

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ АВИАЦИОННОЙ ОСНАСТКИ

© 2018 Е.Г. Карпухин, О.Э. Чоракаев

Институт авиационных технологий и управления
Ульяновского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 01.11.2018

Статья структурирует существующие модели покрытий авиационной оснастки, и оценки их производственных свойств, обосновывается важность вопроса совершенствования процесса использования обтяжных пуансонов в формообразовании авиационных конструкций.

Ключевые слова: обтяжной пуансон, формообразование, авиационное производство, антифрикционное покрытие, прогнозирование.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день остро, встала необходимость предугадывать заранее свойства композитных материалов, до их применения. В данной статье авторы пытаются обобщить мировой и отечественный опыт в направлении математического моделирования окончательных свойств антифрикционных жидкостей, на примере лака наносимого на технологическую оснастку.

Нами рассматривается технологическая штамповочная оснастка – обтяжной пуансон. Сфера его действия – это образование поверхностей одинарной и двойной кривизны, пример приведен на рисунке 1.

В авиастроении детали изготавливаемые таким образом – это аэродинамические поверхности, выходящие на теоретический обвод самолета. В первую очередь необходимо рассматривать изготовление таких часто распространенных деталей как элементы обшивки. Второе направление в авиастроении это изготовление (так называемая обтяжка элементов силового набора – стрингеров). Оба этих класса деталей являются высокоответственными в изготовлении, так как требуют большого количества операций при изготовлении, в том числе «долгая» механообработка. Обтяжка, как правило, выполняется на первых этапах технологического процесса, но последствия нарушения правильности обработки может выявиться на последующих этапах, что ведет не только к потери материала, но и к срыву сроков изготовления «высокоответственных» деталей, что в последствии

приводит к необходимости внесения корректирующих воздействий.

Хотя процесс стесненного формообразования постоянно изучается, начиная с середины прошлого века. На данный момент в условиях сложного машиностроения, в том числе в авиастроении возникает ряд проблем, например, вероятность брака обтягиваемой детали возрастает с увеличением числа ручных операций. Низкое качество литья и сложные условия работы приводят к неконтролируемому разрушению оснастки.

Этот факт не может не отразиться на качестве заготовок. Типичными проблемами обтянутых заготовок обшивки являются:

- задиры поверхности – должны быть устранены путем механической обработки, безусловно, снижает прочность конструкции, требует большого количества доводочных операций, нанесение шпаклевки напрасно увеличивает вест изделия.

- гофры листовой обшивки – устраняются выколоткой, что также снижает прочность из-за утонения материала и требует дополнительных операций в цикле производства.

- несоответствие геометрических размеров – единственным регулирующим воздействием, позволяющим нивелировать риски предыдущих недоработок, является закладка увеличенных припусков на заготовку, это увеличивает напрасный расход материала, стоимость готового продукта.

Широко развивающейся является отрасль снижения различными способами нагрузки на этот процесс. Предлагается формирование индивидуального покрытия под каждый технологический процесс, учитывающего такие параметры как градиент кривизны, обрабатываемые материалы (в том числе их совместный коэффициент трения, на основе шероховатости материалов).

Карпухин Евгений Геннадьевич, аспирант.

E-mail: ew.karpuhin1@ya.ru

Чоракаев Олег Эдуардович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Самолетостроение».

E-mail: olegchorakaev@yandex.ru

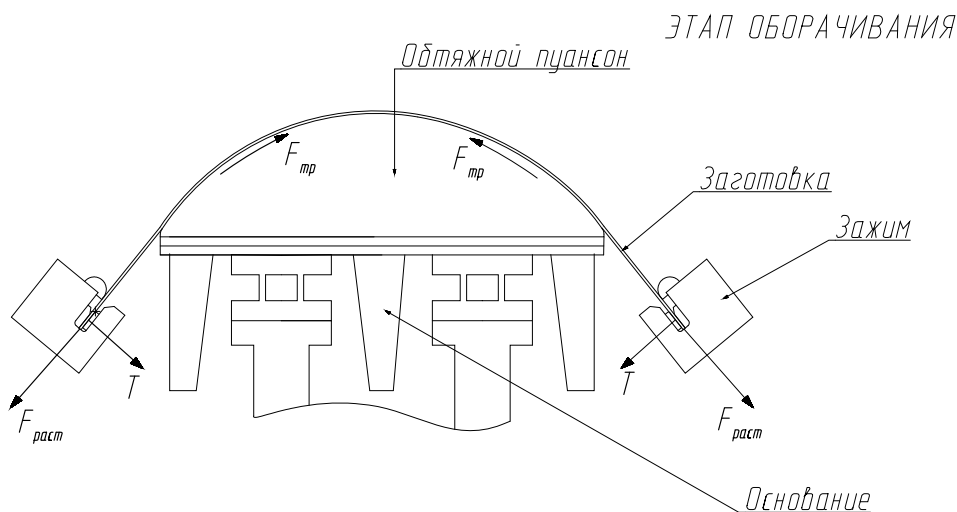


Рис. 1. Процесс обтяжки на прессе поперечного растяжения FET:

$F_{раст}$ – силы растяжения; $F_{тр}$ – силы трения;
 T – усилия, создаваемые зажимами для обрачивания заготовки по обтяжному пуансону

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДОВ ЕЕ РЕШЕНИЯ

На сегодняшний день обводообразующие обшивки отечественных самолетов выполнены из алюминиевых сплавов, поставляемых в виде листовых заготовок. Технологическая оснастка (обтяжной пуансон) изготавливается, как правило, из вторичного алюминиевого литья. Выбор материала технологической оснастки обусловлен его жесткостью и экономичностью. Так средняя стоимость отходов дюрала – 6 руб./кг, в то время как средняя стоимость самой дюрала составляет – 300 руб./кг. Но при всех вышеуказанных достоинствах, материал обладает таким недостатком как высокий коэффициент трения при контакте с алюминиевыми сплавами. В среднем, величина коэффициента трения, при контакте алюминиевых сплавов, в условиях сухого трения, составляет 0,25 ... 0,3. Данный коэффициент трения является крайне высоким. Вследствие этого, при контакте двух поверхностей из алюминиевых сплавов, лист начинает царапаться. Так же из-за плохого скольжения, в местах, где приложены наибольшие усилия формообразования, происходит гофрообразование.

На вероятность появления брака в производстве обводообразующих обшивок влияет ряд факторов, таких как:

- не корректная оценка возможностей существующего оборудования для формообразования, при проектировании обводообразующих обшивок самолета;
- несовершенство методов изготовления металлических обшивок самолета;
- качество изготовления технологической оснастки, а именно не соблюдение допусков на качества отливок заготовок обтяжного пуансона;

- практически отсутствующая система стандартизации процесса изготовления обшивок самолета.

Первоначальной проблемой существующей на данный момент является проектирование обводов авиационных конструкций, и в том числе формообразующей поверхности оснастки в отрыве от процесса их производства.

Решением на этом этапе, бесспорно, могло бы быть модуль в среде САПР – позволяющим соотнести геометрию обшивки и риски при её изготовлении. Оценка криволинейности поверхности, как один из влияющих факторов может быть проведена по результатам, но попытки практического использования предложенного авторами математического аппарата – привели к необходимости его пересмотра.

Так как вероятность возникновения дефектов обшивок из-за криволинейности обшивок – это случайное событие, то для того, чтобы оценить криволинейность поверхности спроектированной обшивки, можно использовать методы математической статистики. Данное случайное событие зависит от непредвиденных отклонений свойств материалов листовых заготовок, характеристик оборудования, применяемого для формообразования обшивок, а также от отклонений самого процесса формообразования от нормы.

Отклонения параметров процесса формообразования от нормы определяются качеством применяемого оборудования и материалов. Данные отклонения указываются в соответствующей документации. Определенные отклонения являются допусками на размеры заготовок. Иные отклонения являются допусками на расположение заготовки в зажимах формообразующего оборудования. Часть параметров процесса может изменяться быстро, в частности такой

параметр как силы трения, возникающие между зонами заготовки и обтяжного пуансона.

Анализ влияния параметров процесса обтяжки листовых заготовок обшивок показал, что существует две группы параметров, степень влияния которых на конечное изделие различное.

Первая группа параметров существенным образом влияет на качество обшивок. К ней относятся:

- наличие знакопеременной кривизны формы и местных искривлений обшивок;
- силы трения, возникающие в процессе формообразования.

Вторая группа параметров оказывает значительно меньшее влияние на качество обшивок. К ней относятся:

- допуски на размеры заготовок, в частности допуски на толщину листового металла;
- допуски на расположение заготовки в зажимах формообразующего оборудования.

- Для того, что повысить качество обшивок, необходимо определить, используя методы математической статистики, допустимую знакопеременность кривизны формы обшивок. Аналогичным образом, необходимо определить допустимую кривизну местных искривлений. Определив данные параметры, появляется возможность оценки технологичности обшивок, изготавливаемых на имеющемся оборудовании. Тем самым появляется возможность предугадать на технологической оснастке места, где необходима будет доводка заготовки по обтяжному пуансону или произвести коррекцию геометрии рабочей поверхности с учетом пружинения. Также, зная параметры допустимых форм обшивки, конструктор, на стадии проектирования нового летального аппарата имеет возможность оценить технологичность спроектированной обшивки. И, если обшивка крайне не технологичная, произвести её расчленение на несколько допустимых по геометрии обшивок.

Силы трения N , возникающие в процессе формообразования обшивок обтяжкой, крайне сложно предугадать. Сила трения зависит от трех других, заданных оборудованием, параметров процесса, а именно скорость растяжения заготовки V и усилие растяжения листа, а также усилия, создаваемые зажимами для оборачивания заготовки по обтяжному пуансону T (было показано ранее на рис. 1).

Коэффициент трения скольжения рассчитывается по формуле:

$$f = \frac{a \cdot S_{\phi}}{T} + b,$$

где a - средняя интенсивность молекулярной составляющей силы трения;

S_{ϕ} - фактическая площадь контакта;

b - коэффициент, характеризующий механическую составляющую силы трения.

Следует учитывать, что во время процесса трения происходит переход кинетической энергии в внутреннюю тепловую энергию. Понимание данного обстоятельства позволяет объяснить связь коэффициента трения со скоростью процесса.

Величина кинетической энергии переходящей во внутреннюю равна:

$$E = \frac{NV^2}{2},$$

где V - скорость формообразования;

N - усилия создаваемые зажимами.

Усилия, создаваемые зажимами в среднем ~700 т., а скорость формообразования для обтяжки ~ 0.002 м/с, то есть соответственно, по предыдущей формуле в среднем, при одной формовке (~100 с), количество теплоты, которое должно потерять тело, равно 140Вт.

Соответственно в процессе трения происходит нагрев контактируемых поверхностей. Нагрев поверхности запускает такое явление, как псевдотекучесть фторопласта-4, которое ведет к разрушения лака.

Величина сил трения по заготовке различна. Также сила трения может возникать в местах, где листовая заготовка имеет допустимый, по техническим условиям, дефект, такой как, например, царапина определенной величины. Но, при высоких силах формообразования обтяжкой, данный дефект может сыграть роль абразива, сцепившись с материалом оснастки, и тем самым, образовав гофр. В итоге, возникающие силы трения крайне сложно предугадать, так как каждая заготовка отличается друг от друга. Нами предлагается решить данную проблему, внедрив для каждой заготовки, своё антифрикционное покрытие, наносимое на обтяжные пуансоны, обеспечивающее, вне зависимости от качества заготовки, низкий коэффициент трения.

В качестве антифрикционного покрытия был выбран антифрикционный лак. На машине трения МТУ-01 был смоделирован процесс обтяжки и проведены испытания лака, содержащего фторопласт-4 и дисульфид молибдена. Было проведено 50 испытаний. Коэффициент трения, после проведения статистической обработки, составил 0,015-0,02 (согласно результатам на рис. 2). Средний износ такого вида лака за один цикл нагружения составляет 0,001 г.

Не изученным остается влияние процесса приготвления антифрикционного лака на его параметры. Антифрикционный лак - это смазочный материал, подобный краске, но содержащий вместо красящего пигмента, смазывающие частицы, равномерно растворенные в связующем и растворителе.

Основными компонентами антифрикционных лаков, как правило, являются:

- смола, которая, как правило, имеет хоро-

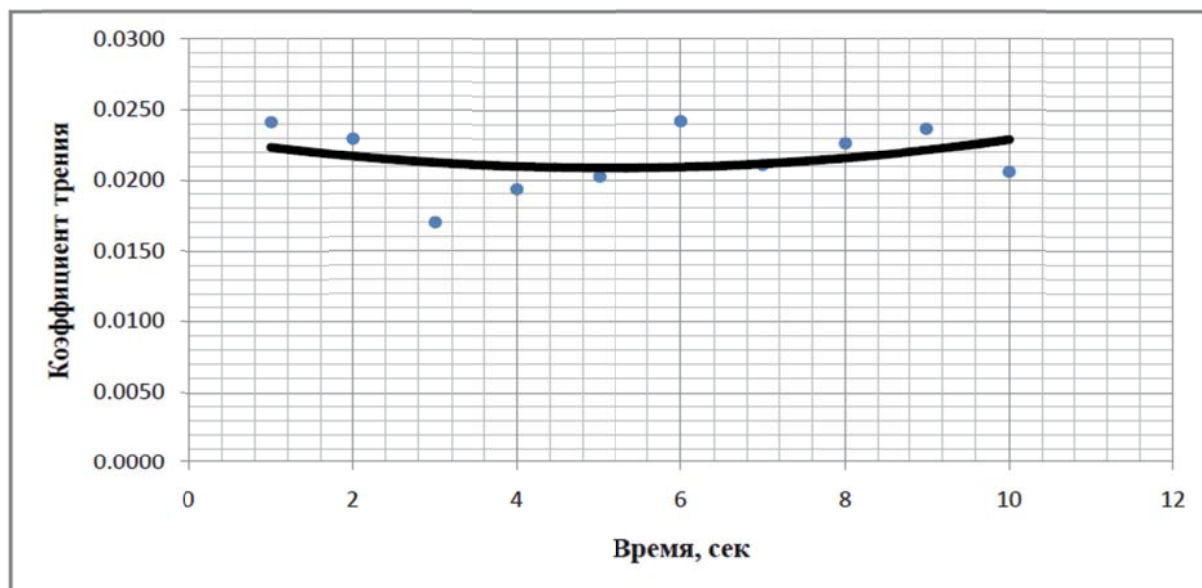


Рис. 2. Коэффициент трения пары: образец из вторичного алюминиевого литья, с нанесенным антифрикционным лаком - образец из алюминиевого сплава Д16Т

шие адгезионные к поверхности металлов, входящая в состав связующего;

- фторопласт-4, снижающий трение;
- добавка, повышающая теплопроводность

фторопласта-4, который в чистом виде начинает течь при высоких значениях произведения величины давления на скорость.

Процесс приготовления лака в общем виде выглядит следующим образом: в реакторе или вручную смешивается раствор смолы, спиртоацетновой смеси, а также суспензии фторопласта -4 и любого агента повышающего теплопроводность.

Для того, чтобы нанести данную композицию и сформировать антифрикционное покрытие, необходимо в композицию добавить отвердитель, и тщательно перемешав, нанести любым известным способом нанесения лакокрасочных покрытий.

Важными факторами, влияющими на качество работы и износостойкость антифрикционного лака, являются:

- теплопроводность покрытия, зависящая на прямую от применяемой добавки;
- адгезия к поверхности заготовки;
- толщина наносимого покрытия.

В данной работе проведены экспериментальные исследования лака с такой добавкой улучшающей теплопроводность, как дисульфид молибдена. В данной работе предлагается наномодифицированное покрытие углеродными нанотрубками. Для сравнения, приведем данные по теплопроводности материалов: для дисульфида молибдена, равная 138 Вт/(м×К), в то время как для углеродных нанотрубок составляет 3000 Вт/(м×К). Данное обстоятельство, позволяет сделать вывод, что сделав покрытие с

фторопластом-4 и углеродными нанотрубками, мы сможем увеличить ресурс антифрикционного лака в десятки раз. Основной проблемой, при нанесении, при изготовлении такой композиции является сложность перемещения углеродных нанотрубок в связующем. Авторами данной статьи предлагается применить для данного процесса ультразвуковое перемешивание.

Важным фактором, определяющим то, подойдет ли лак для нанесения на данный материал, является его адгезия. За адгезию антифрикционного покрытия к металлу отвечает применяемое связующее и подготовка поверхности металла. Для алюминиевых сплавов, адгезия обеспечивается тщательной подготовкой поверхности, а именно поверхность должна быть с повышенной микрошероховатостью, а также обладать наивысшей степенью обезжиривания по ГОСТ 9.402 – 2004.

Толщина наносимого лака, должна быть оптимальной. Излишне высокая толщина покрытий ведет к лишней трате средств, а также снижает коэффициент трения.

Следует отметить, что приготовленный лак также не должен обладать слишком низким коэффициентом трения, так как, во-первых это напрасная трата материалов, во-вторых коэффициент трения меньше, чем 0,01, не изменит к лучшему процесс формообразования обшивок самолета. Это связано с тем, что вышеназванное значение коэффициента трения обеспечивает достаточное скольжение и защищает поверхность детали от любых механических дефектов. Если при данном значении коэффициента трения возникают какие-либо отклонения форм готовых изделий, то они связаны с нетехнологичной геометрией требуемой обшивки.

Для того, чтобы определить оптимальное содержание многокомпонентного антифрикционного лака, необходимо провести ряд экспериментов. Результаты экспериментов следует статистически обработать и оценить влияние каждого компонента на такие характеристики как адгезия, коэффициент трения, износ. При этом влияние каждого компонента следует рассматривать только в системе, так как, рассматривая по отдельности, мы не учтем химических реакций протекающих во время процесса нагружения.

Определив основные зависимости, мы сможем регулировать рецептуру лака под каждый обтяжной пуансон в зависимости от требуемого коэффициента трения и вида доводки, если обшивка имеет значительную знакопеременность.

ВЫВОДЫ

1. Предлагается, используя методы математической статистики проанализировать технологичность обшивок, исходя из параметра допустимых форм, основываясь на полученной сводке по бракованным изделиям.

2. На основе проанализированной литературы, можно сделать вывод, что необходимо, ис-

пользуя методы математической статистики и экспериментальный опыт, найти оптимальную рецептуру антифрикционного покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гаркунов Д.Н.* Триботехника (износ и безызносность): учебник. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: «Издательство МСХА», 2001. – 616 с.
2. *Чоракаев О.Э., Попов П.М., Савин М.В.* Анализ процесса проектирования шаблонной оснастки с целью совершенствования технологической подготовки производства // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т.13. № 4(2). С. 525-530.
3. *Шолохов М.А., Ерофеев В.А., Полосков С.И.* Оценка вероятности дефектов формирования швов и расчет допусков на параметры процессов дуговой сварки // Известия ВУЗов. Машиностроение. 2015. №5(662).
4. Антифрикционные свойства покрытия на основе SiO₂, содержащего наночастицы MoS₂, со средним размером 61 нм при трении по стали ШХ15 / *А.Д. Бреки, С.Е. Александров, К. С. Тюриков, А. Е. Гвоздев, А.А. Калинин* // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. Вып. 7. С. 334-343.
5. *Молод М.В.* Управление процессом формообразования обшивок на оборудовании с ЧПУ // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 12-2. С. 62-64.

ANALYSIS OF EXISTING MODELS FOR ASSESSING PROPERTIES OF ANTIFRICTION COATINGS OF AVIATION EQUIPMENT

© 2018 E.G. Karpukhin, O.E. Chorakaev

Institute of Aviation Technology and Management of Ulyanovsk State Technical University

The article structures the existing models of aviation equipment coatings, and the evaluation of their production properties, substantiates the importance of the issue of improving the process of using drawing punches in shaping aircraft structures.

Keywords: tightening punch, shaping, aviation production, antifriction coating, forecasting.

Evgeny Karpukhin, Graduate Student.

E-mail: ew.karpukhin1@ya.ru

Oleg Chorakaev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Aircraft Department.

E-mail: olegchorakaev@yandex.ru