

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЛОКАЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО ОТЖИГА ЗАГОТОВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

© 2007 С.П. Мурзин, В.И. Трегуб

Самарский государственный аэрокосмический университет

Определены температурно-скоростные режимы лазерного отжига нагартованного алюминиевого сплава АМг2Н, обеспечивающие снятие наклепа и образование рекристаллизованной структуры. Локальный лазерный отжиг обеспечивает повышение предельного относительного удлинения на 20...25%, уменьшение минимального радиусагиба в 1,7...2,0 раза. Применение разработанного технологического процесса отжига перед холодной штамповкой предоставляет возможность повысить прочность деталей за счет использования нагартованных листовых и трубчатых заготовок.

Введение

Лазерная обработка является прогрессивным технологическим методом улучшения эксплуатационных свойств и служебных характеристик деталей [1-3]. Целесообразность и преимущества ее применения определяются возможностью быстрого, строго дозированного интенсивного подвода энергии на поверхность изделия. Способы лазерной обработки являются бесконтактными и предоставляют возможность обработки труднодоступных и локальных областей деталей. Обеспечивается локальность по глубине и площади физических процессов, протекающих в зоне термического влияния, при сохранении исходных свойств материала в остальном объеме и отсутствии значительных деформаций обрабатываемых деталей. Реализация соответствующих условий взаимодействия излучения с веществом позволяет осуществить такие способы лазерной обработки материалов, как, например, термоупрочнение, отжиг и сварку. Конкретность в выборе способов лазерной обработки не ограничивает общность подходов к решению задач по разработке технологических процессов, а результаты исследований представляют самостоятельный научно-практический интерес.

Целью данной статьи является разработка технологии лазерной обработки на примере локального отжига заготовок из нагартованного алюминиевого сплава, а также исследование технологических и эксплуатационных свойств обработанного материала.

Разработка технологии локального лазерного отжига перед холодным деформированием заготовок из нагартованного алюминиевого сплава

При традиционной технологии формообразования деталей на специализированном оборудовании силовые и точностные характеристики процесса определяются механическими свойствами материалов (склонностью к упрочнению, пластичностью, прочностью и т.д.). Точность изготовления деталей зависит от точности изготовления штампа и его конструкции. При получении высокоточных деталей это приводит к значительным затратам на проведение термических операций для фиксации заданных свойств штампуемого материала, на изготовление многочисленных комплектов инструмента, на капитальные вложения в основное оборудование. Устранить эти недостатки возможно путем совмещения формоизменяющих операций с технологической операцией лазерного отжига для получения равновесных структур, обладающих высокой пластичностью и низкой твердостью. В работах [4-5] показана возможность осуществления процессов рекристаллизации сплавов при высоких температурах и малых временах выдержки, имеющих место в случае лазерного нагрева, при соблюдении условия: скорость охлаждения материала после прекращения лазерного воздействия должна быть ниже критической. Замедленный теплоотвод реализуется при толщине обрабатываемого материала соизмеримой с размерами зоны термического влияния.

В результате проведенных исследований

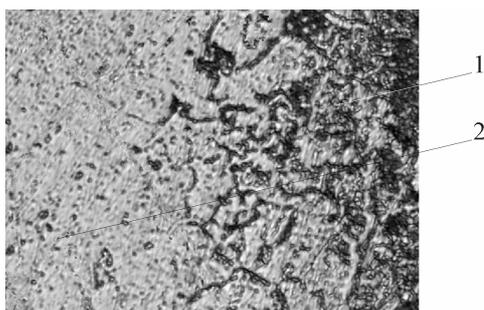


Рис. 1. Структура листового алюминиевого сплава АМг2Н после лазерного отжига:
1 – зона отжига; 2 – исходная структура, увелич. x300

на примере конструкционного материала АМг2Н определены температурно-скоростные режимы лазерного отжига нагартованного алюминиевого сплава, обеспечивающие снятие наклепа и образование рекристаллизованной структуры. АМг2Н применяется в двигателестроении для сварных и не сварных малонагруженных деталей, от которых требуется высокая коррозионная стойкость (сварные баки, бензо-, и масло- и воздухопроводы). Температура полного (рекристаллизационного) отжига сплава АМг2Н равна $T_{p.o.} = 620...680$ К. С увеличением температуры возникает опасность образования крупнокристаллической структуры и, в связи с этим, резкого снижения деформируемости материала. Росту крупного зерна при кристаллизации способствует неравномерное распределение легирующих элементов внутри зерен, а также неравномерная степень пластической деформации. Особую склонность к росту зерна материал имеет после критических степеней холодной деформации ($\varepsilon_{\delta} = 2...15\%$) при медленном нагреве, поэтому нагрев при полном отжиге проводится с максимально возможной скоростью. Температура лазерного отжига полуфабрикатов из сплава АМг2Н может достигать $T = 800...820$ К с сокращением времени выдержки.

Определены параметры режима обработки, которые составили: мощность лазерного излучения $Q = 600 \pm 7$ Вт; скорость обработки $v = 0,6 \pm 0,01$ м/с. Для целенаправленного изменения пространственного распределения мощности воздействующего высокоинтенсивного лазерного излучения применялись системы транспортировки и формирования пучков излучения, включающие в свой состав модули дифракционной оптики (фокусаторы излучения) [6-7]. На рис. 1 представлена структура листового алюминиевого сплава АМг2Н толщиной $\delta = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м после про-

ведения лазерного отжига. Сплав имеет гетерогенную структуру, состоящую из α -твердого раствора и выделений фазы β (Mg_2Al_3), которая в исходном состоянии частично растворена. При наличии марганца и примесей железа и кремния имеются марганцовистая фаза ($AlMg_2Mn$), силицид магния (Mg_2Si) и $AlFeSi$. При лазерном отжиге происходит рекристаллизация деформированной структуры, а также распад метастабильных фаз с образованием стабильной рекристаллизованной структуры.

Исследование свойств обработанного материала

Для определения предельного относительного удлинения, характеризующего пластичность сплавов и их способность выдерживать заданную пластическую деформацию, проведены испытания на растяжение образцов по методике ГОСТ [8-9]. В ходе испытаний образцов из листового материала АМг2Н были получены следующие результаты: относительное удлинение после разрыва до лазерного отжига имело значение 4,5 % (4,1...4,8 %), а после лазерного отжига – 27,0 % (25,5...29,0 %). Таким образом, повышение предельного относительного удлинения после лазерного отжига составляет 20...25 %. При испытании образцов из листового алюминиевого сплава АМг2Н толщиной $= 1,5 \cdot 10^{-3}$ м были получены следующие результаты: минимальный радиусгиба до лазерного отжига не превышал $(3,0...3,7) \cdot 10^{-3}$ м, после лазерного отжига – $(1,5...2,0) \cdot 10^{-3}$ м. Т.е, минимальный радиусгиба после лазерного отжига уменьшается 1,7...2,0 раза. Обработка результатов экспериментальных исследований проводилась с применением методов математической статистики. Погрешность результата испытаний определялась путем статистической обработки группы измерений с учетом случайной и неисключенной систематической погрешности.

Для оценки прочностных свойств патрубков, изготовленных по разработанной технологии, были подготовлены промышленные образцы из сплава АМг2 со следующими геометрическими параметрами: наружный диаметр патрубка $30 \cdot 10^{-3}$ м, толщина стенки 10^{-3} м, уголгиба 0,52 рад. Исследования проводились методом сравнительных испытаний. Опытные образцы изготавливались из нагартованных заготовок с локальным лазерным отжигом местагиба. Контрольные образцы из-

готовлялись из материала той же партии, предварительно подвергнутого полному печному отжигу в течении 40 мин при температуре 620 К. Гибка всех образцов осуществлялась по серийной технологии с одной установки гибочного приспособления. Определялось внутреннее давление разрушения нагнетаемой жидкости. Испытания проводились на гидроиспытательном стенде, в качестве рабочей жидкости использовался керосин. У контрольных образцов значения давления разрушения находилось в интервале $(117...124) \cdot 10^5$ Па, а у патрубков, изготовленных из нагартованного материала с применением разработанной технологии – в интервале $(162...171) \cdot 10^5$ Па, т.е. выше на 30...40%.

Заключение

В результате проведенных исследований на примере конструкционного материала АМг2Н определены температурно-скоростные режимы лазерного отжига нагартованного алюминиевого сплава, обеспечивающие снятие наклепа и образование рекристаллизованной структуры. Для целенаправленного изменения пространственного распределения мощности воздействующих высокоинтенсивных энергетических потоков применялись системы транспортировки и формирования пучков излучения, включающие в свой состав модули дифракционной оптики (фокусаторы излучения).

Проведены исследования структуры алюминиевого сплава АМг2Н после проведения лазерного отжига. Сплав АМг2Н имеет гетерогенную структуру, состоящую из -твердого раствора и выделений фазы (Mg_2Al_3) , которая в исходном состоянии частично растворена. При лазерном отжиге происходит рекристаллизация деформированной структуры.

Применение разработанного технологического процесса отжига перед холодной штамповкой предоставляет возможность повысить прочность деталей за счет использо-

вания нагартованных листовых и трубчатых заготовок. Так, прочность патрубков двигателей летательных аппаратов из алюминиевого сплава АМг2Н увеличивается на 30...40%. Локальный лазерный отжиг претерпевающих пластические деформации участков обеспечивает повышение предельного относительного удлинения на 20...25%, уменьшение минимального радиусагиба в 1,7...2,0 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. М.: Машиностроение, 1989.
2. Гуреев Д.М., Ямщиков С.В. Основы физики лазеров и лазерной обработки материалов. Самара: 2001.
3. Мурзин С.П. Прогрессивные технологии лазерной обработки материалов / Под ред. В.П. Шорина. Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2006.
4. Мордасов В.И., Мурзин С.П. Применение специализированного оборудования лазерной обработки в заготовительном производстве // Физические проблемы импульсной обработки металлов и сплавов. Куйбышев, 1988.
5. Мордасов В.И. Возможности локальной лазерной обработки при формообразовании листовых материалов // Изв. Академии наук "Металлы". 1997. №3.
6. Методы компьютерной оптики / Под ред. В.А. Соифера. М.: Физматлит, 2000.
7. Verfahren und Anordnung für die Laserbehandlung eines Gegenstandes. Europäische Patentanmeldung 0 329 787 B 23 K 26/00 // A.M. Prokhorov, V.A. Soifer, V.P. Shorin, S.P. Murzin u.a. Anmeldenummer 88903119.1 (28.08.87). Veröffentlichungstag der Anmeldung 30.08.1989 Patentblatt 89/35.
8. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение.
9. ГОСТ 11701-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение тонких листов и лент.

DEVELOPMENT OF LOCAL LASER ANNEAL TECHNOLOGY FOR HALF-FINISHED PRODUCTS FROM ALUMINIUM ALLOY

© 2007 S.P. Murzin, V.I. Tregub

Samara State Aerospace University

Laser anneal temperature-speed modes of the hard-drawn the aluminium alloy АМг2Н, providing cold work removal and recrystallized structure formation, are determined. Local laser annealing provides increase of limiting relative lengthening on 20...25 %, reduction of the minimal bending radius in 1.7 ... 2.0 times. Application of the developed anneal technological process before cold pressing affords an opportunity to raise durability of details due to use hard-drawn sheet and tubular billets.