

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное автономное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(Национальный исследовательский университет)

Факультет «Заочный»
Кафедра «Материаловедение и физико-химия материалов»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент, (Ердаков И.Н.)

_____ (_____)
_____ 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ (Михайлов Г.Г.)
_____ 2018 г.

Анализ структуры и свойств режущего инструмента в
пищевого оборудования

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–22.04.02.2018.379.ПЗ ВКР

Руководитель работы
к.т.н., доцент кафедры МиФХМ

_____ (Н.А. Шабурова)
_____ 2018 г.

Автор проекта
студент группы ПЗ - 343

_____ (Д. В. Тебеньков)
_____ 2018г.

Нормоконтролер
к.т.н., доцент кафедры МиФХМ

_____ (Н.А. Шабурова)
_____ 2018 г.

Челябинск 2018 г.

РЕФЕРАТ

Тебеньков Д.В. Анализ структуры
и свойств режущего инструмента пищевого
оборудования Челябинск: ЮуРГУ, ПЗ-343,
2018. – 42 с., 15 ил., 15 табл., библиогр.
список – 5 наим. 11 листов плакатов

Структура и свойства. Пищевое оборудование. Режущий инструмент.

Объектом исследования является анализ структуры и свойств материала иностранного производства.

Цель работы – выбор материала для изготовления режущего инструмента пищевой промышленности на основе анализа аналогичных образцов иностранного производства.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

- проведен анализ химического состава сталей иностранного производства;
- проведен макроанализ поверхностей разрушения образцов;
- проведен микроструктурный анализ образцов;
- проведены замеры микротвердости;
- проведен подбор отечественного материала.

В результате выполненных работ было предложено несколько марок отечественных сталей, удовлетворяющие по структуре и свойствам.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	
1.1 Актуальность темы исследования.....	9
2 МЕТОДИКИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ	
2.1 Метод спектрального химического анализа	14
2.2 Фрактография и макроанализ	22
2.3 Микроструктурные исследования	24
2.3.1 Исследования состава неметаллических включений РЭМ	24
2.3.2 Исследование микроструктуры металла (оптическая микроскопия).....	25
2.3.3 Определение микротвердости	29
3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ	
3.1 Результаты анализа химического состава	31
3.2 Результаты макроанализа поверхностей разрушения.....	32
3.3 Результаты микроструктурного анализа	33
3.4 Результаты измерений микротвердости.....	36
3.5 Выводы по исследованию материала пил импортного производства.....	37
3.6 Подбор материала для изготовления ленточной пилы из числа отечественных сталей.....	37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	40

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....41

ВВЕДЕНИЕ

Пищевая промышленность в нашей стране в последние годы интенсивно развивается. Причем, в основном за счет появления новых небольших предприятий частной собственности.

Не секрет, что большая часть таких предприятий работает на импортном оборудовании, то и расходные материалы вынуждены приобретать у иностранных производителей. В то же время, в сложившейся экономической ситуации и тенденции к импортозамещению, предприятиям выгодно использовать продукцию отечественного производства.

Целью исследования было подбор материала из числа отечественных марок сталей, для изготовления расходных материалов пищевой промышленности на основе анализа образцов иностранного производства.

Задачи исследования:

1. Определить химический состав образцов режущего инструмента иностранных производителей.
2. Исследовать поверхности разрушения образцов, бывших в употреблении.
3. Определить характер микроструктуры образцов пил иностранных производителей.
4. Определить механические характеристики структуры.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Актуальность темы исследования

Ленточные пилы с зубьями (рисунок 1) отличаются от ножовочных полотен своей длиной и делаются замкнутыми. По виду они аналогичны ножовочным. Пилы с зубьями нашли широкое применение, например на ленточнопильных станках по дереву или по металлу. Их применяют для порезки практически любых материалов, мяса, рыбы, минеральной ваты, пенобетона и многих других. Ленточные пилы по дереву используются на ленточных пилорамах.



Рисунок 1 – Ленточная пила

Ленточное полотно надевается на два шкива станка, вращаемых электромотором, крутится на станке и режет материал зубьями. Жесткие условия эксплуатации - достаточно агрессивная среда, абразивный износ предъявляют повышенные требования к инструменту. Обычно используемое полотно из углеродистой стали обладает низкой твердостью зуба (до 40 HRC), что ведет к быстрому затуплению пилы. Другой проблемой является плохая стойкость к знакопеременным нагрузкам. Проще говоря, появляются множественные трещины, и полотно рвется. Иногда полотно начинает проскальзывать на шкивах машины, а увеличение натяжки полотна приводит к его быстрому разрыву.

Наиболее ослабленными местами ленточных пил является сварной шов и острые кромки, на которых при знакопеременных нагрузках могут появляться трещины.

Поскольку речь идет о пилах, применяемых в пищевой промышленности, то требования к материалу пилы следующие: [1]

1. Для изготовления узлов и деталей, поверхности которых контактируют с пищевыми средами, следует использовать коррозионностойкие к химическим воздействиям стали и сплавы и другие материалы, разрешенные для применения федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции надзора в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека;

2. Для изготовления ленточного полотна следует применять углеродистую инструментальную сталь. Термическая обработка должна обеспечивать установленную твердость зубьев режущей кромки при сохранении пластичной структуры остальной его части во избежание появления трещин и разломов в процессе эксплуатации;

3. Поверхность полотна допускается анодировать.

Для изготовления ленточных пил используются как углеродистые, так и легированные стали. Причем углеродистые, по понятным причинам, значительно уступают по технологическим характеристикам легированным.

Наиболее распространенными в нашей стране являются пилы из стали У8.

Инструментальная углеродистая сталь У8А широко используется на машиностроительных предприятиях для изготовления инструментов работающих в условиях, не вызывающих существенный разогрев режущей кромки, подвергающихся ударам и толчкам и требующих достаточной вязкости при умеренной твердости (метчиков ручных, рашпилей, надфилей, пил для обработки древесины, гладких калибров, топоров, зубил, клейм, кузнечного оборудования, матриц для холодной штамповки) [2].

Таблица 1 – Химический состав стали У8А, мас. %

Марка стали	СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ, %							
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
У8А	0,75-0,84	0,17-0,33	0,17-0,28	≤	≤	≤	≤	≤
				0,018	0,025	0,20	0,20	0,20

Критические точки стали У8А представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Критические точки стали марки У8А

Критические точки		Скорость охлаждения: 10 град/мин. до 20 °С
Точка А _{С1} , °С	Точка А _{Г1} , °С	Точка М _Н , °С
730	700	245

На рисунке 2 представлена диаграмма распада переохлажденного аустенита стали У8А [3].

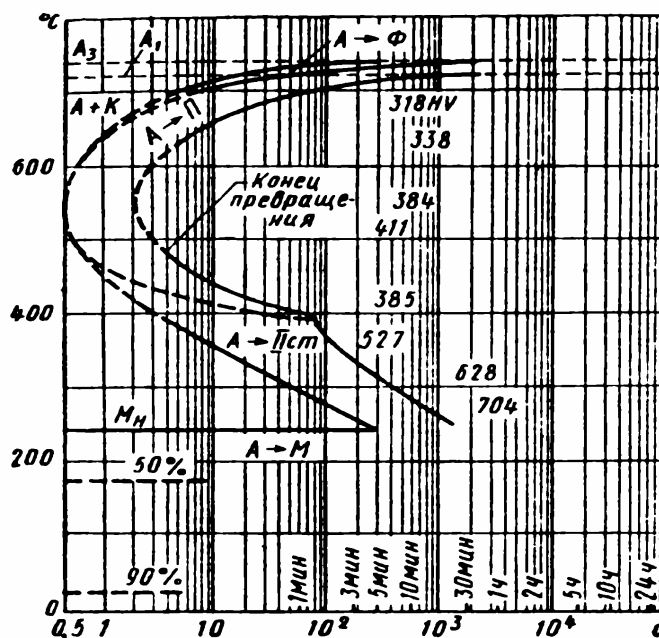


Рисунок 2 - Диаграмма распада переохлажденного аустенита стали У8А

Для получения твердости 48-51 HRC эвтектоидную сталь У8А следует нагревать под закалку на 30–50 С выше критической точки АС3 и подвергать

низкотемпературному отпуску на троостит . Рекомендуемые режимы термообработки стали У8А: температура нагрева под закалку $T_{зак} = 780-800$ С (HRC 63-65) и температура отпуска $T_{отп} = 275-350$ °С (HRC 48-51). Закалочная среда – вода, отпуск проводится на воздухе. При закалке в масле $T_{зак}$ повышают на 20°С.

Таблица - 3 Механические свойства стали У8А

Температура испытаний, °С	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	$\sigma_{в}$ (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	НВ
Отжиг или нормализация					
100	-	710	17	24	195
200	-	640	15	15	205
300	-	-	17	16	205
400	-	-	19	23	190
500	-	500	23	29	170
600	-	370	28	39	150
700	-	255	33	50	120
Закалка 780 °С, масло. Отпуск 400 °С					
20	1230	1420	10	37	-
-40	1270	1450	11	36	-
-70	1300	1470	12	35	-
Образец диаметром 5 мм и длиной 25 мм, деформированный и отожженный. Скорость деформирования 10 мм/мин. Скорость деформации 0,007 1/с					
700	-	105	58	91	-
800	-	91	58	100	-
900	-	55	62	100	-
1000	-	33	62	100	-
1100	-	21	80	100	-
1200	-	15	69	100	-

Таблица - 4 Физические свойства стали У8А

Температура испытания, °С	20	100	200	300	400	500	600	700
Модуль нормальной упругости (E, ГПа)	209	205	199	192	185	175	166	
Модуль упругости при сдвиге кручением (G, ГПа)	81	80	77	74	71	67	62	

Плотность (г, кг/м ³)	7839	7817	7786	7752	7714	7676	7638	7600
Коэффициент теплопроводности (l, Вт/(м · °С))		49	46	42	38	35	33	30
Уд. электросопротивление (R, НОм · м)		230	305	395	491	625	769	931
Коэффициент линейного расширения (а, 10 ⁻⁶ 1/°С)		11,4	12,2	13	13,7	14,3	14,8	15,2
Удельная теплоемкость (С, Дж/(кг · °С))		477	511	528	548	565	594	624

Таблица 5 – Твердость стали У8А

Состояние поставки, режим термообработки	НRCэ поверхности	НВ
ГОСТ 1435-99. Закалка в воду с 780-800 °С	≥63	
Закалка в воду с 780-800 °С + Отпуск 160-200 °С	61-65	
Закалка в воду с 780-800 °С + Отпуск 200-300 °С	56-61	
Закалка в воду с 780-800 °С + Отпуск 300-400 °С	47-56	
Закалка в воду с 780-800 °С + Отпуск 400-500 °С	37-47	
Закалка в воду с 780-800 °С + Отпуск 500-600 °С	29-37	
ГОСТ 1435-99. После отжига		≤187

Из характеристик углеродистой стали видно, что при правильном подборе режима упрочняющей термической обработки, она имеет необходимый уровень твердости и прочности. Однако такие пилы сложны в эксплуатации, так требует постоянного ухода для предотвращения коррозии.

2 МЕТОДИКИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Метод спектрального химического анализа

Микроскоп электронный растровый (далее - микроскоп) предназначен для измерений линейных размеров микрорельефа поверхности твердотельных объектов и структур, в том числе диэлектрических.

Микроскоп представляет собой стационарную автоматизированную многофункциональную измерительную систему и состоит из электронно-оптической системы (колонны), камеры объектов с механизмом перемещения объектов, детектора вторичных и детектора отраженных электронов, вакуумной системы, видеоконтрольного устройства, блока питания (рисунок 3).



Рисунок 3 – Растровый микроскоп

Принцип получения изображения в микроскопе заключается в модуляции яркости монитора видеоконтрольного устройства сигналами, пропорциональными числу зарегистрированных вторичных отраженных электронов, при сканировании сфокусированного электронного зонда по поверхности объекта. Отношение размера изображения на мониторе к размеру раstra на образце определяет увеличение микроскопа. При работе микроскопа обеспечиваются безопасные

условия труда оператора. При максимальных значениях ускоряющего напряжения и тока зонда мощность эквивалентной дозы рентгеновского излучения в любой доступной точке на расстоянии 10 см от поверхности колонны и камеры объектов микроскопа не превышает 1 мкЗв/ч.

Управление микроскопом осуществляют с помощью встроенного контроллера и внешней ПЭВМ с использованием специализированного программного обеспечения (ПО).

Поверка осуществляется по ГОСТ Р 8.631-2007 «Микроскопы электронные растровые измерительные. Методика поверки». Средства поверки: мера ширины и периода специальная МШПС-2.0К. Принципиальная схема работы микроскопа приведена на рисунке 4.

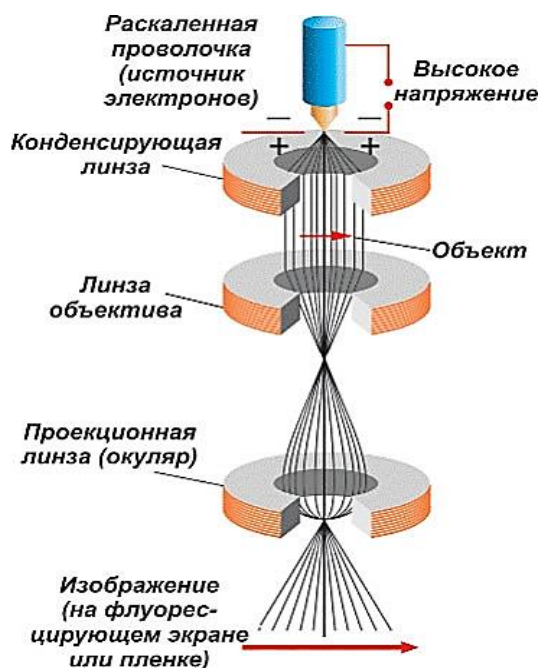


Рисунок 4 – Принципиальная схема растрового микроскопа

Тонкий электронный зонд (электронный пучок) направляется на анализируемый образец. В результате взаимодействия между электронным зондом и образцом генерируются низкоэнергетичные вторичные электроны, которые собираются детектором вторичных электронов. Интенсивность электрического сигнала детектора зависит как от природы образца (в меньшей

степени), так и от топографии (в большей степени) образца в области взаимодействия. Таким образом, сканируя электронным пучком поверхность объекта возможно получить карту рельефа проанализированной зоны.

Тонкий электронный зонд генерируется электронной пушкой, которая играет роль источника электронов, и фокусируется электронными линзами (обычно электромагнитными, иногда электростатическими). Сканирующие катушки отклоняют зонд в двух взаимоперпендикулярных направлениях, сканируя поверхность образца зондом, подобно сканированию электронным пучком экрана электронно-лучевой трубки телевизора. Источник электронов, электронные линзы (обычно тороидальные магнитные) и отклоняющие катушки образуют систему, называемую электронной колонной.

На рисунке 5 представлено устройство растрового микроскопа. Основа сканирующего электронного микроскопа – электронная пушка и электронная колонна, функция которой состоит в формировании острого фокусированного электронного зонда средних энергий (200 эВ – 50 кэВ) на поверхности образца. Прибор обязательно должен быть оснащен вакуумной системой. Также в каждом РЭМ есть предметный столик, позволяющий перемещать образец минимум в трех направлениях. При взаимодействии электронов с объектом возникают несколько видов сигналов, каждый из которых улавливается специальным детектором. Соответственно, изображения, продуцируемые микроскопом, могут быть построены с использованием различных сигналов, часто нескольких сигналов одновременно (например, изображение во вторичных электронах, изображение в отраженных электронах, рентгеновское изображение (карта)).

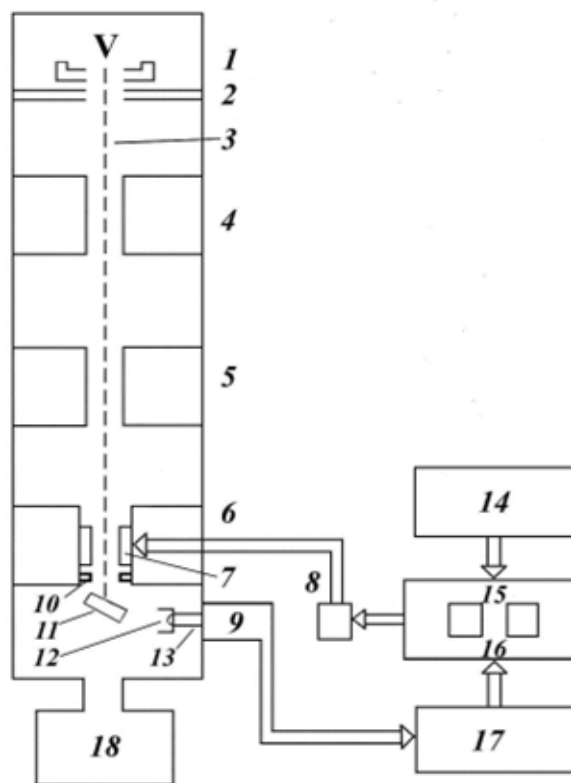


Рисунок 5 – Устройство растрового электронного микроскопа:
 1 – катод; 2 – анод; 3 – электронный луч; 4 – конденсорная линза 1;
 5 – конденсорная линза 2; 6 – конечная конденсорная линза;
 7 – отклоняющие катушки; 8 – блок регулировки увеличения; 9 –
 фотоумножитель; 10 – апертурная диафрагма; 11 – образец; 12 – сцинтиллятор; 13
 – световод; 14 – отклоняющие устройства; 15 – устройства для наблюдения; 16 –
 съемка; 17 – усилитель сигнала; 18 – вакуумная система

Анализатор химического состава INCA Energy 350 (Carl Zeiss) показан на рисунке 6.



Рисунок 6 – Анализатор химического состава INCA Energy 350 (Carl Zeiss)

Главный элемент энергодисперсионного спектрометра (ЭДС) – это полупроводниковый детектор (ППД) рентгеновского излучения. Детектор преобразует энергию единичного рентгеновского фотона в скачок напряжения пропорциональной величины с использованием полупроводникового кристалла и полевого транзистора-предусилителя. В настоящее время используются детекторы двух основных типов: (1) кремний-литиевые (Si(Li)) и (2) кремний-дрейфовые (SDD или ADD (аналитический кремний-дрейфовый)). Для получения необходимых характеристик и снижения помех (тепловых шумов) ППД необходимо охлаждать: Si(Li) – обычно до температуры кипения жидкого азота, а SDD – до температуры менее -30° C. Современные детекторы обоих типов обеспечивают анализ любых элементов от бериллия до плутония и близки по аналитическим характеристикам в диапазоне энергий от 0 до приблизительно 12 кэВ. При более высокой энергии Si(Li) превосходит SDD/ADD по эффективности регистрации излучения из-за различия в толщине кристалла (3 мм и 0,3 мм, соответственно). Большинство Si(Li) детекторов также обладают преимуществом по разрешению в области малых энергий (до 1-2 кэВ). Преимущество SDD/ADD детекторов – значительно более высокая скорость обработки сигнала. Кроме того, в этом случае не требуется жидкий азот для охлаждения.

Площадь кристаллов современных Si(Li) детекторов Oxford Instruments – INCAPentaFET-x3 – 30 мм^2 , а ADD x-ACT – 10 мм^2 . В связи с этим главное преимущество INCAPentaFET-x3 – чувствительность в три раза выше по сравнению с 10 мм^2 Si(Li) или 10 мм^2 ADD/SDD при обычных условиях наблюдения без потерь в аналитических характеристиках. Область применения INCAPentaFET-x3 – анализ наноструктур и чувствительных к электронному зонду образцов при малых токах зонда и низких ускоряющих напряжениях.

Главные преимущества ADD детектора Inca X-act – очень высокая производительность анализа при высоком токе зонда и высокой интенсивности рентгеновского сигнала: точный анализ можно выполнить всего за 5 сек. Область

применения ADD детектора Inca X-act – везде, где имеется возможность получения высокого тока зонда на образце ($>3-10$ нА) – на РЭМ с вольфрамовым катодом или с автоэмиссионным катодом Шоттки, на образцах, устойчивых под электронным зондом.

Сигнал от детектора передается в цифровой процессор импульсов Inca x-Stream, который измеряет его для определения энергии каждого рентгеновского импульса. Система захвата изображения Inca Mics позволяет получать цифровые электронные изображения и осуществлять управление микроскопом. Для анализа и интерпретации полученных данных используется анализатор – компьютер и программа Inca Energy SEM.

Характеристики детектора и системы обработки сигнала – базовые факторы, определяющие аналитические характеристики системы микроанализа в целом. Критериями их оценки являются: (1) энергетическое разрешение детектора; (2) стабильность отклика при разных нагрузках и (3) способность поддерживать характеристики в долгосрочной перспективе.

Разрешение ППД – это ширина пика на половине его максимальной высоты. Лучшее разрешение означает меньшую ширину пиков. При обычных условиях наблюдения для РЭМ (ток зонда 0,1-1,0 нА) скорость счета для ППД с площадью кристалла 10 мм^2 находится в диапазоне приблизительно от 2 000 до 8 000 имп/сек.

Анализатор серы и углерода Leco.



Рисунок 7 – Анализатор серы и углерода CS744 (Leco)

Анализатор серы и углерода позволяет легко проводить одновременный или поочерёдный анализ серы и углерода в металлах, рудах и неорганических материалах.

Прибор соответствует ASTM E1019 и его международным аналогам. Анализ происходит менее чем за минуту, и для него не требуются опасные химические реагенты. Управление анализатором осуществляется с помощью сенсорного дисплея (*опция*) или компьютера (*опция*). Программное обеспечение, работающее под Windows, позволяет производить гибкую настройку параметров анализа и хранения данных. Программа позволяет выводить на экран полную информацию о пробе, содержание серы и углерода, график выделения серы и углерода в реальном режиме времени.

Принцип работы анализатора:

1. предварительно взвешенный образец плавится в атмосфере чистого кислорода;
2. углерод окисляется до CO_2 (и небольших объёмов CO , с последующим переходом в CO_2 с помощью катализатора);
3. сера полностью окисляется до SO_2 ;
4. CO_2 и SO_2 измеряются в ИК-ячейках.

Особенности анализатора:

- быстрый анализ менее чем за минуту;
- высокоэффективная печь превосходно подходит для всех материалов;
- новейшая конструкция ИК-ячейки позволяет получать максимально точные и стабильные результаты;
- современное программное обеспечение Cornerstone;
- сенсорная панель (*опция*) управления прибором;
- электронный мониторинг потока газа;
- высокоскоростная вакуумная система позволяет улавливать и собирать пыль;
- опциональные 10- и 60-позиционные автозагрузчики позволяют проводить непрерывную цепочку анализов.

Наиболее популярные методики, реализуемые с помощью анализатора:

- Углерод в тугоплавких металлах и их сплавах;
- Углерод и сера в металлических рудах и связанных материалах;
- Углерод и сера во фтортантале калия;
- Углерод и сера в стали и сплавах на основе никеля и кобальта;
- Углерод и сера в негашёной извести;
- Сера в материалах на основе меди.

Условия эксплуатации:

- рабочая температура 15...35 °С;
- влажность 20...80 % (без конденсата).

2.2 Фрактография и макроанализ [3]

Макроструктуру металла изучают путём просмотра поверхности специально подготовленных образцов (макрошлифов) или изломов невооруженным глазом при небольших увеличениях – до 30 раз. Макроанализ даёт общее представление о строении металлов и позволяет оценить его качество после различных операций металлургического производства (выплавка и разливка в слитки и непрерывно-литые заготовки, прокатка, ковка и др.), а также различных видов обработки на машиностроительных предприятиях (литья, обработки давлением, сварки, термической и химико-термической обработки). Этот анализ позволяет выбрать те участки, которые требуют дальнейшего микроскопического исследования. Широкое применение макроанализ находит при контроле качества сталей и сплавов для обнаружения разнообразных дефектов металлопродукции. Методы макротравления подразделяют на три основные группы: глубокого травления, поверхностного травления, отпечатков. Структура, выявляемая глубоким травлением, сравнительно слабо зависит от подготовки поверхности образца, в то время как поверхностное травление или метод отпечатков требует более тщательной подготовки поверхности. Для изучения поверхности нераскрытых изломов образцы, вырезанные в продольном или поперечном направлении (по отношению к течению металла при формоизменении), надрезают с противоположной стороны, а затем разрушают по месту надреза на прессе или копре. Разрушение следует производить с максимальной скоростью и большой сосредоточенной нагрузкой, т. е. в условиях, исключающих смятие поверхности излома и образование ложных расслоений (в поперечных изломах). Для выявления дефектов, нарушающих сплошность литой или деформированной стали, макрошлифы (темплеты) подвергают глубокому и реже поверхностному травлению. Операцию выполняют в вытяжном шкафу в ванне, изготовленной из материала, не вступающего в реакцию с применяемыми травильными растворами. В некоторых случаях травление осуществляют протиркой тампоном, смоченным в

реактиве. После травления макрошлиф приобретает рельефную поверхность с отчетливо видимыми осями дендритов (литая сталь), ликвационной неоднородностью, пористостью, трещинами и другими дефектами, а также волокнистой структурой (деформированная сталь). Для определения химической неоднородности стали используют методы поверхностного травления. Для выявления ликвации фосфора используют реактивы Обергоффера и Стэда. При травлении реактивом Стэда (5 мл HCl; 25г CuCl₂; 20г MgCl₂; 500 мл спирта; 100 мл воды) несколько капель реактива наносят на поверхность шлифа и примерно через 1 минуту сливают. Образование медного слоя на поверхности темплета начинается на свободных от фосфора участках и постепенно распространяется на участки феррита с незначительным содержанием фосфора. В результате длительного травления только участки с высоким содержанием фосфора остаются без медного покрытия. Для получения отпечатка на распределение серы в металле (по Бауману) темплеты после отжига, строгания или торцевания шлифуют до удаления рисок от предыдущей обработки и полируют пастой зерном 12 и 8. Образцы тщательно протирают от пыли и жировых пятен (для обезжиривания рекомендуется применять денатурированный спирт). При снятии отпечатков с высокосернистых (автоматных) сталей темплеты предварительно протирают ватным тампоном, смоченным в 5%-ном растворе серной кислоты. При этом удаляют продукты первичной реакции. Отпечатки снимают на фотобумагу, соответствующую размерам темплета. Листы фотобумаги замачивают в течении 5-8 мин на свету в 5%-ном растворе серной кислоты. От избытка раствора бумагу слегка просушивают фильтровальной бумагой и накладывают эмульсионной стороной на поверхность темплета. С обратной стороны, не допуская сдвига, фотобумагу непрерывно проглаживают резиновым валиком или ватным тампоном до полного удаления пузырьков газа, образующихся при реакции. Отпечатки снимают при температуре около 20°C до 15 минут в зависимости от легирования стали и содержания в ней серы. Отпечаток считается готовым при потемнении фотобумаги от светло-коричневого (на легированной стали с низким содержанием

серы) до темно-коричневого цвета (на углеродистой стали с повышенным содержанием серы, а также фосфора). В местах скопления сернистых включений потемнение фотобумаги будет максимальным в соответствии с количеством образующегося здесь сернистого серебра. Готовый отпечаток тщательно промывают в проточной воде и обрабатывают фиксажем в течение 20-30 мин (раствор тиосульфата натрия), затем его снова промывают, просушивают и надписывают. Для снятия повторного отпечатка поверхность образца шлифуют со снятием слоя металла не менее чем на 0,3 мм. Определение неоднородности в структуре, созданной термической и химико-термической обработкой. Толщину закаленного слоя устанавливают по виду излома: он более мелкозернистый, а при закалке без перегрева – фарфоровидный. Чтобы более точно устанавливать толщину этого слоя, образец шлифуют по излому (перпендикулярно оси) и травят в течение 3 мин в 50%-ном растворе соляной кислоты при 80 °С. Закаленный слой приобретает более темную окраску.

2.3 Микроструктурные исследования

2.3.1 Исследования состава неметаллических включений РЭМ

РЭМ оснащаются детекторами, позволяющими отобрать и проанализировать излучение, возникшее в процессе взаимодействия и частицы, изменившие энергию в результате взаимодействия электронного зонда с образцом. Разработанные методики позволяют исследовать не только свойства поверхности образца, но и визуализировать информацию о свойствах подповерхностных структур.

Проводящие (металлические) образцы обычно не требуют специальной подготовки, и могут быть непосредственно помещены в камеру микроскопа. Если требуется, образцы могут подвергаться очистке. Для обозрения внутренней

структуры и (или) использования микрорентгеноспектрального анализа могут быть приготовлены шлифы.

Порошки и наночастицы наносятся на поверхности зеркального качества (стекло, пластик, слюда и др.) в виде взвеси в воде или органическом растворителе. После высыхания жидкости образец может быть использован в микроскопе. Порошки с более крупными частицами могут наноситься на проводящий углеродный скотч.

Непроводящие образцы обычно подвергаются напылению тонкого проводящего слоя для снятия заряда и экранирования падающего пучка от накопленного в объёме материала заряда. Для проводящих покрытий чаще всего используют углерод, золото или сплав золота с палладием. Первый полезен для рентгеновского микроанализа. Напыление золота или сплава на его основе позволяет получать микрофотографии с большим увеличением и контрастом (чаще всего без собственной визуализации). Если невозможно напыление пленки на образец, то в РЭМ с переменным вакуумом возможно снятие заряда с образца ионами вводимых в камеру газов (обычно водяные пары или азот). Накопления заряда на образце так же можно избежать при работе при низких ускоряющих напряжениях (обычно порядка 1 кВ).

Биологические образцы должны быть химически зафиксированы, дегидрированы, в сериях растворов спирта или ацетона с увеличивающейся от 30–50% до 100% концентрацией. Затем спирт (или ацетон) должен быть удален из образца в специальном аппарате, в котором спирт замещается на жидкую двуокись углерода, которая переводится в газообразное состояние посредством перехода через критическую тройную точку.

2.3.2 Исследование микроструктуры металла (оптическая микроскопия)

Микроскоп световой инвертированный Axio Observer Alm предназначен для измерений линейных размеров микрорельефа твердотельных структур, а так же служит для исследования в отраженном и проходящем свете крупных и тяжелых

деталей в металлографии, а именно: исследование материалов и деталей, контроль этапов обработки, определение поверхностных свойств деталей, глубин микронеровностей, толщины слоев, определение типов структур, исследование зон термического влияния сварных соединений, проверка глубины закалки.

AxioObserver.A1m является ручным не моторизованным агрегатом, который отлично подойдет для рутинной деятельности. AxioObserver.D1m — включает в себя ЖК-дисплей, на котором демонстрируется вся необходимая информация на данный момент времени.

С 2007 года фирма Carl Zeiss выпускает новую серию инвертированных металлографических микроскопов Axio Observer A1m/D1m/Z1m. Эта серия является логическим продолжением развития параметрического ряда IC²S-оптики, отличительной особенностью которой является разработка осветительной системы с апохроматическим коллектором, обеспечивающим высокое качество светового потока, падающего на поверхность объекта и обеспечивающего точное воспроизведение его в изображении не только за счёт качественной оптики объектива, но и за счёт светового потока, формирующего изображение (рисунок 8).



Рисунок 8 – Инвертированный микроскоп Axio Observer D1m

Инвертированный микроскоп Axio Observer имеет три варианта исполнения: ручная исследовательская модель, ручная универсальная и моторизованная универсальная модели. Отличительной особенностью новых микроскопов является их модульность в широком диапазоне, начиная с возможности реализации его как микроскопа отражённого, так и проходящего света с соответствующим комплектом конденсоров и объективов проходящего света. Интерес представляет введённый в данную серию комплект осветителей. Наравне с галогенной и ртутной лампами, предлагаются светодиодные осветители для проходящего света, известные своей долговечностью. Адаптер для установки двух осветителей (например, с галогенной и ртутной или ксеноновой лампами одновременно) позволяет проводить исследования различными источниками света без остановки в процессе работы.

Два типа моторизованных столов разной точности (а значит и разной стоимости) обеспечивают процесс автоматизированного контроля не только по площади, но и при использовании специального адаптера, автоматизировать также процесс измерения и наблюдения по оси Z.

Данный инвертированный металлографический микроскоп реализует такие методы контрастирования и исследования как светлое и тёмное поле, поляризация, люминесценция и дифференциально-интерференционный контраст (DIC, PlasDIC), фазовый +/- анализ. Измерения могут быть проведены как с помощью электронного цифрового окулярного микрометра (окуляр 20x), так и с помощью мини-интерферометра TIS.

Микроскоп оснащен анализатором изображения Thixomet Pro, позволяющим:

из нескольких изображений, сфокусированных на разных фрагментах, можно собрать изображение всего поля зрения в остром фокусе. Применение расширенного фокуса возможно как на отдельных полях зрения, так и при построении панорамных изображений. Используя функцию расширенного фокуса, можно построить не только изображение исследуемой поверхности в

остром фокусе, но и ее 3D модель, на основе которой можно исследовать профиль трехмерной поверхности вдоль заданной прямой.

Навигатор и позиционирование

Для удобства построения и последующего исследования панорамных изображений в Thixomet реализованы функции навигатора и позиционирования предметного стола.

Выделение и распознавание объектов

Идентификация объектов может быть произведена по уровню серого или по цвету. Thixomet позволяет исключить передетектирование крупных объектов при выделении мелких с помощью двух диапазонов дискриминации. Выделение объектов по цвету осуществляется в интуитивно понятном пространстве HSL (цветовой тон, насыщенность, яркость). Для облегчения работы с линейками порогов дискриминации при детектировании границ объектов структуры используется фликкер-метод.

После распознавания могут быть рассчитаны более 20-ти метрических параметров, которые для удобства визуализируются в виде гистограмм распределения по числу или объемной доле. Цвет объектов на изображении синхронизируется с цветом соответствующего столбца на гистограмме по метрическим параметрам. Объекты, выделенные по цвету, можно продолжить распознавать по одному или совокупности нескольких метрических параметров. Задавая границы одного столбца и, убирая лишние столбцы, можно выделить нужные объекты в одну категорию. Все действия, произведенные с гистограммой свойств, могут быть записаны, что позволяет создать собственную методику распознавания, которую можно использовать в других сеансах работы.

Работа со стандартными шкалами.

На фоне реального изображения структуры можно расположить полупрозрачные стандартные шкалы. Имеется набор стандартных шкал для наиболее часто используемых стандартов, предусмотрена возможность их неограниченного расширения пользователем.

Обработка изображений

Большой набор функций обработки изображений позволяет улучшать их качество для последующего правильного распознавания сложных структур.

Ручные измерения

Линейный размер, площадь, угол, радиус кривизны, расстояние между произвольными кривыми. Кривая изменения яркости и ее производной вдоль прямой для точного определения расстояния между упорядоченными объектами (например, доменные структуры). Экспорт в продукты MS Office Thixomet позволяет производить экспорт изображения или его фрагментов в оригинальном или распознанном виде, калиброванных изображений с маркером или микронной линейкой, результатов измерений метрических параметров объектов изображения, результатов ручных измерений.

2.3.3 Определение микротвердости

Автоматический микротвердомер FM-800 создан в соответствии с традиционно высокими японскими стандартами качества (рисунок 9). Четыре прямых метода определения твердости на одном приборе (HV / HK / HBS / HBW / Kc).



Рисунок 9 – Микротвердомер FM-800

FM-800 является самой популярной моделью, так как сочетает в себе самые последние достижения в приборостроении:

- нагрузки от 5 грс. до 2000грс.
- порт USB для подключения для подключения к ПК
- выбор держателей для работы с образцами различных форм и размеров
- установка 4 объективов и 2 инденторов
- сенсорный дисплей высокой контрастности, на котором отображаются функции управления, а также данные, получаемые в процессе работы.

3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ

Исследовались образцы ленточных пил корейского и немецкого производства.

На исследование представлены 7 образцов ленточных пил различной длины, толщиной 0,4 мм.

Химический состав образцов не исследовался.

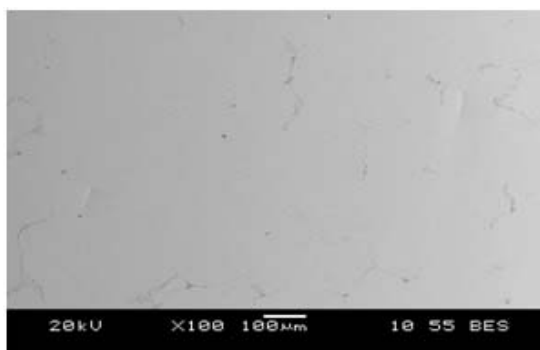
Маркировка образцов:

- 1 – участок сварного шва пилы корейского производства (новой);
- 2 – участок основного металла пилы корейского производства (новой);
- 3 - участок сварного шва пилы немецкого производства (новой);
- 4 – фрагмент пилы корейского производства, разрушившейся по основному металлу;
- 5 - фрагмент пилы корейского производства, разрушившейся по сварному шву;
- 6 – сварной шов пилы корейского производства бывшей в употреблении;
- 7 - сварной шов пилы корейского производства бывшей в употреблении.

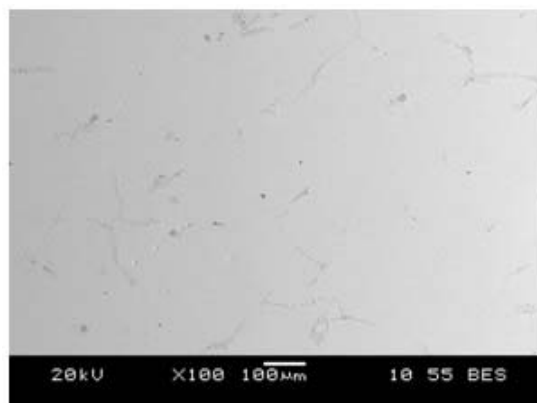
3.1 Результаты анализа химического состава

Определение количества основных элементов проводилось с помощью зонда растрового электронного микроскопа, оснащенного химическим анализатором.

В исследуемом образце, проводилось сканирование трех участков, при увеличении $\times 100$. На рисунке 10 представлены примеры этих участков.



а



б

Рисунок 10 – Общий вид участков анализа химического состава:
а - образец корейского производства; б - образец немецкого производства

Результаты количественного анализа элементов и результаты спектрального анализа содержания серы и углерода приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Химический анализ исследуемых образцов, мас. %

Сталь	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Ti	Nb	Fe	N
корейская	0,796	0,199	0,406	0,0033	0,0058	0,231	1,61	0,0147	0,0159	0,002	96,66	0,0142
немецкая	1	0,174	0,312	0,0025	0,006	0,193	0,01	0,0178	0,0167	0,003	98,17	0,033

3.2 Результаты макроанализа поверхностей разрушения

Поверхности разрушения корейских пил имеют волокнистое строение. Участок начала разрушения находится со стороны заточки. Первоначально трещина проходит перпендикулярно сечению пилы ($1/3$, $1/4$ от высоты), затем трещина проходит под углом. Схема процесса показана на рисунке 11.

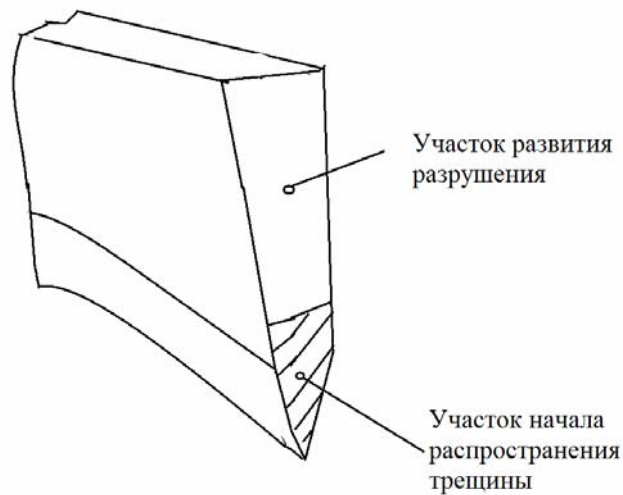


Рисунок 11– Схема распространения трещины

Разрушенные образцы немецкой пилы имеют аналогичный характер разрушения. Следовательно для обоих образцов участок заточки лезвия является наиболее ослабленным участком. Т.к. именно здесь происходит образование микротрещин при неправильном режиме нагружения.

3.3 Результаты микроструктурного анализа

Исследование нетравленных шлифов показало отсутствие несплошностей (пор, трещин) как в зоне сварного шва, так и в основном металле.

Неметаллические включения в образцах встречаются двух видов — точечные (оксиды, сульфиды) – 0,5 балла и строчечные 1-1,5 балла по ГОСТ 1778-70.

Следует отметить, что строчечные включения в образцах 1, 2, 5 располагаются вдоль направления прокатки на расстоянии $1/3$, $1/4$ от внешних поверхностей.

В образце 3 строчечные включения располагаются в центральной части. Изучение образцов 4, 6 (боковые поверхности пил) показало, что вблизи поверхностей разрушения как основного металла (образец 4), так и сварного шва (образец 6) неметаллических включений, трещин и других несплошностей не обнаружено.

На поверхности заточки имеются риски (рисунок 12).



а



б

Рисунок 12 – Поверхности заточки: а – образец 4, x200; б – образец 6, x100

Исследование микроструктуры

Микрошлифы образцов 1, 2, 3, 5,7 выполнены по толщине пилы вдоль направления прокатки (незаточенный торец).

Микрошлифы 4, 6 – боковые поверхности пил, вблизи поверхности разрушения по основному металлу и сварному шву, соответственно.

Травление микрошлифов проводилось в 4% растворе азотной кислот в этиловом спирте.

Установлено, что образцы имеют однородную структуру мартенсит/ троостит отпуска (для более точной классификации необходима информация и химическом составе образцов), дисперсные карбиды (рисунок 13).

В зоне термического влияния и сварном шве присутствуют же те структурные составляющие. Следует отметить больше количество карбидов (рисунок 14).

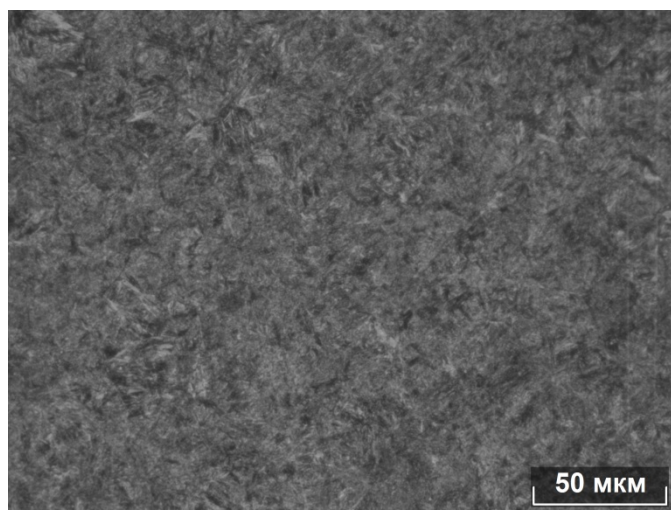


Рисунок 13 – Микроструктура основного металла образцов

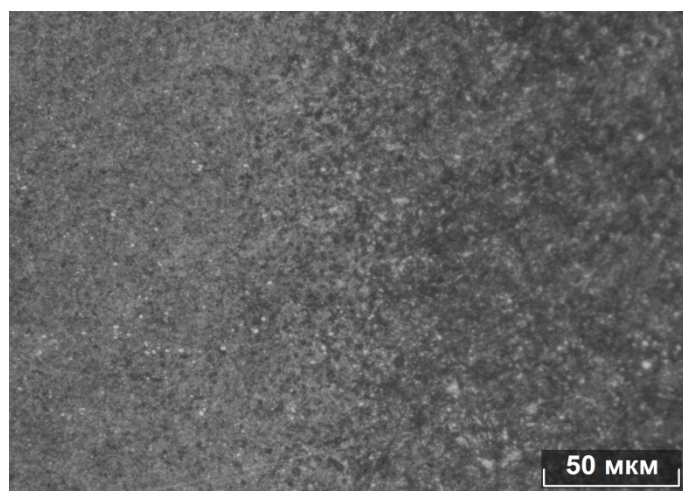
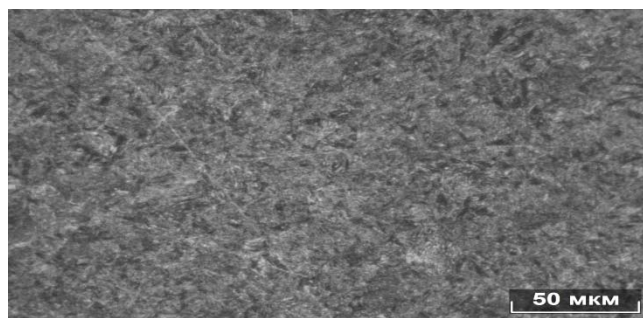


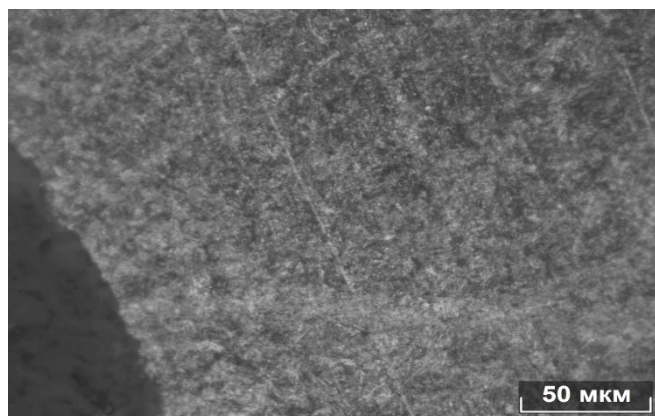
Рисунок – 14 Переходная зона: сварной шов-основной металл

Сварной шов в образцах 1, 5, 7 шириной порядка 0,9 мм, в образце 3 – 1,4 мм

Образцы 4 и 6 имеют однородную структуру как в основном металле, так и вблизи поверхности разрушения (рисунок 15).



а



б

Рисунок – 15 Микроструктура образца 4, х500: а – основной металл, б – вблизи поверхности разрушения

Отсутствие зоны термического влияния у поверхности разрушения в образце б свидетельствует о том, что разрушение произошло не по сварному шву (ЗТВ осталась на ответной части образца). Аналогичная ситуация наблюдается и на образце 5 где поверхность разрушения располагается под углом к торцевой поверхности пилы, рядом со сварным швом.

3.4 Результаты измерений микротвердости

Микротвердость основного металла во всех образцах составляет порядка 45-47 HRC. У сварного шва наблюдается провал твердости до 42-44 HRC. В самом сварном шве в образцах 1 и 7 (корейский новый и использованный) составляет в среднем 50 HRC, в образце 3 (немецкий новый) 56 HRC.

3.5 Выводы по исследованию материала пил импортного производства

По результатам проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

Микроструктура основного металла всех образцов однородна и представлена мартенсит отпуска.

Имеются различия в твердости сварного шва корейского и немецкого образцов.

Изломы разрушившихся образцов однотипны (рисунок 11), следовательно можно предположить, что наиболее вероятно причиной разрушения могут быть микротрещины, возникающие при заточке режущих кромок. Для обоих иностранных образцов участок заточки лезвия является наиболее ослабленным участком. Т.к. именно здесь происходит образование микротрещин при неправильном режиме нагружения.

Несмотря на сходство структур образцов немецких и корейских пил - велико различие ширины сварного шва в образцах 3 и 1,5,7. Что свидетельствует о различной технологии сварки.

Форма заточенной поверхности зубьев на исследуемых образцах идентична.

3.6 Подбор материала для изготовления ленточной пилы из числа отечественных сталей

Из результатов химического состава корейской и немецкой сталей, можно подобрать ряд сталей отечественного производства.

Сталь 8ХФ – инструментальная легированная сталь применяется для штампов при холодной работе, ножей при холодной резке металла, обрезных матриц и пуассонов при холодной обрезке заусенцев, кернеров [2].

Таблица 7 Химический состав стали 8ХФ, мас. %

С	Si	Mn	S	P	Cr	V
0.7 - 0.8	0.1 - 0.4	0.15 - 0.45	до 0.03	до 0.03	0.4 - 0.7	0.15 - 0.3

Таблица 8 Температура критических точек материала 8ХФ

$A_{c1} = 740$	$A_{c3}(A_{cm}) = 750$	$A_{r1} = 700$	$M_n = 215$
----------------	------------------------	----------------	-------------

Под закалку лучше всего нагревать в подвешенном состоянии в соляной ванне или в шахтной печи,. Нагрев следует вести медленно, при температуре 500—600°С. закаливают в воду с переносом в масло.

Отпуск при 250—400°, Твердость после термической обработки HRC= 52—58.

Сталь 9Х5ВФ – сталь инструментальная легированная предназначенная для изготовления ножей, применяемых для фрезерования древесины, строгальных пил и других деревообрабатывающих инструментов.[2]

Таблица 10 Химический состав стали 9Х5ВФ, мас. %

С	Si	Mn	S	P	Cr	W	V
0,85 - 1	0,1 – 0,4	0,15 – 0,45	до 0,03	до 0,03	4,5 – 5,5	0,8 – 1,2	0,15 - 0.3

Таблица 11 Температура критических точек материала 9Х5ВФ

$A_{c1} = 815$	$A_{c3}(A_{cm}) = 830$	$A_{r1} = 755$	$M_n = 240$
----------------	------------------------	----------------	-------------

Термическая обработка слтали 9Х5ВФ состоит из закалки при температуре 830 — 870°С в масле или ступенчатой закалки и отпуска при температуре 200 °С. Твердость после термообработки составляет HRC= 61 – 65. Если необходимо увеличить вязкость, то температуру отпуска повышают до 200—300 °С.

Вследствие некоторого распада мартенсита твердость после этого снижается до HRC = 55 – 60.

Сталь У10 – инструментальная углеродистая сталь применяется для изготовления инструмента, работающий в условиях, не вызывающих разогрева режущей кромки: метчики ручные, рашпили, надфили, пилы для обработки древесины, матрицы для холодной штамповки, гладкие калибры, топоры. [2]

Таблица 13 Химический состав стали У10, масс. %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Fe	Cu
0.95-1.04	0.15-0.35	0.15-0.35	до 0.12	до 0.018	до 0.025	до 0.1	97	до 0.2

Таблица 14 Температура критических точек стали У10

Ac ₁ = 730	Ac ₃ = 800	Ar ₁ = 700	Mn = 210
-----------------------	-----------------------	-----------------------	----------

Таблица – 15 Твердость стали У10 после термической обработки

Твердость стали У10 в зависимости от температуры отпуска	
Температура отпуска, °С	HRC ₉
Закалка 760-780 °С, вода	
160-200	63-65
200-300	57-63
300-400	49-57
400-500	40-49

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были проведены исследования образцов ленточных полотен пил для пищевой промышленности. Проведен анализ структуры и свойств корейской и немецкой сталей. Подобраны ряд сталей отечественного производства, не уступающие по свойствам иностранным материалам.

Библиографический список

1 ГОСТ 31525-2012 Межгосударственный стандарт. Машины и оборудование для пищевой промышленности. Пилы ленточные. Технические условия. Введен 01.01.2014 – М.: СТАНДАРТИНФОРМ. 2014 – 37 с.

2 Смирнов, М.А. Основы термической обработки стали: учебное пособие/ М.А. Смирнов, В.М. Счастливцев, Л.Г. Журавлев. – Екатеринбург: УрО РАН, 1999. – 495 с.

3 Попов, А.А. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита /А.А.Попов, Л.Е.Попова. – М.: Металлургия, 1965. – 493 с.

4 Дечко Э.М., Маркевич Ю.Р. Основы ленточного пиления: учебное пособие для лабораторных работ/ Ю.Р. Маркевич.: БНТУ, 2014. – 80 с.

5 Лахтин Ю.М. Материаловедение: учебник / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – 3-е изд., переработанное и доп. / Репринтное воспроизведение издания 1990 – Москва : Транспортная компания, 2018. – 528 с.