

На правах рукописи

Козлюк Андрей Юрьевич

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО
ИНСТРУМЕНТА ПУТЕМ КОМБИНИРОВАННОЙ
МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

Специальность 05.03.01. – Технологии и оборудование
механической и физико-технической обработки

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул – 2007

Работа выполнена в Бийском технологическом институте (филиал) ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова».

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Овчаренко Александр Григорьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Рахимьянов Харис Максуманович

кандидат технических наук, доцент
Иконников Алексей Михайлович

Ведущая организация Кузбасский государственный технический
университет, г. Кемерово

Защита состоится «28» июня 2007 г. в __ час. __ мин. на заседании диссертационного совета К 212.004.02 при ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова» по адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова».

Автореферат разослан « __ » мая 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
К2112.004.02, к.т.н., доцент

С.Я. Куранаков

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Задача повышения стойкости режущего инструмента приобретает все большее значение в связи с увеличением механических, тепловых и других видов воздействий на него. Для этого разработано большое количество методов поверхностного упрочнения, основанных на нанесении покрытий или на основе физико-химического модифицирования поверхностного слоя, направленных на повышение твердости и износостойкости. Значительная часть из них – это методы обработки с применением концентрированных потоков энергий, которые в настоящее время распространены недостаточно широко (электронное, лазерное и магнитное упрочнение). Актуальность исследований в этом направлении обусловлена сложностью и недостаточной изученностью механизмов и эффектов, сопровождающих процессы упрочнения поверхностных слоев изделий с заранее заданными свойствами в условиях высоких скоростей энергетического воздействия.

Магнитное упрочнение на основе метода магнитно-импульсной обработки (МИО) обладает рядом преимуществ по сравнению с методами на основе воздействия других видов энергий, в частности: низкая себестоимость обработки, сохранение геометрии обработанных деталей, отсутствие расходных материалов, простота технологической оснастки и экологическая чистота. В тоже время МИО не находит широкого применения в промышленности, так как имеет ряд недостатков, существенными из которых является: длительность обработки (при полициклической МИО используют от 2 до 10 импульсов с выдержкой до 20 мин); низкая эффективность обработки (повышение износостойкости осевого инструмента из быстрорежущей стали составляет 20-40%); применение дополнительных сред (феррожидкостей) и механизмов, обеспечивающих движение обрабатываемого инструмента в индукторе, автоматическую смену полярности и т.д. В связи с этим актуальна проблема усовершенствования метода МИО с целью исключения существующих недостатков и разработка технологии упрочнения, позволяющей значительно увеличивать стойкость режущего инструмента из углеродистых, легированных и быстрорежущих инструментальных сталей. Применение с этой целью локализованного импульсного магнитного поля высокой напряженности в комбинации с предварительным индукционным нагревом значительно интенсифицирует процесс упрочнения, уменьшая время обработки, применяемые мощности и, следовательно, экономические затраты на его реализацию. Несомненные достоинства этого способа потребовали разработки математической модели и экспериментальных исследований, что позволит выявить оптимальные энергетические и технологические параметры обработки для достижения наилучших физико-механических свойств обработанного поверхностного слоя.

Технология комбинированного магнитно-импульсного упрочнения апробирована для обработки режущего инструмента в ФГУП БПО “Сибприбормаш” (г. Бийск) и имеет большие перспективы для использования на многих машиностроительных предприятиях.

Целью диссертационной работы является повышение стойкости режущего инструмента путем применения магнитно-импульсной обработки с предварительным индукционным нагревом.

Задачи исследования:

- анализ существующих способов поверхностного упрочнения инструментальных сталей на основе МИО, выявление недостатков, ограничивающих их применение в промышленности;
- разработка математической модели процесса комбинированной МИО и установление технологических параметров обработки;
- экспериментальное исследование влияния температуры предварительного нагрева обрабатываемой детали и напряженности магнитного поля на эффективность процесса магнитно-импульсного упрочнения;
- разработка технологии комбинированной МИО.

Научная новизна работы:

- определен характер влияния напряженности импульса магнитного поля и температуры предварительного нагрева на относительное повышение твердости и износостойкости поверхностного слоя инструментальных сталей;
- разработана математическая модель комбинированной МИО, позволяющая прогнозировать изменение твердости поверхностного слоя стали в зависимости от напряженности импульса магнитного поля, параметров разрядного контура и параметров обрабатываемой стали;
- экспериментально установлена зависимость микротвердости от напряженности магнитного поля, от параметров обрабатываемой стали и от частоты разрядного тока и зависимость износа от температуры предварительного нагрева..

Практическая ценность работы:

- разработан способ комбинированного магнитно-импульсного упрочнения режущего инструмента, позволяющий увеличить стойкость сверл, метчиков, токарных резцов из инструментальных сталей в 1,4 -2,0 раза;
- разработана инженерная методика расчета инструмента (комбинированного индуктора);
- разработаны конструкции индукторов и рекомендации по выбору основного оборудования для комбинированной МИО;
- полученные результаты диссертационной работы использованы при подготовке инженеров по специальности 151001.65 – технология машиностроения

Апробация работы.

Научные результаты и положения диссертационной работы обсуждались на 7 научно-технических конференциях:

- 1) 3-ая, 4-ая, 6-ая Всероссийские научно-практические конференции с международным участием «Ресурсосберегающие технологии в машиностроении» (Бийск, 2003, 2004, 2006);
- 2) 3-ая, 5-ая ежегодные Всероссийские научно-практические конференции «Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе» (Новосибирск, 2005, 2007);
- 3) Международная школа-конференция по приоритетным направлениям развития науки и техники «Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям развития науки и техники. Современные технологические системы в машиностроении» (Барнаул, 2005);
- 4) Всероссийская научно – практическая конференция «Управление качеством образования, продукции и окружающей среды» (Бийск, 2006);
- 5) По итогам конкурса Сибирской ярмарки – 2005 получена малая золотая медаль за эффективный способ упрочнения режущего инструмента и быстроизнашиваемых деталей машин путем комбинированной МИО;
- 6) Научно-технические результаты были представлены на Ганноверской международной ярмарке (Германия) 16-21 апреля 2007.

На защиту выносятся:

- результаты теоретических и экспериментальных исследований комбинированной МИО инструментальных сталей;
- математическая модель процесса комбинированной МИО, описывающая зависимость между параметрами магнитного поля, электрическими параметрами разрядной цепи и физическими свойствами поверхностного слоя стали;
- методика инженерного расчета инструментов для комбинированной МИО и рекомендации для выбора основных узлов оборудования.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 8 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка использованной литературы из 77 наименований и содержит 122 страницы машинописного текста, 53 рисунка. Приложения к диссертации представлены на 15 страницах.

Содержание работы

Во введении выделены преимущества метода магнитно-импульсной обработки (МИО) по сравнению с другими методами поверхностного упрочнения. Показана актуальность проблемы усовершенствования метода поверхностного упрочнения инструментальных сталей на основе МИО.

В первой главе проведен анализ методов поверхностного упрочнения сталей. Рассмотрены работы ученых Барона Ю.М., Бузыкина В.Н., Галей М.Т., Гаркунова Д.Н., Есина А.П., Кнопфеля Г., Малыгина Б.В., Полевого С.Н., Преображенского А.А. и других, посвященные исследованию процессов, протекающих в сталях под действием магнитного поля и разработке методов магнитного упрочнения. Представлены особенности методов магнитной обработки (МО) и механизм магнитного упрочнения. Показаны типичные недостатки существующих методов МО, ограничивающих их промышленное применение. Применение комбинированной МИО по предложенному способу не только исключает недостатки стандартных методов МО, но и позволит достичь высокой эффективности поверхностного упрочнения.

Приведены механизмы изнашивания инструментальных сталей, а также влияние физико-механических характеристик сталей на износ. Определены основные факторы, влияющие на величину износостойкости инструментального материала, основным из которых является твердость поверхностного слоя. Показано что, для исключения хрупкого разрушения инструмента при динамических нагрузках, необходимо сохранение таких характеристик как пластичность и вязкость. Применение комбинированной МИО позволяет повысить прочностные характеристики поверхностного слоя на глубину проникновения магнитного поля наряду с сохранением пластичности и вязкости сердцевины, что значительно увеличивает срок службы инструмента. Представлены цели и задачи исследований.

Вторая глава посвящена разработке математической модели, позволяющей установить зависимость между энергетическими параметрами разрядного импульса и прочностными характеристиками упрочненного слоя инструментальной стали, полученного после комбинированной МИО. Процессы воздействия на сталь импульсов магнитного поля высокой напряженности в комбинации с индукционным нагревом зависят от большого числа физических явлений. Моделирование последних предполагает рассмотрение энергетического баланса системы индуктор-заготовка, структурное изменение стали за счет вводимой энергии магнитного поля, изменение прочностных характеристик поверхностного слоя обрабатываемой стали, а также определение дополнительных эффектов при комбинированной МИО.

Ограничиваясь плоским одномерным случаем, используем уравнение изменения напряженности магнитного поля по глубине и времени:

$$H(x, \tau) = H_m e^{-\delta \tau} e^{-a_3 x} \sin(\omega \tau - \beta_\phi x), \quad (1)$$

где $a_3 = \sqrt{\mu \sigma \sqrt{\delta^2 + \omega^2}} \cos\left(\frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{\delta}{\omega}\right)$ – коэффициент затухания по глубине;

$\beta_\phi = \sqrt{\frac{\mu}{\sigma} \sqrt{\delta^2 + \omega^2}} \sin\left(\frac{\pi}{4} + \operatorname{arctg} \frac{\delta}{\omega}\right)$ – коэффициент фазы; δ – коэффициент затуха-

ния по времени, определяемый исходя из эквивалентного сопротивления и эквивалентной индуктивности индукторной системы; H – напряженность магнитного поля, А/м; τ – время, с; x – глубина по нормали к обрабатываемой плоскости, м; σ – электропроводность, См; ω – круговая частота, Гц; μ – магнитная проницаемость, Г/м.

Изменения тока в индукторе принимаем в виде затухающей синусоиды

$$i = I_m e^{-\delta \tau} \sin \omega \tau, \quad (2)$$

где I_m – амплитудное значение силы тока, А.

Через напряженность магнитного поля представляют энергию импульса магнитного поля, переданную в металл. Эта энергия расходуется на следующие процессы: структурные превращения в металле за счет изменений в доменной структуре; локальный нагрев обрабатываемой детали за счет образования вихревых токов; импульсное сжатие со стороны рабочей области индуктора, что значительно снижает концентрацию остаточных напряжений в металле.

Таким образом, МИО представляет собой комплексное воздействие на материал процессов изменения доменной структуры (структурных микропластических деформаций), механических упругих деформаций, а также тепловых импульсных потоков, локализованных в местах концентрации остаточных или усталостных напряжений. Соответственно лишь половина всей введенной в металл энергии импульса магнитного поля приходится на структурные изменения, и именно эта энергия в основном способствует изменению физических и механических свойств поверхности обрабатываемой детали. С учетом уравнения для напряженности магнитного поля (1) энергия определяется по формуле

$$W = 0,25 \mu_0 H^2 S (t_B + \mu_R s), \quad (3)$$

где μ_0 – магнитная проницаемость вакуума, равная $4\pi \cdot 10^{-7}$ Г/м; μ_R – относительная магнитная проницаемость; S – площадь рабочей поверхности индуктора, м²; t_B – длина воздушного зазора, м; s – толщина скин-слоя, м.

За счет этой энергии, согласно существующей модели упрочнения в металле возникают магнитоэстрикционные деформации, сопровождаемые изменением доменной структуры материала и, соответственно, микропластической деформацией доменных стенок. Поэтому для дальнейшего описания модели упрочнения используем теорию деформационного упрочнения. Основной же причи-

ной упрочнения связанного с пластической деформацией металла является увеличение плотности дислокаций и упругого взаимодействия их друг с другом.

Создание магнитострикционных напряжений не только значительно способствует перемещению дислокаций к поверхности металла, что увеличивает их плотность, но и активизируют механизмы работы источников Франка-Рида.

Учитывая энергию активации движения дислокаций (барьер Пайерлса) (4) и уравнение деформационного упрочнения, выраженное через объемную плотность дислокаций и твердость по шкале Виккерса (5), а также с учетом уравнения для вводимой энергии (3), получим зависимость для относительного повышения твердости (6).

$$\Delta W_{II} = \frac{G a b^2}{\pi} \sqrt{\frac{4 a}{\pi b(1-\nu)} \exp\left(-\frac{2 \pi a}{b(1-\nu)}\right)}; \quad (4)$$

$$\rho_V = \left(\frac{\Delta HV \cdot 2 \pi (1-\nu)}{G b (3 + 2 \pi (1-\nu))} \right)^3; \quad (5)$$

$$\Delta HV = K H^{\frac{2}{3}} \omega^{\frac{1}{6}}, \quad (6)$$

где a – параметр кристаллической решетки, м; b – вектор Бюргерса дислокации, м;

ν – коэффициент Пуассона; G – модуль сдвига, Па; HV – твердость по Виккерсу (ГОСТ 2999-75); K – коэффициент, зависящий от физических свойств материала, равный

$$K = \left(\frac{G^2 b \sigma \mu^2 (3 + 2 \pi (1-\nu))^3}{64 \pi^2 (1-\nu)^3} \left(\frac{4 a}{\pi b (1-\nu)} \exp\left(-\frac{2 \pi a}{b (1-\nu)}\right) \right)^{-\frac{1}{2}} \left(\frac{2}{\sigma \mu} \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (7)$$

Расчетные зависимости ожидаемого повышения микротвердости от напряженности импульсного магнитного поля для стали Р6М5 при различных частотах разрядного импульса приведены на рисунке 1а.

Следует отметить, что при определении зависимости (6) не учтены:

1) Влияние точечных дефектов – вакансий, примесных атомов и, главным образом, атомов легирующих элементов, которые также создают торможение передвижению дислокаций.

2) Влияние дислокационных барьеров в виде границ зерен, субзерен. Подобные препятствия на пути движений дислокаций требуют дополнительного повышения напряжения для их продвижения и тем самым также способствуют упрочнению. В этом случае роль эффективного барьера выполняют границы зерен и субзерен. Зависимость упругого взаимодействия дислокаций.

3) Влияние магнитной проницаемости металла, которая при увеличении напряженности магнитного поля значительно падает, что оказывает влияние на микропластическую деформацию в структуре металла.

Принимая во внимание эти допущения, а также с учетом полученных экспериментальных результатов, в зависимость (6) введены поправочные коэффициенты A , B . Это позволило получить уточненную зависимость вида (рисунок 1б):

$$\Delta HV = AKH^3 \omega^{\frac{2}{6}} + BH. \quad (8)$$

Тогда конечное значение поверхностной микротвердости определяем по формуле:

$$HV = AKH^3 \omega^{\frac{2}{6}} + BH + HV_0. \quad (9)$$

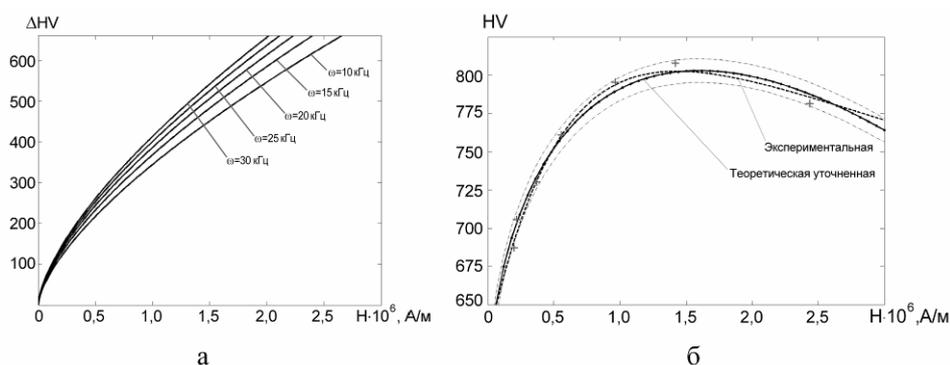


Рисунок 1 – Зависимости микротвердости стали Р6М5 от напряженности приложенного импульсного магнитного поля: а) при различных частотах разрядного импульса; б) уточненная и экспериментальная зависимости

На основе (9) определяем зависимость для определения напряженности магнитного поля для максимального увеличения поверхностной микротвердости в процессе комбинированной МИО:

$$H_{opt} = 3,4 \cdot 10^{-8} K^3 \omega^{\frac{1}{2}}. \quad (10)$$

На основе полученной оптимальной напряженности магнитного поля и геометрических параметров обрабатываемых деталей, с учетом энергетических параметров накопителя энергии разрабатывается специализированный инструмент (индуктор) для МИО.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям комбинированной МИО. Определение эффективности способа обработки и адекватности математического описания процесса МИО проводилось на лабораторной экспериментальной установке. Экспериментальные исследования состояли из нескольких этапов. В качестве обрабатываемых инструментов были выбраны: спиральные сверла диаметром 5,8 и 18 мм ГОСТ 10902-77 и ГОСТ 2092-77 (этап 1); токарные проходные резцы ГОСТ 18869-73 (этап 2); метчики М18×2,5 (этап 3). Материал инструментов – сталь Р6М5.

В ходе первого этапа исследований определялась напряженность магнитного поля для максимального повышения микротвердости стали – оптимальная напряженность импульса магнитного поля, а также температура предварительного нагрева для максимального увеличения стойкости обработанного инструмента.

В ходе второго и третьего этапа при найденных оптимальных параметрах обрабатывалась плоская поверхность (задняя поверхность токарного резца) и сложная поверхность (рабочая поверхность метчика).

Для определения корреляционной зависимости между поверхностной микротвердостью и величиной максимальной напряженности импульса магнитного поля необходимо определить зависимость микротвердости от глубины обработки и сопоставить ее с экспериментальной зависимостью диффузии магнитного поля в обрабатываемый материал. Для этого из обработанных инструментов приготавливались микрошлифы для измерения микротвердости на разной глубине обработки. Измерение проводилось с пятикратным повторением в каждой точке с последующей математической обработкой. Результат измерения микротвердости обработанного и необработанного сверла на разной глубине от поверхности ленточек и зависимость напряженности магнитного поля от глубины представлены на рисунке 2а, где напряженность магнитного поля определялась по уравнению (1) для параметров лабораторной установки и времени импульса с максимальной амплитудой.

С помощью совместного решения зависимостей, представленных в графическом виде на рисунке 2а, определялась экспериментальная зависимость микротвердости от напряженности импульса магнитного поля (рисунок 2б), исходя из которой оптимальная напряженность магнитного поля для стали Р6М5 составляет 1200 кА/м.

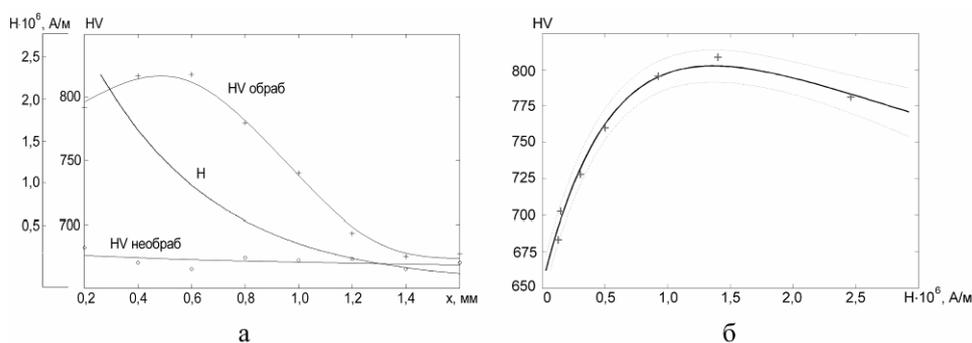


Рисунок 2 – а) распределение напряженности магнитного поля H и микротвердости HV по глубине x для стали Р6М5; б) зависимость микротвердости HV от напряженности импульса магнитного поля H для стали Р6М5

Для определения повышения стойкости обработанного инструмента и оптимальной температуры предварительного нагрева проводились испытания партии спиральных сверл (диаметр 5,8 мм, стали Р6М5), обработанных при напряженности магнитного поля $H_{\text{опт}}=1200$ кА/м и различных температурах предварительного нагрева (без нагрева, 50 – 600 °С с шагом 50°С) по схеме представленной на рисунке 3. После обработки и через каждые 20 глухих отверстий глубиной 20 мм, просверленных в стали 16ГС, измерялась величина износа по задней поверхности инструмента с помощью измерительного микроскопа БМИ-21. Зависимости относительного повышения стойкости для сверл обработанных при разной температуре представлены на рисунке 4.

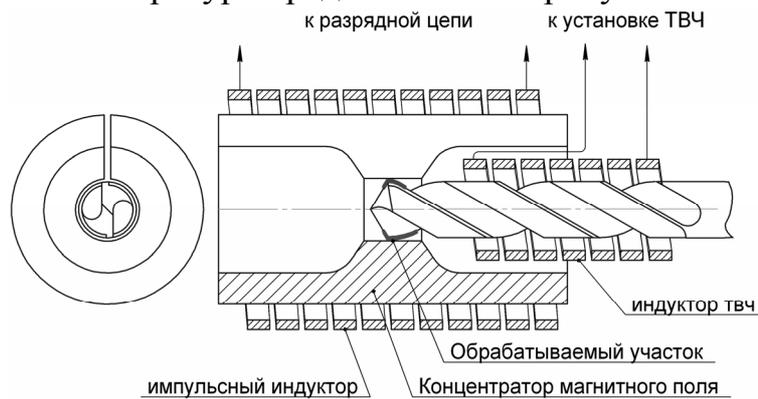


Рисунок 3 – Схема комбинированной МИО спиральных сверл

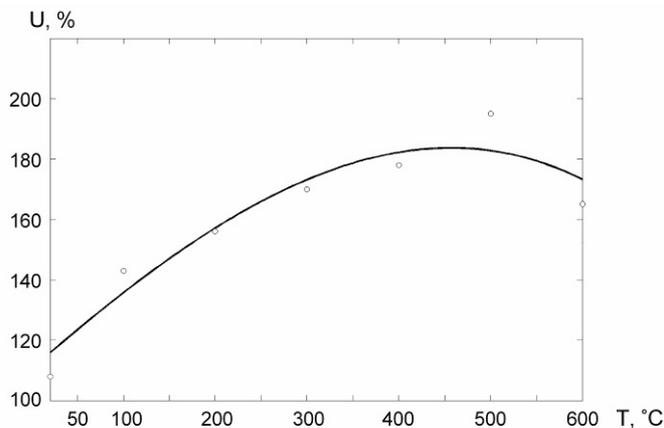


Рисунок 4 – Зависимость относительного повышения стойкости U от температуры предварительного нагрева сверл T

Обработка плоской поверхности (задняя поверхность резца) и сложной поверхности (рабочая поверхность метчика) проводилась при $H=1200$ кА/м и $T=500$ °С однократным импульсом с последующей выдержкой после обработки 24 ч. Экспериментальные исследования износостойкости обработанных токарных резцов и метчиков показали увеличение последней на 42% для резцов и 61% для метчиков относительно стойкости необработанных инструментов.

Критерием выхода из строя инструмента при этом являлся предельный износ по задней поверхности (1,5 мм) для резцов, и образование макродефектов (трещин, сколов) для метчиков.

Анализ физической модели заключался в определении распределения величины напряженности магнитного поля в рабочей зоне индуктора. В результате компьютерного моделирования процесса получены карты распределения напряженности поля при обработке различных инструментов, которые позволяют определить напряженность магнитного поля в любой точке в пределах рабочей зоны (рисунок 5).

Глубина и геометрия упрочненного слоя определяется главным образом напряженностью магнитного поля, частотой импульса разрядного тока, геометрией рабочей поверхности концентратора и зазором между ней и обрабатываемой поверхностью, который должен быть наименьшим, но гарантировать отсутствие электрического пробоя.

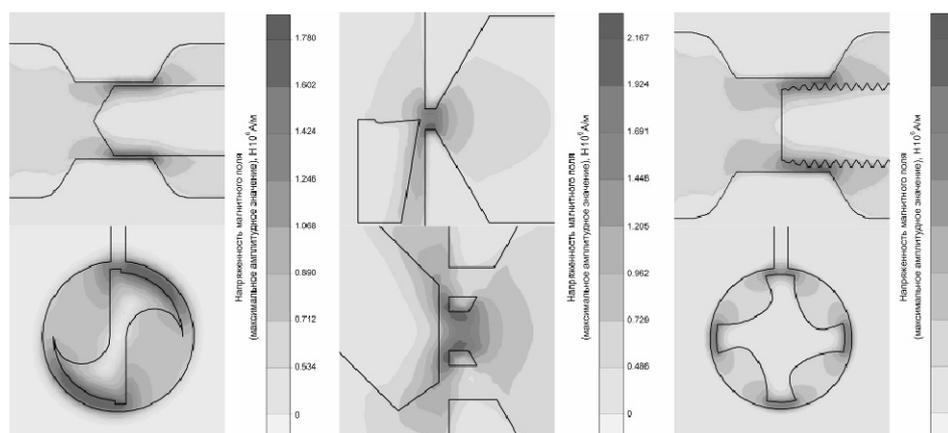


Рисунок 5 – Карты распределения напряженности магнитного поля при максимальной амплитуде тока в разрядной цепи

Исходя из экспериментальных исследований и анализа физической модели для найденных оптимальных параметров обработки инструментальных сталей, глубина упрочненного слоя составляет 0,3-0,8 мм. Неравномерность упрочнения от 2 до 14% в зависимости от вида обрабатываемой поверхности. Следует отметить, что при обработке сложной поверхности максимальное удаление от рабочей поверхности концентратора не рекомендуется более 3,0 мм для исключения снижения эффективности обработки вследствие потерь энергии в зазоре.

Четвертая глава посвящена практическому использованию результатов исследований. Обоснован выбор структурной схемы источника тока для комбинированной МИО, в качестве которой выбран бестрансформаторный источник импульсного тока. Достоинством этой схемы является возможность создания недорогих установок с простым схемным решением, которые могут быть привязаны к любым конкретным условиям при простом осуществлении автоматизации и контроля.

Разработана инженерная методика расчета инструментов (индукторов) для обработки деталей с различными формами поверхностей (плоская, цилиндрическая, коническая, сложная). Даны рекомендации по выбору накопителя, ошиновки, зарядного и коммутирующего устройства, установки индукционного нагрева, необходимых защитных устройств, а также рекомендации по изготовлению индуктора.

Необходимо отметить, что установка для комбинированной магнитно-импульсной обработки состоит из двух основных блоков: блок формирования импульса и блок индукционного нагрева. В качестве инструмента для обработки используется отдельный индуктор с концентратором магнитного поля, либо комбинированный индуктор, совмещенный с индуктором блока индукционного нагрева.

Применение концентратора магнитного поля обусловлено тем, что при неизменной энергии заряда емкостного накопителя с помощью концентратора легко повысить напряженность магнитного поля локализацией его в меньшем объеме. Его применение позволит в несколько раз уменьшить массогабаритные показатели установки в целом.

Предложен алгоритм расчета индуктора с концентратором магнитного поля с учетом предложенной расчетной зависимости (10) для различных инструментальных сталей и форм поверхности обработки, который в упрощенном виде представлен на рисунке 6. В результате использования алгоритма определяются такие параметры как: геометрические размеры и материалы концентратора и индуктора в целом, напряжение заряда накопителя, допустимый цикл работы индуктора.

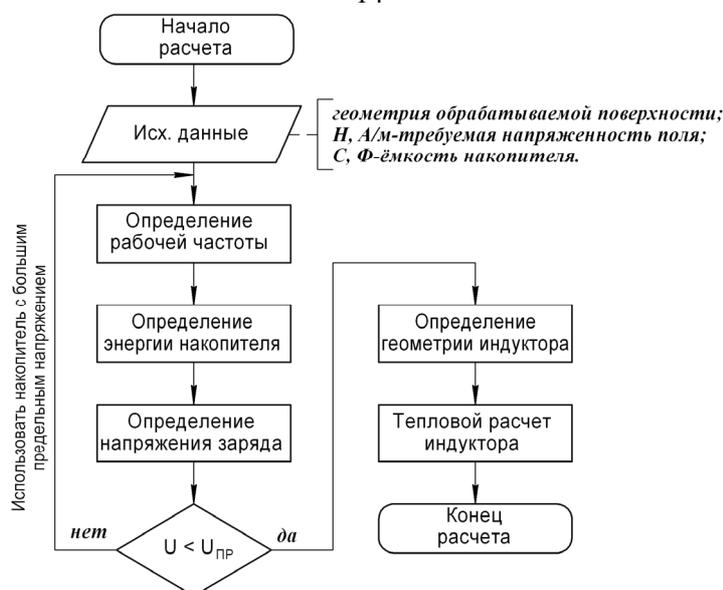


Рисунок 6 – Алгоритм расчета индуктора для комбинированной МИО

Основные результаты работы

1. Усовершенствован существующий метод МИО, включающий предварительный индукционный нагрев обрабатываемого инструмента и использование индуктора с концентратором магнитного поля, что позволило увеличить стойкость режущего инструмента в 1,4 -2,0 раза.
2. Предложена математическая модель процесса комбинированной МИО, позволяющая определять оптимальные напряженности магнитного поля для различных инструментальных сталей в зависимости от физических свойств сталей и частоты разрядного тока.
3. Экспериментальные исследования влияния напряженности импульса магнитного поля и температуры предварительного нагрева на микротвердость поверхностного слоя инструментальных сталей подтвердили предложенную математическую модель процесса МИО. Для исследованных сталей предложена оптимальная температура предварительного нагрева, равная 500 °С.
4. Разработана инженерная методика расчета инструмента для комбинированной МИО, позволяющая определять геометрические параметры индуктора с концентратором магнитного поля и энергетические параметры основных узлов оборудования для обработки режущего инструмента из различных инструментальных сталей и с различными формами обрабатываемой поверхности.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Козлюк, А.Ю. Усовершенствованная установка магнитно-импульсной обработки режущего инструмента / А.Ю. Козлюк, А.Г. Овчаренко, С.А. Ольховой // Ресурсосберегающие технологии в машиностроении: материалы 3-й Всерос. науч. – практ. конф. – Бийск: АлтГТУ, 2003. – С.105–108.
2. Овчаренко, А.Г. Упрочнение деталей гидроаппаратуры методом комбинированной магнитно-импульсной обработки / А.Г. Овчаренко, Е.Е. Приходько, А.Ю. Козлюк // Ресурсосберегающие технологии в машиностроении: материалы 4-й Всерос. юбилейной науч. – практ. конф. – Бийск: АлтГТУ, 2004. – С.128–131.
3. Овчаренко, А.Г. Комбинированная магнитно-импульсная обработка как способ повышения износостойкости деталей сельхозтехники / А.Г. Овчаренко, А.Ю. Козлюк // Современные технологические системы в машиностроении: материалы междунар. науч. – техн. конф. – Барнаул: АлтГТУ, 2005. – С.105–107.
4. Овчаренко, А.Г. Комбинированная магнитно-импульсная обработка режущего инструмента / А.Г. Овчаренко, А.Ю. Козлюк // **Обработка металлов.** – 2004. – №2. – С.8–9.
5. Овчаренко, А.Г. Повышение износостойкости деталей комбинированной магнитно-импульсной обработкой / А.Г. Овчаренко, А.Ю. Козлюк // **Обработка металлов.** – 2006. – №2. – С.24–26.
6. Козлюк, А.Ю. Разработка инженерной методики расчета оборудования для комбинированной магнитно-импульсной обработки / А.Ю. Козлюк, А.Г. Овчаренко // Ресурсосберегающие технологии в машиностроении: материалы 6-й Всерос. науч. – практ. конф. – Бийск: АлтГТУ, 2006. – С.174–177.
7. Овчаренко, А.Г. Улучшение качества экспериментов с применением САЕ-систем / А.Г. Овчаренко, А.Ю. Козлюк, Н.С. Кремнев // Управление качеством образования, продукции и окружающей среды: материалы 4-й Всерос. науч. – практ. конф. – Бийск: АлтГТУ, 2006. – С.211–214.
8. Козлюк, А.Ю. Конкурентоспособность магнитно-импульсной обработки в машиностроении / А.Ю. Козлюк, А.Г. Овчаренко // Управление качеством образования, продукции и окружающей среды: материалы 4-й Всерос. науч. – практ. конф. – Бийск: АлтГТУ, 2006. – С.208–211.

Козлюк Андрей Юрьевич

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО
ИНСТРУМЕНТА ПУТЕМ КОМБИНИРОВАННОЙ
МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

Подписано в печать __ 04.2007 г. Печать – ризография. Заказ 2007 –
Объем – 1,41. Тираж 100 экз.

Отпечатано в ИВЦ БТИ АлтГТУ
659305, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 27.