НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи

ЕРИЦЯН Степан Лаврентьевич

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ

Специальность 05.03.07 - Оборудование и технология лазерной обработки

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва -1999

Работа выполнена ***в Московском государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана.***

Научный руководитель – проф., д.т.н. ***Сафонов А.Н.***

Официальные оппоненты - д.т.н., проф. ***Крапошин В.С.***

к.т.н., доц. ***Тарасова Т.В.***

Ведущее предприятие ***Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН***

Защита диссертации состоится "10" 02 1999 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета К 053.15.03 в Московском государственном университете имени Н.Э. Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-ая Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат в 1 экз., заверенный печатью, просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Телефон для справок 267-09-63

Автореферат разослан "30" 12 1999 г.

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1565303
Ерицян С.Л. Разработка мет

Гирш В.И.

1565303

п.л. Заказ № 174

ТУ

Актуальность проблемы. За последние годы накопилось достаточно большое количество работ, исследований и данных в области лазерной термической обработки металлов.

Имеется ограниченное количество работ, в которых устанавливаются закономерности формирования свойств материалов после поверхностной лазерной закалки.

В настоящее время назрела необходимость систематизированной обработки и обобщения данных в области лазерной термической обработки. Создание такого рода методики позволит существенно сократить временные затраты как при исследовании новых металлов, так и для получения полных оперативных сведений об имеющихся данных.

Разработка данного направления осуществляется с применением современных вычислительных комплексов.

Таким образом, такая методика является алгоритмом для создания САПР по лазерной термической обработке и является актуальной на данном этапе.

Одним из важнейших эксплуатационных показателей деталей машин является сопротивление усталости. В настоящее время имеется достаточно ограниченное число работ, посвященных исследованию сопротивления усталости (особенно для деталей тел вращения) после лазерной закалки. Поэтому исследование сопротивления усталости для деталей тел вращения с различными концентраторами в условиях сложного нагружения при разнообразных видах лазерной закалки является также чрезмерно актуальной задачей.

Цель работы. 1. Создание методики и алгоритма установления достоверных взаимосвязей структуры, твердости и режимов лазерной обработки с целью организации оперативного и пополняемого компьютерного банка данных для лазерной термической обработки до- и заэвтектоидных классов сталей.

2. Установление закономерностей сопротивления усталости в условиях сложнонапряженного состояния для деталей (сталь 45) тел вращения гладких образцов и образцов с различными концентраторами, обработанных при разнообразных схемах лазерного воздействия.

Методы исследования. Методами исследования в данной работе явились:

1. Сбор, анализ и сравнение существующей информации. 2. Современные методы микроструктурных исследований образцов, обработанных лазером.
3. Методика обработки данных при помощи корреляционного и регрессионного анализов с применением ЭВМ.

Научная новизна состоит в установлении следующих закономерностей формирования свойств поверхности до- и заэвтектоидных сталей при лазерной закалке: - распределение микротвердости по глубине в до- и заэвтектоидных сталях после лазерной закалки для всех модифицированных слоев описывается уравнениями прямых линий;

1565303

МГТУ
им. Н. Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

- для сталей с содержанием углерода С от 0,2 до 0,8% для первого слоя, полученного при закалке из жидкой фазы, микротвердость возрастает с увеличением содержания углерода в стали. При последующем увеличении содержания углерода в стали выше 0,8% значения микротвердости слоев, образованных как при закалке из жидкого, так и из твердого состояния, падают. Для второго слоя, полученного путем закалки из твердой фазы, значения микротвердости в интервале 0,2 -1 % С увеличиваются;
- аналитические взаимосвязи между параметрами глубины закаленного слоя h, скоростью (в пределах 25-83 мм/с) и мощностью в пределах (0,75-1,5 КВт) при лазерной закалке сталей 45, 40Х, ШХ15 и чугуна носят однотипный, но нелинейный характер;
- повышение сопротивления усталости и усталостной долговечности всех образцов, обработанных лазерным излучением в процентном соотношении составляет от 10 до 40% в зависимости от типа образца, марки стали, концентратора и критерия нагружения τ/σ (параметр, показывающий влияние касательных напряжений τ на переменное нормальное напряжение σ, возникающее от изгиба у валов передаточных механизмов);
- для проведения более детального сравнительного анализа между одинаковыми типами образцов, обработанных и необработанных лазерным излучением для стали 45 при $\tau/\sigma = 1$ и $\tau/\sigma = 0$ разработана достаточно простая и удобная методика перерасчета усталостных параметров.

Практическая ценность работы.

1. Разработан алгоритм создания системы САПР лазерной обработки материалов на основе методов регрессионного анализа, который позволяет оперативно и объективно получать и пополнять информацию о лазерных технологических процессах обработки различных материалов.

2. На основе вышеуказанной системы проведен анализ и установлены закономерности формирования свойств сталей, которые позволяют значительно уменьшить объем экспериментальных исследований для других видов материалов при разнообразных способах лазерной обработки, а также априорно прогнозировать ожидаемые результаты лазерной обработки. Указанная методика может быть использована в производственных, научно-исследовательских и учебных целях.

Апробация работы. По основным разделам работы сделаны доклады на научном семинаре кафедры МТ-12 МГТУ им. Н.Э. Баумана, 7-й международной научно-технической конференции "Лазеры в науке, технике, медицине", 5-ой международной конференции "Лазерные технологии - 95", г. Шатура, 11-м конгрессе международной федерации по термической поверхностной обработке, Флоренция,1998г.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов по работе и приложения. Выполнена на 253 машинописных листах, содержит 27 рисунков, 25 таблиц и 142 наименований использованных литературных источников.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава. Приведены результаты исследования структур зоны лазерного воздействия сталей при лазерной обработке, приводящей к образованию различных слоев с различными микроструктурными составляющими, которые образуются в результате нагрева – охлаждения до разных температур соответствующих слоев, расположенных на различных глубинах. Как отмечается в большинстве работ, в общем случае наблюдаются три слоя с принципиально различными по природе фазовыми превращениями. В подавляющем большинстве случаев основное внимание обращено на изменение в мартенсите, который является одной из основных структурных составляющих.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что при лазерной закалке линии, разделяющие зоны феррита и мартенсита, пакетного и пластинчатого мартенсита и остаточного аустенита сдвигаются в сторону меньшего содержания углерода, что приводит к появлению в структуре сталей пакетного мартенсита и повышению содержания остаточного аустенита в высокоуглеродистых сталях.

Анализ ряда работ позволил сделать предварительный вывод о том, что чем выше содержание углерода, тем выше микротвердость сталей после лазерной закалки.

Исследовано влияние важнейших параметров (мощность излучения P или плотность излучения Q, скорость обработки V, частота следования импульсов) на глубину h закаленного слоя и свойства сталей. В большинстве рассмотренных работ приведены сведения о влиянии режимов лазерной обработки и отмечено, что глубина и ширина ЗЛВ уменьшаются при увеличении скорости обработки и возрастают при увеличении мощности излучения. При увеличении мощности при постоянных значениях скорости обработки и диаметра пятен или при уменьшении обработки при постоянных значениях энергетических параметров глубина и ширина ЗЛВ возрастает. В работах отмечается также ,что характер изменения геометрических размеров для большинства исследованных сплавов от режимов обработки существенно нелинейный.

Общий анализ данных вышеуказанных взаимосвязей позволил сделать вывод о том, что имеется ограниченное количество работ, где сделана попытка систематизации и выявления характера и количественной оценки вышеупомянутых взаимосвязей.

Влияние режимов лазерной обработки на характер распределения микротвердости по глубине для различных сталей различно. Довольно много работ, посвященных изучению микроструктуры и микротвердости сталей, а также всех факторов, влияющих на них. Большинство данных разрознено, но в некоторых случаях представляется возможным выявить довольно точные зависимости.

Анализ литературных данных в области сопротивления усталости обработанных лазером сталей выявил достаточную разрозненность и ограниченность исследований в этой области. Не имеется данных по изучению сталей, обработанных лазером при различных схемах и испытанных при различных вариантах сложно-напряженного состояния.

Вторая глава посвящена оборудованию и методам лазерной обработки, оборудованию и методикам для исследования микроструктуры и усталостных испытаний.

В работе при проведении экспериментов использованы непрерывный ИАГ-лазер с выходной мощностью 300 Вт, а также CO_2 - лазеры мощностью до 2 КВт.

Измерение микротвердости по глубине образцов проводились на приборе ПМТ-3 при нагрузке на индикаторе 0,5Н. Измерение проводились на глубину до 1,4 мм. Изучались зависимости мкроструктуры, глубины, шероховатости и микротвердости обработанных поверхностей от таких технологических параметров ЛТО, как мощность излучения, скорость обработки V, коэффициент перекрытия Кп и диаметр пятна d. Проведено сопоставление расчетной глубины закаленного слоя с величиной, полученной после структурных изменений. С этой целью для различных видов сталей были обработаны торцевые плоскости (Ra = 0,6 мкм) 10 - 14 цилиндрических образцов (для каждого вида стали и исследования соответственно), которые представляли собой цилиндрические прутки высотой 16 мм и диаметром 25 мм. Перед термообработкой на торцы образцов было нанесено поглощающее сажесодержащее покрытие (черная тушь).

Исследование сопротивления усталости материалов включает построение кривых усталости в широком диапазоне чисел циклов в областях мало- и многоцикловой усталости по результатам проведения соответствующих испытаний.

Для испытания на усталость использовалась испытательная машина, сконструированная на кафедре "Детали машин" "Ереванского политехнического института им. К. Маркса". Исследуется сопротивление усталости валов (с концентраторами и без концентраторов из стали марки 45, обработанных лазером при различных схемах и испытанных в условиях сложно-напряженного состояния при $\tau/\sigma = 1$ и при $\tau/\sigma = 0$. Для этой цели были обработаны лазерным непрерывным излучением валы – гладкий, с галателью и поперечным центральным отверстием. Обработанные лазером при соответствующих схемах цилиндрические образцы были подвергнуты многоцикловым усталостным испытаниям.

Всего проведено 12 серий испытаний на усталость при числе образцов внутри каждой серии n = 17-22.

Третья глава посвящена разработке методики для статистической обработки экспериментальных данных по лазерной закалке сталей.

Процесс лазерной закалки сталей непрерывным излучением заключается в локальном нагреве движущимся по поверхности сфокусированным лучом и в быстром охлаждении за счет теплопроводности вглубь детали. Результаты экспериментов показали, что локальный характер воздействия лазерного луча и сравнительно высокий градиент охлаждения поверхностных слоев приводят к более значительному повышению микротвердости, чем при известных методах термообработки.

Наличие большого спектра неравновесных составляющих микроструктуры, свойственное мало-, средне- и высокоуглеродистым сталям, неравномерность распределения плотности энергии излучения в сечении луча, различная отражательная способность поверхности и инструментальные возможности метода измерения микротвердости приводят к значительному рассеянию опытных данных, а иногда и к противоречивой предварительной информации об эффективности метода лазерной закалки, что затрудняет установление количественных связей между характеристиками физико-механического состояния поверхностных слоев и ряда факторов конструктивного, технологического и эксплуатационного характера, а также оптимизацию процесса лазерной закалки.

Для выполнения статистических расчетов необходимо установить закон распределения исследуемых величин. В одних случаях он определяется теоретически на основе выбранной модели изучаемого процесса, а в других – может быть выбран априорно. Наиболее доступен графический метод с применением вероятностных сеток, которые, обладая определенной наглядностью все же не могут стать количественной оценкой для принятия того или иного закона распределения. Для этого существует ряд достаточно строгих аналитических решений – критериев согласия результатов наблюдений выбранному типу гипотетического распределения, точность оценки которых зависит от многих факторов и в первую очередь от объёма выборки n. Применение каждого из них ограничено определенными условиями, поэтому для создания универсальной расчетной методики следует разработать комплекс вычислительных и графических процедур, который позволит независимо от действующих факторов производить обоснованную оценку соответствия исследуемой выборки предполагаемому закону распределения при заданном уровне надежности вывода. Рассеяние большинства экспериментальных данных подчиняется нормальному или логарифмически нормальному закону распределения, что позволяет при оценках использовать аппарат теории вероятностей для этого закона. Характеристики механических свойств материалов являются случайными величинами, в большинстве подчиняющимися нормальному закону распределения, что позволяет при установлении количественных связей между ними и рядом факторов конструктивного, технологического и эксплуатационного характера воспользоваться аппаратом корреляционного и регрессионного анализа, который подробно разработан для различных расчетных схем и величин, включающих в себя стохастические и

детерминированные составляющие. В настоящее время в эти схемы введены новые критерии, позволяющие с высокой надежностью оценить вариацию каждого из параметров уравнения регрессии и интегрально учитывать влияние большинства случайных факторов на результаты вычислений, а использование линеаризующих преобразований расширяет возможности метода и охватывает большую группу задач, описываемых криволинейной связью. Для выполнения трудоемких, но легко поддающихся алгоритмизации статистических вычислений еще в 70-е годы были разработаны стандартные и специальные программы, которые, естественно, не учитывают нововведения в данной области и не соответствуют современным требованиям.

В данной работе разработаны комплексный вычислительный алгоритм и программа для реализации метода корреляционного и регрессионного анализа для случаев, когда наблюдается линейная связь и постоянство дисперсии между переменными (y, x), предложена оптимизация линеаризующего преобразования с использованием большой группы преобразующих функций $u = f(v)$.

Эта задача решается постановкой и изучением значений массовых экспериментов, в процессе которых, варьируя режимными и технологическими параметрами лазерной закалки, устанавливают уровни изменения микротвердостей и с учетом нормальности распределения производят предварительную статистическую обработку результатов (создание вариационных рядов значений твердости H и отбрасывание резко выделяющихся результатов измерений согласно критерию Смирнова для использования аппарата корреляционного и регрессионного анализа. Установление количественных связей между значениями микротвердости поверхностных слоев и глубиной, а также режимными и технологическими параметрами лазерной закалки реализовано согласно программе, которая составлена на языке БЕЙСИК и включает в себя: а) общую часть, реализующую линеаризующие преобразования и выбор оптимальной преобразующей функции; подпрограмму для обработки данных при ограниченном ($n \leq 50$) и большом ($n > 50$) объемах выборки; в) подпрограмму для графической оценки медианной линии регрессии и ее 95 процентной доверительной области. В общей части введен пакет, состоящий из 17 групп функций (237 вариантов), реализующих преобразование переменных (y, x) на (u, v) с разным градиентом линеаризации. Это позволяет расширить возможности линейной регрессии и охватить группу двумерных статистических задач, описываемых криволинейной связью и перейти от сложных статистических вычислений к более доступным и простым, для которых подробно разработана методика определения доверительных границ. Расчеты доводятся до определения выборочного коэффициента корреляции r. Из 237 вариантов выбирается линеаризующая функция, которая обеспечивает значение $/r_{max}/$, и вычисления завершаются в новой системе координат (y-x). При необходимости, путем несложных дополнительных вычислений

возможна графическая трансформация медианной линии регрессии и ее доверительной области в обычной системе координат (y-x).

Данная статистическая методика исследования позволяет автоматизировать процесс обработки результатов микроструктурных измерений, реализовать количественную оценку технологических параметров процесса лазерной закалки и при наличии комплексного программного обеспечения одно- и двумерных статистических задач, часто встречающихся при механических испытаниях, стать основой для создания САПР в испытательной технике. Эта методика использована далее для обработки результатов микроструктурных измерений, а также для обработки результатов усталостных испытаний. Доказана применимость методов корреляционного и регрессионного анализа для обработки данных микроструктурных исследований.

В четвертой главе дан анализ зависимостей характеристик закаленных лазером сталей, полученных методом статистической обработки данных с учетом происшедших после лазерной закалки процессов.

Одним из важнейших показателей, характеризующих структуру стали, является микротвердость. Для определения связей распределения микротвердости различных слоев в сталях рассмотрено большое количество собственных и литературных экспериментальных данных. Произведен анализ и обобщение соответствия экспериментальных кривых структурным процессам при лазерной обработке, изучена комплексная взаимосвязь поведения значений микротвердости в соответствующих слоях с соответствующими микроструктурными показателями.

При этом исследовались низко-, средне- и углеродистые стали. В качестве доэвтектоидной стали принята сталь марки 20. Полная графическая интерпретация и модель состояния процесса для стали данного класса представлена на рис.1.

Рис.1. Модель изменения микроструктуры и твердости по глубине доэвтектоидной стали.

Составлены таблицы выборочных собственных данных, а также данных различных исследователей о распределении микротвердости по слоям, причем каждое первое значение соответствует началу, а последнее – концу соответствующего слоя (для последующей статистической обработки).

Обработка результатов эталонных (согласованных с учетом происходящих процессов) значений распределения твердости по глубине слоев показала, что в общем случае зависимости распределения всех выявленных вышеуказанных слоев описываются прямыми линиями при достаточно высоких коэффициентах корреляции (R = 0,93-0,99). Этот факт дает возможность анализа связи микротвердость – структура и вывода комплексного параметра, показывающего характер и градиент поведения микротвердости в связи с микроструктурными превращениями. Таким параметром в уравнениях линий является тангенс угла наклона или угол наклона прямой α. Таким образом, выведен характер и дана количественная оценка распределения микротвердости по глубине всех образующихся слоев после лазерной закалки.

В качестве представителей среднеуглеродистых сталей выбраны стали марок 40,45 и 50. Структура для этого класса сталей состоит также из четырех условных слоев с различными микроструктурными составляющими. Анализ структур и сопоставление результатов распределения микротвердости аналогичен для предыдущего класса сталей.

Выборка эталонных данных для последующего корреляционного и регрессионного анализа составлена для четырех слоев.

Статистическая обработка данных, по программе, описанной в главе 3 показала, что как и для малоуглеродистых сталей, распределение микротвердости среднеуглеродистых сталей в соответствующих слоях описывается прямыми линиями. И для этого класса сталей получено количественное описание микроструктур и выведен комплексный параметр.

Далее проведено детальное изучение свойств слоев, образующихся после лазерной термической обработки углеродистых сталей с содержанием углерода до С 0,8%. В качестве типичного представителя этого класса выбрана сталь У8.

Исследование экспериментальных данных и структур, а также их обработка для класса углеродистых сталей с содержанием углерода 0,98 до 1,2 % производилась аналогично указанным для предыдущих классов сталей. В качестве типичных представителей этого класса выбраны стали У10 и У12.

Выявление и разграничение слоев с различными физическими сущностями, получение количественной взаимосвязи распределения микротвердости в пределах каждого слоя позволяет полностью оценить картину механического состояния каждого слоя после лазерной закалки и планировать технологическое состояние поверхности. Кроме того, такая количественная оценка процессов служит основой для создания базы данных по термической лазерной обработке металлов.

В данной главе также приведен анализ зависимости микротвердости слоев от процентного содержания углерода в сталях от 0,2 до 1,2 %, а также приведены графические интерпретации зависимостей, которые представлены на рис.2.

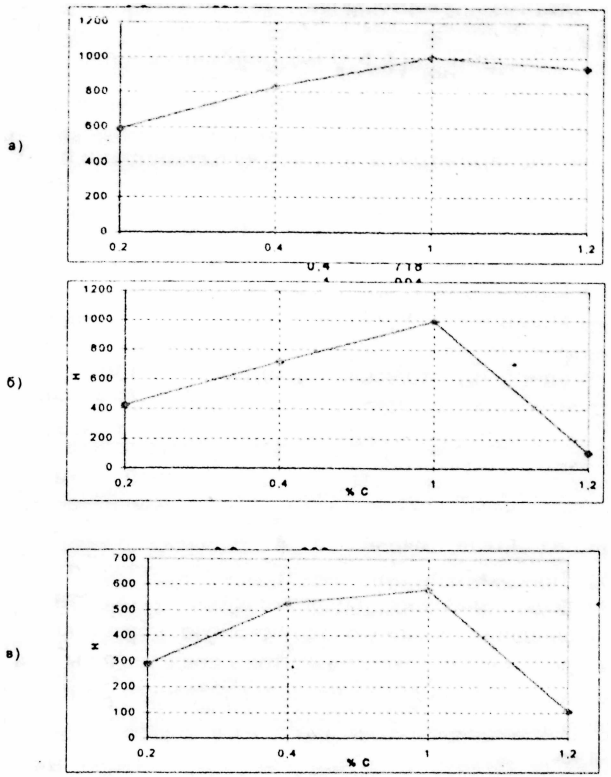

Рис.2. Зависимость микротвердости слоев (а-закалка из жидкой фазы, б-закалка из твердой фазы, в- закалка из твердой фазы-переходный слой) от процентного содержания углерода в сталях от 0,2 до 1,2 %.

Следующим немаловажным этапом исследования в данной главе является установление единой количественной взаимосвязи влияния режимов (скорость обработки V, мощность обработки P) в определенных интервалах значений на глубину зоны лазерного воздействия h для сталей марок 45, 40Х, ШХ15,чугуна ХНМЧ. Исследование взаимосвязей для всех исследуемых классов сталей проводилось в пределах значений P= 0,75; 1,0; 1,25; 1,5 КВт, диаметр пятна d = 3мм, V = 25 - 83 мм/с.

На основе анализа собственных и экспериментальных данных была выдвинута математическая модель взаимосвязи h-P-V, которая далее была подтверждена статистическими расчетами (метод нелинейной регрессии) с высокой степенью коэффициента детерминации R^2 = 0,93 - 0,94. Показано, что характер данных взаимосвязей нелинейный, но однотипный. Установленные количественные (статистически подтвержденные) взаимосвязи между параметрами h-P-V представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Количественные взаимосвязи между параметрами h-P-V

Ст.40,45,50	h=(0,2918+ 10,338/ V)P- 0,1908	R^2=0,94233
Ст. 40Х	h=(0,3765+ 11,113/ V)P-0,2306	R^2=0,93877
ХНМЧ, чугуны	h=(0,166+ 5,811/ V)P-0,0541	R^2=0,9396[illegible]
Ст. ШХ 15	h=(0,201+ 10,7608/ V)P-0,188	R^2=0,93377

В пятой главе исследуются усталостные характеристики после лазерной закалки, рассматриваются вопросы влияния лазерной термообработки на сопротивление усталости деталей типа вал с концентраторами и без концентраторов из стали марки 45 в условиях сложнонапряженного состояния и чистого изгиба. Для каждой схемы усталостных испытаний образцов приведены значения сопротивлений усталости аналогичных образцов, не прошедших лазерную термическую обработки. Графические интерпретации результатов экспериментов представлены на рисунках. Полная обработка данных по сопротивлению усталости до и после лазерной закалки по корреляционному и регрессионному анализу представлена в приложении к диссертации.

Установлено, что имеет место повышение сопротивления усталости и усталостной долговечности всех образцов, обработанных лазерным излучением, достигающее от 10 до 40% в зависимости от типа образца, марки стали, концентратора и критерия нагрузки τ/σ. Для стали 45 при τ/σ = 1 и τ/σ = 0 предложена достаточно простая и удобная методика перерасчета усталостных параметров. Так, общий вид кривой усталости выглядит так:
$\lg \sigma = \sigma_{ijk} + b_{ijk} \lg N_{ijk}$, где N – долговечность, σ- напряжение, i – параметр, j – показатель τ/σ, к – указатель типа термообработки, a и b- постоянные коэффициенты уравнения. Приравняв два уравнения кривой –одно для случая обработки лазером, другое для случая без обработки и оставляя при этом постоянным один из параметров, а именно σ или N выведены коэффициенты, показывающие эффективность влияния лазерной закалки на сопротивление усталости образцов. В качестве такого коэффициента выбран и определен параметр относительной прочности $\sigma_\delta = \sigma_л / \sigma_н$

(где $\sigma_л$ - ограниченный предел выносливости после лазерной обработки, а $\sigma_н$ -для необработанной лазером поверхности при одинаковых прочих условиях, причем N_i=const) и относительной долговечности σ_N - $N_л/N$ (где $N_л$ и N циклическая долговечность после лазерной обработки и для необработанного образца соответственно σ_i=const). Эти коэффициенты количественно показывают эффективность влияния лазерной обработки на σ и N соответственно. При этом прологарифмировав эти параметры соответственно получим: $lg\sigma=lg\sigma_л-lg\sigma$, $\sigma_л=\sigma$=const и $lg\sigma_N=lgN_л-lgN$, где $N_л$=N=const. Значения коэффициентов эффективности влияния лазерной обработки σ_N представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Значения коэффициентов эффективности влияния лазерной обработки σ_N

Гладкий образец τ/σ = 1	$lg\sigma_N$= 0.2212 lgN + 4.352
Галтель τ/σ = 0	$lg\sigma_N$= 1.432 lgN - 0.776
Галтель τ/σ = 1	$lg\sigma_N$= 2.541 lgN + 0.134
Сквозное отверстие τ/σ = 0	$lg\sigma_N$= 0.053 lgN + 1.557
Сквозное отверстие τ/σ = 1	$lg\sigma_N$= 1.894 lgN + 1.503

В шестой главе на основе примененной и разработанной методики обработки результатов предлагается создание модульной базы данных по лазерной термической обработке. При создании компьютерной базы данных эта методика позволяет применять математические количественные соотношения, которые дают возможность получения оперативной информации о процессах. Кроме того, открывается возможность оперативного построения графических интерпретаций процессов на экране компьютера. В качестве одной из составных частей данной программы предлагается использовать программу корреляционного и регрессионного анализа. Таким образом, предлагаемая база данных должна состоять из следующих взаимосвязанных и вместе с тем сепаративных модулей:

1. модуль статобработки данных и вывода регрессионных зависимостей;
2. модуль ввода, вывода и хранения данных по типу стали, режимам и виду термической обработки;
3. модуль графической и количественной интерпретации зависимостей;
4. модуль фотографической информации/фотография микроструктур;
5. модуль для хранения и мобильного использования всей обработанной информации.

Программная база имеет как возможность использования накопленных данных, так и обработки новых данных с последующим их добавлением к имеющейся базе данных, а также ее изменение.

Общая структура работы и процедура использования программы с базой данных для пользования должна быть произведена следующим образом согласно следующей иерархической цепочке:

1 – тип и марка стали;

2 – вид лазерной обработки (импульсная или непрерывная, типы обработки);

3 – режимы (с покрытием или без, с перекрытием или без, плотность мощности, скорость);

4 – количественные взаимосвязи по слоям и их графики;

5 – вывод структурных фоторисунков слоев.

Такое иерархическое меню для поиска необходимой информации позволяет существенно сократить временные затраты и автоматизировать процесс получения необходимой оперативной информации на производстве. Такими производствами могут быть цеха по термической обработке при любом машиностроительном или ином предприятии, где используется лазерная и другая термическая обработка изделий. Данная программа с базой может быть использована также в исследовательских, справочно-информационных и учебных целях.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработана и предложена статистическая методика корреляционного и регрессионного анализа, которая позволяет автоматизировать процесс обработки результатов микроструктурных измерений, реализовать количественную оценку технологических параметров процесса лазерной закалки и при наличии комплексного программного обеспечения одно-, двумерных и трехмерных статистических задач, часто встречающихся при механических испытаниях, стать основой для создания САПР в испытательной технике. Эта методика использована далее для обработки результатов микроструктурных измерений, установления взаимосвязи между режимами лазерной обработки и глубиной закалки, а также для обработки результатов усталостных испытаний.

2. Показано, что распределение микротвердости по глубине в до- и за - эвтектоидных сталях после лазерной закалки для всех модифицированных слоев описывается уравнениями прямых линий, что дает возможность анализа связи микротвердость – структура и вывода комплексного параметра, показывающего характер и градиент поведения микротвердости в связи с микроструктурными превращениями.

3. В результате исследования мало-, средне-, высокоуглеродистых сталей выявлены, показаны и разграничены слои с различными физическими сущностями и получены количественные взаимосвязи распределения микротвердости в пределах каждого слоя. Такое исследование позволяет полностью оценивать картину механического состояния каждого слоя после лазерной закалки и планировать технологическое состояние поверхности. Такая количественная оценка процесса может послужить основой для создания банка данных по термической лазерной обработке металлов.

4. Выявлено, что для сталей с содержанием углерода от 0,2 до 0,8% для первого слоя, полученного при закалке из жидкой фазы, микротвердость возрастает с увеличением содержания углерода в стали. При последующем увеличении содержания углерода в стали выше 0,8 % значения микротвердости в этом слое падают. Для второго слоя, полученного путем закалки из твердой фазы, значения микротвердости на всем интервале 0,2- 0,8 % увеличиваются. При увеличении содержания углерода в сталях от 0,8% значения микротвердости для всех образующихся слоев уменьшаются.

5. Проведен анализ экспериментальных данных и их регрессионных зависимостей для некоторых классов сталей (45, 40Х, ШХ15, Чугун), иллюстрирующих влияние режимов лазерной закалки на твердость и на размеры упрочненных зон.

Установлены аналитические взаимосвязи между параметрами глубины закаленного слоя h, скоростью (в пределах 25-83 мм/с) и мощностью в пределах (0,75-1,5 КВт) лазерной закалки для сталей 45, 40Х, ШХ15, чугуна ХНМ.

6. Дана усовершенствованная кинематическая схема испытательной машины для сопротивления усталости валов при сложно-напряженном состоянии, позволяющая облегчить и ускорить процесс замены образцов, а также предотвратить ослабление усилия зажима образца в процессе всего испытания.

7. Выявлено повышение сопротивления усталости и усталостной долговечности всех образцов, обработанных лазерным излучением. Это повышение составляет от 10 до 40% в зависимости от типа образца, марки стали, концентратора и критерия нагружения τ/σ.

Для проведения более детального сравнительного анализа между одинаковыми типами образцов, обработанными и необработанными лазерным излучением для стали 45 при $\tau/\sigma = 1$ и $\tau/\sigma = 0$, предложена достаточно простая и удобная методика перерасчета усталостных параметров.

8. Разработана методика и алгоритм создания базы данных по лазерной термической обработке. Предложен алгоритм иерархического меню для поиска, обработки и пополнения необходимой информации в базе данных, позволяющий существенно сократить временные затраты и автоматизировать процесс получения необходимой оперативной информации на производстве, для целей исследования и при проектировании технологических процессов лазерной термической обработки.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1.Ерицян С.Л. Влияние режимов и технологических факторов лазерного термоупрочнения на микроструктуру, шероховатость и микротвердость образцов из стали 40Х // Теория и конструирование машин: Межвузовский сборник научных трудов.- Ереван, 1992.- С. 78-84.

2.Ерицян С.Л. Методика анализа и обобщения результатов лазерной закалки сталей. «Машиностроительные технологии: Сборник тезисов докладов всероссийской научно- технической конф.»- М.,1988.- С. 219.

3.Сафонов А.Н., Ерицян С.Л. Исследование микротвердости сталей после лазерной закалки поверхности. V- междунар. конфер. Лазерные технологии 95: Тезисы докл. - Шатура,1995. – С.44.

4. Сафонов А.Н., Ерицян С.Л.Обобщение результатов лазерной закалки сплавов. // Лазеры в науке, технике, медицине: Тезисы. докладов VII - междунар. научно-технич. конфер..- М.,1996.- С. 67-68.

5.Стакян М.Г., Ерицян С.Л. О распределении микротвердости при лазерном термоупрочнении стали 40 Х // Изв. АН Армении. Машиностроение. – 1994. - Т.47, №3. - С. 53-59.

6.Safonov A.N., Eritsian S.L. The analyse and generalizatition of the steels microstructure and microhardness data after laser quenching // 11th congress of the international federation for heat treatment and surface engineering. 4th ASM heat treatment and surface engineering conference in Europe: Final program. - Florence (Italy), 1988.