, а также цветные (Ti, Al, Cu и др.) и чугуны.

Наше представление о современной организации ускоренного изготовления сложной модельной оснастки в Украине исходит, во-первых, из использования возможностей и адаптирования новейших технологий отечественной практики быстрого прототипирования для таких задач; во-вторых, – из использования адекватной этим возможностям методологии статистического прогнозирования длительности полного цикла генеративного создания изделий. Это представление опирается на собственный [4] и предшественников [5, 6] диссертационный исследовательский опыт, а также на учебно-научно-производственные результаты дипломного проектирования на базе КТБ в составе УНПО «Высокие технологии в машиностроении» и его общую практику [7].

Технологические решения быстрого прототипирования модельной оснастки. Переход к порошковым технологиям лазерного спекания модельной

оснастки потребовал проведения специальных материаловедческих исследований, ввиду неочевидности поведения традиционных материалов быстрого прототипирования при их использовании в изготовлении модельной оснастки в условиях литейного производства, где формообразующие элементы как кокилей, так и пресс-форм работают в условиях сложного термоциклического нагружения. В результате обоснован выбор определенных композиционных металлических порошков (КМ) для целевого формообразования ответственных деталей модельной оснастки лазерным спеканием при их послойном формообразовании, учитывающий специфику эксплуатации модельной оснастки и обеспечивающий ее высококачественную долговечность. Например, КМ_{Fe-Cr} рекомендовано использовать как материал литейной оснастки для литья алюминиевых сплавов в единичном производстве, а КМ_{Fe-W} – для изготовления кокилей и пресс-форм при массовом производстве алюминиевых сплавов и тонкостенных чугунных отливок. Для получения литейной оснастки с повышенным сроком службы предложено инфильтрацию проводить хромистой бронзой, поддерживающей высокие эксплуатационные свойства модельной оснастки, изготовленной по маршрутной технологии с основным рабочим процессом SLS [4].

С повышением точности и качества изготовления отливок связано введение понятия и применение поправочного коэффициента отклонений размеров (К_о). Конкретные значения К_о рассчитаны для каждого типа технологий послойного лазерного формообразования, рассматриваемых установок и применяемых в них материалов. Для минимизации размерных отклонений изделий послойного лазерного формообразования от прототипов соответствующие значения К_о поправки следует взаимосвязано учитывать на стадии проектирования монолитной литейной оснастки (в расчетах размерных цепей) и основных технологий ее генеративного производства.

Для увеличения срока службы литейной оснастки за счет устранения факторов термического напряженного контакта матрицы и вставки, ускоряющего их разрушение в циклической эксплуатации, величину зазора между вставкой и матрицей предложено выбирать с учетом максимального эксплуатационного значения коэффициента термического расширения материала вставки, что следует учитывать и в виртуальном формообразующем описании прототипов соответствующих объектов основных рабочих процессов SLS.

В результате разработанных [4] материаловедческих и технологических решений, в комплексе с результатами выполненными в УНПО «Высокие технологии в машиностроении» НТУ «ХПИ» предшествующих разработок [5, 6], впервые в отечественной практике ориентированных на использование SLS как основного рабочего процесса изготовления модельной оснастки со сложной формообразующей поверхностью, в Украине стало реальностью ее высокотехнологичное ускоренное производство, обеспечивающее ей продолжительный срок службы и высокие эксплуатационные качества, позволяющие

299

300