

более высокой упругостью паров. Формирование требуемой структуры достигается при реализации соответствующих температурно-скоростных режимов лазерной обработки.

В результате исследований методами электронной микроскопии выявлена структура и характер распределения пор в полученных материалах. Установлено, что в результате лазерного воздействия с высокой частотой следования импульсов в приповерхностном слое латуни Л62 образуется нанопористая структура. Внутри субзерен формируется структура, содержащая достаточно равномерно распределенные нанопоры различных форм: от овальной, имеющей неровности в виде выступов и впадин, до неправильной. Средний размер таких пор составляет 30...40 нм. Поры часто соединяются между собой через сужения, имеются нанопоры канального типа шириной 10...20 нм и длиной более 100 нм. На границе субзерен плотность нанопор выше, их форма и размеры более неравномерны, они, как правило, имеют достаточно сложную форму. Основную долю нанопор составляют поры преимущественно овальной формы со средним размером в диапазоне 40...60 нм, которые, объединяясь с порами канального типа шириной до 20...25 нм и длиной более 100 нм, образуют нанопористую сеть. Происходит образование разветвленных нанопор, имеющих своеобразную дендритную структуру.

Процессы лазерной сублимации лимитируются скоростью диффузионной доставки атомов компонента с высокой упругостью

паров к поверхности. Их интенсификация возможна при повышении термически активируемой диффузии, для которой характерна экспоненциальная зависимость от температуры. Однако с увеличением температуры и продолжительности нагрева при лазерной обработке на воздухе локальный перегрев приводит к окислению поверхности материала. Латунь при повышенных температурах не только окисляется с поверхности, но и образует зону внутреннего окисления из-за диффузии кислорода внутрь изделия.

При обработке в нейтральной газовой среде, в качестве которой применен аргон, из-за недостаточного содержания в ней кислорода окислительные процессы минимальны. Отсутствие оксидной пленки облегчает сублимацию цинка, поэтому при нагреве латуни до  $T=823$  К наблюдалась некоторая потеря массы металла – до 3 мг/(мм<sup>2</sup>ч). Однако наличие над металлическим материалом относительно плотной газовой среды значительно снижает интенсивность процессов сублимации по сравнению с обработкой в вакууме. При изотермической выдержке в среде аргона при температуре 723 К потери массы образцов не наблюдалось, сохранялась желтая блестящая поверхность образцов. Т.е. повышение давления газа окружающей атмосферы приводит к уменьшению скорости сублимации. Максимальная скорость сублимационных процессов имеет место при их проведении в вакууме. При пониженном давлении сублимация нагретого материала происходит интенсивней, начиная с меньших температур.

УДК 621.7

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТНОМУ РАЗРУШЕНИЮ ХРОМОНИКЕЛЕВОЙ СТАЛИ 40ХН**

Трегуб В.И., Никифоров А.М.

Самарский государственный аэрокосмический университет

## **APPLICATION OF LASER HEAT TREATMENT FOR INCREASE OF CHROME- NICKEL STEEL 40XH FATIGUE FAILURE RESISTANCE**

*Tregub V.I., Nikiforov A.M. Properties of used constructional materials mainly define increasing of aviation product's operational indicators. Fatigue failure resistance of metal materials, as well as*

*other physicomechanical properties, substantially depends on structure. Laser heat treatment of details from steel 40XH allows raise fatigue failure resistance at microhardness increasing of a blanket in thermal influence zone in 2...2,5 times. It's possible to get lower probability of fatigue cracks origin while in service.*

Свойства используемых конструкционных материалов во многом определяют повышение эксплуатационных показателей изделий авиационной техники. Физико-механические свойства металлов и сплавов являются структурно-чувствительными, т.е. могут управляться посредством модификации структуры, в частности, изменением формы и размера зерен, вида и концентрации дефектов кристаллической решетки и других субструктурных единиц. Сопротивление металлических материалов усталостному разрушению, как и другие физико-механические свойства, в значительной степени зависит от структуры. С целью изменения структур материалов при производстве авиационной техники находит широкое применение термическая (тепловая) обработка, методы и средства осуществления которой непрерывно совершенствуются. Особую актуальность приобретает применение прогрессивных методов формирования структур конструкционных материалов при достаточно сложной конфигурации обрабатываемых поверхностей, коробление которых должно быть сведено к минимуму; при необходимости получения строго заданного профиля закаленного слоя; при ограничении подвода тепла к зоне обработки.

Прогрессивным для улучшения физико-механических свойств материалов является применение лазерного воздействия, одной из особенностей которого является то, что плотность мощности сфокусированного излучения может превосходить практически все существующие источники нагрева. При сверхбыстром нагреве и охлаждении в металлических материалах происходит образование неравновесных структур. Целесообразность применения методов лазерного воздействия определяется возможностью бесконтактного, строго дозированного интенсивного подвода энергии на поверхность изделия. 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.

Хромоникелевая сталь 40XH высокой прочности, повышенной вязкости и глубокой прокаливаемости применяется после нормализации, улучшения, закалки и низкого отпуска, а также поверхностного упрочнения ТВЧ для изготовления ответственных деталей, работающих при наличии ударных и вибрационных нагрузок. Однако имеют место единичные случаи разрушения деталей, выполненных из данного материала с поверхностно закаленным слоем. Причиной разрушения деталей являлось зарождение трещины на термически упрочненной поверхности и ее развития при нагрузках, не превышающих допустимые. Наличие в доэвтектоидной стали 40XH ликваций серы и ее соединений приводит к ускоренному развитию усталостного разрушения. Степень влияния неметаллических включений зависит от их формы, количества и характера распределения в объеме металлического материала, а также от химического состава и свойств. В результате металлографических и фактографических исследований установлено, что неметаллические включения с содержанием серы до 20...25 % имеют цилиндрическую форму и ориентированы вдоль оси детали, длина отдельных включений – более 100 мкм, а диаметр – около 2 мкм. Усталостные свойства при наличии включений имеют резко выраженную ориентацию.

Лазерная термообработка деталей из стали 40XH с применением схемы нагрева по спирали позволяет повысить сопротивление усталостному разрушению при увеличении микротвердости поверхностного слоя в зоне термического влияния в 2...2,5 раза. Возможно значительно снизить вероятность зарождения усталостных трещин в деталях типа полуось коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания в процессе эксплуатации.