

6
A.66

У С С Р

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
КРИВОРОЖСКИЙ ГОРНОРУДНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Аспирант П.А.Руденко

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГО-
ВЕЧНОСТИ БУРОВЫХ СТАЛЕЙ И ДЕТАЛЕЙ БУРИЛЬНЫХ М А Ш И Н

172. Горные машины

А в т о р е ф е р а т

диссертации, представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Кривой Рог
1971

+

У С С Р

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
КРИВОРОЖСКИЙ ГОРНОРУДНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Аспирант П.А.Руденко

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГО-
ВЕЧНОСТИ БУРОВЫХ СТАЛЕЙ И ДЕТАЛЕЙ БУРИЛЬНЫХ М А Ш И Н

172. Горные машины

А в т о р е ф е р а т

диссертации, представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Кривой Рог
1971



В В Е Д Е Н И Е

Директивами XXIV съезда КПСС по девятому пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971-1975 гг. намечен дальнейший рост темпов развития горнодобывающей промышленности.

Успешное решение этой задачи требует наличия мощного парка высокопроизводительных и долговечных горных машин и, прежде всего, бурильных.

В настоящее время на горнодобывающих предприятиях Советского Союза количество эксплуатируемых перфораторов и буровых станков превышает сто тысяч штук. Что же касается бурового инструмента, то годовая потребность в нем выражается десятками миллионов штук.

Одним из основных путей снижения затрат на эксплуатацию при одновременном росте темпов добычи руды является совершенствование буровой техники. Поэтому долговечность машин и инструмента является одним из важных факторов, обеспечивающих рост производительности труда и снижение себестоимости добываемой руды. Это ставит на повестку дня разработку конструктивных и технологических мероприятий, способствующих повышению долговечности тяжело нагруженных деталей бурильных машин и инструмента.

Исследования и некоторые практические мероприятия, выполненные в последние годы, убеждают в том, что для дальнейшего совершенствования бурильной техники необходима разработка новых средств и способов повышения долговечности.

Не менее важной остается также проблема разработки средств и методов исследования эффективности новых способов повышения долговечности, так как от этого зависит продолжительность периода освоения новых образцов бурильных машин.

В работе рассмотрены пути повышения долговечности за счет новых способов упрочнения деталей и инструмента, а также за счет оптимизации точности их изготовления.

Предложен и исследован новый низкотемпературный способ упрочнения, позволивший в 1,2-1,75 раза повысить несущую способность деталей и инструмента.

Разработан ряд методик расчета бурильных машин, обеспечивающих повышение их надежности при одновременном улучшении технико-экономических показателей.

Разработаны методики ускоренных испытаний на выносливость, позволяющие в несколько раз сократить длительность испытаний.

На основании проведенных исследований разработаны новые технологические процессы упрочнения буровых штанг и геликоидальных гаек перфораторов.

Диссертационная работа изложена в шести главах и выводах на 147 страницах машинописного текста, в том числе 10 таблиц и 55 рисунков.

Приложены список использованной литературы из 71 наименования и 9 приложений.

ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Долговечность деталей и инструмента бурильных машин определяется двумя основными факторами:

- 1) соотношением прочностных характеристик разрушаемой породы, с одной стороны, и инструмента и деталей бурильной машины - с другой;
- 2) эксплуатационно-энергетическими параметрами машины (энергия и частота ударов, усилие подачи и др.).

Впервые вопрос долговечности деталей бурильных машин в зависимости от свойств горных пород был поставлен и детально исследован профессором Бегаговым И.А., который установил дифференцированные по крепости пород сроки службы деталей ходовых перфораторов и предложил ряд решений, позволивших в несколько раз повысить сроки службы наиболее ответственных деталей. Однако, если стальные детали упрочняются различными видами термической и химико-термической об-

работки, а также металлопокрытиями, то детали бурильных машин, изготавливаемые из цветных металлов (бронза Бр 0Ф7-0,2), долгое время оставались вне поля зрения исследователей, и поэтому до настоящего времени какие-либо способы упрочнения бронзовых деталей перфораторов не применяются. Как показали шахтные испытания, наиболее слабым звеном перфоратора является поворотный механизм, в частности, геликоидальная гайка, срок службы которой при бурении крепких пород не превышает 100 часов.

Долговечность буровых штанг, остается всегда ниже сроков службы деталей перфораторов и часто не превышает 30-40 минут работы.

Затраты только на буровые штанги в целом по Союзу превышают 7 млн. рублей в год.

Вопросам упрочнения буровых штанг посвящено много работ как в отечественной, так и в зарубежной литературе. Исследования в этой области ведутся по трем направлениям: упрочнение механическими способами, упрочнение термическими способами и упрочнение химико-термическими способами. Каждому из этих способов присущи достоинства и недостатки. Не случайно, поэтому, в литературе имеются противоречивые сведения относительно наиболее рационального способа упрочнения буровых штанг. Это обстоятельство побуждает искать новые способы упрочнения, которые устранили бы или уменьшили недостатки существующих способов.

Одним из весьма существенных моментов при выборе оптимальных способов и режимов упрочнения буровых штанг является методика их испытаний.

Существующие способы испытаний на выносливость требуют большого количества образцов, а их длительность исчисляется иногда в месяцах. Надежного метода ускоренного определения усталостных характеристик буровых сталей не существует. Все это затрудняет период освоения новых материалов и методов упрочнения как буровых штанг, так и деталей перфораторов, работающих на выносливость.

Долговечность, производительность, шумовые, вибрационные и другие характеристики бурильных машин в большой степени зависят от точности их изготовления. Однако до последнего времени этому

вопросу не уделялось должного внимания. В связи с этим возникла острая необходимость в проведении таких исследований и разработке инженерных методов расчета на точность для наиболее массовых машин горного машиностроения - буровых.

Конструктивному совершенствованию и повышению долговечности деталей буровых и других горных машин посвящен ряд капитальных работ, выполненных О.Д.Алимовым, Е.В.Александровым, И.А.Бегаловым, П.М.Шилковым, В.И.Солодом, Г.И.Солодом, В.Ф.Горбуновым, И.А.Медведевым, К.И.Ивановым, Н.Н.Снежковым, А.Г.Дядурой, А.И.Бажалом, Б.Г.Бовдуем и др.

Большой вклад в науку об изнашивании деталей и повышении долговечности машин внесли М.М.Хрущев, И.В.Крагельский, Д.Н.Горкунов, Ю.П.Петров, Г.А.Прейс, И.М.Любарский, Ю.А.Евдокимов, И.Э.Билик, А.В.Ичинадзе и др.

Одним из наименее изученных вопросов при конструировании буровой техники является вопрос выбора радиальных зазоров в сопряжениях и угловых зазоров в кинематических парах цепи вращения бура.

Нормирование зазоров, осуществляемое в настоящее время конструкторами на основании опыта предшествующих конструкций или по чисто интуитивным соображениям не отвечает современному состоянию техники и уровню науки.

В связи с этим задачи настоящего исследования сформулированы следующим образом:

1. Разработать и исследовать новый способ упрочнения, который, в отличие от существующих, позволит бы, с одной стороны, повысить несущую способность буровой стали, а с другой - повысить износостойкость как черных, так и цветных сплавов.
2. Разработать методику ускоренных испытаний на выносливость, обеспечивающую достаточную точность получаемых результатов при минимальных затратах времени и ограниченном количестве образцов или натуральных деталей.
3. Аналитически исследовать угловые зазоры в шлицевых, геликоидальных, торцевых шлицевых, шестигранных и храповых сопряжениях перфораторов и разработать методику расчета кинематической

цепи вращения бура с учетом потерь в указанных сопряжениях.

4. Разработать методику расчета допустимых несоосностей, эксцентриситетов и биений в сопряжениях, позволяющую с любой наперед заданной надежностью безаклинивания проектировать новые и совершенствовать существующие конструкции перфораторов.

5. Разработать технологии упрочнения геликоидальных гаек перфораторов и исследовать эффективность предложенного способа в промышленных условиях.

6. Исследовать точность геликоидальных сопряжений перфораторов с упрочненным и неупрочненным профилем шлицев, а также фактическую точность положения взаимосвязанных поверхностей в сопряжениях перфораторов.

7. Произвести проверку полученных результатов на заводе горного оборудования "Коммунист" и на шахтах Криворожского железорудного бассейна и дать технико-экономический анализ выполненных исследований.

ГЛАВА II. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной механической характеристикой прочности деталей и инструмента буровых машин является предел выносливости.

С целью сокращения длительности испытаний на выносливость было разработано два новых метода:

- 1) испытания при ограниченном количестве образцов;
- 2) испытания ступенчато-увеличивающейся нагрузкой.

Оба метода базируются на использовании средневероятных параметров кривых, представленных нами в виде номограмм, полученных по результатам исследования более 2000 кривых выносливости.

Более целесообразным оказался метод, основанный на испытании единственного образца ступенчато-увеличивающейся нагрузкой. Для определения предела выносливости по этому методу выведена формула

$$\sigma_{-1} = \sigma_{-1}'' - (\sigma_{-1}'' - \sigma_{-1}') \frac{1 - \sum \left(\frac{n_i}{N_i}\right)''}{\sum \left(\frac{n_i}{N_i}\right) - \sum \left(\frac{n_i}{N_i}\right)'}, \quad (I)$$

где G_1, G_2 - горизонтальные уровни соответственно нижней и верхней условных кривых;

$\sum (\frac{n_i}{N_i}), \sum (\frac{n_i}{N_i})$ - суммы относительных повреждений соответственно нижней и верхней условных кривых.

Усталостные испытания проводились на машине МУИ-6000.
База испытаний - $(5+10) \cdot 10^6$ циклов.

Исследованиям были подвергнуты стали, получившие широкое распространение при изготовлении буровых штанг и деталей перфораторов: 55С2, 12ХНЗА, У8, 40Х, 45 и др.

Упрочнение образцов осуществлялось на токарно-винторезном станке SV18R с помощью специально изготовленного трехроликового накатного приспособления. Диапазон исследованных давлений на ролике 0-6300 н. Диапазон исследованных температур упрочнения 25-675°C.

Глубина и интенсивность упрочнения как на стальных, так и на бронзовых образцах контролировалась на приборе ПМТ-3. Количество наколов для получения одного значения микротвердости было принято равным для стальных образцов 10, для бронзовых - 12. Относительная ошибка опыта при измерении микротвердости не превышала 6,5% для стальных образцов и 10,5% для бронзовых образцов. Чистота поверхности стальных и бронзовых образцов как до, так и после упрочнения контролировалась на микроскопе МИС-II.

При исследовании точности деталей геликоидального сопряжения были применены методы дифференцированного и комплексного контроля.

Дифференцированному контролю подвергались средний диаметр и угол профиля шлицев геликоидальной гайки.

Комплексному контролю подвергались угловой, радиальный и осевой зазоры в геликоидальном сопряжении, а также пятно контакта на рабочей поверхности шлицев.

В качестве измерительных инструментов использовался большой инструментальный микроскоп БМИ-I и оптическая делительная головка ОДГ.

При исследовании поэлементных и комплексных параметров точности во всех случаях производились массовые измерения деталей,

поступивших на сборку.

Для получения устойчивых показателей точности и характеристик рассеивания размеров объем выборки по каждому исследованному параметру находился в пределах 80-100 шт. Общее количество произведенных измерений - около 2800.

Геликоидальные гайки с упрочненным профилем шлицев проходили промышленные испытания на перфораторах при бурении пород крепостью $f = 5+10$ по шкале Протодьяконова. Долговечность гаек оценивалась по скорости нарастания углового зазора.

При выполнении лабораторных исследований экспериментальные данные подвергались обработке методами математической статистики. Обработка лабораторных экспериментальных данных производилась на ЭЦВМ "ПромИнь".

ГЛАВА III. РАЗРАБОТКА НОВОГО СПОСОБА УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТОВ

В данной главе на основании энергетической теории прочности металлов, а также теории дислокаций рассмотрены предпосылки возможных способов повышения прочности металлов. Высказана гипотеза о том, что повышение энергоемкости металла может быть достигнуто деформированием его в термодинамически неравновесном состоянии. Резкое повышение плотности дислокаций при деформировании металла в подогретом состоянии и несоизмеримо малая по сравнению со скоростью охлаждения на воздухе скорость выхода дислокаций на поверхность металла создают реальную предпосылку для использования этого явления в промышленных целях, в частности, для повышения прочности тяжело нагруженных деталей и инструмента бурильных машин.

С повышением температуры упрочнения непроизводительные затраты на упругую деформацию уменьшаются, а доля энергии, идущая на полезную пластическую деформацию, увеличивается.

Однако, температура деформации не должна превышать температуру рекристаллизации, выше которой упрочняющий эффект исчезает.

Таким образом, сущность предложенного низкотемпературного термомеханического способа упрочнения^{х)} заключается в том, что детали перед деформированием предварительно нагреваются до темпе-

х) И.А.Бегалов, П.А.Руденко, А.И.Бойко, О.И.Антоник. Способ упрочнения поверхности деталей. Авторское свидетельство № 244360, 1969.

ратуры, не превышающей температуру рекристаллизации. Для осуществления указанного способа упрочнения необходимо располагать оборудованием и оснасткой, которые можно подразделить на две группы: механическое оборудование и нагревательные устройства.

В качестве механического оборудования и оснастки можно применять все те средства, которые применялись до настоящего времени для обычного упрочнения наклепом при комнатной температуре.

В качестве нагревательных устройств и контрольной аппаратуры применимы все те средства, которые используются при обработке металлов резанием в подогретом состоянии.

В случае массового производства деталей представляется целесообразным создание специального оборудования, в котором механические, нагревательные и контрольные устройства будут соединены в одно целое.

Разработанный способ предназначен:

1) для более эффективного (по сравнению с наклепом в холодном состоянии) повышения усталостной прочности;

2) для повышения твердости и износостойкости поверхности деталей при мягкой сердцевине.

Применительно к деталям и инструментам бурильных машин разработана классификация способов нагрева и контроля температур при термомеханическом упрочнении.

ГЛАВА IV. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ УПРОЧНЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ И СОПРЯЖЕНИЙ ПЕРФОРАТОРОВ

Тяжелые условия работы геликоидальных сопряжений перфораторов, а именно: высокие скорости скольжения, большая частота ударов, переменный режим работы и интенсивный абразивный износ предъявляют жесткие требования к точности, контролю и технологии их изготовления. Точность геликоидальных сопряжений определяется отдельными параметрами, количество которых доходит до десяти. Ни каждый из них в отдельности, ни все вместе взятые параметры не дают однозначного ответа о точности сопряжения в целом. Поэтому предложены^{х)} комплексные показатели точности шлицевых и геликоидальных сопряжений, которые характеризуют определенные эксплуатационные показатели этих сопряжений.

х) Комплексные показатели точности шлицевых и геликоидальных сопряжений перфораторов предложены И.А.Бегаловым, А.И.Бойко и О.И.Антонюком при участии автора.

Угловой зазор характеризует величину потери угла поворота бура в указанных сопряжениях.

Радиальный зазор характеризует радиальный люфт между сопряженными деталями, в пределы которого должна вписываться несоосность поверхностей одних деталей относительно других.

Осевой зазор определяет мертвый ход поршня.

Указанные зазоры являются одним из источников шума и вибрации. Поэтому максимальные значения этих зазоров в новых перфораторах должны ограничиваться определенными числовыми значениями.

В таблице I приведены расчетные формулы для определения максимальных значений комплексных показателей точности шлицевых и геликоидальных сопряжений перфораторов.

Таблица I

Параметр сопряжения	Вид сопряжения	Расчетные формулы
Угловой зазор	Шлицевое, геликоидальное	$\alpha_{max} = 360^\circ \frac{\Delta_{max}}{\pi D_{8 min}} \quad (2)$
Радиальный зазор	Шлицевое	$S_{r max} = \frac{\Delta_{max}}{\cos \frac{180^\circ}{Z}} \quad (3)$
	Геликоидальное	$S_{r max} = \Delta_{max} \frac{\cos \left(\frac{90^\circ}{Z} + \frac{\beta}{2} \right)}{\sin \left(\frac{360^\circ}{Z} + \frac{\beta}{2} \right)} \quad (4)$
Осевой зазор	Геликоидальное	$S_o max = \frac{\Delta_{max}}{\sin \omega} \quad (5)$

В формулах (2-5) буквами обозначено:

Δ_{max} - максимальный зазор между боковыми сторонами шлицев;

$D_{8 min}$ - минимальный размер наружного диаметра шлицев на геликоидальном стержне или на хвостовике поршня;

Z - количество шлицев;

β - угол профиля шлицев;

ω - угол наклона геликоидальной нарезки.

Угловые зазоры в сопряжениях перфоратора приводят к тому, что фактический угол поворота бура ψ всегда оказывается меньше теоретического θ , что можно представить в следующем виде.

$$\psi = \theta - \sum_1^n \alpha_i \quad (6)$$

где $\sum_1^n \alpha_i$ - сумма средневероятных угловых зазоров в кинематической цепи вращения бура;
 n - количество угловых сопряжений в цепи вращения бура.

Средневероятные угловые зазоры определяются по следующим выведенным нами формулам.

В храповом механизме

$$\alpha_1 = \frac{90^\circ}{Z} \left\{ 1 + \left[\frac{D}{d} \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{180^\circ}{Z} \right) - \frac{D-d}{2\pi d} Z \right] \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{180^\circ}{Z} \right) \right\} \quad (7)$$

где D - диаметр зубцов по впадинам храпового кольца (наружный диаметр);
 d - диаметр зубцов по выступам храпового кольца (внутренний диаметр);
 Z - количество зубцов в храповом кольце.

В шлицевом и геликоидальном сопряжениях

$$\alpha_{2,3} = 90^\circ \frac{\Delta}{\pi D_e} \quad (8)$$

где Δ - зазор между боковыми сторонами шлицев;
 D_e - наружный диаметр шлицев на геликоидальном стержне или на хвостовике поршня.

В торцовом шлицевом сопряжении

$$\alpha_4 = \alpha_{\epsilon_1} - \alpha_{\epsilon} \quad (9)$$

где α_{ϵ_1} - торцовый угол шлицевой впадины;
 α_{ϵ} - торцовый угол выступа шлица.

В шестигранном сопряжении

$$\alpha_5 = 30^\circ \left(\frac{S_{гр}}{S_5} - 1 \right) \quad (10)$$

где $S_{гр}$ - размер шестигранника гранбуksы;
 S_5 - размер шестигранника на хвостовике бура.

С учетом потерь в угловых сопряжениях уравнение кинематической цепи вращения бура приобретает вид:

$$n_{\delta} = n_n \left(\frac{\ell}{\pi D_e} \operatorname{tg} \omega - \frac{\sum_1^n \alpha_{i\text{cp}}}{360^\circ} \right) \quad (11)$$

Поле рассеивания действительных чисел оборотов бура определяется по формуле

$$\delta_n = n_{\delta\text{max}} - n_{\delta\text{min}} \quad (12)$$

где $n_{\delta\text{max}}$ - максимально возможное число оборотов бура

$$n_{\delta\text{max}} = n_n \frac{\ell_{\text{max}}}{\pi D_{e\text{min}}} \operatorname{tg} \omega \quad (13)$$

$n_{\delta\text{min}}$ - минимально возможное число оборотов бура.

$$n_{\delta\text{min}} = n_n \left(\frac{\ell_{\text{min}}}{\pi D_{e\text{max}}} \operatorname{tg} \omega - \frac{\sum_1^n \alpha_{i\text{max}}}{360^\circ} \right) \quad (14)$$

В формулах (11), (12) и (14) буквами обозначены:

n_n - число ударов поршня в минуту;
 ℓ - ход поршня;
 D_e - наружный диаметр шлицев на геликоидальном стержне;
 ω - угол спирали по наружному диаметру шлицев на геликоидальном стержне;
 $\sum \alpha_{i\text{cp}}, \sum \alpha_{i\text{max}}$ - средневероятное и максимальное значение суммы мгновенных зазоров в угловых сопряжениях цепи вращения бура.

Расчеты показывают, что рассеивание чисел оборота бура у новых перфораторов достигает существенной величины. Например, для перфоратора ПР22 число оборотов бура может принимать значения от 0,53 до 1,47 средневероятного значения. Последнее не может не сказаться на производительности бурения.

При проектировании новых типов перфораторов оптимальный угол спирали по наружному диаметру шлицев на геликоидальном стержне определяется по формуле

$$\omega = \operatorname{Arctg} \left(\frac{v_{\text{полт}} + \sum_1^n \alpha_i}{360^\circ} \cdot \frac{\pi D_e}{\ell} \right) \quad (15)$$

где β_{opt} - оптимальный угол поворота бура, при котором достигается наибольшая скорость бурения.

Конструкция любого перфоратора состоит из ряда взаимосвязанных деталей, находящихся внутри друг друга и образующих поступательные, вращательные и вращательно-поступательные сопряжения.

Ввиду наличия несоосностей отдельных поверхностей сопрягаемых деталей даже при соблюдении расчетных зазоров, в сопряжениях может иметь место непроворачиваемость или мгновенные заклинивания деталей, снижающие механический к.п.д. перфоратора и являющиеся дополнительным источником вибрации.

Допустимая несоосность отдельных поверхностей деталей перфораторов определяется исходя из собираемости и проворачиваемости деталей в двух взаимосвязанных сечениях, рассматриваемых совместно и называемых расчетным контуром.

Признаком расчетного контура является наличие в обоих сечениях двух общих деталей, одна из которых охватывает все остальные детали рассматриваемых сечений, другая - является центральной деталью.

Сумма допустимых несоосностей поверхностей во всех сопряжениях расчетного контура определяется по формуле

$$\sum_1^m H_i = 0,17 \sum_1^n \left[3(\Delta_a - \Delta_b) - Z \sqrt{\delta_a^2 + \delta_b^2} \right]_i \quad (16)$$

где Δ_a, Δ_b - координаты середин полей допусков соответственно отверстия и вала в i -том сопряжении;

δ_a, δ_b - половины полей допусков соответственно отверстия и вала в i -том сопряжении;

Z - аргумент табулированной функции Лапласа, определяемый в зависимости от принятой надежности незаклинивания;

m - количество несоосностей в рассматриваемом контуре;

n - количество сопряжений в рассматриваемом контуре.

Полученная по формуле (16) сумма допустимых несоосностей в сопряжениях расчетного контура распределяется между отдельными поверхностями деталей пропорционально суммам допусков на диаметры с учетом технологических факторов

$$H_i = \frac{\kappa_i (\delta_D + \delta_d)_i}{\sum_1^n \kappa_i (\delta_D + \delta_d)_i} \sum_1^m H_i \quad (17)$$

где H_i - несоосность диаметров D и d i -той детали;

$(\delta_D + \delta_d)_i$ - сумма допусков на диаметры D и d i -той детали;

κ - коэффициент, учитывающий способ базирования при окончательной обработке взаимосвязанных поверхностей D и d .

Значения коэффициентов κ для различных способов базирования установлены экспериментальным путем.

ГЛАВА V. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В лабораторных условиях исследовались:

- 1) методики ускоренных испытаний буровых сталей на выносливость;
- 2) режимы механического и термомеханического способов упрочнения буровых и конструкционных сталей;
- 3) режимы механического и термомеханического способов упрочнения шлицев бронзовых геликоидальных гаек перфораторов;
- 4) дифференцированные и комплексные показатели точности геликоидальных сопряжений;
- 5) фактические несоосности в сопряжениях серийно изготавливаемых перфораторов.

Сопоставлением с результатами длительных испытаний исследовались следующие методики определения предела выносливости: метод Локати, новый метод ступенчато-увеличивающихся нагрузок и метод испытаний при ограниченном количестве образцов.

Установлено, что определение предела выносливости по испытаниям ограниченного количества образцов (1-4 образца) не обеспечивает достаточной точности получаемых результатов. Поэтому этот вопрос может быть использован, в основном, для определения ограниченного предела выносливости таких тяжело нагруженных деталей, как буры, поршни-ударники, геликоидальные стержни и др.

Нами установлено, что метод Локати в 95% случаев обеспечивает результаты, которые укладываются в поле естественного рассеивания

результатов длительных испытаний. При этом максимальная погрешность (при надежности $\rho = 0,95$) составляет $(\frac{+16,3}{-15,7})\%$. Однако метод Логати применим только при наличии сведений относительно положения предельных кривых, для установления которых требуется проведение длительных предварительных испытаний.

Предложенный метод испытаний ступенчато-увеличивающейся нагрузкой исключает надобность в предварительных длительных испытаниях, так как недостающие параметры кривых усталости испытываемых марок сталей определяются по разработанной номограмме.

При этом методе систематическая погрешность предела выносливости сталей в состоянии поставки, а также механически и термомеханически упрочненных, составляет - 5%. Поэтому результаты, полученные по формуле (1) необходимо умножить на поправочный коэффициент $\Lambda = 1,05$.

Максимальная погрешность нового метода составляет $\pm 17,5\%$.

Количество результатов, укладывающихся в поле естественного рассеивания, получаемого при длительных испытаниях, при надежности $P = 0,95$ равно 94%. Метод сокращает время испытаний в 15-25 раз.

Результаты исследования режимов механического и термомеханического способов упрочнения представлены в таблице 2, из которой следует, что для всех исследованных марок сталей термомеханический способ упрочнения обеспечивает больший прирост усталостной прочности.

Установлено, что после термомеханического упрочнения сталь 55С2 обладает большей усталостной прочностью, чем дорогостоящая сталь 12ХН3А после аналогичной обработки.

При исследовании режимов термомеханического упрочнения геликоидальных гаек установлено, что условиями, при которых достигается максимальная микротвердость рабочих поверхностей шлицев при допустимом искажении формы и размеров гайки, являются:

- 1) припуск на прошивку по контуру 0,15 мм;
- 2) температура прошивки 100-200°C;
- 3) чистота рабочего профиля прошивки - $\nabla 10$.

При указанных условиях по сравнению с протягиванием в 2 раза увеличивается глубина наклепанного слоя и по сравнению с сердцевинной в 1,8 раза увеличивается поверхностная микротвердость.

Таблица 2

Результаты исследований механического и термомеханического способов упрочнения сталей

Марка стали	Механический способ упрочнения		Термо - механический способ упрочнения				Коэффициент эффективности упрочнения
	Предел выносливости после упрочнения, Мн/м ²	Оптимальное усилие накатывания, н	Коэффициент эффективности упрочнения	Оптимальное усилие накатывания, н	Оптимальная температура накатывания, °С	Предел выносливости после упрочнения, Мн/м ²	
Сталь 55С2	330	4000-5000	1,18	4000-5000	350-450	470	1,42
Сталь 12ХН3А	360	4000-5000	1,14	4000-5000	325-400	430	1,20
Сталь 40Х	360	4000-5000	1,11	4000-5000	325-425	430	1,20
Сталь 45	305	4500-5500	1,18	4500-5500	475-575	400	1,31
Сталь Ст.3	195	5000-6000	1,54	4000-5000	475-575	340	1,74

Исследованы несоосности поверхностей деталей в сопряжениях отечественных перфораторов ПР22 и ПТ29, а также зарубежных перфораторов М-76 фирмы "Медон" и ВН-754 фирмы "Атлас Копко".

На основании выполненного исследования предложены научно обоснованные допустимые несоосности поверхностей деталей для всех сопряжений перфораторов ПР22 и ПТ29.

ГЛАВА VI. ПРОМЫШЛЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты выполненных исследований внедрялись по следующим направлениям:

1. Разработка оснастки для термомеханического упрочнения и повышения точности изготовления геликоидальных гаек в условиях их серийного изготовления на заводе горного оборудования "Коммунист".

2. Разработка промышленной установки и оснастки для термомеханического упрочнения буров в условиях одного из северных рудников Криворожского бассейна.

3. Внедрение методики ускоренных испытаний материалов буров и буров в шахтных условиях и в лаборатории долговечности и надежности горных машин КГРИ.

4. Внедрение методов расчета кинематической цепи вращения бура и допустимых несоосностей в практику проектирования бурильных машин на заводе "Коммунист".

5. Промышленные испытания перфораторов с упрочненными геликоидальными гайками на шахтах треста "Ленинруда" Криворожского железорудного бассейна.

Эксплуатация перфораторов с упрочненными геликоидальными гайками из бронзы БрОФ7-0,2 показала, что износостойкость гаек повышается в 1,7-1,9 раза.

Происходит это в основном за счет упрочнения рабочих поверхностей шлицев, повышения их чистоты и увеличения фактической площади контакта.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения новой технологии производства геликоидальных гаек на заводе "Коммунист" и буров в условиях одного из рудников бассейна составляет 44 тыс. рублей в год.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Предложен и разработан новый способ низкотемпературного термомеханического упрочнения, позволяющий в 1,2 + 1,75 раза повысить несущую способность буровых сталей и деталей бурильных машин. Эффективность нового способа экспериментально подтверждена как на сталях (55С2, 12ХНЗА, 40Х, У8, 45 и др.), так и на цветных сплавах (бронза БрОФ7-0,2).

2. Исследованы и рекомендованы режимы упрочнения сталей и бронз, широко применяемых при изготовлении буров и деталей бурильных машин. Установлено, что оптимальная температура упрочнения составляет для легированных сталей 325-450°C; для конструкционных сталей 475-575°C; для бронзы БрОФ7-0,2 - 100-200°C.

Упрочнение при этих температурах повышает:

- а) предел выносливости сталей на 20+75%;
- б) поверхностную твердость сталей на 200-260%;
- в) поверхностную твердость бронзы - на 70-80%.

3. Установлено, что буровая сталь 55С2 после термомеханического упрочнения обладает большей усталостной прочностью ($\sigma = 470 \text{ Мн/м}^2$), чем подвергнутая такой же обработке дорогостоящая хромоникелевая сталь 12ХНЗА ($\sigma = 430 \text{ Мн/м}^2$).

4. Установлено, что температура контактирующих поверхностей шлицев геликоидальной гайки в процессе эксплуатации не должна превышать 150°C.

5. Разработана и апробирована методика испытаний на выносливость сталей буровых штанг и деталей бурильных машин при ограниченном количестве образцов, позволяющая в 3-10 раз сократить продолжительность испытаний и устанавливать количество испытываемых образцов в зависимости от требуемой точности.

6. Разработана и апробирована методика ускоренного определения предела выносливости буровых сталей по испытанию одного образца ступенчатоувеличивающейся нагрузкой, которая в 15-25 раз сокращает длительность испытаний и с надежностью $P = 0,95$ обеспечивает точность получаемых результатов $\pm 17,5\%$.

7. Выполнены аналитические исследования и выведены формулы для определения угловых зазоров в шлицевых, геликоидальных, торцевых шлицевых и лестигранных сопряжениях перфораторов, позволяющие устанавливать оптимальные параметры возвратного механизма еще в началь-

ных этапах проектирования.

8. Разработаны основные Подсечения теории несоосностей в сопряжениях перфораторов и инженерная методика расчета допустимых несоосностей с любой наперед заданной надежностью незаключения.

9. Термомеханический способ упрочнения геликоидальных гаек апробирован и принят заводом "Коммунист" к внедрению в серийное производство.

Эксплуатация перфораторов с упрочненными геликоидальными гайками из бронзы БРОФ7-0,2 показала, что износостойкость гаек повышается в 1,7-1,9 раза.

10. Термомеханический способ упрочнения буровых сталей апробирован и принят к внедрению на одном из северных рудников Криворожского бассейна. Совместно с кафедрой технологии машиностроения КГРИ изготавливается промышленная установка для упрочнения буров термомеханическим способом.

11. Совместно с заводом "Коммунист" внедрены в производство методики точностных расчетов механизма вращения бура и допустимых несоосностей в сопряжениях перфораторов.

12. Ожидаемый экономический эффект только от внедрения упрочняющей технологии при производстве буров на одном из рудников бассейна и геликоидальных гаек в условиях завода "Коммунист" составляет 44 тыс.рублей в год.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Способ упрочнения поверхности деталей. Авторское свидетельство № 244360, 1969. (Соавторы И.А.Бегалов, А.И.Бойко, О.И.Антонюк).

2. Исследование и методика ускоренных испытаний на выносливость ступенчато-увеличивающейся нагрузкой. (Соавторы И.А.Бегалов, О.И.Антонюк). "Известия вузов.Машиностроение", 1970, № 2.

3. Методика ускоренных испытаний деталей горных машин на усталость. (Соавтор О.И.Антонюк). Тезисы докладов отраслевой научно-технической конференции молодых ученых по вопросам повышения производительности труда на железорудных предприятиях Украины, НИГРИ, Кривой Рог, 1969.

4. Влияние точности деталей на срок службы вредительных и

возвратно-поступательных сопряжений бурильных машин. (Соавторы И.А.Бегалов, А.И.Бойко, О.И.Антонюк, А.С.Кухарь). Материалы пятой республиканской научно-технической конференции по вопросам повышения износостойкости и срока службы машин, выпуск У.Изд-во УкрНИИТИ, Киев, 1970.

5. Методика контроля и исследование комплексных показателей точности подвижных шлицевых и геликоидальных сопряжений перфораторов. (Соавторы И.А.Бегалов, А.И.Бойко, О.И.Антонюк). "Динамика и долговечность машин", Сборник трудов научно-технической конференции. Изд-во Томского государственного университета. Томск, 1970.

6. Повышение усталостной прочности деталей методом термомеханической обработки. (Соавторы И.А.Бегалов, О.И.Антонюк, А.И.Бойко). Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах, выполненных ВУЗами Украинской ССР, "Угольная и горнорудная промышленность", (принято к печати).

7. Механическое и термомеханическое упрочнение буровых сталей. (Соавторы И.А.Бегалов, А.И.Бажал, О.И.Антонюк, А.И.Бойко). Бюллетень Центрального научно-исследовательского института информации и технико-экономических исследований черной металлургии, (принято к печати).

8. Повышение долговечности геликоидальных гаек перфораторов методом термомеханического упрочнения. (Соавторы И.А.Бегалов, Б.Г.Бовдуй, О.И.Антонюк, А.И.Бойко, В.В.Баланенко). Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах, выполненных ВУЗами Украинской ССР, "Угольная и горнорудная промышленность", (принято к печати).

9. Исследование и методы расчета точностных параметров и посадок перфораторов. (Соавторы И.А.Бегалов, А.И.Бойко, О.И.Антонюк). Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах, выполненных ВУЗами Украинской ССР. "Угольная и горнорудная промышленность", (принято к печати).

10. Расчет несоосностей поверхностей в сопряжениях перфораторов. (Соавторы И.А.Бегалов, А.И.Бойко, О.И.Антонюк). "Горная электромеханика и автоматика", республиканский межведомственный научно-технический сборник, (принято к печати).

II. Влияние технологических факторов на долговечность деталей. (Соавторы И.А.Безагоен, А.И.Бойко, О.И.Антонюк). Параграф 2, главы УШ в книге И.А.Безагоена, А.Г.Дядюра, А.И.Бажала "Бурильные машины. Расчет, конструкции, долговечность". Изд-во "Недра", (принято к печати).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ДОКЛАДЫВАЛИСЬ:

1) на пятой Республиканской научно-технической конференции по вопросам повышения износостойкости и срока службы машин, организованной Министерством высшего и среднего специального образования и институтом Материаловедения АН УССР, Киев, 1970;

2) на научно-технической конференции, посвященной 70-летию механического факультета Томского политехнического института имени С.М.Кирова, организованной Министерством высшего и среднего специального образования РСФСР, Томск, 1970;

3) на отраслевой научно-технической конференции молодых ученых по вопросам повышения производительности труда на железорудных предприятиях Украины, организованной Министерством черной металлургии УССР, Кривой Рог, 1969.

4) на научно-технической конференции "Пути совершенствования технологии и техники производства на Криворожских предприятиях черной металлургии", Кривой Рог, 1970;

5) на ежегодных научно-технических конференциях Криворожского горнорудного института в 1968, 1970 и 1971 гг.