

УДК 621.983.044

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ШТАМПОВКИ

© 2012 В.А. Барвинок¹, С.Г. Дементьев², В.П. Самохвалов¹, М.А. Уржунцев¹

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)

² Авиастар-СП, г. Ульяновск

Поступила в редакцию 04.06.2012

В представленной работе приведены результаты интенсификации пластических свойств обрабатываемых материалов через воздействие импульсов электрического тока.

Изготовление летательных аппаратов сопряжено с разработкой новых технологий. В связи с применением новых материалов, повышенных требований к качеству деталей и их надёжности, а также к совершенствованию существующих технологических процессов, возникает необходимость разработки методов и способов их интенсификации. Это позволяет повысить эффективность производства и снизить трудоемкость изготовления деталей.

Ключевые слова: интенсификация, штамповка, свойства деталей, летательные аппараты, структура материалов, пластичность, электроимпульсное воздействие.

Под интенсификацией процессов штамповки понимается совокупность некоторых дополнительных, по сравнению с традиционными способами, мер, позволяющих повысить качество деталей. При изготовлении деталей давлением импульсного поля нашли применение несколько направлений интенсификации, таких как использование: технологических спутников, эффекта электропластичности, эффекта термопластичности, осевого подпора заготовки.

В некоторых случаях эффективным является применение нескольких способов, таких как последовательное нагружение заготовки импульсами давления магнитного поля от нескольких модулей блока накопителя. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования для различных схем нагружения заготовки от трех установок с различными частотными характеристиками тока разряда, показали эффективность следующих вариантов.

Исследовано повышение пластических характеристик материала заготовки при пропускании тока разряда на один индуктор со смещени-

ем по времени в 3...5 с. Исследовано также повышение штампуемости материала заготовок при пропускании тока 80...120 А по трубчатой заготовке от источника питания напряжением 36 В с одновременным деформационным воздействием от магнитно-импульсной установки. Длительность воздействия составляла $(2...8) \cdot 10^{-4}$ с. Анализ структуры материалов показал, что рост зерна не наблюдается и сохраняется текстура, предшествующая деформации. По сравнению с обычными способами магнитно-импульсной штамповки интенсификация процесса приводит к снижению остаточных напряжений 1-го рода в 3 – 4 раза и полному устранению остаточных напряжений 2-го рода. При уровне вводимой энергии в образец, превышающей значение 2 Дж/мм³, повышение пластичности материала составляет до 30 %.

При расчете процессов магнитно-импульсной штамповки обычно пренебрегают термоупругими напряжениями. В данной работе проведены исследования объёмных сил, вызванных вихревыми токами, оценено относительное влияние термоупругих и термопластических эффектов в процессе деформации. В работе определены диффузионные эффекты магнитного поля при его воздействии на электропроводные материалы, температуры и напряжения, обусловленные действием нестационарного магнитного поля. В теоретических исследованиях принималось, что магнитная индукция удовлетворяет уравнению диффузии [1]:

Барвинок Виталий Алексеевич, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении.

E-mail: barvinok@ssau.ru; bogdanovich@ssau.ru

Дементьев Сергей Геннадьевич, Генеральный директор.

E-mail: director@aviastar-sp.ru

Самохвалов Владимир Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении.

Уржунцев Михаил Александрович, кандидат технических наук, доцент, Главный металлург ОАО "Металлист-Самара".

$$\frac{\partial^2 B}{\partial X^2} = \sigma \mu_0 \frac{\partial B}{\partial t}, \quad (1)$$

где B – магнитная индукция;

X – глубина проникновения электромагнитной волны в металл;

σ – удельная электрическая проводимость;

μ_0 – магнитная проницаемость;

t – время.

Это допущение приводит к тому, что индукция становится независимой от движения и температуры. В расчетах температурных полей вводилась экспериментальная поправка на ослабление электропроводности материала при определенных значениях температуры в зависимости от фронта электромагнитной волны. Если B задавалась на поверхности детали или $X = 0$, то значение функции B в полупространстве определялось соотношением [2]:

$$B_{(X,t)} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{X}{2} \left[\frac{\sigma \mu_0}{t} \right]^{1/2}}^{\infty} B_0 \left(t - \frac{\sigma \mu_0 X^2}{\lambda} \right) \cdot e^{-\lambda} d\lambda, \quad (2)$$

где λ – постоянная Ламе.

В расчетах принималось, что перемещение электромагнитной волны находилось как суммарное трех возмущений: волну вихревого тока, температурную волну, связанную с джоулевым нагревом, волну напряжений. В общем случае температурное поле удовлетворяло условиям конвекции. Таким образом, краевую задачу уравнения описывающего распределение температуры решили методом преобразований.

Для принятых выше допущений при расчетах, были проведены исследования, экспериментально проверяющие степень погрешности данной методики. С учетом указанных допущений разработаны методы управления топографией электромагнитных полей в деталях сложной формы. Это в первую очередь варьированием плотности тока на единицу площади поверхности заготовки, ослаблением величины магнитной индукции, изменением частоты тока разряда и изменением потокосцепления между индуктором и заготовкой.

Для разработанных методов управления и их экспериментальной проверки разработано техническое задание на технологическую оснастку и измерительный комплекс.

В процессе разработки методов управления формой импульса тока и его влияния на нагрев заготовки в первом приближении принималось, что термоупругие волны, возбуждаемые джоулевым нагревом, вызывают скачок температуры на границе. С учетом потерь на конвекцию этот скачок переходит в плавный процесс.

Это приближение позволяет считать, что температура мгновенно повышается при воздей-

ствии ИМП, а затем поддерживается, равномерной за счет тепла, вызываемого рассеивающимся магнитным полем. Предположение подтверждается проведенными экспериментами.

Температурные волны, возбуждаемые джоулевым нагревом, вызывают скачок напряжения, связанный со скачком температуры на границе.

Вначале термические напряжения являются сжимающими, после отражения от границы появляются растягивающие напряжения, которые влияют на структуру получаемых деталей.

Из результатов исследования определено, что для одного и того же момента времени проникновение температурного поля запаздывает по сравнению с магнитным полем в 2 – 2,5 раза. Это позволяет сделать предположение, что за время действия одного импульса тока разряда температурные эффекты оказывают интенсифицирующее влияние. Таким образом, заготовка из хорошо электропроводного материала обладающая малыми инерционными свойствами сначала реагирует на деформационное воздействие ИМП, затем на температурное, влияющее на структуру и свойства материалов, что определяется инерционностью изменения физико-механических свойств материалов.

Из экспериментальных данных получено, что повышение температуры на поверхности заготовки может вызвать напряжение больше, чем от давления магнитного поля, такие напряжения содержат низкокачественные составляющие ИМП.

Основная часть энергии ИМП будет распространяться в материале заготовки с малым затуханием, за исключением высокочастотных составляющих.

Изменение механических свойств материалов деталей летательных аппаратов в зависимости от интенсифицирующих факторов приведено в табл. 1. Измерение проводилось по предельным деформациям трубчатых образцов из различных материалов до появления на поверхности микротрещин характеризующих начало процесса разрушения. В условиях немоного процесса, степень деформации является единственной сопоставимой характеристикой формоизменения, которая позволяет определить величину затрачиваемой на формоизменение работы и изменение механических свойств деформируемого тела. Все характеристики, определяющие деформируемое состояние с достаточной точностью, рассчитываются методом конечных деформаций [3]. В процессе эксперимента в качестве базовых значений показателей принимались справочные значения σ_B , σ_T , $\delta\%$, характеризующие свойства материала деталей при статическом нагружении, в том числе с учётом особенностей штамповки. Кроме этих показателей, оп-

Таблица 1. Изменение характеристик материалов при тепловом и магнитном воздействии ИМП

| Материал | Изменение характеристик материалов | | | | | |
|-----------|------------------------------------|------------------------|-----------|-----------------------|------------------------|-----------|
| | Тепловое воздействие | | | Магнитное воздействие | | |
| | $\delta_p, \%$ | $\sigma_T, \text{МПа}$ | $K_{отб}$ | $\delta_p, \%$ | $\sigma_T, \text{МПа}$ | $K_{отб}$ |
| АМгЗМ | 12-14 | 100-120 | 1,8-1,9 | 12-13,5 | 120-140 | 1,7-1,8 |
| АМг6М | 12-13 | 120-140 | 1,8-1,9 | 11,5-12,5 | 125-150 | 1,7-1,85 |
| Д16АМ | 12-14 | 220-240 | 1,9-2,2 | 12-13,5 | 220-250 | 1,85-2,0 |
| 12Х18Н10Т | 13-15 | 210-240 | 1,9-2,1 | 12,5-14 | 230-250 | 1,8-2,1 |

ределяющих технологические возможности способов интенсификации, в работе рассмотрены операции гибки минимально допустимых бортов ($K_{отб}$).

Результаты проведённых исследований представлены в табл. 1.

Электро-импульсное воздействие проводилось от понижающего трансформатора мощностью 150 кВт напряжением на второй обмотке от 19 до 36 В и прерывателем типа ПСЛТ-1200 с пределом регулирования длительности импульсов 0,02-5 сек. Схема устройства и эксперимента приведены на рис. 1.

Эксперименты проводились на заготовках из АМгЗМ, Х18Н10Т и ОТ4-1 Ш60-1,0 шириной 40 мм для схем обжима и раздачи.

Для оценки влияния толщины заготовок, для схемы свободного обжима, были проведены эксперименты на образцах из ОТ4-1 Ш60 мм с толщиной стенки 2,0; 1,5; 1,0; 0,75 мм, на образцах из Х18Н10Т Ш60 мм с толщиной стенки 1,2; 1,0; 0,6 мм и на образцах из АМгЗМ с толщиной стенки 1,0 и 0,55 мм.

Эффективность влияния воздействующих факторов на повышение пластических свойств заготовки определялась по величине предельной деформации до появления микротрещин на поверхности металла. Полученные результаты представлены на рис. 2.



Рис. 1. Схема электро-импульсного устройства: 1 – понижающий трансформатор, 2 – прерыватель тока, 3 – деталь, 4 – наконечник

Проведённые эксперименты позволили оценить влияние каждого из рассматриваемых факторов, а также их совместное влияние на повышение пластичности материала.

Влияние нагрева на процесс штамповки ИМП неоднозначно. С одной стороны, нагрев уменьшает сопротивление материала деформированию, с другой – резко увеличивает электрическое сопротивление материала заготовки, что ведет к снижению КПД процесса. Это ставит задачу определения оптимальных температур нагрева для каждой из групп основных конструкционных материалов, применяемых в ЛА.

В процессе отработки оптимальных режимов воздействия импульсного тока на материал обра-

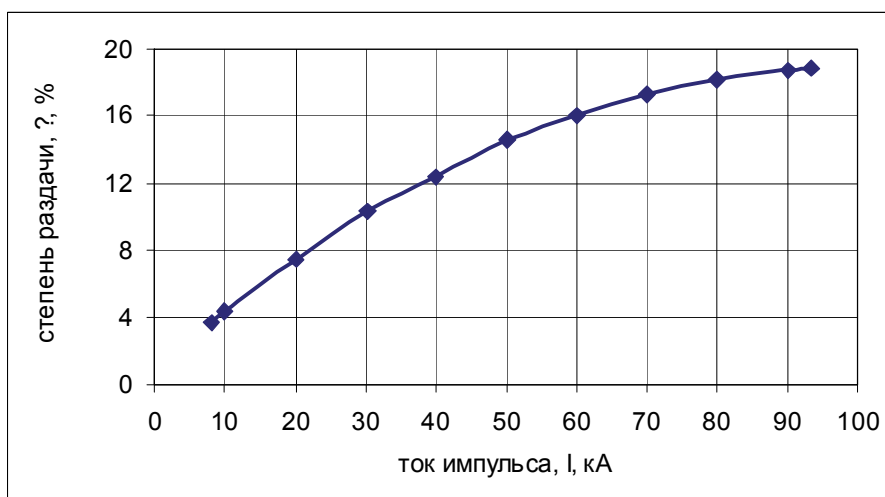


Рис. 2. Повышение предельной степени раздачи материала АМг6М от силы тока электроимпульсного воздействия

батываемых деталей, при штамповке давлением импульсного магнитного поля, был проведён выбор источника энергии по следующим критериям:

- эксплуатационная надёжность оборудования;
- соответствие временных характеристик энергетического воздействия времени реакции материала;

- высокий коэффициент преобразования энергии установки в энергию управления свойствами материала заготовки.

Применение для нагрева специальных источников энергии высокой частоты, таких как лампы либо машинные генераторы, ионные и тиристорные преобразователи частоты, делает устройство в целом громоздким и дорогостоящим. Кроме того, частотный диапазон названных

источников токов высокой частоты не всегда удовлетворяет оптимальным частотам нагрева заготовок, обеспечивающих прогнозируемые эксплуатационные характеристики деформируемых металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кнопфель Г.* Сверхсильные импульсные магнитные поля. М.: Мир, 1972. 392 с.
2. *Барвинок В.А., Кирилин А.Н.* Высокоэффективные технологические процессы изготовления элементов трубопроводных и топливных систем летательных аппаратов. М.: Наука и технологии, 2002. 391 с.
3. *Орленко Л.П.* Поведение материалов при интенсивных динамических нагрузках. М. Машиностроение, 1964 г. 168 с.

INCREASE OF OPERATIONAL PROPERTIES OF DETAILS OF AIRCRAFT AT THE INTENSIFICATION OF PROCESSES OF PUNCHING

© 2012 V.A. Barvinok¹, S.G. Dementyev², V.P. Samokhvalov¹, M.A. Urzhuntsev¹

¹Samara State Aerospace University

²Aviastar-SP, Ulyanovsk

In the presented work the results of intensification of plastic properties of the processed materials are resulted through influence of impulses of electric current. Making of aircrafts is attended with development of new technologies. In connection with application of new materials, enhanceable requirements to quality of details and their reliability, and also to perfection of existent technological processes, there is a necessity of development of methods and methods of their intensification. It allows to promote efficiency of production and reduce labour intensiveness of making of details.

Key words: intensification, stamping, properties of details, aircrafts, structure of materials, plasticity, electro-impulsive influence

Vitaly Barvinok, Corresponding Member of RAS, Doctor of Technics, Professor, Head at the Aircraft Manufacturing and Quality Control in Engineering Department.

E-mail: barvinok@ssau.ru; bogdanovich@ssau.ru

Sergey Dementiev, General Director. E-mail: director@aviastar-sp.ru
Vladimir Samokhvalov, Doctor of Technics, Professor at the Aircraft Manufacturing and Quality Control in Engineering Department.

Michael Urzhuntsev, Candidate of Technics, Associate Professor, Chief Metallurgist of JSC "Metallist-Samara"