

УЗБЕКСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕХАНИЗАЦИИ
И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА УЗНИИМЭ)

На правах рукописи

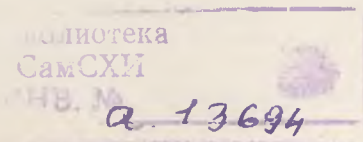
ИСЛАМКУЛОВ Кайрат Муханметкулович

РАЗРАБОТКА ОСНОВ ТЕОРИИ И НОВЫХ
СПОСОБОВ УПРОЧНЕНИЯ И
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Специальность 05.20.03. — Эксплуатация, восстановление и
ремонт сельскохозяйственной техники.

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук



Янгиюль—1993 г.

Работа выполнена в Казахском химико-технологическом институте на кафедре "Материаловедение" (КазХТИ).

Научный консультант - Заслуженный деятель науки Республики Казахстан, член-корр. НАН РК, доктор технических наук, профессор А.К. СМАРОВ.

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор
К.Н. МУРАТОВ
- доктор технических наук, профессор
Р.У. АБДУРАХМАНОВ
- доктор технических наук
А.В. ОВЧАРЕНКО

Ведущая организация - НПО "Средазагпроремаш".

Защита диссертации состоится "16" июня 1993 г.
в 13⁰⁰ часов на заседании специализированного совета Д 125.01.21 по присуждению ученой степени доктора технических наук в Узбекском ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательском институте механизации и электрификации сельского хозяйства (УзНИИМЭ).

Адрес: 702841, Ташкентская область, Янгйулский район, п/о Гульбахор-1, УзНИИМЭ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УзНИИМЭ.

Автореферат разослан "22" сентября 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

С. Наркулов

С. НАРКУЛОВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Повышение прочности и надежности деталей сельскохозяйственных и других машин является актуальной проблемой. Металле ее позволяет увеличить срок эксплуатации различных машин, существенно снизить расход дорогого и дефицитного металла, что приводит к значительному экономическому эффекту.

В научно-техническом плане актуальность работы определяется необходимостью решения проблемы интенсификации процессов упрочнения и восстановления деталей сельхозмашин, выполненных из различных сталей - от малуглеродистых до высоколегированных.

Актуальность исследования подчеркивается и тем, что она выполнялась в соответствии с координационным планом АН КазССР (1986-1990г) по направлению "Разработка и исследование эффективных процессов изготовления изделий, упрочнение и восстановление изношенных деталей" №1860093866 и планами основных научных направлений Казахского химико-технологического института.

Цель работы. В научном плане - развитие теории упрочнения сталей, базирующейся на механизмах взаимодействия атомов примесей с дефектами (дислокациями) кристаллических решеток металлов.

В практическом плане - разработка новых способов упрочнения и восстановления деталей сельхозмашин, выполненных из различных сталей.

Объект исследования. Технологический процесс упрочнения и восстановления деталей сельхозмашин.

Методика исследования. В процессе исследования использовались стандартные методики с некоторыми дополнениями. В частности, методы кратковременного насыщения сталей атомами азота, многократная механико-термическая и термоциклическая обработка. Экспериментальные исследования проводились на лабораторных и промышленных установках и оборудовании термических цехов и на ионно-плазменной установке ИЭТ-8И-2 типа "Булат". Результаты экспериментов обработаны методами математической статистики.

Научная новизна работы. Разработан механизм и предложено уравнение прочности для малуглеродистых сталей, удобное для реализации на ЭВМ; составлено уравнение температурного поля в стали и представлена математическая модель нагрева стальных изделий (поковок) при термообработке. Полученная при этом система уравнений позволяет оптимизировать на ЭВМ процесс нагрева стали; разработан механизм формирования мелкозернистой структуры в процессе термоплас-

тической обработки; выявлена роль поверхностных слоев основного металла на формирование износо-коррозионного слоя при ионно-плазменной обработке.

Практическая ценность и реализация результатов работы. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны ряд новых способов упрочнения и восстановления, подтвержденные авторскими свидетельствами на изобретения. Эти методы позволяют в 1,5–2 раза увеличить прочностные свойства деталей сельхоз и других машин при сохранении удовлетворительной пластичности, не требуют специальных дорогостоящих оборудований и легко могут быть осуществлены на соответствующих машиностроительных и ремонтных предприятиях, оснащенные типовыми оборудованями для термообработки. Разработанные новые способы прошли промышленные испытания и внедрены на таких заводах, как: ПО "Навоиазот", Навоийский электрохимический, "Манкентживмаш", Кентауский экскаваторный, ПО "Чимкентшина", НПО "Прогресс" и др с суммарным экономическим эффектом более 1 млн. рубл. в год в ценах 1990г.

Апробация работы. Основные результаты диссертации доложены и обсуждены:

- на УШ Всесоюзной конференции по физике прочности металлов и сплавов (Куйбышев, 1976г.);
- на Всесоюзной конференции по механизмам внутреннего трения в твердых телах (Сухуми, 1977);
- на УI Всесоюзной конференции по взаимодействию дислокации с примесями (Тула, 1978);
- на Всесоюзном симпозиуме по повышению износостойкости и усталостной прочности деталей машин обработанных концентрированным потоком энергии (Москва, 1985);
- на Всесоюзном семинаре по состоянию и перспективе упрочнения деталей тракторов и сельхозмашин (Москва, ВАНХ СССР, 1986г.);
- на III Всесоюзном симпозиуме "Стали и сплавы криогенной техники" (Киев, ИЭС им.Е.О.Патона, 1986 г.);
- на Всесоюзной конференции по прочности материалов и конструкции при низких температурах (Киев, ИПП АН УССР, 1986г.);
- на Республиканской (Казахской ССР) конференции по повышению эффективности ремонта машин и оборудования (Алма-Ата, 1985г.);
- на Всесоюзной конференции "Металл и технический прогресс" (Москва, 1987г.);
- на Всесоюзной конференции по современным методам защиты металлов от коррозии (Уфа, 1988г.);

- на Всесоюзной конференции по прочности материалов и конструкции при низких температурах (Киев, ИПП АН УССР, 1990г.);
- на Всесоюзной конференции "Износостойкость машин" (Брянск, 1991г.);
- на Всесоюзном совещании заведующих кафедр "Технологии металлов" (Киев, 1985г.);
- на научно-техническом совете по проблеме прочности и коррозионно-стойкости Казахского химико-технологического института. (Чимкент, 1986, 1988, 1990 гг.);
- на I научно-теоретической конференции Казахско-Турецкого международного университета (Туркестан, 1992г.);
- на заседании секции "Механизация транспортных работ и эксплуатации МТП", УзНИИМЭ, Янвраль 1993г.

Разработанные технологии упрочнения и восстановления экспонировались на ВДНХ СССР в 1986 и ВДНХ КазССР в 1989г.

Публикации. По теме диссертации опубликована одна монография "Методы упрочнения и восстановления деталей машин и металлообрабатывающих инструментов", 1988г. - 107с; 45 научных статей и тезисов, 3 методических пособия, получено 5 авторских свидетельств на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка использованной литературы, состоящего из 213 наименований, а также приложений, включающих протоколы технических советов предприятий, акты промышленных испытаний и внедрений и экономические расчеты. Содержание работы изложено на 265 стр. машинописного текста и включает 22 таблицы и 43 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение посвящено обоснованию актуальности темы, отмечена её связь с координационными программами и планами, сформулирована цель исследования.

В первой главе "Современное состояние теории упрочнения некоторых классов сталей" дан обзор и анализ теории и методов упрочнения сталей, которые можно разделить на несколько групп:

1. Упрочнение, связанное с изменением структуры металла (термообработка).
2. Упрочнение, связанное с созданием дислокационной структуры (термопластическая обработка).
3. Упрочнение, связанное с изменением структуры и химического состава на поверхности металла (Химико-термическая, плазменная, закалка ТВЧ и др.).

Основной недостаток первой группы: повышение прочностных свойств.

сопровождается снижением пластичности металла. В настоящее время проводится поиск в решении вопроса об увеличении эффективности обычных видов термообработки, к числу которых можно отнести метод термомонокристаллической обработки металлов (ТМО). Этим способом повышение прочности при сохранении удовлетворительной пластичности достигается за счет измельчения структуры металла, базирующегося на теории фазовых превращений. Недостатком данного метода является многооперационность процесса. Вторая группа упрочнения базируется на теории дислокации. Из литературы следует, что механизмы влияния различных факторов (температура, степень и вид деформации) на формирование дислокационных структур изучены достаточно полно. Однако не исследован механизм упрочнения стали при взаимодействии искусственно внедренных атомов примесей с дислокациями в процессе термопластической обработки.

Перспективным направлением в области поверхностного упрочнения (третья группа) следует считать процесс ионно-плазменного напыления. Но и этот способ имеет свои проблемы, в число которых можно отнести влияние роли поверхностного слоя основного металла на формирование наносимого износостойкого слоя.

Исходя из состояния вопроса и в соответствии с поставленной целью были определены следующие научно-технические задачи исследования:

1. Разработка и реализация идеи о направленном изменении механических свойств металла путем управления микро- (дислокационной) и макроструктуры.
2. Обоснование технологических параметров упрочнения и восстановления деталей сельхозмашин и определение их экономической эффективности.

Во второй главе "Материалы и методика исследования" приведен широкий спектр сталей, от малоуглеродистых до высоколегированных (Сталь 10, Сталь 15, Сталь 25, Ст. 3, Сталь 40Х, У7, У10, ХВГ, 5ХНМ, 6М5, 12Х18Н9Т).

В качестве основного метода повышения концентрации примесных атомов в твердом растворе выбрано кратковременное насыщение атомами азота (НА). Это вызвано следующими причинами: во-первых, в связи с относительной высокой диффузионной подвижностью атомов азота легко получить насыщенный твердый раствор по всему сечению заготовки или детали. Во-вторых, близость атомных радиусов азота и углерода позволяет в случае малоуглеродистых сталей получить additive эффекты блокировки дислокаций от примесному механизму от

обоих видов атомов, что особенно важно для однородной стабилизации создаваемой дислокационной структуры.

В качестве упрочняющего процесса в работе использован метод многократной механико-термической обработки (ММТО). При исследовании структуры сталей использовали методы световой и трансмиссионной электронной микроскопии. Для изучения кинетики движения дислокаций и их взаимодействия с атомами азота применялся метод внутреннего трения (ВТ). Механические свойства исследуемых материалов как в исходном, так и в процессе упрочнения проводили на машине "Инструе-III5". Сравнительное испытание на износ осуществлялось на машине сухого трения МИ-1М. Термическую стабильность выявляли путем разрыва упрочненных образцов после отжига при различных температурах от 300 до 650°C.

В третьей главе "развитие теории упрочнения сталей" изложены модели упрочнения малоуглеродистых сталей и при этом выведено соответствующее уравнение. Приведены так же уравнения температурного поля и представлена математическая модель процесса нагрева изделий (поковки) при термообработке.

Разработка модели упрочнения малоуглеродистых сталей. В сплавах железа с азотом, в основном, наблюдается упругое взаимодействие, т.е. когда в железе присутствуют дислокации, то часть его находится под напряжением сжатия, часть под напряжением растяжения и часть под сдвиговым напряжением. Упругие поля напряжений дислокаций и примесного атома взаимодействуют, и последний испытывает со стороны дислокации силу притяжения.

При расчете упрочнения за счет искусственно внедренных атомов азота можно использовать уравнение Орована.

$$\sigma_N = \frac{Gb}{2\pi\lambda} K \frac{b^2}{2b} \quad (I)$$

где G - модуль сдвига; b - вектор Бюргерса; λ - ближайшее расстояние между атомами азота; K - коэффициент, характеризующий тип взаимодействия атомов с дислокацией.

Если в уравнение (I) ввести статический коэффициент 0,85, связывающий микроскопическое напряжение течения кристалла при произвольном расположении атомов азота с напряжением течения, определенным по среднему расстоянию между частицами и подставить поправку вместо λ эффективную величину ($\lambda - b$), т.е. расстояние между краями частиц, а не между их центрами, то уравнение (I) с учетом вышеприведенных уточнений имеет вид

$$\sigma_N = 0,85 M \frac{Gb}{2\pi(\lambda - \ell)} K \ln\left(\frac{\lambda - \ell}{2b}\right) \quad (2)$$

здесь M - ориентационный множитель.

Анализ уравнений показывает, что в малоуглеродистых сталях параметры λ и ℓ характеризуют долю атомов азота - V_N ;

$$V_N = \frac{\pi}{6\left(\frac{\ell}{\lambda}\right)^2} \quad (3); \quad \lambda = \ell \left(\frac{\pi}{6V_N}\right)^{1/2} \quad (4)$$

Все остальные коэффициенты в уравнении (2) постоянны для данного сплава. Поэтому для углеродистых сталей уравнение (2) может быть выражено через численные коэффициенты: $M=2,75$; $G=84000$ МПа; $b=0,25$ нм; $\nu=0,33$; $K=1,25$. Тогда расчетное уравнение (2) примет вид:

$$\sigma_N = \left(\frac{9,8 \cdot 10^3}{\lambda}\right) \ell n 2 \lambda \quad (5)$$

Параметр λ - расстояние между атомами азота можно определить экспериментально по данным электронной микроскопии тонких фольг.

$$\lambda = n_N^{-1/2} \quad (6)$$

где n_N - число атомов азота на единицу площади.

Зная толщину фольги t и среднее расстояние частиц h , можно найти λ :

$$\lambda = \left(\frac{n_N}{1 + \frac{t}{h}}\right)^{-1/2} \quad (7)$$

Ожидаемое среднеквадратичное отклонение величины λ :

$$\Delta \lambda = \frac{1}{2 \lambda N^{1/2}} \quad (8)$$

где N - число частиц, расположенных на снимках площадью F . Вариация величины λ :

$$\beta = \frac{1}{2} \sqrt{N_0 M} \quad (9)$$

где N_0 - число частиц в одном кадре; M - число кадров.

Таким образом, относительная погрешность определения λ обратно пропорциональна корню квадратному из числа просчитанных частиц.

Упрочнение малоуглеродистых сталей будет зависеть только от упрочнения твердого раствора атомами азота, но и от напряжения трения решетки - G_i или напряжения Шайерлса-Набарро.

$$G_i = \frac{2G}{1-\nu} \exp\left(-\frac{2\pi d}{(1-\nu)b}\right) \quad (10)$$

где d - межплоскостное расстояние. Данное уравнение (10) можно считать если приближенно принять для малоуглеродистых сталей

$$d=b=0,25 \text{ нм}; \quad \nu=0,33; \quad G=84000 \text{ МПа}.$$

Механизм упрочнения малоуглеродистых сталей в процессе НА-ММО будет зависеть от упрочнения, обусловленного сопротивлением

скользящей дислокаций другим дислокациям в кристалле (дислокационное упрочнение). В этом случае упрочнение можно определить из следующего выражения (модель Тейлора):

$$\sigma_y = \alpha M G b \rho^{1/2}, \quad (11)$$

где α - коэффициент, зависящий от характера распределения и взаимодействия дислокации. Для малоуглеродистых сталей принимаем $\alpha = 0,20$; $M = 2,75$; $G = 840000$ МПа; $b = 0,25$ нм.

Плотность дислокации (ρ) можно определить из следующего выражения:

$$\rho = \rho_0 + B \Delta K, \quad (12)$$

где ρ_0 - плотность дислокаций в отожженном металле; B - коэффициент пропорциональности для малоуглеродистых сталей $B = 10^3 \text{ см}^{-2}$; ΔK - приращение пика Кестера, полученное из выражения

$$\Delta K = A \cdot \varepsilon, \quad (13)$$

где A - коэффициент пропорциональности; ε - суммарная степень деформации. Подставляя уравнение (13) в выражение (12), можно определить плотность дислокации в малоуглеродистой стали и найти количество атомов азота участвующее в блокировке дислокации, которая по расчетным данным составляет от 0,95 до 3,91% в зависимости от степени деформации в процессе механико-термической обработки.

Процесс упрочнения малоуглеродистых сталей будет зависеть от формы и типа дислокационной структуры. При обработке сталей по схеме НА+ММО формируется ячеистая дислокационная структура, которая характеризуется высокой плотностью дислокаций. Согласно модели дальнедействующих напряжений, степени ячеек являются в свою очередь источниками дислокации. Вклад этих источников определяется длиной или средним расстоянием между узлами закрепления дислокации в стенках ячейки - L . В этом случае прочность стали будет связана величиной, обратной L :

$$\sigma_y = K_y L^{-1} \quad (14)$$

Считая величину L пропорциональной диаметру ячейки (d_y), получаем уравнение

$$\sigma_y = K_y d_y^{-1}, \quad (15)$$

где K_y - коэффициент, характеризующий прочность блокирования дислокаций и зависит от степени деформации (ε) при обработке стали методом НА+ММО $\varepsilon \approx 1$.

Исходя из вышеуказанного, механизм упрочнения малоуглеродистых сталей в процессе НА+ММО состоит в совокупности отдельных механизмов упрочнения:

$$\sigma_T = \sigma_N + \sigma_i + \sigma_q + \sigma_{\gamma} \quad (16)$$

Уравнение, описывающее механизм упрочнений, имеет окончательный вид:

$$\sigma_T = \left(\frac{9,8 \cdot 10^3}{\lambda} \right) \ln 2\lambda + \frac{2G}{1-D} \exp\left(-\frac{2\pi d}{(1-D)\epsilon}\right) + dMG\beta p^{1/2} k_y d\gamma^{-1} \quad (17)$$

Данное уравнение реализовано на ЭВМ, при этом расхождение с экспериментальными данными не превышает пяти единиц.

Математическая модель процесса нагрева поковки шестерни

Непосредственно замерить температуру детали (поковки) в сердцевине в производственных условиях невозможно, но ее можно рассчитать.

Если деталь загружается в печь с постоянной температурой T_0 , то время нагрева (τ) до заданной температуры определяется процессом теплопередачи внутри металла, а его математическая модель представляет известный класс уравнений математической физики. Для круглой поковки уравнение теплопроводности имеет вид

$$\frac{dT}{d\tau} = a \left(\frac{d^2 T}{dz^2} + \frac{1}{z} \frac{dT}{dz} \right), \quad (1)$$

где a - коэффициент температуропроводности; z - координата по радиусу заготовки (при $z=0$) соответствует центральной части, $z=R$ - наружной); τ - время. Граничные условия уравнения имеют вид: при $z=R$, $T=T_0$ (2)

т.е. наружная поверхность при загрузке в печь приобретает температуру окружающей среды: при $z=0$, $\frac{dT}{dz} = 0$ (3), что соответствует допущению - нагрев осуществляется симметрично относительно оси поковки. Начальные условия выбраны для обычного случая, когда заготовка в момент поступления в печь ($\tau=0$) имела одинаковую по всем сечениям температуру: $T(z,0)=0$ (4).

Уравнения (1-4) составляют математическую модель процесса нагрева и определяют изменения температуры поковки во времени по ее толщине $T(z,\tau)$, в том числе и на оси $T(0,\tau)$. Когда $T(0,\tau)$ достигнет нижнего допустимого уровня отклонения ΔT от заданной температуры ($T_0 - \Delta T$), процесс нагрева можно считать завершенным.

Применяя численные методы, получим уравнение:

$$T_{ij} = T_{ij-1} + \gamma_{ij} \Delta \tau_j; \quad \tau_j = \tau_{j-1} + \Delta \tau_j \quad (5)$$

Таким образом, уравнение (5) определяет для каждого i -го момента текущее значение τ_j и температур $T_{1j}, T_{2j}, \dots, T_{nj}$ для всех сечений по радиусу поковки в процессе нагрева.

В табл. I приведены наиболее характерные данные расчета длительности выдержки в печи для нагрева поволок шестерни.

Таблица I.

Время нагрева в печи поковки шестерни из стали 40X, мин.

Температура : в печи	Диаметр поковки, мм		
	50	100	200
900	16,3/18,6	31,4/34,1	65,6/71,3
1000	30,6/32,8	15,6/17,2	23,3/34,6
1200	8,4/10,2	7,3/9,6	14,5/18,9

Примечание: числитель—время нагрева поверхности, знаменатель — сердцевины поковки.

Результаты исследования влияния поковки и температуры печи на радиальное распределение температуры показывают, что чем выше температура в печи, тем больше разность температур на поверхности и оси заготовки. С увеличением диаметра поковки разность температур на поверхности и оси также возрастает.

Выбранная расчетная модель достаточно корректно описывает реальную кинетику нагрева изделий. Расхождение с экспериментальными данными при этом не превышает 20°C.

В четвертой главе "Разработка нового технологического процесса упрочнения малоуглеродистых сталей" приведены результаты исследования параметров упрочнения, оценка структурных и механических изменений.

Влияние времени насыщения азотом (НА) на интенсивность упрочнения при многократной механико-термической обработке (ММТО)

Наибольшую склонность к упрочнению методом ММТО проявляют образцы, насыщенные азотом до одного часа (рис. I кр. 2.7), наименьшую — подвергавшиеся насыщению. Увеличение времени насыщения сверх одного часа ($\tau = 24$.) — значения прочности близки по своим показателям к образцам насыщенных азотом в течение одного часа. Дальнейшее увеличение времени насыщения привело к резкому охрупчиванию материала и разрыву его уже после первого цикла ММТО, за счет повышения концентрации азота в твердом растворе по всему сечению образца и образования хрупкого поверхностного слоя, разрушающегося при последующем деформировании уже на стадии перехода от упругой к пластической деформации.

Полученные данные позволили в качестве оптимальной продолжительности насыщения азотом выработать выдержку до одного часа, которая и была принята за основу для всех малоуглеродистых сталей.

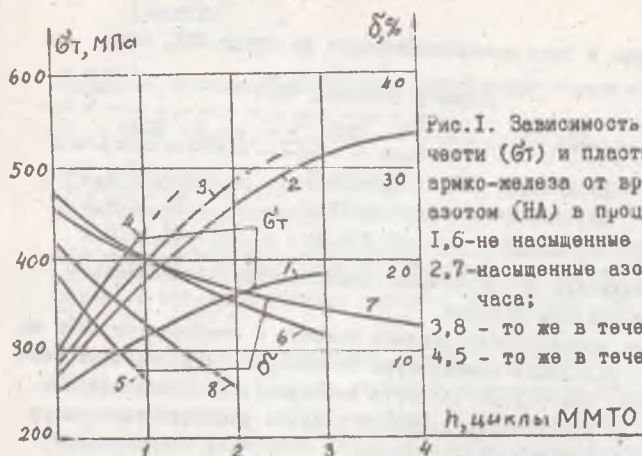


Рис. 1. Зависимость предела текучести (σ_T) и пластичности (δ) армко-железа от времени насыщения азотом (НА) в процессе ММТО.

1, 6 - не насыщенные азотом;
2, 7 - насыщенные азотом до одного часа;
3, 8 - то же в течение 24.;
4, 5 - то же в течение 3 час.

n , циклы ММТО

Влияние процесса насыщения азотом (НА) на механические свойства малоуглеродистых сталей при многократной механико-термической обработке (ММТО)

Две серии образцов каждого материала (насыщенные и ненасыщенные азотом) были подвергнуты ММТО. Кинетика упрочнения для обеих серий исследуемых образцов представлена в табл. 2; общий характер изменения свойств сталей при ММТО показан на рис. 2.

Таблица 2.

Механические свойства малоуглеродистых сталей

Материал	Упрочняющая обработка	Суммарная степень деформации, ϵ , %	Механические свойства в предельно упрочненном состоянии		
			$\sigma_{\text{в}}$, МПа	σ_T , МПа	δ , %
Ст. 3	Исх. состояние	-	360	235	24
	ММТО	4,6	435	435	13
	НА+ММТО	9,6	610	610	13
Сталь 10	Исх. состояние	-	340	230	31
	ММТО	4,1	420	420	17
	НА + ММТО	10,5	570	570	16
Сталь 25	Исх. состояние	-	440	280	23
	ММТО	4,1	540	540	15
	НА + ММТО	10,5	660	660	14

У образцов, не подвергавшихся НА, уже после 1 цикла ММТО наблюдается существенное повышение прочности (рис. 2, кр. 1), что согласуется с известной трактовкой роли барьерного эффекта внутренних повер-

ностей раздела, приводящего к скоплению дислокаций в приграничных зонах и их примесному блокированию при последующем деформационном старении.

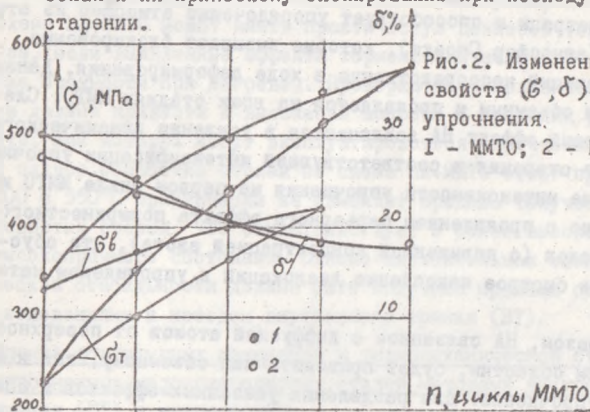


Рис. 2. Изменение механических свойств (σ , δ) стали 10 в стадии упрочнения.
1 — ММТО; 2 — НА+ММТО.

В результате дальнейших циклов ММТО прочность сталей возрастает за счет образования неполностью фрагментированной ячеистой структуры по всему объему зерен. Влияние предварительного НА на показатель упрочнения при ММТО проявляется в виде следующих эффектов:

1. Изменяется вид кривых деформирования упрочняемых образцов, т.е. наличие зазубренности на кривой площадки текучести (проявление эффекта Портевена-Ле Шателье) вплоть до четвертого цикла ММТО. В случае ненасыщенных азотом образцов данное явление исчезает после первого цикла упрочнения.

2. НА обуславливает возрастание интенсивности упрочнения уже на первом цикле ММТО по сравнению с образцами ненасыщенными азотом.

3. Наблюдается общая интенсификация эффектов субструктурного упрочнения при сохранении запаса пластичности у предварительно насыщенных азотом образцов при одинаковом (с ненасыщенными азотом) показателе упрочнения. Для оценки вклада предварительного насыщения азотом в интегральный эффект упрочнения рассчитано отношение максимальных приращений пределов текучести у образцов. Такое отношение (в %) составило для Ст3 — 185%, для стали 10 — 200%, и для стали 25 — 190%. Выявленные эффекты НА при ММТО могут быть интерпретированы на базе дислокационной теории высокопрочного состояния. Вкратце рассмотрим эти эффекты. Сохранение зазубренности деформационных кривых при ММТО НА образцов свидетельствует об интенсификации процессов динамического деформационного старения, вызванного

дополнительным легированием твердого раствора атомами азота. Естественно, такое легирование увеличивает тетрагональные искажения в ОЦК решетке матрицы и способствует упорядочению атмосфер из атомов внедрения (атмосфер Сноека), которые вызывает блокирование подвижных дислокаций непосредственно в ходе деформирования. Данный эффект является объемным и проявляется на всех стадиях ММТО. Следовательно, первый эффект НА заключается в усилении динамического деформационного старения и соответствующей интенсификации упрочнения. Возрастание интенсивности упрочнения на первом цикле ММТО может быть связано с проявлением барьерного эффекта поверхностного экранирующего слоя (с повышенной концентрацией азота), что обуславливает более быстрое накопление дислокаций в упрочняемом материале.

Таким образом, НА связанное с диффузией атомов от поверхности к внутренним областям, будет приводить как объемному, так и поверхностному упрочнению. Для разделения указанных эффектов и оценки их вклада в интегральный результат упрочнения был использован метод измерения микротвердости по сечению образца. Комбинированная обработка по схеме НА+ММТО привела к существенному увеличению микротвердости по всему сечению образца в среднем на 40% по сравнению с известным способом ММТО. Полученное сочетание эффектов объемного и поверхностного упрочнения малоуглеродистых сталей при обработке по схеме НА+ММТО в 2,5-3 раза уменьшает интенсивность износа по сравнению с исходным состоянием (рис.3).

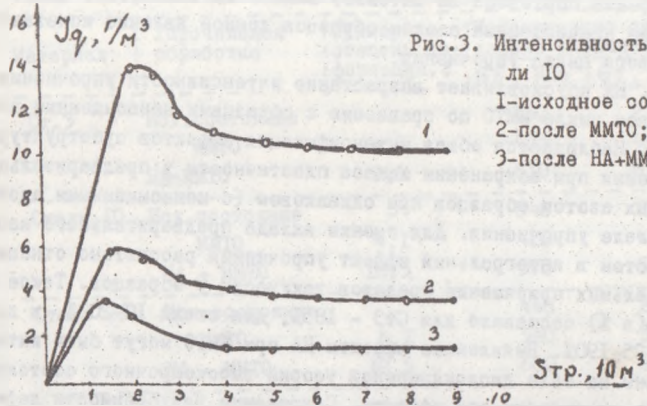


Рис.3. Интенсивность износа стали IO
 1-исходное состояние;
 2-после ММТО;
 3-после НА+ММТО.

Полученный эффект повышения износостойкости стали весьма важен для использования в случае нагруженных деталей сельскохозяйст-

венных и других машин, находящихся в контакте и испытывавший износ в результате проскальзывания или прокручивания.

Высокая эффективность упрочнения малоуглеродистых сталей по схеме НА+ММО может иметь практическую ценность только в том случае, если выявленные эффекты термомеханически стабильны (сохранение прочности при нагреве). Проверка термомеханической стабильности должна привести к выяснению вопроса о пределах рабочих температур, при которых могут эксплуатироваться упрочненные детали. В случае обработки сталей по схеме НА+ММО отжиг при температурах 500 и 550°C практически не изменяет предела текучести у малоуглеродистых сталей, что свидетельствует о более высокой стабильности высокопрочного состояния. Однако окончательная оценка термомеханической стабильности должна быть получена прямыми структурными исследованиями и методом внутреннего трения (ВТ).

Оценка структурных изменений и термомеханической стабильности упрочненных малоуглеродистых сталей методами внутреннего трения (ВТ) и микроскопии

На экспериментальных кривых температурных зависимостей ВТ насыщенных и ненасыщенных азотом образцов имеются два релаксационных максимума; первый соответствует концентрационному пику Сноэка, второй — деформационному пику Кестера, не проявляющемуся у металлов в отожженном состоянии. Температура пика Сноэка у НА образцов армо-железо (модельный материал), составляет 120°C, у ненасыщенных азотом температура пика — 145°C (рис. 5).

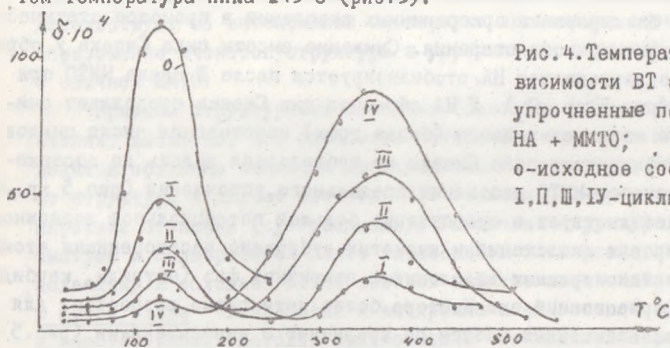


Рис. 4. Температурные зависимости ВТ армо-железо, упрочненные по схеме НА + ММО; 0 — исходное состояние; I, II, III, IV — циклы ММО.

Температурные кривые ВТ показывают общую закономерность в снижении уровня пика Сноэка и возрастание пика Кестера с ростом числа циклов ММО, т.е. с ростом степени деформации. Результаты обработки температурных кривых ВТ армо-железо в функции степени

пластической деформации, накопленной при ММТО представлен на

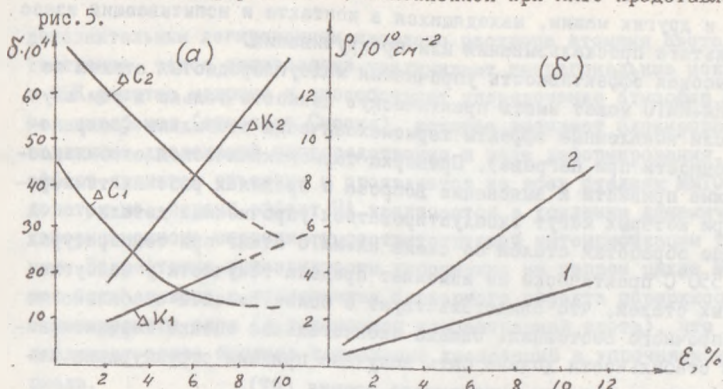


Рис. 5. Зависимость высоты релаксационных максимумов Кестера ΔK (1,2) и Сноэка ΔC (1,2) (а) и плотности дислокации (б) от величины деформации при ММТО армко-железо (ε). 1-при ММТО, 2-НА+ММТО.

Анализ полученных данных показал существенные различия в поведении релаксационных максимумов насыщенных и ненасыщенных азотом образцов армко-железо в процессе субструктурного упрочнения. Высота пика Сноэка у исследованных серии образцов резко уменьшается после первых двух циклов ММТО, это связывается со снижением концентрации твердого раствора в связи с уходом растворенных примесей на блокирование дислокаций, образованных при пластической деформации и на блокирование приграничных скоплений в процессе статического деформационного старения. Снижение высоты пика Сноэка у образцов, не подвергавшихся НА, стабилизируется после III цикла ММТО при $\varepsilon = 4,3\%$ (рис.5) кр. ΔC_1). У НА образцов пик Сноэка продолжает снижаться по мере дальнейшего (более трех) наращивания числа циклов ММТО. Стабилизация пика Сноэка не наблюдается вплоть до достижения в процессе ММТО состояния предельного упрочнения (рис.5 кр. ΔC_2). Это свидетельствует о существенно большей потенциальной возможности блокировки дислокаций и ячеистых субграниц растворенными атомами и мелкодисперсными выделениями вторичных фаз (нитриды, карбиды).

Деформационный пик Кестера более интенсивно возрастает для образцов, насыщенных азотом по сравнению с ненасыщенными (рис.5) кр. $\Delta K_1, \Delta K_2$). Данный пик связан с накоплением в металле дислокаций, заблокированных по примесному механизму.

Полученный результат позволяет сделать вывод о более интен-

сивном приращении плотности дислокации с ростом степени деформации (числе циклов) при упрочнении по схеме НА+ММО (рис.5б).

Эффективным способом исследований процесса взаимодействия примесных атомов с дислокациями и количественного определения геометрических и энергетических параметров дислокационной структуры является метод измерения амплитудной зависимости внутреннего трения (АЗВТ) сталей.

Результаты измерения АЗВТ стали Ю представлены на рис.6.

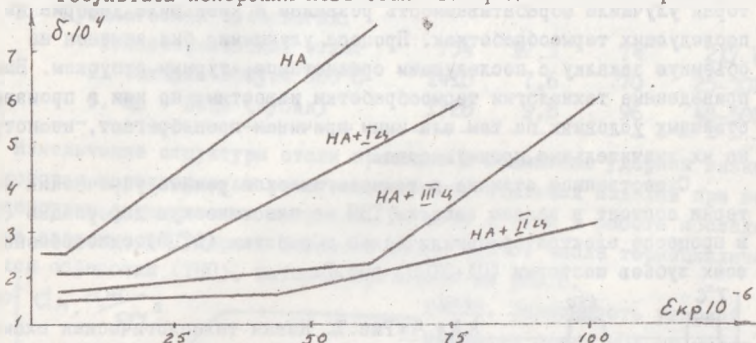


Рис.6. АЗВТ стали Ю, подвергнутая обработке по схеме НА+ММО.

Упрочнение образцов стали Ю по схеме НА+ММО вызывает непрерывное (по циклам ММО) повышение $\epsilon_{кр}$ — амплитуды отрыва дислокационного сегмента от закрепляющих его примесными атомами. Это свидетельствует об интенсивной блокировке дислокации атомами азота и образовании ячеистой структуры в упрочняемых образцах по сравнению с обычной ММО.

Прямыми структурными методами (световая и электронная микроскопия) выявлено, что обработка материалов по схеме НА+ММО приводит к созданию ячеистой дислокационной структуры, отличающейся от структуры в случае обычной ММО большим размером ячеек и более широкими стенками (субграницами). Указанная структура формируется быстрее и подвергается более интенсивной блокировке по примесному механизму и обладает более высокой термомеханической стабильностью. В пятой главе "Разработка и внедрение новых способов упрочнения и восстановления деталей сельхозмашин" приводится анализ существующих и прилагается новая технология упрочнения шестерни, восстановления колчатого вала, упрочнение ответственных деталей, металлообрабатывающих инструментов и сварных соединений, повышение износо-коррозионностойкости подшипниковых сплавов.

Новая технология упрочнения шестерни и зубчатых колес и ее практическая реализация.

В результате анализа заводской технологии упрочнения шестерни был исследован, разработан и внедрен новый способ упрочняющей обработки (рис.7).

В технологическом (в заводском) цикле упрочнения шестерни полный отжиг был заменен на изотермический с целью уменьшения длительности отжига, получения однородной и равномерной структуры, которая улучшила обрабатываемость резанием и уменьшила деформацию при последующих термообработках. Процесс улучшения был заменен на объемную закалку с последующим среднетемпературным отпуском. Вышеприведенные технологии термообработки известны, но ими в производственных условиях по тем или иным причинам пренебрегают, несмотря на их значительные преимущества.

Существенное отличие в технологическом режиме упрочнения шестерни состоит в замене закалки ТВЧ на пластическую деформацию (ПД) в процессе электротермоциклической обработки (ЭТЦО) одновременно всех зубьев шестерни (ПД+ЭТЦО) рис.7.

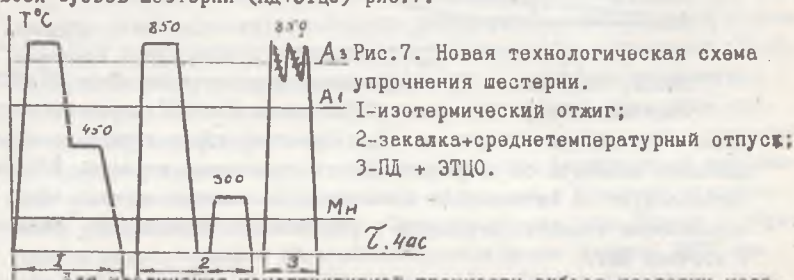


Рис.7. Новая технологическая схема упрочнения шестерни.

- 1-изотермический отжиг;
- 2-закалка+среднетемпературный отпуск;
- 3-ПД + ЭТЦО.

Для увеличения конструктивной прочности зубьев шестерни необходимо увеличить общую протяженность границ зерен, т.е. измельчить зерно. Именно схема ПД+ЭТЦО обеспечивает ускоренное формирование мелкозернистой структуры. Так, после закалки ТВЧ размер зерна составляет 15-17 мкм, после ПД+ЭТЦО - 5-6 мкм.

Механические свойства, полученные по действующей и предлагаемой технологии приведены в табл.3.

Механические свойства стали 40Х.

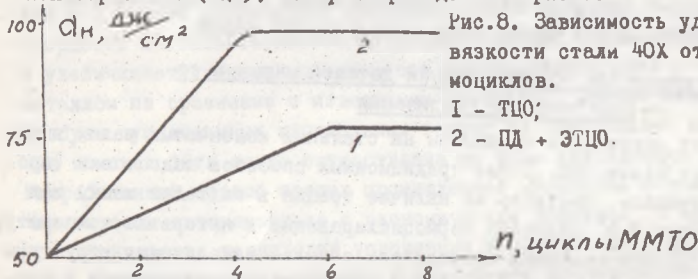
Таблица 3.

№ : Упрочняющая обработка	σ	δ	α _н	Твердость
	МПа	%	Дж/см ²	
1	2	3	4	5
				6

1. Заводская технология:

1	2	3	4	5	6
1. Полный отжиг		728	11,4	78	227 HB
2. Улучшение (закалка+отпуск 500°C)		1348	8,1	69	18-23HRC
3. Закалка зубьев на ТВЧ + отпуск 200°C		1660	6,4	65	38-42HRC
2. Предлагаемая технология:					
1. Изотермический отжиг		734	12,3	74	217 HB
2. Закалка+отпуск 300°C		1410	7,6	70	25-30HRC
3. ПД + ЭТЦО (зубья)		1728	9,8	96	48-50HRC

Измельчение структуры стали приводит к повышению ударной вязкости, которая характеризует работоспособность стальных изделий при воздействии динамических нагрузок. В связи с этим в работе исследована зависимость ударной вязкости стали 40X от числа термоциклической обработки (ТЦО), которая приведена на рис.8.



Стабилизация уровня ударной вязкости наступает в случае ТЦО после 6, а в случае ПД+ЭТЦО после 4 циклов. При этом ударная вязкость, полученная методом ПД+ЭТЦО на 20% выше, чем при ТЦО. Это свидетельствует о повышении работоспособности стальных деталей из стали 40X, обработанных способом ПД+ЭТЦО и достижении более высокого уровня ударной вязкости за меньшее число термоциклов, что и приводит к уменьшению времени упрочнения.

При оценке конструктивной прочности деталей, большое значение имеет их усталостная прочность. В процессе эксплуатации шестерни при циклических нагружениях в металле накапливаются микрповреждения, которые постепенно перерастают в трещины, что приводит к разрушению изделия. Причем нагрузки при усталостном разрушении велики по сравнению с пределом прочности на разрыв. На рис.9 приведены результаты испытаний на усталость стали 40X после различных

видов обработки. Наивысшей усталостной прочностью обладает стали, подвергнутые ПД+ЭТЦО. Это доказывает о преимуществе предлагаемой технологии по сравнению с традиционной закалкой на ТВЧ и обеспечивает в целом улучшение комплекса механических свойств по сравнению с известными способами упрочнения.

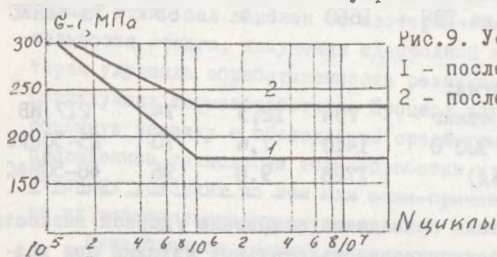


Рис. 9. Усталость стали 40Х
1 - после заводской технологии;
2 - после ПД + ЭТЦО.

Разработанная технология упрочнения шестерни прошла промышленное испытание и внедрена на Кентауском экскаваторном заводе с экономическим эффектом III.240 рублей. Данная технология может быть использована для упрочнения зубчатых колес и шестерни сельскохозяйственных, в том числе хлопковых, и других машин.

Новая технология восстановления деталей машин и ее практическая реализация

Этот способ был опробован на стальных колеччатых валах, выполненных из стали 38Х. После традиционных способов подготовки (промывка, очистка, контроль на наличие трещин в галтелях шеек) вал подвергался 3-4^х кратному термоциклированию в интервале температур 750-650°С. Это операция проводилась с целью измельчения структуры на поверхности изделия и снижения температурных напряжений в процессе последующей наплавки. При температуре 600°С осуществлялась электродуговая наплавка по распространенной технологии. После наплавки колеччатый вал подвергался трехкратному термоциклированию с нагревом пламенем газовой горелки до 750°С и охлаждением на воздухе до 500°С. В каждом цикле в интервале температур 750-500°С осуществлялась поверхностная пластическая деформация со степенью I,5% методом окатки шеек с давлением ролика 1200Н с целью: ускорения формирования мелкозернистой структуры; увеличения плотности дислокаций; уменьшения количества термоциклирования; снижения высоты шероховатости наплавленного слоя; снижения потери металла при окончательной механической обработке. Выявлено, что структура наплавленного слоя по принятой заводской технологии восстановления имеет столбчатое строение с преимущественной ориентацией зерен (перпен-

дикулярно к поверхности основного металла). Такая структура формируется в результате направленного теплоотода в процессе кристаллизации жидкого металла и является причиной появления трещин.

В результате термоциклирования дендридность наплавленного слоя исчезает. Эти изменения в структуре стали обусловлены несколькими причинами. Одна из них не связана с фазовыми переходами, и структурные изменения происходят в результате перераспределения растворенных в твердом растворе различных элементов. Приграничные слои, формирующиеся в процессе термопластического упрочнения, выглядят более развитыми как по площади, так и по плотности расположенных в них дислокаций. Вторая причина, способствующая структурным изменениям, связана с фазовым переходом. При этом происходит измельчение зерен, преимущественное растворенное или выделение избыточных фаз, существенное изменение формы и размеров структурных элементов, выделяющихся из высокотемпературной фазы (аустенита). В-третьих, пластическая деформация в процессе термоциклирования увеличивает долю бездиффузионного фазового превращения и ускоряет процесс формирования мелкозернистой структуры.

Разработанная новая технология восстановления коленчатых валов в 1,5 раза увеличивает уровень ударной вязкости, повышает твердость и износостойкость, устраняет условия образования трещин и увеличивает степень сцепляемости наплавленного слоя с основным металлом по сравнению с известными способами. Данная технология не требует существенных капитальных затрат на специальное оборудование и может быть легко осуществлена на ныне действующих установках. Разработанный способ прошел промышленное испытание и внедрен на Чимкентском авторемзаводе с экономическим эффектом 75 тыс. рублей.

Разработка технологии упрочнения углеродистых и легированных инструментальных сталей. В результате исследования предложен новый способ повышения износостойкости деталей машин и металлообрабатывающих инструментов (фильеры, гребенки, ножи, сверла, фрезы, метчики), выполненных из сталей У7, У10, Р6М5, ХЗГ, 5ХНМ. Сущность метода заключается в сочетании предварительной электротермоциклической обработки с последующим ионно-плазменным напылением (ЭТЦО+ИПН). ЭТЦО проведена с целью измельчения зерен, увеличения прочности поверхностных слоев изделия, а также для повышения сцепляемости покрытий с основным слоем металла. Установлены оптимальные параметры ЭТЦО, температура нагрева 820-850°C, температура охлаждения 600-650°C, количество циклов - три. После ЭТЦО изделия подвергались покрытию на установке ИЭТ-8И-2 типа "Булат". Учитывая,

что детали работают в ударно-прерывистом режиме, ИПН производили путем осаждения многослойных покрытий. Для этого в процессе напыления поверхности изделий нитридами титана изменяли давление плазмообразующего газа-азота от $4 \cdot 10^{-1}$ Па до $5 \cdot 10^{-3}$ Па. При этом напыленный слой с уменьшенной твердостью препятствует выкрашиванию твердого слоя при работе в условиях вибрации и ударных нагрузок, т.к. более мягкие слои деформируются и допускают тем самым некоторый прогиб твердого слоя. Время осаждения колебалось от 15 до 60 мин. при толщине покрытия от 2 до 25 мкм при твердости слоя от 600 HV до 3200HV. Оптимальная температура ИПН 350-450°C.

Металлографические исследования образцов из сталей ХВГ, Р6М5, УЮ позволили выявить, что стали, упрочненные по принятой на заводах технологии (закалка на ТВЧ плюс отпуск 150-200°C), состоят из крупногольчатого мартенсита и карбидов легирующих элементов. Такая структура приводит к неравномерной твердости и износостойкости изделий. Микроструктура поверхностных слоев образцов при ЭТЦО более дисперсна в результате: перераспределения растворенных в твердом растворе аустените различных примесей; фазовой рекристаллизации при неоднократном нагреве и охлаждении; более однородного твердого раствора аустенита по углероду и примесей. Полученная дисперсная структура при ЭТЦО обеспечивает более равномерную твердость и прочность на поверхности детали, а также способствует высокой адгезии напыленного слоя с основой при последующей ИПН. Физико-механические свойства изделия (сверла), обработанные по предлагаемой технологии (ЭТЦО+ИПН), приведены в табл. 4.

Таблица 4.

Физико-механические свойства стали, подвергнутой различным режимам упрочнения

Инструмент, материал	Упрочняющая обработка	Глубина	Физико-механические свойства				
			Твердость	Красностойкость	Адгезия	Износостойкость	Долговечность
Сверло	1. Закалка+низкотемпературный отпуск	58HRC	500	-	23	1,0	
	2. ИПН	10	1900HV	640	500	46	2,0
	3. ЭТЦО+ИПН	15	3200HV	750	2000	120	5

Красностойкость определяли после нагрева при соответствующей температуре в течение 4-х часов измерением твердости по Роквеллу

при условии НРС-58. Адгезионную способность выявляли по нагрузке, при которой происходит отслаивание покрытия.

Разработанная технология прошла промышленное испытание и внедрена на ПО "Чимкентшина" и НПО "Прогресс" (Чимкентский механический завод) с суммарным экономическим эффектом 481.600 рублей.

Разработка технологии повышения конструктивной прочности сварных соединений высоколегированных (аустенитных) сталей

При сварке аустенитных сталей могут образоваться горячие трещины в металле шва, околшовной зоне и в зоне термического влияния (ЗТВ). Одной из причин появления трещин является отсутствие при охлаждении после сварки фазовой рекристаллизации и сохранение первичных аустенитных зерен. Известно, что если в структуре шва имеется небольшое количество феррита (3-5%), то склонность к растрескиванию значительно уменьшается, т.к. феррит нарушает сплошность аустенитных зерен, изменяет трансформацию. Следовательно, при сварке аустенитных сталей необходимо использовать электроды, которые позволили бы получить в металле сварного шва небольшое количество феррита. Поэтому для оценки присадочных материалов часто определяют содержание феррита в металле шва металлографическим методом или определяют по уточненной диаграмме Шеффлера, по которой, зная состав металла сварного шва, можно определить его структуру. Малое содержание феррита в структуре сварного шва и его расположение по границам аустенитных зерен препятствует росту последнего и тем самым обеспечивает более высокую вязкость металла. Высокое же содержание феррита (более 5%) способствует выделению интерметаллических соединений на базе железа и хрома, обладающих высокой твердостью и хрупкостью, приводит к снижению вязкости стали. Другой причиной появления горячих трещин является наличие легкоплавких примесей на границах зерен аустенита, обладающих меньшей прочностью по сравнению с ранее закристаллизовавшимися зонами.

Образцы аустенитной стали 12Х18Н9Т были сварены ручной электродуговой сваркой различными электродами марок ОЗЛ-8 (св.04Х19Н9), ЦД-II (св.08Х19Н10Б), 400/Юу (св.02Х19Н9). В дальнейшем сварные образцы подвергались пластической деформации 2-3% при температуре 1150-850°C в процессе 3-х кратной термоциклической обработки (ПД+ТЦ). Нагрев осуществлялся в струе ацетилена-кислородного пламени, охлаждение до 820-850°C проводилось на воздухе. Температура контролировалась терпарой, зачеканенной в сварной шов.

Микроанализ сварных соединений после традиционной обработки (закалки) позволил выявить, что независимо от марки электродов,

формирующийся сварной шов неоднороден. Граница шва имеет дендритное строение, которое снижает вязкость стали. В переходном слое имеется ферритная зона, наличие её согласуется с диаграммой Шеффлера и составляет порядка 8-10%, т.е. выше допустимого. Некоторые границы зерен металла утолщены вследствие карбидов. Наличие в структуре сварного шва ферритной фазы, карбидных выделений, столбчатых кристаллов и интерметаллических соединений снижает пластичность и ударную вязкость сварного соединения. При обработке сварного шва ПД+ТЦО происходит распад карбидных выделений, рассредоточение примесных атомов и легирующих элементов, уменьшается количество ферритной фазы, и его содержание не превышает 5%, т.е. остается в пределах допустимого. Вышеуказанные изменения в структуре сварного шва оказывают влияние и на механические свойства (табл.5).

Таблица 5.

Изменение механических свойств сварных образцов из стали

№	Марка электрода	Вид термообработки	Механические свойства					
			σ_T , МПа	δ , %	Твердость шва, НВ	твёрдость приграничного слоя, НВ	твёрдость: 3.Т.В. НВ	Сн Дж/см ²
1.	ОЗЛ-8	Закалка	630	32	200	174	162	90
2.	ЦД-II	"-	610	30	203	191	175	80
3.	400/Юу	"-	650	35	210	185	181	100
4.	ОЗЛ-8	ПД+ТЦО	620	46	192	150	150	170
5.	ЦД-II	"-	630	41	196	154	160	160
6.	400/Юу	"-	610	44	191	148	140	180

Из таблицы следует, что низкой твердостью и более высокой ударной вязкостью обладают сварные соединения, выполненные электродом 400/Юу и обработанные по новой схеме ПД+ТЦО.

Разработанный способ обработки сварных соединений технологически легко осуществим в любых условиях, не требует специального дополнительного оборудования и успешно прошел промышленное испытание в ПО "Навоиазот".

Технология повышения износостойкости и коррозионной стойкости подшипниковых сплавов

Микроструктурные и рентгеноструктурные анализы позволили выявить, что рабочая поверхность подшипника скольжения состоит из твердой матрицы алюминия и мягких включений (9% Sn, 2% Cu), т.е. представляет алюминиевый сплав А09-2. Изнашивание вкладыша на алюминиевой основе связано двумя причинами: контактным напряжением и нагре-

вом, которые разрушают тонкую масляную пленку и вызывает схватывание; фреттинг-коррозией (коррозионно-механическое изнашивание). С целью повышения износо-коррозионной устойчивости подшипники скольжения подвергались ионно-плазменному напылению в "мягком" режиме: температура процесса 250-300°C, длительность - 30 мин. Учитывая, что пара вкладышей работает в щелочной среде, испытания проводили в 10% KOH как напыленных, так и ненапыленных нитридами титана. Результаты испытания на коррозионную устойчивость показали, что ненапыленные подшипниковые вкладыши подвергались коррозионному разрушению после 74 часов, а напыленные вкладыши после 248 часов непрерывной работы. Следовательно, ионно-плазменное напыление увеличивает срок эксплуатации подшипников скольжения на алюминиевой основе в агрессивной среде в 2-3 раза. Разработанный способ успешно прошел промышленное испытание на Навоийском электрохимзаводе и принят к внедрению.

В шестой главе "Технико-экономический анализ эффективности внедрения в производство новых технологий упрочнения и восстановления различных деталей" представлен расчет, который проводили по "Методике определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, технологии, изобретения и рационализаторских предложений", утвержденной постановлением Государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике, Госпланом СССР, Академией наук СССР и Государственным комитетом по делам изобретений и открытий №48/16/13/3.

Расчет экономического эффекта от внедрения новых технологий упрочнения и восстановления проведен путем сравнения нового технического решения с базовым вариантом в рамках конкретных предприятий. Экономическая эффективность приведена в табл.6.

Таблица 6.

Экономический эффект от внедрения разработанных технологий		
№	Место внедрения	! Год ! внедрения: эффект, руб/год.
1.	Чимкентский механический завод	1980 62.200
2.	Завод "Манкентживмаш"	1983 250.800
3.	Кентауский экскаваторный завод	1983 III.240
4.	Чимкентский авторемзавод	1985 75.200
5.	ПО "Чимкентшина"	1986 258.850
6.	Туркестанский завод по ремонту строительно-дорожных машин	1989 133.800
7.	НПО "Прогресс"	1990 233.010
	Итого	I. 115. 100р

В приложениях к диссертации представлены акты промышленных испытаний, протоколы технических советов различных предприятий и расчеты экономической эффективности предложенных способов упрочнения и восстановления.

Основные выводы

1. Развита теория упрочнения малоуглеродистых сталей в результате исследования взаимодействия дислокации с атомами азота в процессе многократной механико-термической обработки (ММТО) и предложено уравнение прочности для реализации на ЭВМ.
 2. Выявлено, что искусственно внедренные атомы азота искажают кристаллическую решетку феррита, образуя при этом дефекты (дислокации), которые резко увеличиваются в процессе пластической деформации при ММТО. В стадии деформационного старения ($100-150^{\circ}\text{C}$) атомы азота, блокируют дислокаций, что приводит в конечном итоге к формированию новой, неполностью фрагментированной ячеистой дислокационной структуры, которая определяет прочность стали.
 3. На базе разработанной теории предложен новый способ упрочнения и научно обоснованы режимы обработки малоуглеродистых сталей (А.с. СССР 1025740). Разработанный способ в 1,5-2 раза увеличивает прочность стали при сохранении удовлетворительной пластичности по сравнению с лучшими отечественными и зарубежными аналогами и позволяет использовать малоуглеродистые стали для изготовления различных деталей сельскохозяйственных машин. Способ внедрен на заводе "Манкентживмаш" с экономическим эффектом 250.800 рублей.
 4. На основе теории теплопроводности составлено уравнение температурного поля в стали, учитывающее как транспорт тепла через микрообъемы (структуры), так и произвольные изменения теплофизических свойств (теплопроводность, теплоемкость, плотность) различных структурных составляющих сталей. Разработана математическая модель нагрева поковки шестерни из стали 40Х, которая определяет изменение температуры заготовок во времени и по её сечению. Полученная система уравнений позволяет оптимизировать на ЭВМ процесс нагрева поковки шестерни.
 5. Развита теория ускоренного формирования мелкозернистой структуры металла путем совмещения процессов многократных фазовых превращений с пластической деформацией в горячем состоянии. На этой основе предложен новый способ повышения конструктивной прочности шестерни из низколегированной стали (40Х), подтвержденной положительным решением на изобретение по заявке №4180502/02.
- Предложенный метод обеспечивает увеличение ударной вязкости вдвое, а

усталостную прочность на 20-25% по сравнению с известными способами, что приводит к повышению работоспособности шестерни в условиях динамических нагрузок при повышенных температурах. Способ внедрен на Кентауском экскаваторном заводе с экономическим эффектом III.240 рублей.

6. Исследовано влияние состояния поверхности основного металла на формирование износостойкого слоя при обработке деталей и металлообрабатывающих инструментов концентрированным источником энергии (плазма).

Установлено, что предварительная обработка поверхности изделия электротермоциклированием (ЭТЦО) обеспечивает формирование мелкозернистой структуры, и, как следствие, приводит к повышению твердости, износостойкости и улучшению адгезии с напыленным слоем. Последующая ионно-плазменная обработка обеспечивает получение тонкого износ-коррозионного слоя из нитридов титана. При этом разработана новая технология, которая подтверждена А.с.СССР №I457409 и внедрена на ПО "Чимкентшина" и в НПО "Прогресс" с суммарным экономическим эффектом 48I.860 руб.

7. Разработан новый способ повышения конструктивной прочности и хладостойкости сварных швов из аустенитных нержавеющей сталей типа I2XI8H9T, заключающийся в пластической деформации в процессе термоциклической обработки (ПД+ТЦО). При этом в 1,5-1,8 раза повышается хладостойкость сварных соединений по сравнению с традиционной закалкой за счет формирования мелкодисперсной структуры во всех зонах сварного шва. Предложенный способ обработки сварных соединений не требует специального оборудования и технически легко осуществим в любых производственных условиях. Разработанный метод защищен положительным решением на изобретение по заявке № 4I84I99/02), прошел успешно промышленное испытание и рекомендован к внедрению на ПО "Навоиазот".

8. В результате изучения взаимосвязи структурных изменений наплавленного слоя с макроскопическими свойствами, разработана новая технология восстановления стальных изделий и подтверждена А.с.СССР № I48327. Этот метод позволяет в 1,5-2 раза увеличить конструктивную прочность и износостойкость коленчатых валов. Данный способ внедрен на Чимкентском авторемзаводе с экономическим эффектом 75.200 рублей, а на Туркестанском заводе по ремонту строительной-дорожных машин - I33.800 рублей.

9. Разработана технология повышения коррозионной стойкости в щелочной среде подшипников скольжения на алюминиевой основе методом ионно-

плазменного напыления. Данный способ прошел промышленное испытание и рекомендован к внедрению на Навоиском электрохимическом заводе.

Таким образом, на основе выполненных исследований осуществлено решение научной проблемы по разработке основ теории и технологии упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственных и других машин, использование которых на практике позволяет увеличить срок эксплуатации и снизить расход металла.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Исламкулов К.М., Гордиенко Л.К. Субструктурное упрочнение металлов и сплавов. //Труды ХЛХУ-научно-техн.конф. Милма.- М., 1974г-С19.
2. Исламкулов К.м., Гордиенко Л.К. Влияние насыщения азотом на субструктурное упрочнение //Труды ХЛХУI научно-техн.конф. МИХМа.- М., 1975-С36.
3. Гордиенко Л.К., Исламкулов К.м. Степанов В.Н. Влияние азотирования на эффект упрочнения малоуглеродистой стали при многократной механико-термической обработке (ММТО) //Физика и химия обработки материалов.- М., 1976.- № 3.- С.81-87.
4. Исламкулов К.м., Гордиенко Л.К. Субструктурное упрочнение предварительно азотированных образцов //Тез.докл. УШ Всесоюзной научно-техн. конф. по физике прочности металлов и сплавов.- Куйбышев.-1976-С240.
5. Исламкулов К.М., Гордиенко Л.К. Количественный анализ дислокационной структуры методом внутреннего трения.//Тез.докл.У Всесоюзной научно-техн. конф. по взаимодействию дислокаций с примесями.-Тула-1978-С39.
6. Исламкулов К.М., Раков В.П., Тунгатаров А.Б. Изменение механических свойств и характеристик износа малоуглеродистых сталей. //Тез. докл.ХХУ научно-техн.конф. КазХТИ-Чимкент.-1978- С.253.
7. Исламкулов К.М., Турдалиев Т.И. Влияние субструктурного упрочнения на термомеханическую стабильность малоуглеродистых сталей //Там же,С.254.
8. А.с.Ю25740 СССР. Способ обработки малоуглеродистых сталей/ К.М.Исламкулов, Л.К.Гордиенко.. №24, 1983.
9. Исламкулов К.М. Повышение вязкости сварных соединений из аустенитных сталей.//Библ.указ.ВИНИТИ, Депон.научн.работы М.-1981-№3-С106.
- 10.Исламкулов К.М. Восстановление стальных коленчатых валов. //Информационный листок. Юж.Каз.ЦНТИ. № 23- 12. 1981.

11. Исламкулов К.М. Повышение работоспособности восстановленных стальных коленчатых валов //Библ.указ.ВИНИТИ. Депон.научн. работы. М.-1983-№2;С107.
12. Исламкулов К.М., Янин А.Д. Способ восстановления коленчатых валов //Тез. докл.Республ.научно-практ.совещ.- Чимкент-1985.-С. 110-112.
13. Исламкулов К.М., Гордиенко Л.К. Повышение износостойкости деталей машин из стали 45 комбинированным методом //Тез. докл. Всесоюзн. научно-техн. симпозиума "Повышение износостойкости и усталостной прочности деталей машин обработкой концентрированными потоками энергии"-М.- 1985.- С. III. Для служеб.польз.
14. Повышение прочности и износостойкости деталей сельскохозяйственных машин методом ионно-плазменного напыления / Исламкулов К.М., Омаров А.К., Гордиенко Л.К., Шуашев С.К. // Состояние и перспективы упрочнения деталей тракторов и сельскохозяйственных машин.- М.: ВДНХ СССР.- 1986.- С.24.
15. Исламкулов К.М. Исследование хладостойкости сварных соединений из стали 12Х18Н10Т, работающих при температуре от 70 до 190°С. //Сб. реф. НИР и ОКР. Технология машиностроения.-1982.- С.436.
16. Исламкулов К.м. Исследование и разработка технологических режимов повышения прочности и износостойкости коленчатых валов// Сб. реф. НИР и ОКР. Технология машиностроения.-1982.- № II.- С.34.
17. Исламкулов К.М. Исследование по повышению конструктивной прочности деталей редукторов экскаватора // Сб. реф. НИР и ОКР. Технология машиностроения.- 1983.- № 6.- С.38.
18. Исламкулов К.М. Повышение прочности и износостойкости деталей машин методом ионно-плазменного напыления // Сб. реф. НИР и ОКР. Технология машиностроения.-1984.- № 8.- С.31.
19. Исламкулов К.м., Турдалиев Т.И., Тунгатаров А.Б. Повышение хладостойкости сварных соединений аустенитных сталей.//Тез. докл. II Всесоюзн. научн. конф. "Прочность материалов и конструкции при низких температурах". Киев.- 1986.- Часть I.- С.47-48.
20. Повышение эксплуатационных свойств деталей в резино-технической промышленности / Исламкулов К.М., Гордиенко Л.К., Омаров А.К., Шуашев С.К.// Труды Всесоюзн. научн. техн. конф. "Металл и технический прогресс". - М.: Металлургия.- 1987.- С.204-205.
21. Исламкулов К.М., Гордиенко Л.К., Сайтжанов С.З., Шуашев С.К. Влияние термопластической обработки на структуру и механические свойства сварных соединений из аустенитных сталей // Труды III Всесоюзн. симпозиума "Стали и сплавы криогенной техники".- ИЭС им. Е.О.Дягона, Киев.- 1986.- С.96-97. Для служеб.польз.

22. А.с.1457409. СССР. Способ повышения износостойкости режущего инструмента / Исламкулов К.М., Гордиенко Л.К., Шуашев С.К.
23. Повышение износостойкости углеродистых сталей комбинированными методами. / Исламкулов К.М., Гордиенко Л.К., Шуашев С.К., Културсьнов Ж.К. Алма-Ата, 1987.- С.8.- Деп. в КазНИИТИ № 1787 Кс-97,
24. Исламкулов К.М., Махмудова Р.С. Исследование и разработка технологии нанесения износостойкого и антикоррозионного покрытия на подшипники скольжения. //Тез.докл. Всесоюз. научно-техн. конф. "Современные методы защиты металлов от коррозии."-Уфа.-1988С.23-24.
25. Исламкулов К.М. Исследование и разработка технологических режимов упрочнения и восстановления, нанесение износостойкого и антикоррозионного покрытия на детали химического оборудования // Сб. реф.НИР и ОКР. Технология машиностроения.- 1988.- № 10.- С.41.
26. Исламкулов К.М. Исследование и разработка технологических режимов упрочнения и восстановления деталей. Возможность замены дорогостоящих сталей на более дешевые // Сб.НИР и ОКР. Технология машиностроения.-1988.- №12-С.39.
27. А.с. 1488329. СССР. Способ восстановления стальных деталей / Исламкулов К., Гордиенко Л.К., Самаров А.К., Янин А.Д.
28. Исламкулов К.М. Монография, Методы упрочнения и восстановления деталей машин.- Чимкент.-1988.-105с. Для служебн. пользования.
29. Савельев Н.С., Исламкулов К.М., Бекетов Б.А. Термообработка металлов и метод возмущения теплофизических свойств среды в теории теплопроводности //Библ.указ.ВИНИТИ. Депоннауч. работы М., 1987.- №7.- С.171.
30. Исламкулов К.М., Турдалиев Т.И., Волна А.Ф. и др. Повышение конструктивной прочности сварных соединений аустенитных сталей, работающих при низкой температуре // Информационный листок. УзНИИТИ, Ташкент. 86-45. Серия 81, 35, 13. 1986.
31. Исламкулов К.М. Улучшение комплекса механических свойств и коррозионностойкости поверхностных слоев сталей и цветных металлов // Сб. реф.НИР и ОКР.Технология машиностроения.-1990.-№9-С.34.
32. Исламкулов К.М., Шуашев С.К., Махмудова Р.С. Повышение коррозионно-и износостойкости шейки валов компрессора методом ионно-плазменного напыления. //Тез.докл. зональной научно-техн. конф. "Современные проблемы коррозии и защиты металлов от коррозии в народном хозяйстве".-Уфа.- 1990.-С.91.
33. Исламкулов К.М. Внедрение разработанных технологий упрочнения

- различных деталей, подвергшихся износу и коррозии // Об. реф. НИИ и ОКР. Технология машиностроения. 1990. №11. - С.31.
34. Исламкулов К.М. Научно-исследовательская работа "Кафедра-марал-ному хозяйству" // Тез. докл. республиканского семинара "КазПИ-центр подготовки инженерных кадров". Алма-Ата. - 1986. - С.34.
35. Исламкулов К.М., Омаров А.К. Способ повышения конструктивной прочности зубчатых колес. Патент. заявл. в выдачу А.С. по заявке №4180502/02.
36. Исламкулов К.М., Омаров А.К. Способ повышения хладостойкости сварных соединений. Патент. заявл. в выдачу А.С. по заявке №4184139/02.
37. Исламкулов К.М., Гурджалиев А.К., Омаров А.К. Восстановление стальных валов // Новости науки Казахстана. Серия "Развитие современной науки". - Алма-Ата. - 1990. - №1. - С.19.
38. Исламкулов К.М., Омаров А.К., Шуаев С.К. Микротвердость и характеристики износа углеродистых сталей, подвергнутых комбинированной обработке. // Известия АН КазССР. Серия химическая. - 1991. - С.29.
39. Исламкулов К.М., Омаров А.К. Повышение износостойкости высокоуглеродистых и легированных сталей. // Новости науки Казахстана. Серия "Развитие современной науки". - Алма-Ата. - 1991. - С.31-32.
40. Исламкулов К.М., Омаров А.К. Повышение хладостойкости углеродистых сталей термобластической обработкой. // Тез. докл. Всесоюзного конф. "Прочность материалов в констр. сталей при низких температурах". - Киев. - 1990. - С.39.
41. Исламкулов К.М., Омаров А.К. Метод повышения износостойкости конструкционных сталей // Тез. докл. Всесоюзного конф. "Износостойкость машин". - Брянск. - 1991. - С.53.
42. Исламкулов К.М., Омаров А.К., Шуаев С.К. Субструктурное упрочнение сталей. // Новости науки Казахстана. Серия "Развитие современной науки". - Алма-Ата. - 1991. - №3. - С.31-32.
43. Исламкулов К.М., Омаров А.К. Влияние состояния поверхности металла на формирование дислокационной структуры. // Тез. докл. I научно-теоретического конф. Казалкого-Турецкого международного университета. - Туркестан. - 1992. - С.68-69.
44. Исламкулов К.М., Омаров А.К. Исследование дислокационной структуры методом внутреннего трения. // Там же, С.69-70.
45. Исламкулов К.М., Кадырбеков А.А. Эффекты субструктурного упрочнения сталей // Там же, С.70-72.
46. Исламкулов К.М. Способы поверхностного упрочнения методом ИМЧ/методическая разработка. - Чинкент. - 1989. - С.12.

47. Исламқулов К.М., Сәйтжанов С.В. Вyoор конструкционных материалов и методы их упрочнения // Методические разработки. — Чиккент, — 1992 — С. 36.
48. Исламқулов К.М. Повышение долговечности деталей машин и инструментов методом ионно-плазменной обработки // Методические разработки — Чиккент — 1992 — С. 9.

ҚИШЛОҚ ҲЎЖАЛИГИ МАШИНАЛАРИ ДЕТАЛЛАРИНИ МУСТАҲКАМЛАШ ВА ТИҚЛАШ НАЗАРИЯСИ НЕГИЗЛАРИ ҲАМДА ЯНГИ УСУЛЛАРИНИНГ ИШЛАНМАСИ

ИСЛАМҚУЛОВ ҚАҲРАТ МУҲАММЕДУЛОВИЧ
ЎЗНИИИЗ, Янгиуул, 1993 йил.

Ишнинг тафсили

Диссертацияда пўлатларни мустаҳкамлаш назарияси ва усулига бағишланган, аввал ўтказилган илмий-тадқиқот ишларининг обзори ҳамда таҳлили соғдирилган. Механик-термик ишлов жараёнида азот атомларини сунъий жорий этиш билан металл дефектларининг (дислокациянинг) ўзаро таъсирига боғланган камуглеродли пўлатларни мустаҳкамлаш модели таклиф этилган. Бунда камуглеродли пўлатлар учун ЭМда бажаришга қулай пишиқлик тенгламаси чиқарилган.

Таққикот натижасида камуглеродли пўлатларни мустаҳкамлашнинг янги усули ишлаб чиқилди. Мазкур усул маълум аналогларга қиёсан қониқарли эгилувчанликни сақлаб қолиш билан металл пишиқлигини оширишга имкон яратди, бу қишлоқ ҳўжалиги ва бошқа машиналарининг ўртауглеродли ва кам легирилган пўлатлардан ишланган деталларини мустаҳкамлаган камуглеродли алмаштириш имконини беради.

Иссиқлик ўтказиш назарияси негизида пўлат ҳарорат майдонининг тенгламаси таклиф этилди, у бир вақтнинг ўзида ҳам микроқажлар (тузилмалар) орқали иссиқликнинг транспорт сифатини, ҳам металлнинг турли тузилмалар таркиби иссиқлик-физик хусусиятларининг ўзгаришини ҳисобга олади.

ЭМда ишлаб ва ҳисоблаб чиқилган математик модел термик ишловда деталлар қириқилишнинг реал кинетикасини етарли ҳўн таъсирлаб беради. Тақрибан ҳисоблашлар ўртақидаги тафовут 20°Сдан ошмайди.

Иссиқ ҳолатида пластик деформациялаш билан қўн бор фазавий ўзгаришлар даражасининг бирге қўшилмо бориши натижасида металлнинг маъда ҳолати сувиқмасида кўпай рақланган назарияю рақланганлириган. Бу негизга физик гилдиялар (шестернялар) конструктив пишиқлигининг янги усули таклиф этилган. Ишлаб чиқилган усул зарбий эгилувчанликни шўки барабар ошириши таъминлайди, бу даража оширишлар баронларида шестернялар шўқобилиятини оширишга олаб кўлади.

Ишда тадқиқотларни ўтказиш усулияти тавсифланган ҳамда математик ҳисоб-китоблар орқали ишланган тажрибалар натижалари келтирилган.

Деталларни концентрацияланган энергия (плазма)анбаи билан ишлашда асосий металл вэаси ҳолатининг ёйилишга чидамли қатламни шакллантиришга таъсири тадқиқ қилинган. Бунда металл буюмларнинг ёйилишга чидамлилигини ошириш буйича ишлаб чиқилган янги технология уларнинг хизмат қилиш муддатини маълум усулга қиёсан 4-5 барабар оширишни таъминлайди.

Ишда пулат буюмларни тиклаш янги усулларининг технологик пара - метрлари, пайвандланган буюмларнинг пишиқлигини ва совуққа чидамлилигини ошириш ҳамда алюминий негиздаги сирғанувчи подшипникларнинг ёйилиш-коррозияга чидамлилигини орттириш илмий асослаб берилган.

Мустаҳкамлаш ва тиклашнинг ишлаб чиқилган усуллари турли клас - сдаги пулатлардан ишланган деталларнинг кўпга чидашини ошириш имконини беради, уларни термик ишлов учун мавжуд ускуналарда бажариш осон ва бунда қўшимча капитал харажатлар талаб қилинмайди.

Ишлаб чиқилган мустаҳкамлаш ва тиклаш усулларининг янгилиги ихтирога муаллифлик гувоҳномаси билан тасдиқланган, саноат синовидан ўтган, ҳамда 1990 йил баҳоларда йилига жами I милён рублдан ортиқ иқтисодий самара билан турли заводларда жорий этилган.

DEVELOPING FUNDAMENTALS OF THEORY AND NEW METHODS OF AGRICULTURAL MACHINES PARTS HARDENING AND RESTORATION

ISLAMKULOV KAIRAT MUKHANNETKULOVICH

Uzbek Research Institute for Farm Mechanization and Adaptation of Farming to the Use of Electric Power, Jangiul.

ABSTRACT

There is review and analysis of earlier scientific-research work, devoted by theory and methods of strengthening of steels in this dissertation. The model of strengthening of not-carbonaceous steels is proposed. It is based upon machinery interaction of metal defects with artificial inculcated nitrogen atoms during the process of mechanic-thermal treatment. The equation of strength for not-carbonaceous steels, convenient for realization by electronic computer is deduced.

As a result, the new method for strengthening of not-carbonaceous steels is developed. This method allows to increase the strengthening of metal by keeping of satisfactory plastic in comparison with well-

known analogues, which gives a possibility to exchange the details of agricultural and other machines, making from average-carbonaceous and low-alloy steel by strengthening not-carbonaceous one.

On the basis of heat conductivity theory, the equation of steel field temperature is proposed. It takes into account as a transport of heat through micromolecules (structures), so as exchanges of heat - physical characteristics of various structures which make a metal.

The mathematic model is elaborated and calculated by electronic computer, what describes the real kinetics of detail's heat(forging) by thermal treatment. Differences with experimental dates are no more than 20 C.

As a result of combination by processes of repeated phase transformation in hot conditions, the theory of rapid formation of small-grained metal structure is developed.

New method of increasing of constructive strength of cog-wheels is offered on this basis. Revised methods provides double-percussive viscosity, that raises efficiency of cog-wheel in conditions of dynamic loads.

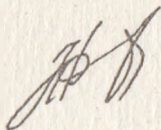
The method of realization of researches is described in this work. Here you may find the result of the experiments, which are influenced by mathematical statistics.

There is an investigation of influence of main metal surface to wear-stableness layer formation during the treatment of details by concentrated energy source(plasma). New technology of increasing of wear-stableness metal product is elaborated. It guarantees the raising of their working period 4-5 times, in comparison with well-known methods.

There are technological parameters of new methods for restoration of steel goods, raising of strength and cold-stableness of welded goods and increasing of wear-corrosion-stableness of cog-wheels, which are sliding on alluminium base.

Elaborated methods of strengthening and restoration allow to raise durability of details making from various steels, which are easily realize with available equipment for thermal treatment and they don't require additional capital costs.

Newness of elaborated methods of strengthening and restoration are confirmed by author's certificates. They went off industrial tests and were applied in various plants with summary economic effect more than 1 million roubles in a year with prices of 1990.

A handwritten signature in dark ink, consisting of several stylized, overlapping loops and lines, positioned below the main text.