

М 389681

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

МОСКОВСКОЕ
ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им.Н.Э.Баумана

На правах рукописи

ПЯТУНИН Геннадий Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДСТВ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ПРОКАТА

08.00.20 - Стандартизация и управление качеством
продукции (в том числе по отраслям народного
хозяйства).

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Работа выполнена на Череповецком металлургическом заводе
имени 50-летия СССР.

Научные руководители — доктор технических наук, профессор
ВОЛЧЕНКО В.Н.

кандидат физико-математических наук
МЕЛЬГУЙ М.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
ДОРОФЕЕВ А.Л.

кандидат технических наук, доцент
БОРИСЕНКО В.С.

Будущее предприятие: Ждановский металлургический завод
"Азовсталь" им.С.Орджоникидзе.

Защита диссертации состоится " " _____ 1982 г.
на заседании специализированного Совета К053.15.16 Московского
ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового
Красного Знамени высшего технического училища имени Н.Э.Баумана
по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просим
высылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ имени
Н.Э.Баумана.

Автореферат разосла

Ученый секретарь
специализированного совета
к.т.н., доцент

Подп.к печ. 11.05.82

Тираж 105 экз. Ротаприн
ская ул., д. 5

М 389681

АКТУАЛЬНОСТЬ. В решениях XXVI съезда КПСС задача повышения эффективности производства и качества промышленной продукции сформулирована как одна из основных в XI пятилетке. Повышенные требования к механическим свойствам проката сопровождаются ужесточением аттестационного контроля на металлургических предприятиях, увеличением объема механических испытаний и штата контрольных служб. Постановлением Государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике № 334 от 25 июля 1969 года была поставлена задача "Разработать методы и средства неразрушающего контроля механических свойств проката сталей". Настоящая работа является частью исследований, обеспечивших внедрение неразрушающего контроля (НРК) механических свойств проката на металлургических предприятиях.

Институтом физики металлов УНЦ АН СССР разработан метод и приборы КИФМ-I для НРК механических свойств стали по величине коэрзитивной силы. В Отделе физики неразрушающего контроля АН СССР разработан метод и приборы типа ИМА для НРК механических свойств листового проката по градиенту остаточного магнитного поля, а также приборы типа КАП для НРК свойств стали методом высших гармоник. В МВТУ им. Н.Э.Баумана разработаны вероятностные модели для оценки достоверности методов контроля. Однако в этих работах не отражен ряд вопросов, связанных со спецификой внедрения НР-контроля в условиях металлургического предприятия.

ЦЕЛЬ настоящей работы, проводимой на Череповецком металлургическом заводе с 1971 года, - обосновать возможность замены трудоемких механических испытаний стального проката экономичным магнитным НРК и внедрить его, обеспечив более высокую достоверность контроля, чем при прямых механических испытаниях.

Для достижения этой цели в работе были поставлены и решены следующие задачи:

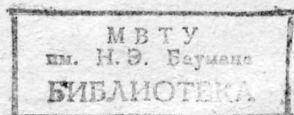
а) установить несколько десятков множественных корреляционных моделей, учитывающих химический состав и сечение контролируемого проката, вместо нескольких тысяч парных корреляционных связей между механическими и магнитными характеристиками, применяв-

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1389681

Пятунин Г. А. Исследование с



шихся ранее для НР-контроля;

б) на основе статистического анализа качества проката разработать вероятностные модели и внедрить на производстве план контроля и алгоритм расчета приемочных чисел НРК, обеспечивавшие достоверность контроля большую, чем механические испытания, при одновременном уменьшении объема механических испытаний;

в) разработать и внедрить систему управления качеством проката с помощью НР-контроля, систему информационного обеспечения НР-контроля механических свойств проката, позволяющую автоматизировать разработку методик и операции НРК с помощью вычислительной техники.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. По данным рентгеноструктурного анализа и теоретически в работе впервые доказано, что признаком, характеризующим группу марок листового проката с идентичной зависимостью между механическими характеристиками и магнитными параметрами НРК, служит кристаллографическая текстура проката. Предложен способ группировки таких марок проката по технологическим признакам. Это позволило наряду с применением множественных корреляционных моделей, учитывающих химический состав и сечение проката, установить несколько десятков математических выражений вместо нескольких тысяч парных зависимостей, применявшихся ранее для НРК, и значительно сократило объем статистических данных, необходимых для разработки методик НРК.

Предложены план комплексного двухступенчатого контроля, включающего неразрушающие и механические испытания, и алгоритм расчета приемочных чисел НРК. При этом обеспечена достоверность контроля большая, чем при механических испытаниях, с одновременным уменьшением объема их в несколько раз.

Разработана и внедрена в рамках комплексной системы управления качеством продукции система управления механическими свойствами проката с помощью НР-контроля. Внедрены система и алгоритмы информационного обеспечения НРК с накоплением информационных массивов, их обработкой и контролем исполнения методик.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. Внедрение в системе управления качеством проката предложенных в работе способов построения аттестационных номограмм, расчета приемочных чисел и информационного обеспечения НРК позволило в десятки раз уменьшить объем статистических данных на ЧерМЗ при НР-контроле механических свойств более 600 типоразмеров и марок проката. Впервые практически внедрена автоматизация информационного обеспечения, разработки методик НР-контроля.

и документирования, выполняемых с помощью центральной ЭВМ и автономных вычислительных модулей на базе микропроцессов, установленных непосредственно на участках НР-контроля в прокатных цехах завода.

Внедрение НРК проведено для 0,60 млн. тонн холоднокатаного металла и электротехнической стали толщиной 0,5-2,0 мм; 1,49 млн. тонн горячекатаной стали толщиной 1,2-12,0 мм; 90 тыс. тонн термोупрочненной арматуры. Это позволило с 1978 года экономить 4,6 тыс. тонн годного металла и более 360 тысяч рублей в год, на 40 человек уменьшить штат лаборатории механических испытаний. Результаты работы использованы при подготовке технических условий Министерства черной металлургии СССР ТУ 14-I-1016-74 "Сталь деформированная. Метод неразрушающего магнитного контроля механических свойств", стандарта предприятия и при освоении магнитного НР-контроля механических свойств листового проката в ГДР по лицензионному соглашению с АН БССР.

АПРОБАЦИЯ. Основные положения работы доложены и обсуждены на 5-ти Всесоюзных конференциях и семинарах (Москва-1973, 1977, Череповец - 1974, Челябинск-1978, Красноярск-1980) и нескольких республиканских и отраслевых конференциях и семинарах (Минск-1973, 1975, 1978, Череповец-1976, 1978, 1980).

В 1978 году работа "Система НР-контроля механических свойств проката на ЧермЗ" награждена премией Всесоюзного Совета научно-технических обществ за лучшие разработки в области науки и техники, учрежденной в честь 50-летия Ленинского Комсомола.

ПУБЛИКАЦИЯ. Основное содержание диссертации изложено в 13 печатных работах и одном описании изобретения.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, пяти глав и общих выводов по работе. Выполнена на 139 страницах машинописного текста, содержит 12 таблиц, 43 рисунка, список литературы из 102 наименований работ отечественных и зарубежных авторов, приложения из актов внедрения результатов работы в промышленность с расчетами экономической эффективности.

ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе исследовали листовой и сортовой прокат из углеродистой и низколегированной стали марτεновского производства на листовых и сортовых станах 2000, 1700, 250, 350 ЧерМЗ.

Неоднородность механических, магнитных свойств, химического состава и структуры металла после различных технологических переделов изучали на пробах, отобранных с разных уровней по высоте, сечению слитка и длине раската.

Определение механических характеристик металла производили по ГОСТ 1497-61, ГОСТ 9019-59, ГОСТ 9454-60.

Измерение коэрцитивной силы, величины градиента остаточного локального магнитного поля листов и амплитуды 2-й гармоники пружков металла производили приборами КИМ-1, ИМА-2А, ИМА-4, ТИМА, КАП-1.

Статистическую обработку результатов измерений и анализ экспериментально установленных зависимостей между механическими и магнитными характеристиками, структурой, химическим составом и неоднородностью стали выполняли на ЭВМ "Минск-32" по программам, разработанным в Институте кибернетики АН Эстонской ССР.

Исследования текстуры прокатки и рекристаллизации металла выполняли на рентгеновском дифрактометре "Дрон-2".

Определение величины микронапряжений в металле производили методом аппроксимации линий (200) на рентгенограмме.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрено современное состояние вопроса о природе связи между структурой, механическими и магнитными свойствами стального проката. Поставлена задача изучения физических закономерностей, которым подчиняются зависимости между механическими характеристиками и магнитными параметрами НРК.

Рассмотрены статистические аспекты неразрушающего контроля механических свойств проката и существующие модели оценки достоверности контроля. Поставлена задача оптимизации двухступенчатого плана контроля, при котором металл, забракованный при НРК, окончательно аттестуют путем выборочных механических испытаний.

Кратко описаны принципы действия и особенности приборов типа КИМ-1, ИМА-2А, (ИМА-4), КАП-1.

Во второй главе "Природа связи между механическими и магнитными характеристиками стали" показано, что корреляционная связь между механическими характеристиками и магнитными параметрами НРК реализуется за счет изменения структурных факторов, одновременно влияющих на механические и магнитные характеристики.

Экспериментальными исследованиями углеродистых и низколегированных сталей установлено, что величина микронапряжений — один из важнейших параметров структуры металла, за счет которого реализуется связь между механическими и магнитными характеристиками стали. Различие в характере корреляционных зависимостей между механическими характеристиками и магнитными параметрами НРК у разных групп марок стали связано с отличиями в кристаллографической текстуре проката. Показания приборов КИМ-1, ИМА-2А, КАП-1 при тех же значениях механических характеристик выше на листах и прутках из сталей, у которых в направлении измерения магнитных характеристик преимущественно ориентированы кристаллографические векторы трудного намагничивания. Марки стали с одинаковой текстурой имеют идентичные зависимости между механическими характеристиками и магнитными параметрами НРК.

Установлено, что различия в текстуре кипящей, спокойной и полуспокойной листовой стали имеют место уже во время кристаллизации слитков в изложницах. Прокатка формирует в металле ярко выраженную текстуру и после одинакового отжига различия в зависимостях между механическими и магнитными характеристиками спокойных, кипящих и полуспокойных сталей весьма существенны.

Показано, что у одних и тех же марок холоднокатаной стали после разных режимов отжига текстура и, соответственно, зависимости между механическими и магнитными свойствами резко отличаются. Так, на холоднокатаной листовой стали 08кп, отожженной в колпаковой печи, показания ИМА-2А при том же уровне механических свойств в 1,4-1,8 раза выше, чем на той же стали после непрерывного отжига.

Проведенные исследования позволили объединить 68 исследованных марок листового проката по технологическим признакам в 9 групп с одинаковыми зависимостями между механическими характеристиками и показаниями магнитных приборов. (Табл. I.)

Таблица I. Группировка проката по технологическим признакам.

№ группы	Режим прокатки	Химический состав	Режим раскисления	Режим отжига	Марки стали
I	Горячекатаная	Углеродистая	Спокойная	-	1СП, 2СП, 3СП, 4СП, 5СП, 08СП, 10СП, 15СП, 20СП, 25СП, 30СП, 35СП, 40СП, 45СП, 50СП.
2	"	"	Полуспокойная	-	1ПС, 2ПС, 3ПС, 4ПС, 5ПС, 08ПС, 10ПС, 15ПС, 20ПС.
3	"	"	Кипящая	-	1КП, 2КП, 3КП, 08КП, 10КП, 15КП, 20КП.
5	Холоднокатаная	"	Спокойная	5-7 часов при T=700-750°C	1СП, 2СП, 3СП, 4СП, 5СП, 08СП, 10СП, 15СП, 20СП, 25СП, 30СП, 35СП, 40СП, 45СП, 50СП
6	"	"	Полуспокойная	"	1ПС, 2ПС, 3ПС, 4ПС, 5ПС, 08ПС, 10ПС, 15ПС, 20ПС.
7	"	"	Кипящая	"	1КП, 2КП, 3КП, 08КП, 10КП, 15КП, 20КП.
8	"	Углеродистая с легированием	Спокойная	"	08Ю
9	Горячекатаная	Низколегированная	"	Нормализация	17ГС, 17Г1С, 16ГС, 14Г2, 09Г2, 09Г2С, 10Г2С1

Объединение марок стали по технологическим групповым признакам позволяет распространять методику неразрушающего контроля, разработанную для нескольких марок стали, на все стали данной группы и значительно уменьшить объем статистических данных, необходимых для построения аттестационных номограмм.

Группировка марок сортового проката по технологическим признакам невозможна, так как его аксиальная текстура зависит от химического состава в большей степени, чем текстура листового проката.

В третьей главе "Обоснование применения множественных корреляционных моделей для описания связи между механическими и магнитными характеристиками стали" показано, что на выходные сигналы приборов КИЭМ-1, ИМА-2А, КАП-1, используемых для неразрушающего контро-

для механических свойств проката влияют условия измерения: краевой эффект, температура металла, зазоры между контролируемым металлом и станиной агрегата, поверхностью металла и преобразователем. Предложена конструкция преобразователя прибора КИЭМ-1 без рамочного феррозонда с пониженной чувствительностью к зазору между преобразователем и изделием.

Существенное влияние на показания приборов оказывает сечение контролируемого металла. Зависимость показаний приборов типа ИМА и коэрцитиметра КИЭМ-1 от толщины листового проката достаточно точно можно аппроксимировать выражением

$$\bar{I}(h) = C_1 h^\mu e^{-\frac{h}{\nu}} + C_2, \quad (1)$$

где: C_1, C_2, μ, ν - коэффициенты, определяемые экспериментально.

Учет зависимости (1) показаний приборов от толщины листа h позволяет установить вид корреляционной модели, описывающей семейство линий регрессии механических характеристик y по $\bar{I}$:

$$y(\bar{I}, h) = \alpha_0 + \alpha_1 \bar{I} + \alpha_2 h + \alpha_3 \bar{I}h + \alpha_4 h^{\mu+1} e^{-\frac{h}{\nu}} \quad (2)$$

для диапазона толщины контролируемого металла от 0,5 до 50 мм. На участке кривой $\bar{I}(h)$, и для приборов типа ИМА, где нет максимума в зависимости показаний приборов от толщины, применима упрощенная корреляционная модель:

$$y(\bar{I}, h) = \alpha_0 + \alpha_1 \bar{I} + \alpha_2 h + \alpha_3 \bar{I}h + \alpha_4 h^2 \quad (3)$$

Влияние химического состава металла на связь между механическими характеристиками и магнитными параметрами НРК можно учесть с помощью множественных корреляционных моделей вида

$$y(\bar{I}, h, \mathcal{Z}) = y(\bar{I}, h) + \sum_{i=1}^m \alpha_i \mathcal{Z}_i \quad (4)$$

где $\mathcal{Z}_i$ - содержание легирующих элементов в контролируемом металле, известное при НРК.

Расчет механических характеристик по модели (4) можно делать с помощью номограмм, аналогичных приведенной на рисунке 1.

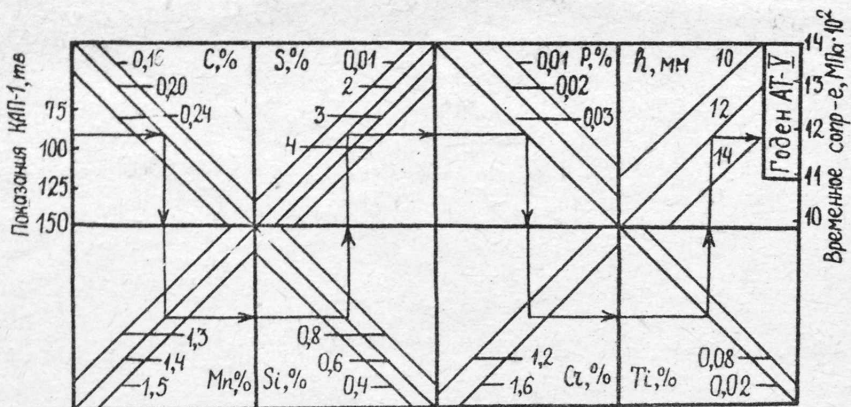


Рис. 1. Номограмма для определения временного сопротивления сталей 20ХГ2Т, 23ХГ2Т по показаниям прибора КАП-1.

Использование модели (4) вместо (2) или (3) уменьшает среднеквадратичную погрешность НРК механических свойств листового проката на 10-20%, сортового проката - на 20-40%.

Применение установленных в работе нескольких десятков множественных корреляционных зависимостей вида (2-4) вместо нескольких тысяч парных зависимостей между параметрами НРК и механическими характеристиками наряду с группировкой марок проката по технологическим признакам в десятки раз ускоряет разработку методик НРК.

В четвертой главе "Достоверность неразрушающего контроля механических свойств проката" рассмотрены пути обеспечения достоверности при комплексном двухступенчатом контроле механических характеристик, когда металлы, забракованный при НРК окончательно аттестуют после выборочных механических испытаний. Показано, что эффективность двухступенчатого контроля зависит от приемочных чисел $NRK_{пр}$ и числа образцов N , отбираемых от партий металла, забракованных при НРК (рис. 2).

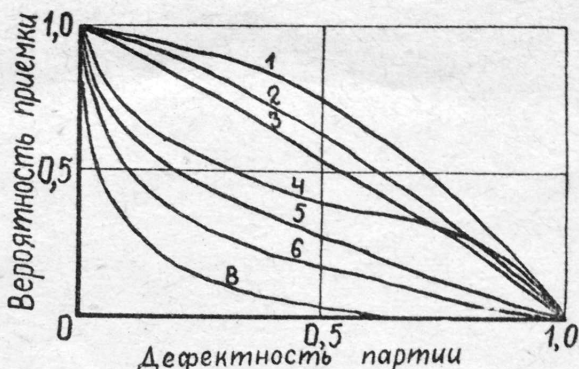


Рис. 2. Оперативные характеристики двухступенчатого контроля.

$Y_{пр}$ - приемочное число механических испытаний; S_{yx} - средне-квадратичная погрешность моделей (2-4). Кривые соответствуют:

а) $X_{пр} = Y_{пр}$: 1 - $n = 1$; 2 - $n = 2$; 3 - $n = 4$;

б) $X_{пр} = Y_{пр} + S_{yx}$: 4 - $n = 1$; 5 - $n = 2$; 6 - $n = 4$;

в) оперативная характеристика применяемого на ЧерМЗ двух - ступенчатого плана контроля.

При внедрении НРК механических свойств проката достаточно оценить достоверность контроля по альтернативному признаку с помощью введенной В.Н. Волченко матрицы сравнительной достоверности, приняв за эталонный метод механические испытания (табл.2). Риск поставщика α_n соответствует вероятности событий $x < x_{пр} | y > y_{пр}$, риску потребителя β_n - вероятности события $x \geq x_{пр} | y < y_{пр}$. Зная

Таблица 2. Матрица оценки сравнительной достоверности НРК по числу проверенных партий металла (по альтернативному признаку).

Метод контроля и оценка его результатов для $n_{\Sigma} = n_2 + n_n + n_d + n_{\beta}$		Исходный (эталонный) метод, выборочные механические испытания	
		число эталонно-годных	число эталонно-негодных
		$n_{\Sigma 2} = n_2 + n_d$	$n_{\Sigma n} = n_n + n_{\beta}$
Пробный метод, неразрушающие испытания	число годных	дважды годные n_2	недообработка n_{β}
	число негодных	перебраковка n_d	дважды негодные n_n

распределения механической характеристики y и результатов НРК x ,

значения α_n и β_n при НРК можно вычислить, интегрируя двумерное нормальное распределение $p(x, y)$:

$$\alpha_n = \int_{-\infty}^{x_{np}} \int_{y_{np}}^{\infty} p(x, y) dx dy; \quad (5)$$

$$\beta_n = \int_{x_{np}}^{\infty} \int_{-\infty}^{y_{np}} p(x, y) dx dy \quad (6)$$

с помощью известных таблиц.

Приемочные числа НРК x_{np} выбирают, решая уравнение:

$$\beta_n + \beta_v = \beta_p$$

где: β_v - риск потребителя при механических испытаниях металла, забракованного при НРК,

β_p - риск потребителя при механических испытаниях до внедрения НРК.

Число проб, отбираемых для механических испытаний металла, забракованного при НРК, выбирают так, чтобы обеспечить максимальное уменьшение объема механических испытаний.

Установленный в работе план двухступенчатого контроля с $n = 3; x_{np} = y_{np} + k S_{yx}$ при $k = 1, 4, 2, 5$ (см. рис. 2) обеспечивает достоверность контроля большую, чем выборочные механические испытания, одновременно уменьшая объем механических испытаний на 60-80%.

В пятой главе "Разработка методик неразрушающего контроля механических свойств проката" приведена совокупность операций, которую включает разработка каждой методики неразрушающего контроля механических свойств проката:

1. Изучение качества контролируемой продукции.
2. Оценка неоднородности механических характеристик в пределах контролируемого объекта (листа, партии, плавки).
3. Группировка проката с одинаковыми зависимостями между механическими и магнитными свойствами по технологическим признакам.
4. Набор статистических данных, расчет аттестационных номограмм.
5. Расчет приемочных чисел НРК, обеспечивающих требуемую достоверность контроля.

Показано, что при условии технического и метрологического обеспечения НРК, разработка и использование методики НРК



Рис. 3. Система информационного обеспечения НК на Череповецком металлургическом заводе. Звездочками отмечены операции, которые автоматизируются после внедрения микро-ЭВМ.

сводится к накоплению и математической обработке информационных массивов по предложенным в работе алгоритмам (рис.3). Описана применяемая на ЧерМЗ автоматизированная система информационного обеспечения НРК, включающая центральную ЭВМ "Минск-32" и автономные вычислительные модули на базе микро-ЭВМ "ЭЛЕКТРОНИКА С5-12", расположенные на участках НРК в цехах завода. Применение вычислительной техники позволяет автоматизировать все этапы НРК: накопление информационных массивов, расчет корреляционных моделей (2-4) и вычисление механических характеристик по величине параметров НРК, оформление документов.

Кратко описаны разработанные и внедренные на Череповецком металлургическом заводе методики НРК механических свойств проката с помощью приборов ИМА, КИЭМ-1, КАП-1.

Приведены примеры использования НРК для управления уровнем механических свойств проката. Так, экспрессность неразрушающего контроля позволила за счет своевременной корректировки режима прокатки и термической обработки на 16 тысяч тонн в год увеличить выход термоупрочненной арматуры класса прочности АТ-5 по ГОСТ 10384-74. Применение установленных в работе зависимостей между параметрами НРК перед обработкой, механическими свойствами стали после термической обработки и режимом обработки позволило назначать режим обработки хромистых сталей по величине параметров НРК и исключить брак по механическим свойствам.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Обзор работ по НРК за последние десятилетия показывает необходимость установить закономерности, которым подчиняются зависимости между механическими и магнитными характеристиками стали и предложить оптимальный план комплексного контроля при последовательном использовании НРК и механических испытаний.

2. В диссертации показано, что существуют группы марок листового проката, у которых связь между механическими характеристиками и параметрами НРК можно аппроксимировать одинаковыми уравнениями и регрессии.

3. С помощью известной методики рентгеноструктурного анализа впервые экспериментально установлено, что структурным признаком, характеризующим группу марок стали с идентичной зависимостью между механическими характеристиками и параметрами НРК, является

специфическая для данной группы кристаллографическая текстура, а к изменению характера связи между механическими и магнитными характеристиками приводят разные режимы технологических операций. Это позволило 68 исследованных в работе марок листового проката объединить по технологическим признакам в 9 групп с одинаковыми зависимостями между механическими характеристиками и магнитными параметрами НРК.

4. Группировка сортового проката по технологическим признакам невозможна, так как его аксиальная текстура зависит от химического состава металла в большей степени, чем текстура листового проката.

5. Множественный корреляционный анализ результатов испытаний более 2000 плавок стали показывает, что использование моделей, учитывающих кроме магнитных параметров химический состав стали, уменьшает среднеквадратическую погрешность НРК механических свойств листового проката на 10-20%, сортового проката - на 20-40%.

6. Объем параллельных механических испытаний и магнитных измерений, необходимых для разработки методики НРК проката разной толщины, можно в несколько раз уменьшить за счет применения установленной в работе корреляционной модели, которая описывает связь механических и магнитных характеристик в диапазоне толщин контролируемого металла от 0,5 до 50 мм.

7. В течение 1972-1980г.г. в работе установлено несколько десятков множественных корреляционных моделей, которые описывают несколько тысяч парных зависимостей между параметрами НРК и механическими характеристиками проката разных марок, толщины и химического состава. Это позволило в десятки раз ускорить разработку методик НРК и применять вычислительную технику для расчета механических характеристик по величине параметров НРК.

8. Анализ оперативных характеристик показывает, что при комплексном двухступенчатом контроле, когда металл, бракуемый при НРК, окончательно аттестуется путем механических испытаний, можно повысить эффективность контроля за счет увеличения числа проб, отбираемых во второй ступени контроля, или за счет повышений приемочных чисел НРК, но это ведет к росту объема механических испытаний.

9. Предложенные в работе план двухступенчатого контроля и алгоритм расчета приемочных чисел НРК могут обеспечить достоверность двухступенчатого контроля большую, чем достоверность прямых механических испытаний, при одновременном уменьшении объема механических испытаний на 60-80%.

10. Показано, что при условии технического и метрологического обеспечения разработка методик НРК сводится к накоплению и математическому анализу информационных массивов по предложенным в работе алгоритмам. Это позволило автоматизировать этапы разработки и эксплуатации методики НРК с помощью средств вычислительной техники.

11. В условиях металлургического предприятия наиболее рациональной является предложенная в работе система информационного обеспечения НРК, включающая мощную центральную ЭВМ и автономные вычислительные модули на базе микро-ЭВМ на участках НРК в прокатных цехах завода.

12. В работе решены основные задачи управления качеством проката:

- статистический анализ качества проката;
- статистическое регулирование уровня механических свойств проката с помощью корреляционных моделей и контрольных карт;
- оценка достоверности неразрушающего контроля;
- вероятностное обоснование планов контроля.

13. Проведенные в работе исследования позволили на Череповецком металлургическом заводе впервые в черной металлургии перейти от внедрения отдельных методик НРК к массовому контролю механических свойств проката неразрушающими методами и с 1978 года получать экономический эффект более 360 тысяч рублей в год.

Основное содержание диссертации изложено в следующих печатных работах:

1. Контроль механических свойств холоднокатаной листовой малоуглеродистой стали по величине градиента остаточного локального магнитного поля. / М.А.Мельгуй, Г.А.Пятунин, Н.А.Чеснов и др. - В кн. Неразрушающие методы и средства контроля и их применение в промышленности. - Минск: Наука и техника, 1973, с. 91-97.
2. Пятунин Г.А., Ерохов Н.А., Степанов Н.В. Выбор доверительных интервалов годности металла при контроле механических свойств стали магнитным методом. - В кн. Методы и структурные исследования по физике твердого тела. - Вологда, 1974, с. 23-29.
3. Пятунин Г.А. О методике набора статистических данных для внедрения магнитного контроля механических свойств. - В кн. Многопараметровый неразрушающий контроль ферромагнитных материалов и изделий методом высших гармоник. - Минск: Наука и техника, 1975, с. 47-49.

4. Пятунин Г.А. О выборе браковочных критериев при контроле механических свойств стали магнитным методом. - В кн. Опыт применения неразрушающих методов контроля на предприятиях черной металлургии. - М.: Ин-т Черметинформация, 1973, с. 14.
5. Пятунин Г.А., Бида Г.В. Учет влияния толщины листового проката при магнитном контроле механических свойств стали. - Дефектоскопия, 1978, № 10, с. 24-28.
6. Пятунин Г.А., Славов В.И. Природа связи между механическими и магнитными свойствами углеродистой стали. - Дефектоскопия, 1978, № 11, с. 98-103.
7. Зацепин Н.Н., Шапоров Б.Д., Пятунин Г.А. Неразрушающий контроль прочностных свойств термоупроченной арматуры с помощью прибора КАП-I. - В кн. Новые физические методы и средства контроля промышленных изделий. - Минск: Изд. АН БССР, 1978, с. 45-48.
8. Неразрушающий контроль механических свойств проката на Череповецком металлургическом заводе. / Н.Г.Бочков, Н.А.Чеснов, Г.А.Пятунин и др. - В кн. Новые физические методы и средства контроля и их применение в промышленности. - Минск: Наука и Техника, 1978, с. 105-107.
9. Пятунин Г.А., Ерохов Н.А., Чеснов Н.А. Надежность и метрологическое обеспечение неразрушающего контроля механических свойств проката. - Материалы конференции "Внедрение достижений науки и техники на предприятиях черной металлургии и в учебных заведениях области. - Череповец, 1978, с. 15-16.
10. Чеснов Н.А., Пятунин Г.А., Славов В.И. Неразрушающий и статистический контроль механических свойств сортового проката. - Сталь, 1980, № 8, с. 728-729.
11. Тимошенко Н.Н., Пятунин Г.А., Славов В.И. К методу магнитного контроля механических свойств листового проката. - Заводская лаборатория, 1981, № 2, с. 61-63.
12. Зацепин Н.Н., Пятунин Г.А., Славов В.И. Неразрушающий контроль механических свойств сортового проката прибором КАП-I. - Дефектоскопия, 1981, № 3, с. 27-32.
13. Микро-ЭВМ в системе управления качеством. / В.И. Березин, Ю.И. Булатов, Г.А.Пятунин и др. - Металлург, 1981, № 6, с. 10-12.
14. Авт. свид. № 898358 (СССР), Коэрцитиметр / Пятунин Г.А., Березин В.И. - Бюлл. изобр. 1982, № 2, с. 206.

