

На правах рукописи

**ГОРЛАЧ РОМАН ВАЛЕРЬЕВИЧ**

**Оптимизация состава и  
технологии производства сталей  
мясоизмельчительных комплексов**

Специальность - 05.02.01 Материаловедение (машиностроение)

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург  
2003

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном университете  
низкотемпературных и пищевых технологий.

**Научный руководитель:**

Заслуженный деятель науки и техники РФ,  
доктор технических наук,  
профессор **Ю.П. Солнцев**

**Официальные оппоненты:**

Доктор технических наук,  
профессор **Е.И. Пряхин**

Кандидат технических наук,  
**К. Ю. Шахназаров**

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Государственный Обуховский завод»

Защита состоится « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2003 г. в \_\_\_\_ ч. на заседании  
диссертационного совета Д 212.229.19 в Санкт-Петербургском  
государственном политехническом университете по адресу:  
195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке  
Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2003 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор

**В.Н. Востров**

## Общая характеристика работы

**Актуальность работы.** К наиболее интенсивно развивающимся отраслям промышленности относится пищевая, в частности, мясная отрасль. Неотъемлемым оборудованием консервного производства является измельчительное оборудование, детали которого подвержены воздействию агрессивных сред. Измельчительный комплекс состоит из последовательно стоящих друг за другом ножей и решеток. Основной причиной выхода из строя измельчительного комплекса является ускоренный износ ножей. Затраты на ремонт и техническое обслуживание машин мясоперерабатывающего производства в 3-5 раз превышают их первоначальную стоимость. Однако, до настоящего времени отсутствует единый подход к выбору материалов и конструкций режущих комплексов, состоящих из вращающихся мясоизмельчительных ножей и статически закрепленных решеток. Из анализа условий эксплуатации оборудования было выяснено, что мясоизмельчительный нож является элементом, определяющим работоспособность комплекса в целом. Нормируемый ГОСТом 28533-90 срок службы ножа до перезаточки должен быть не менее 24 ч, однако, как было определено в ходе сбора информации на предприятиях Северо-Западного региона, только треть ножей выдерживает нормативный срок службы. Предприятия мясной промышленности используют режущий инструмент различных марок сталей, свойства которых в большинстве случаев не соответствуют требованиям, предъявляемым к мясоизмельчительным ножам. Так, достаточно широко используются инструментальные, пружинно-рессорные, среднеуглеродистые и другие стали. То есть, до сих пор нет единого подхода к рекомендациям по материалам мясоизмельчительных комплексов. При назначении той или иной марки стали для изготовления мясоизмельчительных ножей не учитываются особенности измельчаемой среды, ее свойства и их изменение в ходе размораживания – повышение температуры мяса от -20°C до 0°C, образования мелкодисперстных абразивных фаз костной фракции и т.п.

Поэтому работа, направленная на повышение работоспособности мясоизмельчительных ножей, выбор марок стали для их изготовления и разработку технологии ее производства является актуальной и востребованной как мясоперерабатывающими предприятиями, так и производствами, специализирующимися на изготовлении мясоизмельчительного инструмента.

**Цель работы.** Целью настоящей работы являлась оптимизация химического состава стали и изготовление из нее опытных образцов мясоизмельчительных ножей. В ходе работы для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- проведен анализ причин выхода из строя (износ и разрушение) различных типов режущего инструмента мясоизмельчительного оборудования и установлены причины ускоренного выхода из строя инструмента;

- проведен анализ механических свойств и износостойкости применяемых сталей в условиях эксплуатации мясоизмельчительного инструмента;

- проведена оптимизация химического состава стали и разработана новая сталь для режущего инструмента мясоизмельчительного оборудования;

- сформулированы рекомендации по режимам изготовления, обработки и эксплуатации режущего инструмента из предложенной марки стали;

- изготовлена опытная партия режущего инструмента мясоизмельчительного оборудования;

- проведены натурные испытания на мясокомбинатах города; полученные результаты сравнены с данными о работоспособности действующего режущего инструмента.

**Научная новизна.** Разработана литая сталь для изготовления ножей, используемых в мясоизмельчительном оборудовании, подана заявка на патент (№2002120283 от 17.07.02).

Впервые проведены работы по систематизации причин выхода из строя режущего инструмента, разработаны рекомендации по использованию режущего инструмента в условиях термоциклирования и абразивно-ударных нагрузок.

Проведен анализ применяемых сталей для изготовления режущего инструмента мясоизмельчительных комплексов.

Методами Оже-эмиссионной спектроскопии выполнены исследования по анализу изломов ножей, разрушившихся в ходе эксплуатации. Показано, что хрупкая трещина зарождается и развивается по зернограничному твердому раствору сталей, обогащенному фосфором, перераспределение которого на границах зерен протекает в ходе образования карбидной сетки в литой стали.

Проведено исследование износостойкости в условиях модельной среды, по составу близкой к средам, в которых работает измельчи-

тельное оборудование, что позволило сопоставить работоспособность сталей различных марок, определить причины, вызывающие ускоренный выход инструмента из строя.

Выполнены исследования влияния Cr, Ni, Mo и Si на работоспособность сталей в мясных средах. Установлены основные закономерности влияния этих элементов на износостойкость сталей.

Методами математического планирования эксперимента определена область оптимального с точки зрения износостойкости в мясных средах содержания элементов в литейном сплаве Fe-C-Cr-Ni-Mo-Si.

**Практическая значимость.** Изготовлено и проведено опытно-промышленное исследование партии режущего инструмента, показавшего более высокую работоспособность по сравнению с ранее применявшимися ножами.

Модернизирована установка и уточнена модель исследования режущего инструмента в модельных средах.

**Апробация работы.** Основные результаты работы обсуждались на научно-технических конференциях Международной Академии Холода, секции прочности материалов в 2000, 2001, 2002 и 2003 г.

**Публикации.** По материалам работы опубликовано 5 печатных работ, список которых приведен на странице 16 автореферата.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, выводов и списка литературы. Объем работы составляет 155 страниц, включая 48 рисунков и 37 таблиц. Список литературы содержит 158 наименований.

### **Содержание работы**

**Во введении** обоснована актуальность работы, сформулирована цель предполагаемого исследования, приведена структура и объем работы.

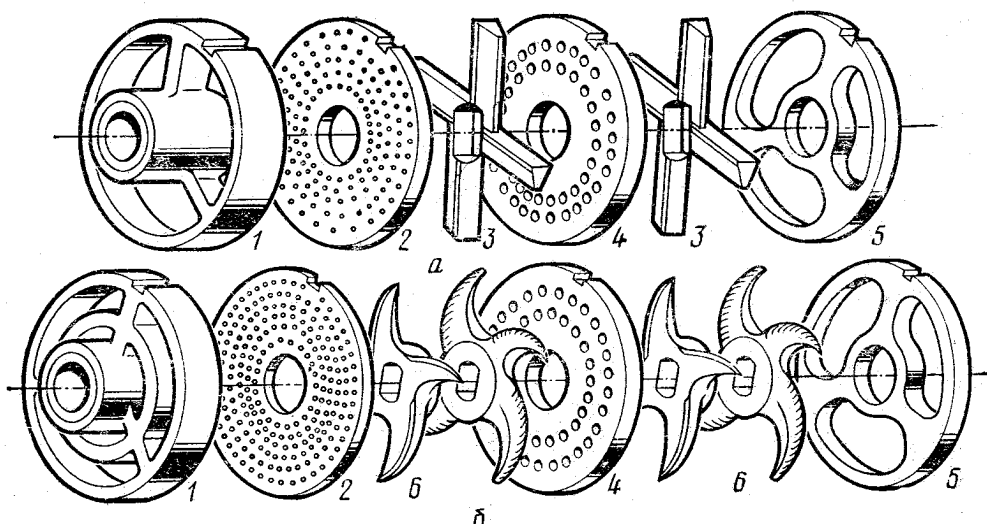
**Литературный обзор.** Специфическими особенностями мясной промышленности являются переработка дорогостоящих и дефицитных продуктов и сырья животного происхождения, а также высокие санитарно - гигиенические требования к качеству продукции.

Основные требования к режущему инструменту сформулированы в ГОСТе 28533-90, где оговорены его типы, основные размеры, а также твердость решетки и ножа, составляющие соответственно 61 и 52 HRC, и срок непрерывной работы до перезаточки не менее 24 ч. Однако остается неясным, как достичь этих показателей стандарта,

поскольку отсутствуют рекомендации по использованию конкретных марок сталей и технологии изготовления режущего инструмента.

В комплект режущего инструмента машин для измельчения мягкого и смешанного мясокостного сырья входят ножи и решетки. Обычно решетки выполняются неподвижными, а ножи - вращающимися вместе с валом (рис. 1). Наиболее распространены четырехзубые крестовидные ножи. Серийно выпускаемые ножи к волчкам выполняются с прямолинейными режущими кромками, расположенными по радиусу, или с криволинейной формой зубьев, обеспечивающей резание продукта со скольжением (рис. 1а) в отличие от рубящего резания традиционными крестовыми ножами. Применение криволинейных ножей (рис. 1б) дает возможность повысить надежность работы инструмента и несколько увеличить его ресурс.

Чаще всего для режущих инструментов измельчителей применяются углеродистые стали типа У7А и У8А, низколегированные стали Х, 9ХС, ХВГ и Х12М, хотя в ряде случаев используют стали марок 45 и 40ХНЛ, причем все рекомендации по применяемым материалам для мясоизмельчительного инструмента переносятся с инструмента, традиционно используемого в металло- и деревообработке.



*Рис. 1 Мясоизмельчительный комплекс с ножами прямолинейной (а) и криволинейной формы (б), 1 - кольцо-подпора, 2, 4, 5 - выходная, промежуточная и приемная решетки, 3, 4 - четырехзубый нож с прямолинейными и криволинейными режущими кромками.*

Особенностью мясоизмельчительного оборудования является необходимость изготовления режущего инструмента методами литейного производства. Это связано с малыми партиями выпускаемой продукции и широким ассортиментом мясоизмельчительных ножей. Это приводит к появлению в высокоуглеродистых сталях типичных для литого материала дефектов – карбидных сеток, достигающих 5-6 балла, усадки, пористости, плен и т.п. Такие дефекты являются причиной преждевременного износа и хрупкого разрушения ножей.

В ряде случаев для изготовления режущего инструмента используются среднеуглеродистые стали с высоким содержанием хрома, например, сталь 40X13 и другие стали на базе 0,4% углерода, например, стали 40ХНЛ, 40Х2НЛ.

В работе проведен анализ патентной литературы и других источников информации с целью уточнения направления исследований по выбору материала, удовлетворяющего как эксплуатационным свойствам ножей, так и требованиям ГосСанЭпидемнадзора. Установлено, что в России и ряде других стран ведутся интенсивные разработки среднеуглеродистых сталей повышенной износостойкости. Однако, информация о поведении таких материалов в условиях пищевых сред или полностью отсутствует, или несет отрывочный характер.

**Во второй главе** описана методика выплавки и обработки опытной стали.

Исследования были проведены в лабораториях ОАО "Ижорские заводы", ОАО "Обуховский завод", на кафедре металловедения и технологии металлов СПбГУНиПТ.

Опытные плавки вели в открытой индукционной печи с основной футеровкой емкостью 150 кг. Температура стали при выпуске из печи 1600-1610°C, температура разливки 1550-1570°C. Предварительное раскисление в печи осуществляли 45%-ным ферросилицием. Для окончательного раскисления на дно ковша помещали Al в количестве от 0,1% массы металла. При заполнении ковша наполовину для дополнительного раскисления и рафинирования стали в струю металла присаживали 10%-ный силикокальций в количестве 0,2% от массы металла. Разливка осуществлялась методом литья по выплавляемым моделям. Заготовки подвергались гомогенизации при температуре 1050 – 1080°C в течение 1 ч., закалке и отпуску на заданную твердость (52HRC).

Были проведены микроструктурные исследования, испытания механических свойств и исследования поверхностей разрушения образцов методом Оже-эмиссионной спектроскопии.

Условия эксплуатации оборудования мясной промышленности устанавливают требования к износостойкости. Поэтому в работе широко использованы методики современных испытаний на износостойкость в коррозионных средах.

Испытания на износ проводили на установке, модернизированной при участии автора. Установка моделирует условия износа мясоизмельчительного инструмента. Ввиду сложности проведения испытаний непосредственно в мясной среде для лабораторных испытаний использовали модельный раствор. Исследование структуры и свойств ножей, поврежденных в ходе эксплуатации, и ножей из опытных плавок проводилось в условиях, максимально приближенных к реальным средам, состоящим из мясного сока, жира и воды в соотношении 4:1:5 с добавлением 1% костной фракции. В исследовании использовались микроскопы МИМ-8, ММР-2, JSM-35, рентгеновский дифрактометр ДРОН-3.

Оценка износа режущего инструмента проводилась по потере массы в граммах за промежуток времени, необходимый для измельчения 1 т мяса.

**В главе 3** проведен анализ причин ускоренного выхода из строя режущего инструмента мясоизмельчительных комплексов.

Как видно из анализа литературы, в настоящее время практически полностью отсутствуют данные о причинах выхода из строя режущего инструмента, нет обоснований по применяемым при его изготовлении материалам, отсутствует статистика, позволяющая определить основные причины, приводящие к ускоренному выходу инструмента из строя. Поэтому для решения главной задачи, поставленной в настоящем исследовании, а именно, создания нового материала режущего инструмента мясоизмельчительных комплексов, потребовалось решить ряд последовательных промежуточных задач. К их числу относится анализ работоспособности режущего инструмента и причин ускоренного выхода из строя ножей и сеток мясоизмельчительных комплексов. Для достижения этой цели на мясоперерабатывающих предприятиях Северо-Западного региона было проведено обследование условий эксплуатации и работоспособности мясоизмельчительного оборудования. Это



позволило определить состав материалов, применяемых при изготовлении сеток и ножей, и уточнить основные причины выхода из строя режущих инструментов.

В течение полутора лет поврежденные режущие инструменты изымались с перечисленных предприятий для проведения экспертных исследований, ставивших целью определить причины повреждения ножей и решеток. В результате этих работ впервые была собрана статистика повреждаемости материалов режущего инструмента мясоизмельчительных комплексов, определены пути и направления разработок, которые привели к созданию принципиально новых материалов, созданных специально для ножей и решеток с учетом условий их эксплуатации, особенностей и физико-химических характеристик измельчаемых сред.

Выяснилось, что практически полностью отсутствуют нормативно-технические документы, регламентирующие эксплуатационную надежность и механические свойства материалов. В ГОСТе 28533-90 записано только требование по твердости материала для ножей - 52 HRC и решеток - 61 HRC. Более того, не определены не только конкретные марки сталей, но даже их группы; таким образом, ножи и решетки изготавливаются на предприятиях из любых сталей - от строительных до инструментальных, что и было обнаружено в ходе обследования мясоизмельчительного оборудования специализированных заводов. По техническим описаниям и инструкциям по эксплуатации мясоизмельчительного оборудования было определено, что режущий инструмент в основном изготавливается методом литья по выплавляемым моделям. Применение литого инструмента обусловлено экономическими факторами - мясоизмельчительное оборудование выпускается обычно малой серией. Это приводит к крайне широкой номенклатуре сеток и ножей; только на мясоперерабатывающих заводах Северо-Запада применяется более тридцати типо-размеров режущего инструмента. Гарантированный срок службы такого инструмента по паспортам мясоизмельчительных машин должен составлять 200 ч, в том числе непрерывной работы до перезаточки - три смены - 24 ч. По данным проведенного нами исследования срок службы ножей не превышает 168 ч, а общий срок непрерывной работы - 1,72 смены или 13,8 ч. Среднегодовая потребность в ножах на каждом предприятии Северо-Запада в зависимости от модели и степени загрузки колеблется от 110 до 45 шт. Был определен основной номенклатурный ряд применяемых сталей

(составленный с учетом частоты использования): У12, У10, ХВГ, 95Х18Л, 40Х13, 45, 40Х, 40ХНЛ, 40Х2НЛ, 15ГС. Единственным документом, регламентирующим эксплуатационные показатели ножей (кроме срока наработки без перезаточки и общего срока службы), был норматив, записанный в санитарных нормах по наличию инородных предметов (стружки, продуктов абразивного износа) в мясном фарше. Как следует из санитарных правил, количество металлической фракции, попадающей в мясной фарш при размоле, не должно превышать 1 г на тонну готовой продукции.

Было установлено, что отсутствует единая концепция, обосновывающая использование тех или иных марок сталей для материалов ножей. Из числа ножей, замененных в группе обследованных в 2001 году мясоперерабатывающих предприятий, большая часть пришлась на инструментальную углеродистую сталь У12 (табл. 1) и в целом на инструментальные стали – 1709 ножей. Вторая по численности группа – это легированные стали, содержащие около 0,40 масс. % углерода и стали, легированные до 13% хромом и никелем (табл. 1).

**Таблица 1**

**Сравнительная оценка эксплуатационной надежности режущего инструмента из различных марок сталей**

Марка Стали	Число ножей, замененных в 2001 г, шт.	Число ножей, отстоявших расчетный срок службы (+) и изъятых досрочно (-) в процентах к общему числу, шт.		Средняя наработка на нож, час.
		« + »	« - »	
У12	792	26,5	73,5	166,2
ХВГ	465	24,8	75,2	165,3
95Х18	451	54,3	45,7	162,2
40Х2НЛ	147	31,3	68,7	168,8
40ХНЛ	113	45,1	54,9	171,0
40Х13	119	52,9	47,1	180,6
65ГЛ	51	66,7	33,3	178,2

Показано, что ножи, изготовленные из инструментальных сталей, в основном были заменены из-за ускоренного износа режущих кромок, хотя известно, что повышение в стали содержания углерода в традиционных средах эксплуатации должно повысить износостойкость материала. Однако, в мясных средах наблюдается обратная тенденция

ускоренного износа и выкрашивания режущих кромок (табл. 2).

В главе 4 приведена оптимизация химического состава стали для ножей мясоизмельчительного инструмента.

В главе 3 было установлено, что основной причиной досрочного выхода из строя режущего оборудования является ускоренный износ инструмента. По причине износа досрочно выходят из строя порядка 2/3 всех работающих ножей.

Таблица 2

**Причины выхода из строя ножей мясоизмельчительных комплексов на базовых предприятиях Северо-Западного региона**

Предприятия	Причина выхода из строя ножей, %		
	Износ	Хрупкое разрушение	Усталостное разрушение
ООО «Фродо»	62	21	17
ООО «Кедр»	71	19	10
ОАО «Парнас»	59	11	30
АООТ «Г. К.З.»	66	18	16
Итого в среднем	64,5	17,25	18,25

Поэтому основной поставленной задачей стала оптимизация химического состава стали с целью повышения ее износостойкости в мясных средах.

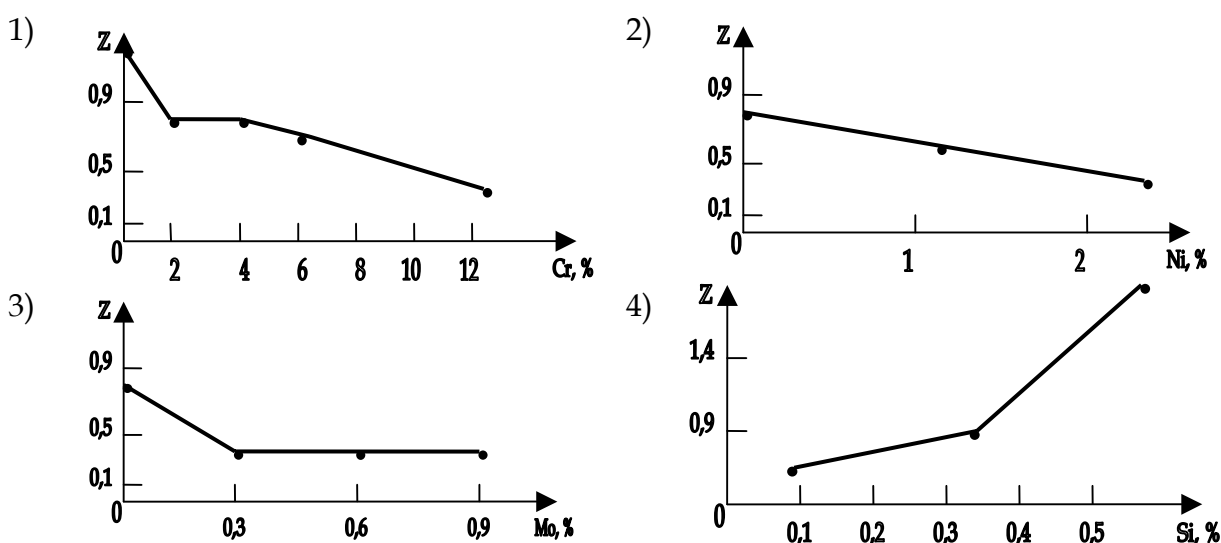
Оптимизация химического состава стали по износостойкости проводилась на основании результатов патентного и литературного анализа, а также исследования выхода из строя режущего инструмента, выполненного в главе 3, и состояла из двух этапов. На первом этапе было исследовано раздельное влияние каждого из легирующих элементов – хрома, молибдена, никеля и кремния - на износостойкость стали. Цель такого исследования состояла в выборе уровней варьирования легирующих элементов при проведении математического планирования эксперимента для оптимизации химического состава стали.

Уровни изменения химических составов опытных плавок (хрома от 2 до 12 масс.%, молибдена от 0 до 0,9 масс.%, никеля от 0 до 2,5 масс.% и кремния от 0,1 до 0,64 масс.%) выбирались таким образом, чтобы проверить работоспособность не только легированных износостойких сталей, анализ составов которых был проведен в литературном обзоре, но и целесообразность применения одного из

наиболее широко используемых в пищевой промышленности классов сталей – нержавеющей высокохромистых. Для анализа влияния хрома такие же испытания были проведены на углеродистой стали марки 50Л (C=0,5 масс.%, Si=0,19 масс.%).

Отливки – заготовки образцов – подвергали термической обработке: закалке в масло с температур, требуемых для данных марок сталей, и последующему отпуску, режим которого подбирался таким образом, чтобы твердость образцов после термической обработки составляла 52 HRC.

Расчет износа проводился в пересчете на износ режущего инструмента в реальных условиях работы. Были построены графики влияния легирующих элементов на износостойкость. На основании проведенных исследований установлено, что повышение концентрации хрома от нуля до 2 масс.% приводит к повышению износостойкости материала – износ на тонну снижается с 1,23 до 0,87 г/т (рис. 2, кривая 1), что оказывается в пределах допуска по износу.



*Z – Износ, г / т; (g - износ металла ножа, t - масса перерабатываемого продукта)*

**Рис. 2 Влияние легирующих элементов – хрома, никеля, молибдена и кремния на износостойкость опытных сталей**

При дальнейшем повышении концентрации хрома от 2 до 12 масс.% износостойкость возрастает умеренно, достигая при максимальном содержании хрома – 0,51 г/т. Во всех последующих опытных сталях содержание хрома составляло 2 масс.%. Никель до 2,5 масс.% оказывает благоприятное воздействие на износостойкость

хромистой стали (рис. 2, кривая 2), хотя степень повышения износостойкости относительно невелика и возрастает от 0,87 г/т до 0,78 и 0,71 г/т. Молибден резко (практически в два раза) повышает износостойкость хромистой стали (рис. 2, кривая 3) - при введении в сталь 0,3 масс.% Мо износостойкость повышается до величины 0,47 г/т. Дальнейшее легирование стали молибденом до 0,6 и 0,9 масс.% практически не изменяют износостойкость - до 0,46 и 0,45 г/т соответственно. Кремний, как оказалось, является элементом, понижающим износостойкость стали в мясной среде. Как следует из результатов исследований (рис. 2, кривая 4), повышение содержания кремния от 0,12 до 0,64 масс.% приводит к снижению износостойкости от 0,83 г/т (0,12 масс.% Si) и 0,87 г/т (0,18 масс.% Si) до 1,16 и 1,93 для плавок содержащих 0,31 и 0,64 масс.% Si.

Таким образом, на основании последовательного анализа влияния легирующих элементов на износостойкость среднеуглеродистой стали установлено:

- введение в сталь хрома, никеля и молибдена благоприятно сказывается на износостойкости стали. Однако, содержание этих элементов должно быть строго ограничено, исходя из экономических и технологических аспектов решения вопроса о разработке материала. Для составления матрицы и проведения математического планирования эксперимента по оптимизации химического состава стали на предмет повышения ее износостойкости было рекомендовано ограничить содержание этих элементов следующими количествами: хром - 2,0-6,0 масс.%; никель - до 2,5 масс.%; молибден - до 0,6 масс.%.

- введение кремния крайне неблагоприятно сказывается на износостойкости режущего инструмента, поэтому желательно, чтобы его содержание в стали было по возможности минимальным. Основными ограничениями, препятствующими уменьшению его содержания, являются технологические особенности выплавки стали, в частности, необходимость ее полного раскисления.

Был рассчитан и реализован квази D-оптимальный план второго порядка.

На основании реализации матрицы получено уравнение регрессии по износостойкости материала:

$$Z \cdot 10^3 \text{ [г/т]} = 49,88 - 2,44[\text{Cr}] + 0,82[\text{Ni}] - 2,06[\text{Mo}] + 2,07[\text{Si}] - 0,49[\text{Cr}][\text{Mo}] - 0,14[\text{Ni}][\text{Mo}] + 0,31[\text{Ni}][\text{Si}] - 0,09[\text{Cr}][\text{Ni}][\text{Mo}] + 0,11[\text{Cr}][\text{Ni}][\text{Si}]$$

Затем методом крутого восхождения установлена область (группа

сплавов) оптимального сочетания легирующих элементов в сплавах системы Fe-C-Cr-Ni-Mo, позволяющая получить максимальную износостойкость инструмента (табл. 3).

**Таблица 3**

**Область оптимального легирования износостойкой стали для режущего инструмента мясоизмельчительного оборудования**

Содержание элементов	Химический состав стали									
	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	Mo	Al	S	P
Минимальное	0,47	0,5	0,2	1,8	1,5	0,08	0,2	0,03	≤0,035	
Максимальное	0,55	0,8	0,4	2,5	2,0	0,12	0,3	0,06		

**Пятая глава** диссертации посвящена исследованию опытной марки стали 50X2H2MФЛ, химический состав которой был определен в главе 4. Изучены литейные свойства стали. Методом литья по выплавляемым моделям изготовлены опытные образцы и партии опытных ножей. Проведено исследование влияния термической обработки на свойства стали, определен режим термической обработки состоящий из закалки 840°C и отпуска 300°C (табл. 4).

**Таблица 4**

**Механические свойства опытной стали**

Температура отпуска, °C	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_B$	HRC	$\delta_5$	KCV
	МПа			%	Дж/см <sup>2</sup>
200	1560	1840	55	5	50
300	1430	1750	52	6	57
400	1340	1670	47	8	80

Из опытной стали были изготовлены ножи нескольких типов-размеров, которые прошли опытно-промышленное опробование на ряде предприятий Северо-Запада, показав хороший результат (табл. 5).

Приведена технология изготовления ножей, включающая в себя подготовительные операции по литью, сам процесс литья, предварительную термическую обработку, механическую обработку и окончательную термическую обработку.

Из предложенной стали были изготовлены ножи с соблюдением технологического цикла и проведением полного комплекса термической обработки.

Проведено сравнительное испытание ножей из ранее применявшихся марок стали. Оборудованием для испытаний служили различные волчки, такие как МИМ 300, МИМ 600, МП160 и др.

Таблица 5

## Испытания ножей в производственных условиях

Пред- приятие	Сталь	Число ножей, шт.	Время до первой переза- точки, ч.	Общее время работы до выхода из строя, ч.	Причина выхода из строя, шт.	
					Износ	Разру- шение
ООО «Фродо»	У12	7	17	160	6	1
	ХВГ	10	19	198	6	4
	50Х2Н2МФЛ	5	29	285	5	-
ООО «Кедр»	У12	5	18	175	4	1
	95Х18	10	21	230	8	2
	50Х2Н2МФЛ	5	34	290	5	-
АООТ «Г.К.З.»	40ХНЛ	10	14	165	9	1
	ХВГ	7	17	190	5	2
	50Х2Н2МФЛ	5	33	270	5	-

**Выводы.**

1. Разработана новая литая износостойкая сталь 50Х2Н2МФЛ для режущего инструмента мясоизмельчительного оборудования (заявка №2002120283 от 17.07.2002 г.) Предложена технология ее изготовления и термической обработки. Из стали 50Х2Н2МФЛ была изготовлена опытно-промышленная партия режущего инструмента, которая прошла испытания на ряде мясоизмельчительных предприятий Северо-западного региона и показала высокие эксплуатационные характеристики, значительно превосходящие характеристики применяемых ныне сталей. Так, средний срок службы ножа возрос до 280 ч., время до первой перезаточки - до 29 ч. В настоящее время ведутся переговоры о широком использовании стали 50Х2Н2МФЛ при изготовлении режущего инструмента.

2. Изучены литейные свойства стали 50Х2Н2МФЛ, определены точки начала и конца кристаллизации стали, критические точки, которые позволили предложить режимы литья ножей из нее, и режим термической обработки, состоящий из диффузионного отжига при 1050°С с выдержкой при температуре отжига в течение 1 часа, закалки с 840°С в масло и отпуска при 300°С. Предложенный режим термической обработки стали 50Х2Н2МФЛ позволил обеспечить износостойкость стали на уровне 0,40 г/т готовой продукции.

3. К настоящему времени не существует единой концепции,

обосновывающей применение тех или иных материалов для изготовления режущего инструмента мясоизмельчительных комплексов. Не разработаны научно-обоснованные требования к материалам, применяемым для изготовления режущего инструмента мясоизмельчительных комплексов. При выборе типа режущего инструмента и марки применяемого для его изготовления материала практически не учитываются особенности эксплуатации ножей и решеток, таких как температура среды, параметры измельчения, скорость резания и т.п. Существующая нормативно-техническая документация крайне слаба и несовершенна, регламентирует только два параметра, характеризующие работоспособность ножа (твердость и общее время работы), и нуждается в серьезной корректировке и переработке. Показано, что наиболее повреждаемым элементом режущего комплекса является нож, частота выхода из строя которого превышает повреждаемость сетки более чем в 15 раз. Поэтому при проведении работ по повышению надежности и долговечности режущего комплекса основное внимание следует уделять именно мясоизмельчительному ножу.

4. Впервые проведен статистический анализ применяемых при изготовлении ножей сталей, определен и ранжирован по значимости ряд факторов, снижающих эксплуатационную надежность и долговечность режущего инструмента. Установлено, что 64,7% эксплуатируемых на специализированных предприятиях Северо-западного региона ножей не выдерживает регламентированный ГОСТом 28533-90 срок службы. Основными причинами досрочного выхода ножей из строя являются: износ, приводящий к микросколам на режущих кромках инструмента и потере геометрических размеров ножей (64%), коррозионно-усталостные повреждения – 18% и хрупкие разрушения – 17%. Таким образом, было установлено, что именно ускоренное изнашивание и потеря геометрических размеров являются основной причиной выхода из строя режущего инструмента.

5. Показано, что наилучшую работоспособность показывают ножи, изготовленные из сталей 65ГЛ, 40Х13, и 40ХНЛ. Для ножей из этих марок сталей количество инструментов, отработавших расчетный срок службы в 200 ч, составил от 66,7 до 45,1% от числа установленных на мясоизмельчительных комплексах. В то же время для ножей, изготовленных из наиболее широко применяемой марки стали – У12, этот показатель составляет только 26,5%, для стали ХВГ – 24,5%.

6. Доказано, что разработанная среднеуглеродистая сталь, обеспечивает требуемый уровень износостойкости в мясной среде,



который не должен превышать 1 г уноса массы режущего инструмента на 1 т готовой продукции. При этом наиболее интенсивное влияние хрома на износостойкость стали отмечается в диапазоне от 0 до 2 масс.% и при его содержании свыше 12 масс.%. Однако, учитывая требования санэпиднадзора по уменьшению применения хрома, его содержание в разработанной стали было ограничено 2 масс.%.

7. В ходе оценки влияния легирующих элементов на износостойкость сталей было изучено влияние молибдена в диапазоне от 0 до 0,9 масс.%. Установлено, что молибден резко повышает износостойкость среднеуглеродистых хромистых сталей. По степени влияния этого элемента на износостойкость на концентрационной кривой, описывающей влияние содержания молибдена на износостойкость стали, можно выделить два участка. Первый – участок от 0 до 0,3 масс.% интенсивного роста износостойкости; второй – при большем содержании молибдена характеризуется постепенным снижением роли этого элемента в повышении износостойкости. Так у стали 50X2Л эта величина составляет 0,78 г/т, у стали 50X2МЛ, содержащей 0,3 масс.% Мо – 0,47 г/т, содержащей 0,6 масс.% Мо – 0,46 г/т, 0,9% Мо – 0,45 г/т готовой продукции.

8. Анализ влияния никеля и кремния на износостойкость среднеуглеродистой стали в мясных средах выявил следующие закономерности. Никель, введенный в литую среднеуглеродистую сталь, повышает вязкость и трещиностойкость материала, уменьшая тем самым склонность режущих кромок ножей к возникновению в них микросколов в процессе резания, тем самым опосредованно повышая износостойкость режущего инструмента. Влияние кремния на износостойкость материалов режущего инструмента однозначно отрицательно, однако его введение в сталь обусловлено требованиями по гарантированно полному раскислению материала и должно поддерживаться на минимально допустимом уровне в 0,17 – 0,20 масс.%.

9. Модернизирована испытательная машина и методика для проведения исследования образцов на износостойкость в мясных средах, что позволило провести испытания износостойкости опытной стали на специализированных образцах в условиях максимально, приближенных к условиям эксплуатации действующего оборудования. Такая установка позволяет значительно сократить расходы на эксперимент, упростить и ускорить методику испытаний и может быть в дальнейшем рекомендована как один из способов контроля работоспособности сталей в мясных средах.

### **Публикации:**

1. Вологжанина С.А., Горлач Р.В. Анализ условий работы мясоизмельчительного оборудования. – В сб. трудов научно-технического семинара «Прочность материалов и конструкций при низких температурах». – С.-Пб.: СПбГАХиПТ, 1999. – с.68-70.

2. Горлач Р.В. Работоспособность режущих комплектов мясоизмельчительного оборудования. В сб. «Совершенствование производств и аппаратурного оформления пищевых технологий и холодильной техники.» - Деп. в ВИНТИ, №26 от 10.2000. - с.97-100.

3. Солнцев Ю.П., Горлач Р.В. Износостойкость материалов при испытаниях в коррозионной среде. – В сб. трудов научно-технического семинара «Прочность материалов и конструкций при низких температурах».- С.-Пб.: СПбГАХиПТ, 2000. – с.85-88.

4. Солнцев Ю.П., Ермаков Б.С., Горлач Р.В. Повышение надежности мясоизмельчительного оборудования. – В сб. трудов научно-технического семинара «Прочность материалов и конструкций при низких температурах». - С.-Пб.: СПбГАХиПТ, 2002. – с.114-122.

5. Солнцев Ю.П., Жавнер В.Л., Вологжанина С.А., Горлач Р.В. Материаловедение оборудования пищевых производств. Учебник для вузов.-С.-Пб.: Профессия, 2003. – 640с.