

УДК 621.78: 519.6

С.В. Абросимов¹, А.А. Александров¹

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения,
Иркутск, Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ, СНИЖЕНИЯ КОРОБЛЕНИЯ МАЛОЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Аннотация. В данной работе автором рассматривается существующий процесс изготовления мало жестких деталей из сплава В95, используемые в авиастроении, изучены проблемы, возникающие при механической обработке заготовок, после термообработки, а также рассматриваются средства и методы решения возникающих дефектов. Автором сделан вывод о недостаточной изученности способов снижения коробления, возникающего при механической обработке закаленных заготовок в виде плит, из алюминиевых сплавов, приводятся тезисы, описывающие возможное решение существующих проблем.

Ключевые слова: мало жесткие детали, остаточные напряжения, остаточные деформации, алюминиевые сплавы.

S.V.Abrosimov¹, A.A. Alexandrov¹

Irkutsk state University of railway transport, Irkutsk, Russian Federation

RESEARCH OF TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES, REDUCTION OF SHAPING OF SMALL RIGID PARTS FROM ALUMINUM ALLOYS

Annotation. In this work, the author considers the existing process of manufacturing low-hard parts from B95 alloy used in aircraft engineering, studies the problems that arise during the mechanical processing of workpieces, after heat treatment, and also discusses the means and methods for solving the arising defects. The author concludes that there is insufficient knowledge of the ways to reduce warpage that occurs during the machining of hardened workpieces in the form of plates made of aluminum alloys; theses are presented that describe a possible solution to existing problems.

Keywords: low-rigidity parts, residual stresses, residual deformations, aluminum alloys.

Введение

В настоящее время современное машиностроительное производство характеризуется большим количеством изделий, с высокой конструктивной сложностью, повышенными требованиями к точности изготовления, качеству обработанной поверхности, а в итоге и к эксплуатационным свойствам изготавливаемой продукции, надежности и ресурсу ее работы.

Так, в частности, в современной авиационной промышленности, в процессе создания крупногабаритных летательных аппаратов не мало важной задачей является рациональное проектирование высоконагруженных несущих деталей, обеспечивающих наибольшую жесткость при минимальной массе. Вследствие чего в конструкции планера самолетов используют многочисленное количество мало жестких авиационных изделий, которые характеризуются несущественной толщиной полотна и ребер и различным местом их расположения. При технологических процессах изготовления мало жестких деталей возникают достаточно серьезные проблемы их производства, при котором появляется общее коробление поверхности заготовки, а часто и локальной потери устойчивости, которое приводит к браку заготовки. В связи с чем в технологический

процесс необходимо вводить дополнительные операции правки и рихтовки, отрицательно сказывающиеся на общей трудоемкости изготовления детали и на снижении ее эксплуатационных свойств [1].

Высокая стоимость маложестких деталей, значительные временные затраты на осуществление операций правки и рихтовки, которые могут достигать 30% от общего баланса времени их изготовления, ставят задачу пересмотра взгляда на проектирование технологического процесса их изготовления.

Технология производства маложестких деталей.

Рассматривая процесс изготовления маложестких деталей, типовую последовательность операций их производства из таких сплавов можно представить в следующем виде:

1. Получение заготовки;
2. Термообработка заготовки;
3. Механическая обработка;

1. Получение заготовки

Для изготовления маложестких деталей простой формы в качестве заготовок деталей используют горячекатаные плиты или профили. В целях уменьшения удаляемого припуска при изготовлении деталей сложного профиля применяют различные высокопроизводительные методы обработки давлением, что обеспечивает минимальный вес заготовки и максимальное ее приближение к форме готовой детали. Выбор формообразования (горячая штамповка, прессование и т.д.), в этом случае, зависит от конфигурации и размеров изделия.

2. Термообработка

Термическая обработка сплавов из алюминия необходима для изменения характеристик и строения материала путем воздействия высоких температур. Различными методами обработки сплавов можно добиться широкого разнообразия структуры и свойств.

Сплавы, содержащие в структуре примеси в размере 15-18%, имеют вид твердого раствора. В качестве дополнительных компонентов применяются: цинк, магний, медь, кремний и другие вещества, различное сочетание и их процентное соотношение непосредственно влияют на свойства материала.

В обычном состоянии алюминиевые сплавы не отличаются высокой прочностью, и при этом являются довольно пластичными. Самые неустойчивые сплавы включают в свою структуру большое количество легирующих компонентов, которые влияют на равновесную структуру изделия.

Для упрочнения детали, применяется методы термообработки, алюминиевых сплавов. Путем равномерного нагрева, который описан технологической картой, получают необходимую структуру, требуемую для первоначальной стадии распада твердого раствора [2].

Посредством термообработки можно получить большое количество типов структуры материала, которые необходимы для производства. Термическая обработка позволяет создать структуру, не имеющую аналогов.

В настоящее время разработано множество методов термообработки алюминиевых изделий, среди которых наибольшую популярность обрели два: закалка и старение.

Закалка алюминиевых отливо

Закалку можно применить не для всех типов алюминиевых сплавов. Для наилучшего структурного изменения, в сплаве должны присутствовать такие компоненты как магний, цинк, медь, литий или кремний. Именно эти вещества могут в полной мере раствориться в составе алюминия, создав структуру, имеющую отличные от алюминия свойства.

Данный тип термообработки проводится при интенсивном нагреве, с дальнейшим интенсивным охлаждением до комнатной температуры.



Рисунок 1. Процесс термообработки заготовки.

При выборе температурного режима следует учитывать какое количество меди содержится в составе заготовки. Также, нужно учитывать свойства литых изделий.

В заводских условиях температура нагрева под закалку варьируется в диапазоне от 450 до 560 градусов. При вышесказанной температуре выдержка изделий обеспечивает расплавление элементов в составе сплавов. Время выдержки определяют от типа изделия, для деформированных обычно не превышает более часа, а для литых – от нескольких часов до двух суток [3].

При закалке скорость охлаждения необходимо подбирать так, чтобы состав алюминиевого сплава не подвергся распаду. На производстве закалённые сплавы подвергают охлаждению с помощью технической воды. Но такой метод охлаждения не всегда оптимально подходит, так как при охлаждении довольно объемных изделий происходит неравномерное снижение температуры по краям и в центре заготовки. Поэтому для крупногабаритных и сложных изделий применяются другие методы охлаждения, которые подбираются индивидуально для каждой заготовки.

Старение алюминиевых сплавов

Старение проводят для улучшения прочностных характеристик изделия. Этот вид термической обработки заключается в выдержке в условиях обычного температурного режима.

Повышение прочности достигается путем распада твердого раствора, что необходимо после закалки, так как закалка приводит к насыщению металла.

В настоящее время существует два способа старения алюминиевых сплавов: естественное и искусственное.

Естественное старение происходит без предварительного нагрева при обычных температурах. Данное старение заготовки можно достичь в условиях обычного склада или промышленного помещения, где естественная температура воздуха не превышает 30 градусов.

Естественное старение возможно из-за особого свойства алюминия, которое называется «свежезакаленное состояние». Свойства изделий значительно отличаются сразу после закалки и после некоторого времени пребывания на складе.

Искусственное старение проводится путем нагрева заготовок до температуры 200 градусов. Это активизирует процесс диффузии, что способствует улучшенному растворению составных элементов. Выдержка же изделия составляет от нескольких часов до нескольких суток.

Следует отметить, что искусственно состаренные сплавы можно в любой момент вернуть к первоначальному состоянию. Чтобы этого достичь необходимо нагреть изделие до 250 градусов с выдержкой до одной минуты. Выдержка должна проводиться в селитряной ванне в строго определенное время, с точностью до нескольких секунд.

Причем подобный возврат можно выполнять несколько раз, без потери прочности материала, но с небольшим изменением свойств. Обычно возврат состаренного металла проводят с целью восстановления пластичности, необходимой для изменения формы изделия.

3. Механическая обработка. На этом этапе изготовления детали формируются окончательные контуры изделия. Для обработки маложестких деталей используется целый ряд специальных фрезерных станков с ЧПУ. Для подготовки базовых поверхности маложестких деталей используют торцовые фрезы разных диаметров, а обработка их внутреннего набора ребер и полок ведется концевыми фрезами. На этапе черновой обработки, как правило, удаляется основная масса материала с оставлением 1...5 мм на чистовую обработку. При введении в технологический процесс операции повторной термообработки величина припуска на черновую обработку может быть увеличена до 8...12 мм. На рисунке 2 представлен один из видов подкреплений ячеек маложесткой детали после механической обработки [4].

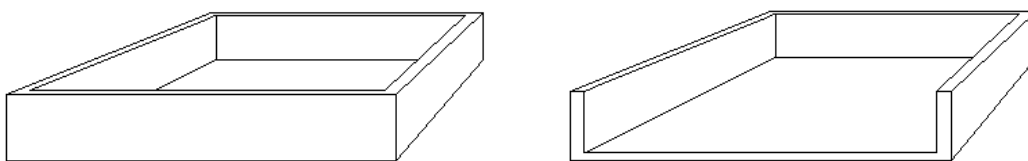


Рисунок 2. Виды подкреплений ячеек маложесткой детали

Рассматривая представленную ранее типовую последовательность операций изготовления маложестких деталей можно сделать вывод о том, что на всех этапах их производства возникают остаточные напряжения

При удалении слоя металла с заготовки, имеющей внутренние напряжения, нарушается равновесное состояние остаточных напряжений. В связи с этим происходит деформирование детали в результате полного восстановления равновесного напряженного состояния [5].

На практике существует большое количество различных видов остаточных деформаций, обусловленных конструктивными особенностями деталей и связанных с ними дефектов изделий.

Наиболее характерными видами остаточных деформаций при изготовлении маложестких деталей различного типа являются:

- а) двухосный изгиб типа «парус» (рис.3а);
- б) локальная деформация полотна маложестких деталей в межреберном пространстве (рис.3б);
- в) одноосный гофрированный изгиб (рис.3в);

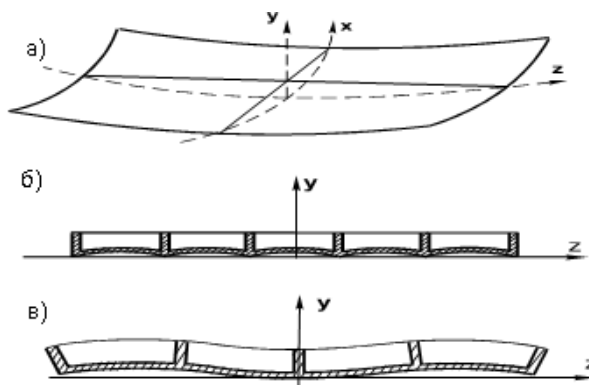


Рисунок 3. Деформации возникающие после обработки заготовки.

В следствие чего необходимо использовать методы по предотвращению и снижению деформаций заготовок [6].

Методы предотвращения и снижения деформаций заготовок

Методы, используемые для уменьшения остаточных деформаций маложестких деталей, в общем случае можно подразделить на следующие группы:

- 1) методы регулирования остаточных напряжений в заготовке и детали в направлении их снижения;
- 2) методы обеспечения взаимокompенсации остаточных деформаций, обусловленных релаксацией остаточных напряжений в заготовке при снятии с нее припусков;
- 3) введение дополнительных операций, направленных на снижение остаточных напряжений или прямое уменьшение погрешностей формы деталей.

К методам обеспечения требуемого уровня остаточных напряжений в заготовке и детали можно отнести:

во-первых, термические методы снижения и стабилизации остаточных напряжений в заготовке и детали;

во-вторых, механические методы, реализующие малые пластические деформации заготовки и детали;

в-третьих, акусто-механические способы обеспечения требуемого уровня остаточных напряжений.

В основу термических методов положена зависимость остаточных напряжений от «резкости» термообработки или, иными словами, от скорости охлаждения и перепада между температурами нагрева заготовки и охлаждающей среды и возможность релаксации напряжений под действием определенных температур.

Термические методы уменьшения остаточных деформаций маложестких деталей имеют на сегодня широкое распространение. Они включают в себя закалку в различных средах, низкотемпературный отжиг [7].

Механические способы обеспечения требуемого уровня остаточных напряжений заготовок и изделий, реализующие их малые пластические деформации оказывают благоприятное влияние на уровень остаточных напряжений - резко снижаются величины макронапряжений. Н.Н. Кочетов, Б.И. Панов, Ю.С. Румянцев, в своей статье отмечают, что при оптимальной деформации растяжением остаточные напряжения сплава В95 закаленного и состаренного снижаются на 60%, что приводит к снижению величины отклонения от точности формы детали. Кроме этого метод позволяет снизить не только общий уровень остаточных напряжений, но и выровнять их значения, устранив основной источник поводов и коробления. Основными недостатками этого метода являются:

- ухудшение прочностных свойств материала;
- возможность его использования для ограниченного типа заготовок простой формы и одинакового поперечного сечения;
- требования специального прессового оборудования.
- только лишь 5% заготовок возможно производить растяжение.

Акустомеханические способы обеспечения требуемого уровня остаточных напряжений в заготовках, к которым относятся ультразвуковой, вибрационный методы, имеют ограниченные возможности применения вследствие значительных технологических затруднений и увеличения себестоимости маложестких деталей.

Второе направление минимизации остаточных деформаций маложестких деталей - создание такого технологического процесса их изготовления, при котором релаксация остаточных напряжений в результате снятия припусков с заготовки не будет приводить к остаточным деформациям маложесткой детали, превышающим допустимых значений. По сравнению с другими методами, такая минимизация остаточных деформаций маложесткой детали не приводит к ухудшению физико-механических свойств изделия. При этом за счет исключения дополнительных операций правки, может снизиться

себестоимость. Среди данных методов наибольшее распространение получили:

- перераспределение удаляемых с заготовки припусков на изготовление маложесткой детали;
- использование упругого изгиба при закреплении заготовки на столе станка;
- изменение последовательности обработки различных участков маложесткой детали;
- корректировка конструкции маложесткой детали и заготовки.

В тех случаях, когда не удастся вышеизложенными методами уменьшить величину остаточных деформаций маложестких деталей до приемлемого уровня, в состав технологического процесса их изготовления вводят операции правки: упругопластическим изгибом (растяжением), роликовой правки и др. Интересно отметить, что правка локальных остаточных деформаций полотна подкрепленной ячейки маложесткой детали, в соответствии с, производится дюралевым молотком, царапины и забоины на котором не допускаются [2-4].

Операции правки имеют ряд существенных недостатков:

- приводят к скрытому снижению выносливости и долговечности изделия. Образцы, не подвергавшиеся правке, имеют более высокую (в 2...2.5 раза) стойкость;
- создают хаотичное, практически не управляемое сложнапряженное состояние в маложесткой детали, которое вновь приводит к ее искривлениям, что может потребовать повторной правки;
- могут привести к нарушению сплошности материала маложесткой детали из-за образующихся скрытых микротрещин.

Исходя из результатов анализа данной технологии изготовления маложестких деталей можно сделать вывод что даже при таком огромном комплексе операций нет возможности уйти от деформаций в заготовках, исходя из этого видится возможным метод по снижению остаточных деформаций за счет формирования предварительно-напряженного состояния в заготовке.

Предварительно напряженные заготовки.

Симметричное охлаждение, при закалке, приводит к образованию симметричных остаточных напряжений, равновесие которых при последующей механической обработке нарушается и возникает коробление.

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод о возможности проведения асимметричного охлаждения заготовок при закалке, формирующее асимметричные эпюры остаточных напряжений, которые в процессе механической обработки сформируют нулевые или допустимые отклонения формы и размеров маложестких деталей.

Необходимо произвести расчет остаточных деформаций маложесткой детали, вызванных перераспределением остаточных напряжений, расчетные значения остаточных деформаций сравниваются со значениями допустимых отклонений по форме и размеров детали. В случае если расчетные значения остаточных деформаций соответствуют техническим требованиям, осуществляется переход на этап, при котором производится термическая обработка по изначально установленным режимам. После проведения термической обработки производится механическая обработка на металлорежущих станках.

Заключение

Подводя итог вышеизложенному можно сделать вывод о возможности получения предварительно-напряженных заготовок с заданным уровнем и характером распределения термических остаточных напряжений, позволяющим в процессе механической обработки, обеспечить требуемый уровень точности формы и размеров маложестких деталей. Для этого необходимо разработать закалочную машину, определение остаточных напряжений в заготовке которые позволять сформировать низкие остаточные деформации и соответственно отладка режимов работы разработанной закалочной машины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лившиц А. В. Прогнозирование локальных остаточных деформаций при проектировании технологического процесса изготовления мало жестких деталей: Дисс. ... канд. техн. наук / А. В. Лившиц. – Иркутск: - 1999. – 185 с.
2. Каргапольцев С.К. Управление деформированным состоянием мало жестких деталей типа пластин с подкреплением на основе его прогнозирования при проектировании технологического процесса. Дис. ... докт. техн. наук / С.К. Каргапольцев. – Иркутск: - 2000. – 322 с.
3. Промптов А.И. Оптимизация режима резания при фрезеровании мало жестких деталей // Технология машиностроения и вопросы прочности: Сборник / ТПИ. – Томск, 1977. – с. 46-50.
4. Промптов А.И., Ботвенко С.И. Причины возникновения и возможные пути управления неустойчивым состоянием полотна при изготовлении деталей коробчатой формы // Управление технологическими процессами в машиностроении / Сб. научных трудов / ИПИ. – Иркутск, 1989. – с. 3-9.
5. Замащиков 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.
6. Аксенов Г.А. Общая теория рассеяния рентгеновских лучей металлом, находящимся в линейном напряженном состоянии / Г.А. Аксенов // Прикладная физика. – 1929. – т. 4. – с. 627-659
7. Александров А.А. Моделирование термических остаточных напряжений при производстве мало жестких деталей: Дисс. ... канд. техн. наук / А.А. Александров – Иркутск, - 2016. – 165 с.

REFERENCES

1. Livshits A.V. Prediction of local residual deformations in the design of the manufacturing process of low-rigid parts: Diss. ... Cand. tech. science / A.V. Livshits. - Irkutsk: - 1999. - 185 p.
2. Kargapoltsev S. K. Control of the deformed state of low-rigid parts of the plate type with reinforcement based on its prediction in the design of the technological process. ... Doct. tech. science / S. K. Kargapoltsev. - Irkutsk: - 2000. - 322 p.
3. Promptov A. I. Optimization of the cutting mode when milling small-rigid parts / / Technology of mechanical engineering and strength issues: Collection / TPI. – Tomsk, 1977. – p. 46-50.
4. Prompt A. I., S. I. Butenko Causes and possible ways of controlling the fragile state of the paintings in the manufacture of parts-box shape // Management of technological processes in mechanical engineering / SB. scientific papers / IAS. – Irkutsk, 1989. – p. 3-9.
5. Samsikov Y. I., Prompt, A. I., Butenko I. C., Kargapoltsev S. K. A. S. Method of determination of quenching residual stresses. - No. 1643928 from 22.12.90. -5 p.
6. Aksenov G. A. General theory of x-ray scattering by a metal in a linear stress state / G. A. Aksenov // Applied physics. - 1929. - vol. 4. - p. 627-659
7. Alexandrov A. A. Modeling of thermal residual stresses in the production of low-rigid parts: Diss. ... Cand. tech. science / A. A. Alexandrov-Irkutsk, - 2016. - 165 p.