

ВЛИЯНИЕ РАСТЯЖЕНИЯ ЗАГОТОВОК НА УРОВЕНЬ ТЕРМИЧЕСКИХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

© *Александров А. А.*, Иркутский государственный университет
путей сообщения,
Россия, г. Иркутск,
E-mail: andreyalexandrov2008@.ru

© *Данеев А. В.*, Иркутский государственный университет
путей сообщения,
Россия, г. Иркутск

В статье показано влияние остаточных напряжений на геометрические параметры маложестких деталей, входящих в конструкцию планера самолета, которые в свою очередь оказывают влияние на летно-технические показатели летательных аппаратов. Так же рассмотрены и проанализированы способы определения остаточных напряжений. Проведенный анализ позволяет сделать вывод о необходимости разработки расчетного метода определения остаточных напряжений, который опирается на математическую модель формирования остаточных напряжений и деформаций, возникающих при термической обработке с последующим растяжением. В работе приведена численная модель формирования напряжений и деформаций, возникающих из-за неравномерного охлаждения, в процессе термической обработки заготовки. Учитывая ряд обстоятельств, осложняющих расчет остаточных напряжений, принято решения использовать численные методы и автоматизированные системы инженерного анализа (CAE). Приведены результаты расчета остаточных напряжений, полученные при использовании конечноэлементного комплекса MSC Nastran. Проанализированы расчетные и экспериментальные значения термических остаточных напряжений, сделаны выводы о достоверности полученных расчетов.

Ключевые слова: остаточные термические напряжения, метод конечных элементов, термическая обработка, маложесткие детали, алюминиевые сплавы.

Введение

Маложесткие детали, представляющие собой тонкие пластины с подкреплением, сочетающие в себе элементы обшивки и силового набора широко используются в производства летательных аппара-

тов. Их применение обусловлено уменьшением количества основных и крепежных деталей, уменьшением количества конструктивных разъемов, что в совокупности позволяет снизить трудоемкость обработки и сборки изделий, а так же вес и себестоимость изготовления летательного аппарата.

Процесс производства маложестких деталей состоит из нескольких основных этапов. На первом этапе получают заготовку высокопроизводительными методами обработки давлением (горячая штамповка, прессование, прокатка). На втором этапе производят термическую обработку заготовок для придания требуемых механических свойств с последующим растяжением. На третьем этапе производят механическую обработку, для получения требуемой точности формы и размеров, а так же качества поверхности. При возникновении остаточных деформации деталей, превышающих допуски на неплоскостность и непрямолинейность, вводят дополнительные операции правки и рихтовки, что увеличивает трудоемкость продолжительность и себестоимость процесса производства деталей.

Причиной возникновения остаточных деформаций являются остаточные напряжения, возникающие в заготовках на всех этапах технологического процесса производства маложестких деталей.

Поэтому контроль и управление остаточными напряжениями маложестких деталей является неотъемлемой частью процесса снижения остаточных деформаций и повышения качества.

Определение остаточных напряжений.

Определение остаточных напряжений заготовки осуществляется различными методами [1; 14]:

- косвенные методы
- физические методы
- механические методы.

Физические и косвенные методы определения напряженного состояния, к которым относятся голографическая интерферометрия, электронная спекл-интерферометрия, рентгеновские и ультразвуковые методы измерения, не требуют разрушения исследуемого объекта, но имеют большую (15-30 %) погрешность измерения напряжений, а так же наличие дорогостоящего оборудования.

Механические (разрушающие) методы определения заключаются в механической обработке (фрезерование, точение, сверление) в результате которых происходит перераспределение напряжений и

деформация заготовки или детали, которые фиксируются при помощи тензометрических датчиков. На основании измерений деформаций производят вычисления остаточных напряжений по установленным методикам. Механические методы определения остаточных напряжений, имеют высокую (3...10%) точность, но в ходе которых необходимо разрушение заготовки, которая впоследствии не может быть использована для производства деталей [1].

Из-за высокой стоимости заготовок, на производственных объединениях не производят определение остаточных напряжений, поэтому существует необходимость в недорогом неразрушающем и точном методе определения остаточных напряжений, погрешность которого не будет превышать 10 %. Один из способов достижения этого результата является, построение математической модели формирования остаточных напряжений в процессе термической обработки, составление методики прогнозирования остаточных напряжений и деформаций.

В работах [2; 3] представлены результаты математического моделирования изменения температурного поля и напряженно-деформированного состояния заготовки в процессе термической обработки, в соответствии с которыми можно сделать вывод о распределении остаточных напряжений в заготовке. Однако, для расчета и минимизации остаточных деформаций, возникающих в процессе механической обработки, необходимы значения и распределение остаточных напряжений после термической обработки и растяжения, которое производят для снижения их уровня.

Математическое моделирование растяжения заготовок

После проведения термической обработки заготовок, для снижения уровня остаточных напряжений применяют механические методы снижения их уровня [5].

Чаще всего, для заготовок простой формы в свежезакаленном состоянии, с постоянной площадью поперечного сечения, из высокопрочных сплавов В95, В95, производят продольное и поперечное растяжение при комнатной температуре.

В результате такого растяжения, снижается различие напряженности между внутренними и внешними слоями, в результате возникновения пластической деформации растяжения наиболее коротких слоев заготовки.

Полученные в предыдущих работах результаты моделирования термических остаточных напряжений использовались для модели-

рования релаксации остаточных напряжений после проведения закалки и последующего растяжения. Моделирование производили в программном комплексе MSCNastran с использованием пакета MSCMarc при решении в нелинейной постановке implicitnonlinearSOL600, согласно модели упругопластического деформирования Прандтля-Рейса [4; 8].

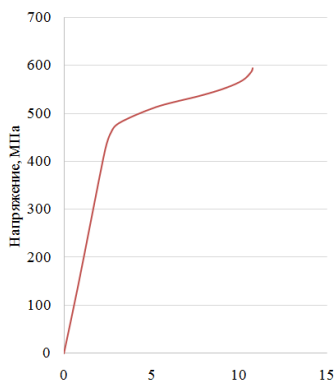


Рис. 1. Истинная диаграмма напряжений-деформаций алюминиевого высокопрочного сплава В95 при температуре 20 °С

Итерационный метод Ньютона-Рафсона с автоматическим шагом приращения нагрузки. Учитывая необходимость расчета пластических деформаций, механические свойства материала заготовки, задавались при помощи истинных диаграмм напряжений-деформаций (рисунок 1) [6; 7]. Результаты расчета приведены на рисунке 2.

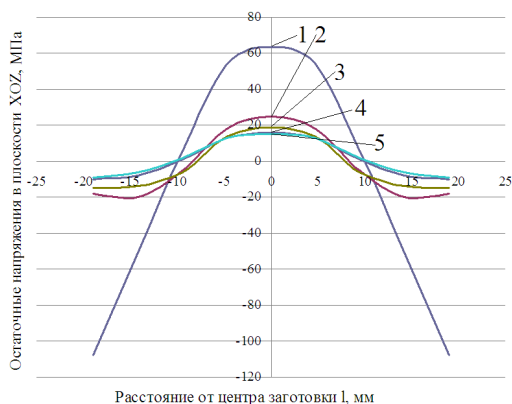


Рис. 2. Остаточные напряжения в заготовке в плоскости ZOY, 1 — эпора остаточных напряжений после термической обработки, 2 — эпора остаточных напряжений после растяжения с остаточной деформацией 0,5%, 3 — с остаточной деформацией 1%, 4 — 1,5 %, 5 — 2 %

Анализируя результаты расчета остаточных напряжений, возникающих после растяже-

ния, необходимо отметить, что уровень напряжений на поверхности заготовки снизился со -107,67 МПа до -9,1 МПа, на глубине 19 мм снизился с 63,31 МПа до 15,3 МПа. Уровень напряжений на поверхности снизился в 11 раз, а на глубине 19 мм в 4 раза, что подтверждает приведенные результаты сторонних авторов Н.Н. Кочетова, Ю.С. Румянцева и других [9; 10; 11].

Представленные эпюры остаточных напряжений после термической обработки и последующего растяжения с разной остаточной деформацией позволяют сделать вывод о том, что наибольшее снижение уровня напряжений происходит при растяжении с пластической деформацией до 0,5 %, а при дальнейшем растяжении, динамика снижения остаточных напряжений замедляется, так как эпюры при растяжении с остаточной деформацией 1,5 и 2 % практически идентичны. Учитывая, что заготовки при растяжении подвергаются максимальной остаточной деформации 3%, сформулированное заключение так же позволяет сделать вывод о косвенном подтверждении полученных результатов моделирования [1; 12; 13; 15].

Заключение

Подводя итог вышеизложенному, можно констатировать факт, что использование метода конечных элементов дает возможность расчета остаточных напряжений, возникающих в процессе термической обработки и последующего растяжения с остаточной деформацией. С практической точки зрения, данный способ расчета позволяет определять величину и локализацию остаточных напряжений, с достаточной точностью без разрушения заготовки, необходимых для повышения качества производимых малоожестких деталей и снижения их себестоимости.

Литература

1. Лившиц А. В. Прогнозирование локальных остаточных деформаций при проектировании технологического процесса изготовления малоожестких деталей: дисс. ... канд. техн. наук. Иркутск, 1999. 185 с.
2. Лившиц А.В., Александров А.А. Прогнозирование температурного поля для определения остаточных напряжений возникающих при термообработке алюминиевых сплавов // Наука и образование. 2014. №7.
3. Александров А.А., Лившиц А.В., Рудых А.В. Расчет термических остаточных напряжений в заготовках из алюминиевых сплавов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. №1(49)

4. MSC Nastran. MD Nastran 2006 Release Guide [Текст] // MSC Software, 2006 — P.276.

5. Биргер И.А. Остаточные напряжения. — М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963. — 233 с.

6. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. — М.: Мир, 1979. — 392 с.

7. Шимановский А.О. Применение метода конечных элементов в решении задач прикладной механики / А.О. Шимановский, А.В. Пулято., — М-во образования Респ. Беларусь, Беларус. гос. университет трансп. — Гомель: БелГУТ, 2008. — 61 с.

8. MSCNastran — Расчет и оптимизация конструкций [Электронный курс] / Режим доступа: <http://www.mssoftware.ru/products/msc-nastran>

9. Вишняков Д.В., Пискарев В.Д. Управление остаточными напряжениями в металлах и сплавах. — М.: Машиностроение, 1992. — №4, с. 6-9.

10. Исаев А.И. Влияние технологических факторов на остаточные напряжения в поверхностном слое при точении конструкционных сталей. — М.: Машгиз, 1957. — 189 с.

11. Кочетов Н.Н., Панов Б.И., Румянцев Ю.С. Оптимизация технологических параметров производства деталей летательных аппаратов с минимальным короблением // Авиационная промышленность. — 1992. — №11-12, с. 16-19.

12. Замашиков Ю.И., Каргапольцев С.К. Экспресс-метод определения остаточных напряжений в закаленных плитах // Повышение эффективности тех. процессов механической обработки: Сборник / ИПИ. — Иркутск, 1990. с. 90-96.

13. Замашиков Ю.И., Промптов А.И., Ботвенко С.И., Каргапольцев С.К. А.С. Способ определения закалочных остаточных напряжений. — №1643928 от 22.12.90. — 5 с.

14. Константинов Л.С., Трухов А.П. Напряжения, деформации и трещины в отливках. — М.: Машиностроение, 1981. — 199 с.

15. Абрамов В.В. Остаточные напряжения и деформации в металлах. — М.: Машиностроение, 1963. — 355 с.

IMPACT OF EXTENSION BLANKS LEVEL OF THERMAL RESIDUAL STRESS

A. A. Alexandrov, Irkutsk state university of railway,
Irkutsk, Russia,

A. V. Daneev, Irkutsk state university of railway,
Irkutsk, Russia

The article describes and analyzes methods for determining the thermal residual stress. Based on the analysis, it formed a conclusion about the necessity of a settlement method of determining residual stresses, which is based on a mathematical model of the formation of residual stresses and strains that occur during heat treatment. The paper provides a mathematical model of the stresses and strains that arise due to uneven cooling during the heat treatment of the work piece. Taking into account a number of factors that complicate the calculation of residual stresses, decided to use the numerical methods and automation systems engineering analysis (CAE). The results of calculation of residual stresses obtained by using the finite set of MSC Nastran. We analyzed the calculated and experimental values of thermal residual stress, conclusions about the validity of the calculations.

Keywords: residual thermal stresses, finite element method, heat treatment, low-hard details, aluminum alloys.