

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Нанотехнологии, материаловедение и механика»
(наименование)

22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Материаловедение и технологии наноматериалов и наносистем
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Повышение стойкости пуансонодержателей из 40ХГНМ за счет
оптимизации режимов термообработки»

Студент

В.А. Юртаев
(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., профессор Д.А. Болдырев
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

АННОТАЦИЯ

Объем бакалаврской работы 59 стр., 28 рисунков, 6 таблиц, 28 источников

Данная работа посвящена изучению влияния неклассических режимов термообработки на долговечность оснастки, работающей в условиях ударных нагрузок.

Целью работы является повышение стойкости пуансонодержателей, изготовленных из стали марки 40ХГНМ. Основной задачей квалификационной работы было определение возможности применения стали 40ХГНМ для изготовления пуансонодержателей, анализ полученных результатов и подготовка рекомендаций для термического участка. Изначально выполнено литературное исследование по влиянию химического состава на механические свойства стали, а также влияние термической обработки на упрочнение деталей. Вторая глава работы описывает методическую часть работы – применяемое оборудование и реактивы, а также выполнена постановка экспериментальной части. Третья глава посвящена анализу и разработке мероприятий по технике безопасности для работы в лаборатории металловедения и на термическом участке. В четвертой главе рассмотрены результаты испытаний, проведён анализ полученных результатов. В заключительной части работы обобщены полученные выводы, предложены рекомендации по повышению эффективности действующего производства. Результаты исследований показывают, что закалка из двухфазной области может повысить долговечность изделий, работающих в условиях ударных нагрузок при условии, обеспечения требований по твердости (прочности), за счёт образования феррита, способного релаксировать напряжения формируемые ударным нагружением. Работа актуальна для промышленного производства, поскольку применение более экономнолегированных марок на всегда остается приоритетным направлением повышения эффективности действующего производства.

ABSTRACT

The title of the senior thesis is Increasing the durability of punches from 40CrMnNiMo by optimizing heat treatment modes.

The graduation work is devoted to the study of the impact of non-classical heat treatment modes on the durability of the rig, which works in the conditions of shock loads.

In the first part of the work was conducted a literary study on the effect of chemical composition on the mechanical properties of steel, as well as the effect of thermal processing on the hardening of parts.

The second part of the graduation project describes the methodical part of the work: the equipment and reagents used, as well as the plan for experimental part.

In the third part of the work, a safety technique was developed to work in a metal science laboratory.

The fourth part examined the results of the tests, analyzed the results.

In conclusion of the work the findings are summarized and recommendations for improving the efficiency of the existing production are proposed. Studies show that tempering from the two-phase area can increase the durability of products working in shock loads, provided that the requirements for hardness (strength) are achieved, due to the formation of ferrite, capable of relaxing the stresses formed by shock load.

This work is of interest to industrial manufacturing, as the use of more economical brands is always a relevant direction to improve the efficiency of existing production.

Оглавление

Введение.....	5
1 Литературный обзор	6
1.1 Состояние вопроса	6
1.2 Анализ влияния легирующих элементов на свойства сталей	8
1.3 Влияние термической обработки на механические свойства деталей	10
1.4 Способы повышения долговечности за счёт оптимизации свойств стали	144
1.5 Постановка задач по ВКР	17
1.6 Выводы по литературному обзору.....	17
2 Методы исследования и оборудование.....	18
2.1 Стандартные методы исследования	18
2.2 Постановка эксперимента и обработка полученных результатов	19
2.3 Применяемое оборудование	20
2.4 Выводы по разделу.....	24
3 Безопасность и экологичность технического объекта	25
3.1 Организационно-техническая и конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого технического объекта	25
3.2 Идентификация профессиональных рисков.....	25
3.3 Оценка потенциальных источников возникновения пожара	27
3.3.1 Разработка организационно-технических мероприятий по предотвращению пожара.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.4 Идентификация негативных экологических факторов	27
3.4.1 Разработка организационно-технических мероприятий по снижению негативных экологических факторов.....	27
3.5 Выводы по разделу.....	28
4 Результаты и анализ исследований	29
4.1 Сравнительный анализ пуансонодержателей	29
4.2 Моделирование режима термообработки для стали 40ХГНМ	35
4.3 Выводы по разделу.....	46
Заключение	47
Список используемой литературы и используемых источников.....	49
Приложение А Оценка безопасности и экологичности	52

Введение

Улучшаемые среднеуглеродистые легированные марки сталей типа широко применяются в производстве технологической оснастки. Наличие легирующих элементов увеличивает прокаливаемость, что позволяет получить высокие свойства по всему сечению деталей. Это особенно важно для деталей штамповой оснастки, испытывающей значительные ударные нагрузки.

Повышение эффективности действующего производства за счёт снижения затрат всегда является актуальной задачей, в последние годы в мировом машиностроении четко обозначился тренд на применение более экономнолегированных марок, т.е. фактически за счёт уменьшения количества дорогих легирующих элементов, прежде всего никеля, молибдена и хрома. Однако практика показывает, что рационализация применяемых материалов без оптимизации режимов термической обработки является неэффективной. Поэтому основной задачей технолога является подбор адекватных режимов термической обработки, которые позволят не только снизить затраты на применяемый материал, но и не приведут к значимому падению долговечности деталей.

Исходя из этого, при проведении работ по применению более дешевого, но менее легированного материала, необходимо провести комплексные исследования, устанавливающие связь структуры и свойств материала в зависимости от режимов термической обработки и химического состава.

Для понимания того, как влияют режимы термической обработки на механические свойства стали, получаемые при конкретной термообработке был необходим комплексный металлографический анализ.

1 Литературный обзор

1.1 Состояние вопроса

На АО «АВТОВАЗ» при изготовлении детали 2110 – 2215024 «сепаратор наружного шарнира» в качестве исходного материала заготовки труба из стали 20ХГНМ. В процессе изготовления на детали формируются «окошки» (рисунок 1) методом вырубки.

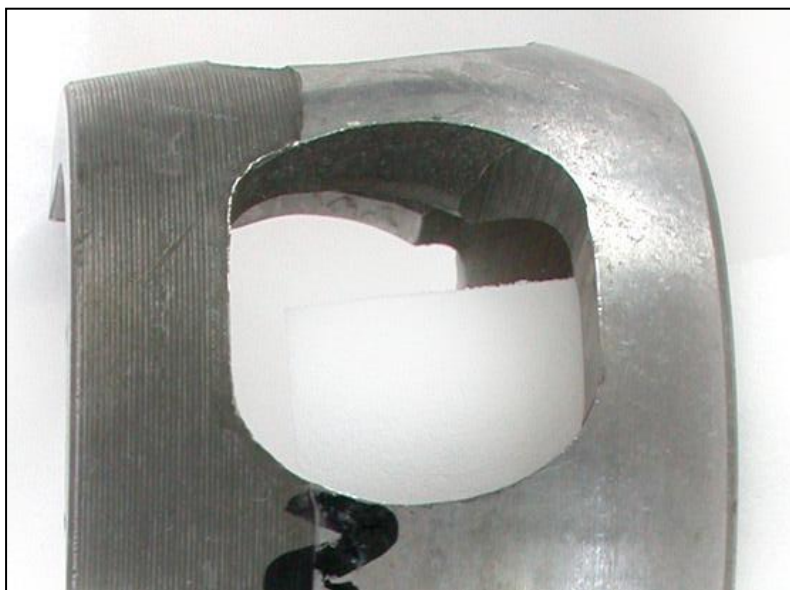


Рисунок 1

От качественного исполнения этой операции во многом определяется надежность шруса автомобиля, т.к. при отклонениях геометрических параметров возможно подклинивание шариков, катающихся между сепаратором шарнира и обоймой, что неизбежно приводит к преждевременному выходу из строя узла. В этой связи на первый план выходит надежность и долговечность штамповой оснастки, удерживающей пуансоны, применяемые для прошивки отверстий.

Серийные пуансонодержатели изготавливаются из стали марки 38Х2МЮА по следующему технологическому процессу:

- штамповка: индукционный нагрев до 1250° С, окончание горячей деформации при 850 °С;

- отжиг в течение 3 часов при температуре 900...920° С, охлаждение с печью;
- закалка с температуры 880...900° С, охлаждение в масло;
- отпуск при температуре 390...410° С, выдержка 3 часа.

В результате должна обеспечиваться твердость деталей в диапазоне 46...51 HRC. Такой диапазон твердости характерен для троостита отпуска и мартенсита отпуска [1], что не является оптимальным для деталей, работающих в условиях ударных нагрузок и повышенной вибрации [2].

Однако используемая сталь, является достаточно дорогой ввиду высокого содержания легирующих элементов. К недостаткам этой марки также можно смело отнести её дефицитность, поскольку марка не имеет широкого распространения в массовом производстве. В условиях массового производства применение такой стали становится нерациональным, т.к. при преждевременном выходе из строя штамповой оснастки, при отсутствии данной стали на складах, может сложиться ситуация ставящая под угрозу ритмичность работы сборочных конвейеров, а следовательно, может привести к значительным убыткам. В то же время на АО «АВТОВАЗ» широко используется другая среднеуглеродистая легированная марка 40ХГНМ, стоимость которой меньше на 600%, учитывая тот фактор, что данная марка применяется для изготовления деталей автомобилей на многих заводах РФ, она в достаточном количестве производится заводами – изготовителями металлопроката в нашей стране.

Исходя из вышеизложенного технологами была предпринята попытка использовать марку 40ХГНМ для изготовления пуансонодержателей. Однако первая партия пуансонодержателей, изготовленная из стали 40ХГНМ показала отрицательные результаты. Опытные детали не обеспечили даже 20% стойкости серийных.

Поэтому целью настоящей работы явилось разработка рекомендаций по повышению срока службы пуансонодержателей из стали марки 40ХГНМ.

1.2 Анализ влияния легирующих элементов на свойства сталей

Для объяснения причин неудовлетворительной стойкости деталей из 40ХГНМ необходимо точное понимание роли легирующих элементов в термоупрочнении конструкционных среднеуглеродистых сталей. Содержание углерода в марках 38Х2МЮА и 40ХГНМ приблизительно одинаковое, что позволяет сделать вывод, что основное различие обусловлено различной концентрацией легирующих элементов. Химический состав марок по ГОСТ 4543 приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав марок 38Х2МЮА и 40ХГНМ по ГОСТ 4543

Марка стали	Массовая доля элементов, %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	P	S
								Не более	
38Х2МЮА	0,35- 0,42	0,20- 0,45	0,30- 0,60	1,35- 1,65	-	0,15- 0,25	0,70- 1,10	0,025	0,025
40ХГНМ	0,37- 0,43	0,17- 0,37	0,50- 0,80	0,60- 0,90	0,70- 1,10	0,15- 0,25	-	0,035	0,035

Из таблицы 1 следует, что наибольшая разница между марками заложена в содержании хрома, концентрация которого в марке 38Х2МЮА в два раза выше, чем в 40ХГНМ, в алюминии – в 40ХГНМ он отсутствует и в никеле – отсутствует в 38Х2МЮА. Также в 38Х2МЮА выше среднее содержание кремния и ниже марганца, что, видимо, обусловлено более высокой чистотой по содержанию серы [3] [6] [5]. Поэтому подробнее остановимся на влиянии перечисленных элементов на свойства стали.

Известно, что алюминий снижает склонность стали к перегреву, понижает прокаливаемость, заметно повышает температуры отжига, нормализации и закалки, несколько повышает твердость и прочность, мало влияет на прочность при высоких температурах [6] [3].

Кремний увеличивает прокаливаемость, мало влияет на склонность к перегреву, повышает температуры отжига, нормализации и закалки, повышает твердость и прочность, легируя феррит, понижает пластичность, немного повышая прочность при высоких температурах [6] [3]. Сильно повышает предел текучести [3].

Марганец несколько увеличивает склонность к перегреву, увеличивает прокаливаемость, понижает температуры отжига, нормализации и закалки, повышает твердость и прочность, не снижает в данном диапазоне пластичность, мало влияет на прочность при высоких температурах [6] [3]. Заметно повышает предел текучести [3].

Молибден мало влияет на склонность к перегреву, сильно увеличивает прокаливаемость, повышает температуры отжига, нормализации и закалки, повышает твердость и прочность, повышает в приведенном диапазоне пластичность, повышает прочность при высоких температурах [6] [3]. Уменьшает склонность к отпускной хрупкости второго рода [3].

Никель мало влияет на склонность к перегреву, увеличивает прокаливаемость, повышает температуры отжига, нормализации и закалки, повышает твердость и прочность, несколько повышает пластичность, повышает прочность при высоких температурах [6] [3].

Хром несколько уменьшает склонность к перегреву, увеличивает прокаливаемость, повышает температуры отжига, нормализации и закалки, повышает твердость и прочность, не снижает в указанном диапазоне пластичность, повышает прочность при высоких температурах [6] [3]. Растворяясь в феррите и цементите, оказывает благоприятное влияние на механические свойства стали [3].

Немаловажное значение имеет наличие примесей, которые растворены в твердом растворе сплава, т.к. они значительно блокируют перемещение дислокаций, а также могут сегрегировать около границ зерен, что значительно снижает энергию сцепления зерен. Граница разрушения в этом случае совпадает с фронтом распространения трещины. Это приводит к хрупкому

межкристаллитному разрушению. Для железа и его сплавов в качестве таких элементов выступают элементы с низким атомным радиусом – азот, водород, кислород, сурьма, фосфор, сера [8].

1.3 Влияние термической обработки на механические свойства деталей

Согласно [3] [9] [10] легирующие элементы влияют на механические свойства, увеличивая или уменьшая концентрацию углерода в мартенсите. При этом в процессе распада аустенита при отпуске формируются неравномерное распределение химических элементов.

При этом выделяют карбидообразующие элементы (Cr, Mo, W, V), которые увеличивают прочность связи атомов углерода с атомами твердого раствора, расширяют область существования α -железа, снижают термодинамическую подвижность атомов углерода, способствуют увеличению его концентрации в мартенсите, т.е. упрочнению [1] [3], так и некарбидообразующие элементы (Al, Ni, Si, Cu, Co), наоборот, увеличивают термодинамическую активность атомов углерода, снижая тем самым концентрацию углерода в твердом растворе. Особенно активно действует никель, значимо перемещая границу начала распада аустенита на С-образных кривых [1] [3].

Легирующие элементы влияют определяют температурные области границ начала и конца полиморфных превращений. По характеру такого влияния они делятся на две группы: элементы, расширяющие γ -область и элементы, сужающие γ -область [1] [10].

К первой группе относятся Mn, Ni, Co, Cu, N, C и другие. Они качественно влияют на положение критических точек, повышая точку A_4 и понижая точку A_3 . На рисунке 2 *а* приведены состояния железо-легирующий элемент, которая иллюстрирует, как увеличение содержания легирующих

элементов расширяет область существования γ -фазы и сужает α -область. Никель, марганец и кобальт неограниченно растворяются в γ -железе [5].

На рисунке 2 показано, что при достаточно высоких концентрациях эти элементы снижают температуру γ - α - превращения вплоть до комнатной температуры.

Таким образом, от уровня легирования зависит не только весь комплекс механических свойств, получаемых на стали, в независимости от того какой способ термической обработки применяется, но также и сами температуры нагрева. Т.к. в случае значительного перемещения границ начала аустенизации вследствие глубокого легирования, температура начала закалки может значимо изменяться.

В этом случае сплавы, состав которых на диаграмме состояний лежит правее точки s , имеют при комнатной температуре аустенитную структуру и не испытывают при нагреве и охлаждении $\gamma \leftrightarrow \alpha$ превращения. Такие сплавы называют аустенитными [5]. И наоборот, сплавы имеющие, однородную ферритную структуру называются ферритными.

Ко второй группе относятся Cr, Mo, W, V, Ti, Al, Si. Они понижают точку A_4 и повышают точку A_3 . При определённой концентрации эти элементы полностью выклинивают γ -область и образуют гомогенную α -область. Из рисунка 2, б видно, что сплавы, находящиеся на диаграмме правее точки s , при всех температурах имеют ферритную структуру. Такие сплавы называют ферритными [5].

В целом механические свойства по данным ГОСТ 4543 марок 38Х2МЮА и 40ХГНМ близки, что позволяет использовать марку 40ХГНМ в качестве альтернативы 38Х2МЮА, при этом целесообразно провести корректировку режимов термообработки. При этом обращает на себя внимание факт, что, согласно технологическому процессу, температура закалки марки 38Х2МЮА изначально занижена относительно теоретической на 40° С. Данный факт требует дополнительного рассмотрения.

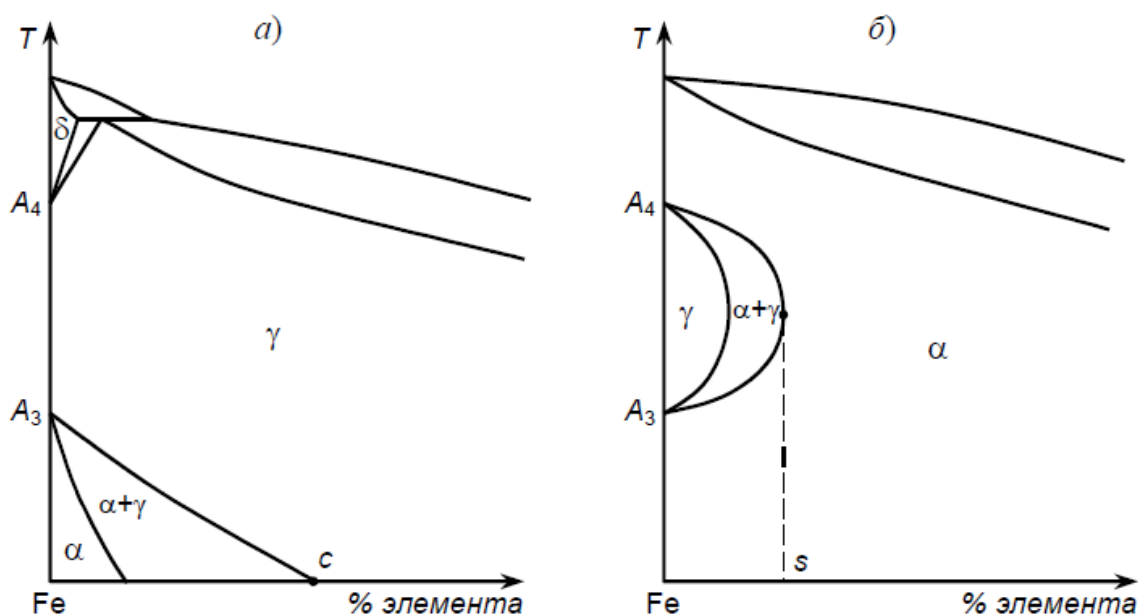


Рисунок 2 – Схемы диаграмм состояний железо-легирующий элемент:
а – элемент расширяет γ -область; б – элемент сужает γ -область [5]

Влияние легирующих элементов на механические свойства стали приведены на рисунке 3 [7].

Таким образом, в стали 38Х2МЮА по сравнению со сталью 40ХГНМ больше карбидообразующих легирующих элементов, что неизбежно должно сказаться на положении критических точек. Сталь 38Х2МЮА содержит в два раза больше хрома, который является феррито-образующим элементом, и не содержит никеля, по крайней мере в объёмах соответствующим уровню легирования. При этом наличие алюминия, расширяющего межкритический интервал может также сказаться на режимах термической обработки стали и на свойства после отпуска, т.к. при одинаковой твердости после высокого отпуска структура может отличаться различной степенью дисперсности.

Действительно [11] [12] температура закалки стали 38Х2МЮА на 100°C выше, чем стали 40ХГНМ.

Сравнение механических свойств приведено в таблице 2.

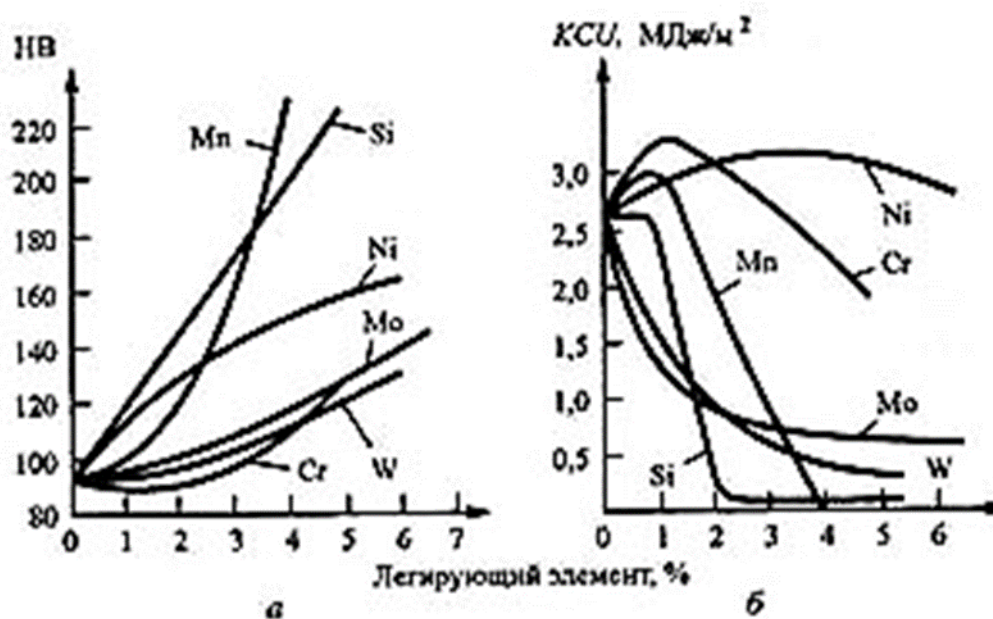


Рисунок 3 – Влияние легирующих элементов на твердость и ударную вязкость сталей [7]

Таблица 2 – Режимы термообработки и механические свойства сталей марок 38Х2МЮА и 40ХГНМ

Марка стали	Температура закали °С	Отпуск °С	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость, КСУ (кДж/м ²)
38Х2МЮА	940	640 – 680	980	835	14	880
40ХГНМ	840	560 – 620	980	835	12	880

Из таблицы 2 следует, что в общем приблизительно одинаковые свойства обеспечиваются при разных режимах термической обработки, как закали, так и отпуска. Поэтому при одинаковом режиме, свойства будут разниться.

1.4 Способы повышения долговечности за счёт оптимизации свойств стали

Штамповая оснастка в процессе эксплуатации находится под действием значительных нагрузок. Выдержать все эти нагрузки сможет лишь такая деталь штампа, для изготовления которой правильно выбран материал [13].

Чтобы повысить долговечность деталей, работающих в условиях динамического нагружения в первую очередь повысить ударную вязкость, т.е. способность сопротивляться зарождению и развитию трещин - т.е. гасить энергию удара. Связь механических свойств и ударной вязкости с температурой отпуска приведена на рисунке 4 [7, 14]. Откуда следует, что максимальная ударная вязкость достигается в результате высокого отпуска. Также известно [15], что ударная вязкость значительно зависит от размера зерна, поэтому при изготовлении пуансонодержателей важно не допускать перегрева в процессе закалки.

Чтобы повысить долговечность деталей, работающих в условиях динамического нагружения в первую очередь повысить ударную вязкость, т.е. способность сопротивляться зарождению и развитию трещин - т.е. гасить энергию удара. Зависимость между твердостью и ударной вязкостью принципиально одинакова для всех материалов [3], [7]. Увеличение прочности приводит к снижению ударной вязкости. Связь механических свойств и ударной вязкости с температурой отпуска приведена на рисунке 4 [7, 14]. Откуда следует, что максимальная ударная вязкость достигается в результате высокого отпуска. Также известно [15], что ударная вязкость значительно зависит от размера зерна, поэтому при изготовлении пуансонодержателей важно не допускать перегрева в процессе закалки.

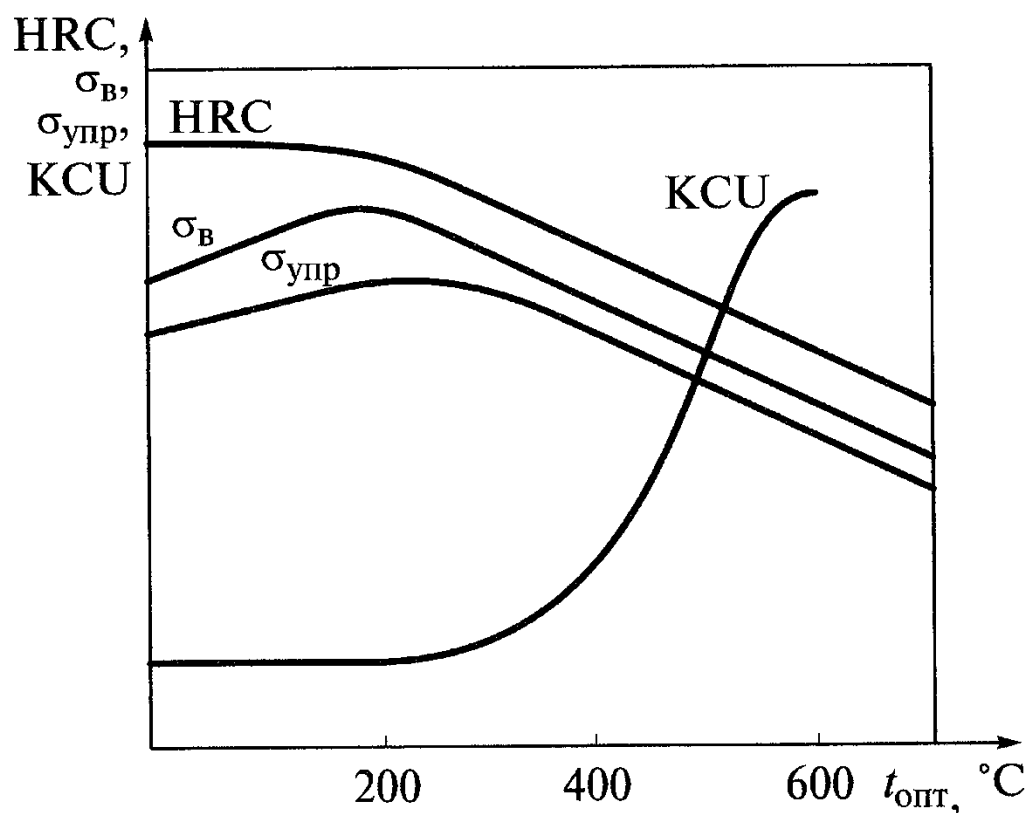


Рисунок 4 - Изменение ударной вязкости и других механических свойств в зависимости от температуры отпуска [6]

Измельчение зерна вносит дополнительный вклад в упрочнение. Чем меньше зерно, тем больше протяженность границ, тем больше препятствий на пути распространения магистральной трещины, а значит, возрастает сопротивление материалов развитию трещины [16].

То есть, измельчение структуры приводит к одновременному повышению прочности и вязкости материала [10]. Дислокационные механизмы зарождения трещин как источников разрушения определяют и трактовку влияния других факторов на ударную вязкость.

Это увеличивает предпосылки к применению стали 40ХГНМ для производства пуансонодержателей.

Если содержания элементов достаточно для образования в сплаве второй фазы, то большое значение имеет форма и распределение этих частиц, а также их ориентировка относительно действующего напряжения.

Выделения пластинчатой формы – более опасные концентраторы напряжений, чем глобулярные [10].

Режимы термической обработки сплавов, приводят к образованию новых фаз различной дисперсности и перераспределению примесей, компонентов между этими фазами, изменяют зеренную структуру, могут качественно и количественно изменить сам характер разрушения. Подтверждением этому являются феномены обратимой или необратимой отпускной хрупкости [7] [9] [10] [15] [16].

Известно, что в результате отпуска углеродистых и легированных сталей в область температур 250...400°C формируется так называемая «необратимая отпускная хрупкость». Причиной такого охрупчивания является образование карбидных фаз по границам зёрен на начальных стадиях распада мартенсита, а также сегрегация примесей [10].

Обратимая отпускная хрупкость присуща только легированным сталям после высокого отпуска при 500...600 °C и медленного охлаждения от температур отпуска. Обратимая отпускная хрупкость связана с обогащением границ зерен примесями, в первую очередь фосфором и его химическими аналогами: сурьмой, мышьяком, а также оловом [10].

Таким образом режимы термической обработки в связи с температурными интервалами закалки, определяемые степенью легирования, могут формировать хрупкие и нехрупкие фазы при одних и тех же режимах, но в случае применения различных материалов. Поэтому при замене марки стали на другую важно контролировать этот момент.

Здесь стоит заметить, что предлагаемый чертежом диапазон твердости 46...51 HRC соответствует интервалу отпускной хрупкости, поэтому применение отпуска для обеспечения такой твердости вряд ли целесообразно.

Поскольку известно, что повышение ударной вязкости и торможение развития усталостных трещин эффективно тормозит феррит [17] [18] необходимо исследовать влияние структуры, содержащей феррит на долговечность пуансонодержателей.

1.5 Постановка задач по ВКР

Цель работы ВКР – разработка рекомендаций по повышению срока службы пуансонодержателей из стали марки 40ХГНМ. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- провести литературный обзор по данной теме;
- провести сравнительный металлографический анализ пуансонодержателей из 38Х2МЮА и 40ХГНМ;
- исследовать влияние температуры закалки на структуру стали марки 40ХГНМ;
- оценить ударную вязкость образцов стали марки 40ХГНМ закаленных с 900° С (по чертежу), с 840 °С (теоретическая температура закалки), и из двухфазной области, отпущенных на твердость в 2х диапазонах: после улучшения (теоретически максимальная ударная вязкость) и после среднего отпуска (твердость по чертежу);
- провести анализ полученных результатов и выдать рекомендации.

1.6 Выводы по литературному обзору

По результатам литературного обзора можно сформировать следующие выводы:

- на долговечность деталей из среднеуглеродистых сталей оказывает влияние комплекс свойств, определяемых химическим составом и термической обработкой;
- при изменении марки стали требуется корректировка режимов термообработки;

2 Методы исследования и оборудование

2.1 Стандартные методы исследования

В ходе работы применялись следующие стандартные методы исследования:

- определение микроструктуры по ГОСТ 8233 «Сталь. Эталонные микроструктуры» и ГОСТ 5640 «Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты». В последнем стандарте использовали шкалы для определения структурной полосчатости. Для определения микроструктуры деталей использовали травление нитратом [19];

- измерение твердости проводили методом Роквелла в соответствии с ГОСТ 9013 «Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу»;

- испытания на определение ударной вязкости проводили по ГОСТ 9454 «Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах»;

- химический анализ стали проводят по ГОСТ 12344 — ГОСТ 12352, ГОСТ 12354 — ГОСТ 12357, ГОСТ 12359, ГОСТ 12360, ГОСТ 17745, ГОСТ 18895, ГОСТ 27809, ГОСТ 28033, ГОСТ 28473;

- проверку наличия или отсутствия прижогов проводили в соответствии с рекомендациями Приложения 1 ГОСТ 5657;

- фрактографические исследования изломов разрушенных пуансонодержателей проводили в соответствии с РД 50 – 672 «Расчёты и испытания на прочность. Классификация видов изломов металлов»;

- измерения твердости методом Виккерса при нагрузке 5 кг проводили в соответствии с ГОСТ 2999 «Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу».

2.2 Постановка эксперимента и обработка полученных результатов

Поскольку согласно ГОСТ 4543 стали 38Х2МЮА и 40ХГНМ имеют близкие механические свойства, существуют предпосылки для повышения стойкости пуансонодержателей из 40ХГНМ относительно исходной марки. Тем не менее, целесообразно провести сравнительный металлографический анализ деталей, изготовленных из обеих марок, при этом опираться на детали, демонтированные с оборудования по причине фактического износа.

На основании полученных результатов возможно провести моделирование микроструктуры и свойств, отвечающих максимальной стойкости. При этом на первом этапе исследование влияния температуры закалки на структуру проводили на цилиндрах высотой 50 мм, отрезанных от проката. Начальную температуру нагрева выбрали 740°C , что соответствует точке A_{c1} для стали 40ХГНМ, дальше увеличивали температуру на 10°C до 770°C , так же были выбраны температуры 800°C , 830°C – как расположенные около A_{c3} и 840°C как теоретическая температура нагрева под закалку для 40ХГНМ. После закалки с каждой температуры фиксировали полученную микроструктуру.

На втором этапе, оценили ударную вязкость образцов закаленных с 900°C (по чертежу), с 840°C (теоретическая температура закалки), с 755°C (двухфазная область для 40ХГНМ) и отпущенных на твердость в двух диапазонах: 34...35 HRC и 39...40 HRC.

Также проводилось исследование промежуточной термообработки (нормализации) перед закалкой на микроструктуру деталей после улучшения. Нормализацию проводили по серийному режиму – т.е. температура аустенизации была на 50...70 $^{\circ}\text{C}$ выше A_{c3} и составила 870°C .

Далее проводили сравнение ударной вязкости сталей 40ХГНМ и 38Х2МЮА с различной твердостью - с твердостью сорбитной структуры и твердостью трооститной структуры.

На основании полученных результатов предполагается разработать рекомендации по повышению стойкости пуансонодержателей изготовленных из стали 40ХГНМ.

Погрешность измерительных систем зависит от погрешности эталонов (эталонных мер твердости по Роквеллу в случае измерения твердости) и случайной погрешности, составляющей разницу между прямым измерением твердости эталонной меры и значением, зафиксированным на самой мере твердости. В случае, если погрешность не превышает 3%, измерительная система признается работоспособной в дальнейшем не учитывается. То же можно сказать и о других методах испытаний, регламентированных ГОСТами.

2.3 Применяемое оборудование

Химический состав образцов, вырезанных из анализируемых деталей, либо изготовленных из металлопроката проводили с помощью спектроанализатора «SPECTROLAB-M5», производства Германии (рисунок 5). Принцип действия спектрометра основан на эмиссионном спектральном анализе. Для возбуждения эмиссионного спектра исследуемых элементов в пробе используется искровой электрический разряд между стержневым электродом и поверхностью исследуемого образца. Цифровой искровой генератор создаёт искру повышенной энергии (метод HEPS) при подготовке образца к анализу для устранения влияния структуры. Частота тока в искре от 50 до 1000 Гц. Анализируемые образцы устанавливаются на массивный латунный стол. Вы можете проводить измерения без дополнительного охлаждения благодаря большой массе стола. Штыревой электрод имеет специальную конструкцию, что позволяет снизить эффект загрязнения образца материалом предыдущей пробы [20].



Рисунок 5 - Атомно-эмиссионный спектрометр «SPECTROLAB-M5» [25]

Определение микроструктуры образцов сталей производили на оптическом микроскопе с программным обеспечением «SIAMS-800» [25] (рисунок 6, 7).

После подготовки поверхность образца подвергали химическому травлению в нитале, который представляет собой 4% спиртовой раствор азотной кислоты (HNO_3), который позволяет контрастировать микроструктуру и исследовать ее с помощью оптического микроскопа.



Рисунок 6 – Оптический микроскоп с программным обеспечением «SIAMS-800»

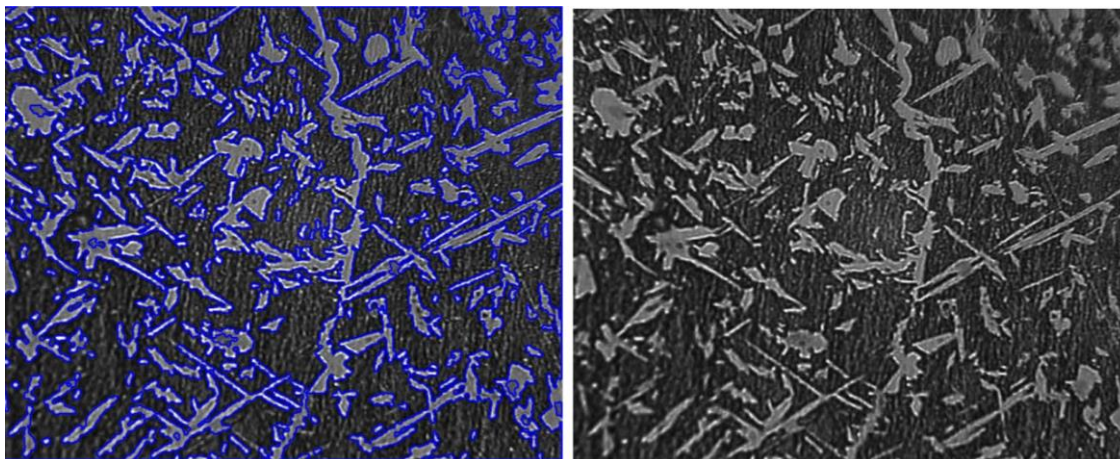


Рисунок 7 - Разметка изображения в анализаторе изображений для определения соотношения фаз по принципу «черное-белое» [21]

До недавнего времени системы анализа изображений при количественной оценке фазового состава работали по принципу контрастирования - поле снимка размечалось на «белые» и «черные» зоны, далее подсчитывалось количество пикселей, попадающее в зону соответствующего цвета, после чего определялось соотношение площадей «белых» и «черных» полей, как это делалось в классической стереометрической металлографии [22].

Однако в последние годы с расширением возможностей в данные системы успешно интегрированы прогрессивные математические методы, что значительно расширило возможности таких приборов.

«В прикладных интеллектуальных системах анализа изображений основными функциональными задачами являются оценки качества изображения, определения границ объекта, классификация, кластеризация и распознавания образов» [23]. Отличительными особенностями решаемых задач указанных типов являются: большая размерность, наличие неопределенностей в исходной информации, динамичность изменения параметров внешней среды, предсказуемость которых, зачастую, является затруднительной или невозможной [23].

«Изображение можно рассматривать как нечеткое множество и обрабатывается методами нечеткой логики. Вначале происходит фазификация изображения — преобразование изображения к нечеткому

множеству. Далее степень принадлежности элементов нечеткого множества (иными словами, пикселей изображения) изменяется в соответствии с базой нечетких правил. И, наконец, происходит дефаззификация изображения — преобразование значений функций принадлежности в четкие (реальные) значения яркости» [23].

«Несмотря на ряд успехов в области оценки качества изображений и распознавания объектов на основе цифровой обработки изображений, к числу нерешенных можно отнести проблему в адекватном отображении предметной области на нечеткую систему, выборе моделей нечеткого логического вывода и их интеграции в единую интеллектуальную систему. При обработке изображений требуется по некоторым признакам выделять некоторые однородные области изображения, причем, как правило, подобие нечеткое и часто нарушается» [23].

Этапы предварительной обработки изображения позволяют уменьшить влияние искажений на процесс распознавания. Тем не менее, имеет место распознавание в условиях неполной и нечеткой информации. Наиболее подходят для ее решения технологии нечеткой логики, нечеткая логика при этом. выступает в роли классификатора. Применение нечеткой логики в задачах обработки визуальной информации обосновывается также свойством обучаемости или адаптивности нечеткой логики к новым задачам, при этом сохраняются архитектура сети и алгоритм ее функционирования [23].

Основные параметры изображения используются в качестве входных переменных системы нечеткого вывода для оценки его качества. При этом каждая переменная описывается одним из термов: П — «плохо», У — «удовлетворительно», Х — «хорошо». Выходная переменная «качество изображения» также описывается одним из указанных термов [24].

Термообработку проводили в муфельной электропечи «Термокерамика». Измерение твердости методом Виккреса проводили на твердомере ZWICK 3212 (Германия). Измерение твердости по методу Роквелла на твердомере Wilson (США). Образцы при термообработки были

строго одинаковых габаритных размеров, что позволяло обеспечить одинаковую скорость охлаждения образцов и, как следствие, избежать погрешностей связанных с различными процессами распада аустенита между различными образцами. В процессе изготовления шлифов следили, чтобы не было прижогов, которые могли привести к появлению вторичных закалочных отпускных структур, что могло повлиять на результаты измерения твердости методом Виккерса.

Образцы на ударный изгиб термообрабатывали по режимам, отвечающим требованиям чертежа, теоретической температуры нагрева и полученной в результате опытной работы.

2.4 Выводы по разделу

- Предложены основные методы определения микроструктуры сталей, метод, определяющий хрупкость детали;
- Спланирована экспериментальная часть работы, выполнена оценка возможного влияния погрешностей на результат;
- Описаны современные методы металлографического анализа с использованных интегрированных с оптическими системами анализаторов изображений;
- Показано основное лабораторное оборудование, применяемое при проведении испытаний.

3 Безопасность и экологичность технического объекта

3.1 Конструктивно-технологическая характеристика изучаемого технического объекта

Техническим объектом выступает технологический процесс безопасной работы по подготовке к опытно-экспериментальным работам, заключающийся в пробоподготовке образцов для проведения металлографического анализа. Для чего изготавливаются шлифы для изучения под оптическим микроскопом. Другим направлением работы является подготовка проб на термическом участке. В первом случае основными частями оборудования являются отрезной круг, кнопки включения и отключения отрезного станка, защитный кожух, шпиндели шлифовальных и полировального станков. В прессе для горячей запрессовки образцов основными узлами являются поршень, толкающий столик с образцами и пульт управления, на котором задается программа для запрессовки. Особую опасность представляет воздействие вредных производственных факторов - химическое травление поверхности шлифов реактивами - кислотами для получения контрастной картины на поверхности с целью дальнейшего изучения с помощью оптического микроскопа. Данный технический объект характеризуется прилагаемым технологическим паспортом [25]. Он представлен в приложении А, в таблице 3.1.

3.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков

- При работе в лаборатории металлографии следует соблюдать следующие правилв:
- При работе на отрезном станке [25]:

- производить резку без закрепления деталей и образцов без защитного экрана при отсутствии эмульсии для охлаждения образцов запрещено ;
- Отрезной круг в процессе резания деталей следует перемещать плавно, без рывков;
- Выключить станок из сети, застопорить фиксатором вращение шпинделя и только после этого заменить круг.
-
- В процессе на шлифовальном (полировальном) станке:
- Крепко зажимать образец пальцами;
- Следует избегать перекоса образцов, нажим на шкурку выполнять плавно, без больших усилий;
- Смачивать поверхность диска водой или эмульсией на основе алмазной пасты, или любых других абразивных материалов, применяемых при металлографическом анализе, не допускать её высыхания;
- При выпадении образца из рук станок немедленно отключить, затем выполнить проверку целостности оснастки. При обнаружении дефектов, шкурку или сукно заменить;
- В процессе химического травления необходимо:
 - - пользоваться средствами индивидуальной защиты - перчатками, очками, респиратором;
 - - химическое травление проводить только в специально отведенном месте - в вытяжном шкафу;
 - - при извлечении образцов из горячей кислоты пользоваться специальными щипцами;
 - - при проливе реактивов на пол, одежду или кожу немедленно обработать нейтрализующими растворами.

3.3 Оценка потенциальных источников возникновения пожара

После анализа была выполнена идентификация возможных источников возникновения пожара. Определены факторы и классы пожара [25]. Результаты представлены в приложении А (таблица 3.3).

Разработка организационно-технических мероприятий по предотвращению пожара. При подготовке проекта предложены организационно-технические мероприятия по предотвращению пожара. Определены первичные средства пожаротушения [25]. Результат приведен в приложении А (таблица 3.4, таблица 3.5).

3.4 Идентификация негативных экологических факторов

В процессе проведения работы была произведена идентификация негативных (вредных, опасных) экологических факторов и проведена их оценка. Установлено негативное воздействие на гидросферу, атмосферу и литосферу земли при производственно-технологическом процессе [25]. Прежде всего основным вредным фактором является вероятное попадание паров, аэрозоле кислот в атмосферу вследствие испарения, возможное попадание кислот и других реактивов в гидросферу и литосферу в процессе утилизации или возможного пролива. Результаты обобщены в приложении А (таблица 3.6).

3.4.1 Разработка организационно-технических мероприятий по снижению негативных экологических факторов.

Был предложен ряд мероприятий по снижению негативного производственного воздействия на окружающую среду, а прежде всего на атмосферу, гидросферу и литосферу земли [25]. Результат представлен в приложении А, в таблице 3.7.

В качестве снижения негативных экологических факторов рационально внедрить организационно-технический документ, регламентирующий порядок утилизации продуктов горения на термическом участке. Раздельная утилизация, металлоотходов, абразивных отходов, продуктов химического травления, а так же любых других отходов.

С целью снижения нагрузки на гидросферу, слив воды загрязненной реактивами производить в канализацию после очистки на очистных сооружениях.

3.5 Выводы по разделу

- Описан технический объект данной бакалаврской работы и показан его технологический паспорт;
- Произведена оценка профессиональных рисков, показаны методы и средства их снижения;
- Произведена оценка потенциальных источников возникновения пожара, разработаны организационно-технические мероприятия по их предотвращению;
- Произведена идентификация негативных экологических факторов, разработан ряд мероприятий по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду.

4 Результаты и анализ исследований

4.1 Сравнительный анализ пуансонодержателей

Изначально на исследование были представлены пуансонодержатели с пониженной стойкостью (около 60 000 деталей, материал - сталь 40ХГНМ, далее образец №1), максимальной стойкостью (свыше 300 000 деталей, материал сталь марки 38Х2МЮА, далее образец №2) и минимальной стойкостью (около 30 000 деталей, сталь марки 40ХГНМ, далее образец №3). Результаты измерения твердости приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Твердость пуансонодержателей в сравнении

Номер образца	Твердость по Роквеллу, HRC
№1	37
№2	36
№3	47

Таким образом, подтверждается предположение, что для деталей работающих в условиях ударных нагрузок диапазон твердости 46...51 HRC выбран неудачно, т.к. такая твердость соответствует повышенной хрупкости в соответствии с рисунком 4, когда полностью не произошла III стадия превращений при отпуске [3] - хрупкие фазы полностью не распались.

Обращает на себя внимание, что образец №2, изготовленный из стали марки 38Х2МЮА, фактически не соответствовал требованиям чертеже - твердость занижена на 10 ед. HRC - при этом продемонстрировал максимальную стойкость. Таким образом, подтвердилось предположение, что для данной детали целесообразно проводить высокий отпуск (улучшение) для достижения максимальной стойкости. Из дальнейшего анализа образец №3 был исключен, из-за отсутствия целесообразности.

Изломы образцов №№1 и 2 усталостные (40 % площади излома образец №1, 60...70% – образец №2) (рисунок 8). Очаги разрушения образцов локализованы в области посадочного места под болтовое крепление. Начало разрушения детали №1 совпадает с буртиком под посадочное место (рисунок 9), разрушение детали №2 совпадает с острым углом, сформированным ответной деталью, вероятно прижимной пластиной, при эксплуатации (рисунок 10).



Рисунок 8 - Внешний вид поверхности разрушения пуансонодержателей

Внешний вид поверхности разрушения в целом схож, однако образец из серийной марки стали имеет более выраженную усталостную зону, и зона долома имеет более выраженные признаки вязкого разрушения по сравнению с образцом №1 из предлагаемой марки стали. Результаты химического анализа приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Химический состав исследуемых образцов

Образец	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	Марка стали
№1	0,40	0,30	0,65	0,88	0,76	0,23		40ХГНМ
№2	0,37	0,34	0,59	1,49	0,20	0,20	0,96	38Х2МЮА

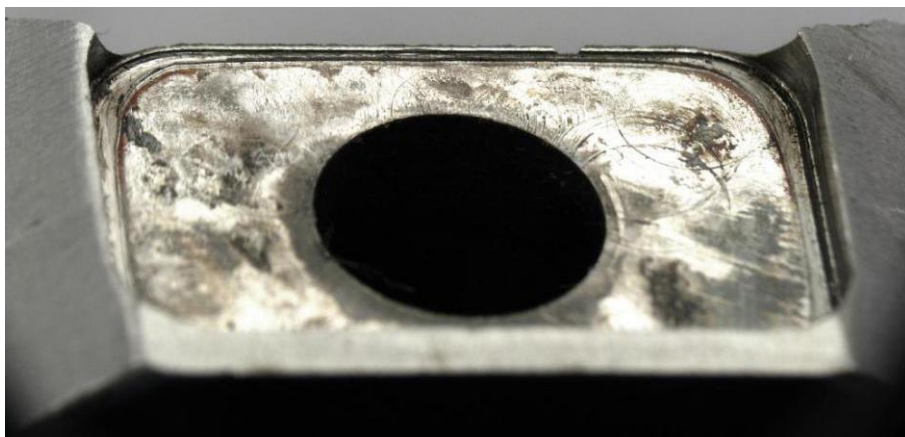


Рисунок 9 - Посадочное место детали №1, край совпадает с очагом разрушения



Рисунок 10 - Посадочное место детали №2, край совпадает с очагом разрушения

Из таблицы 4 следует, что различия в химическом составе образцов обусловлены различным содержанием хрома, никеля и алюминия. Содержание углерода и легирующих элементов находится приблизительно на одном уровне.

Больше информации к размышлению даёт металлографический анализ (таблица 5).

Таблица 5 - Сравнительный металлографический анализ

Параметры (НД на испытание)	КД	Фактические результаты	
		№1	№2
Твердость, HRC	46...51	37	36
Микроструктура	-	троостсорбит с сохранением игольчатости, отпущенный нижний бейнит (рисунок 11)	выраженная полосчатость, бейнит верхний, трооститосорбит, феррит (рисунок 12, 13)

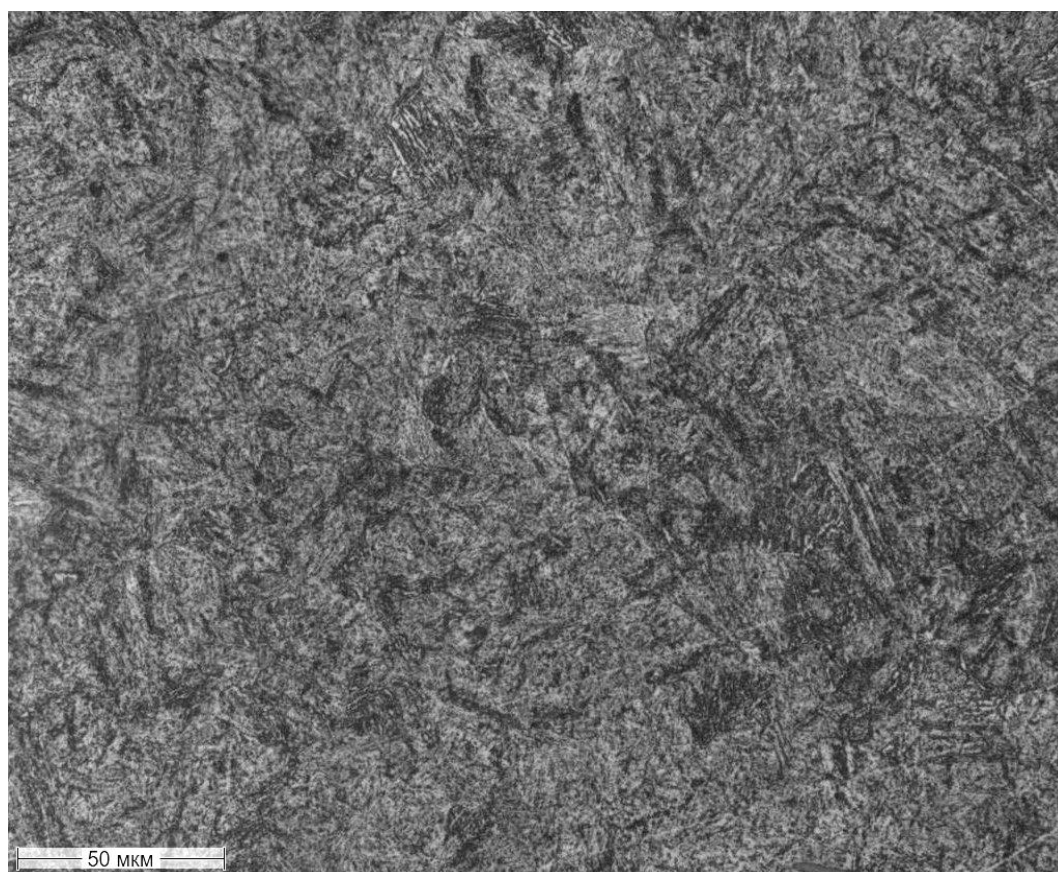


Рисунок 11 - Микроструктура образца из стали 40ХГНМ -
трооститосорбит, бейнит, x500

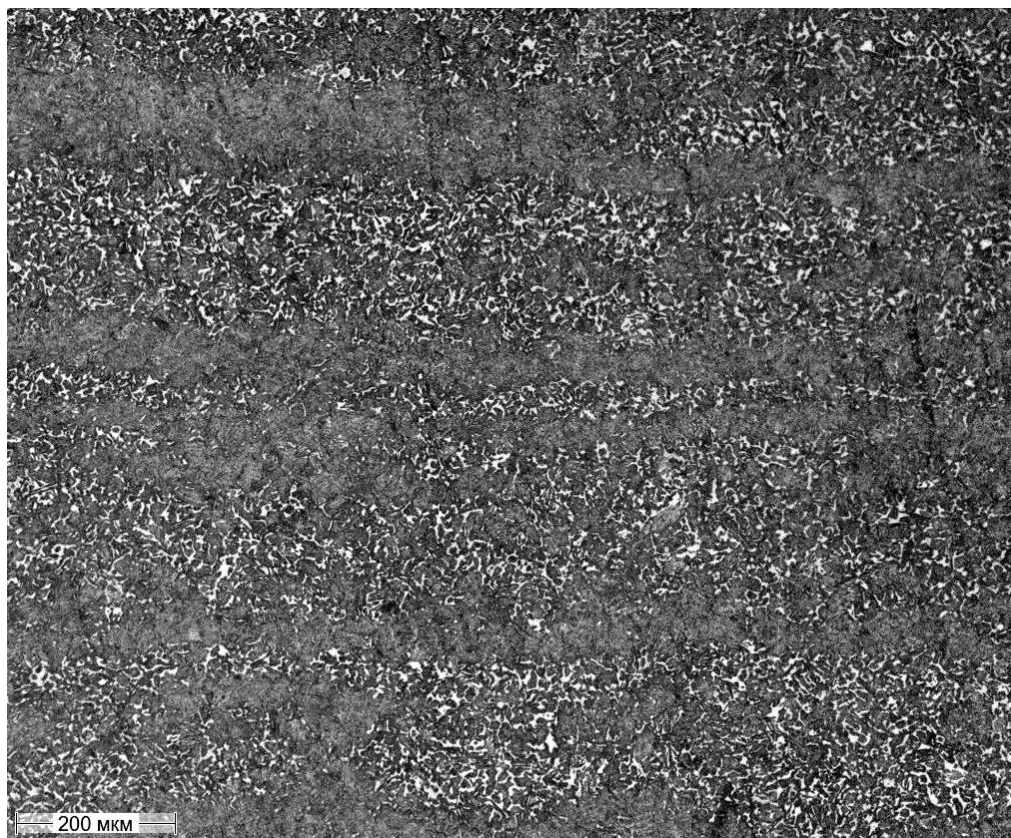


Рисунок 12 - Выраженная полосчатость феррита на образце из 38X2МЮА, х100

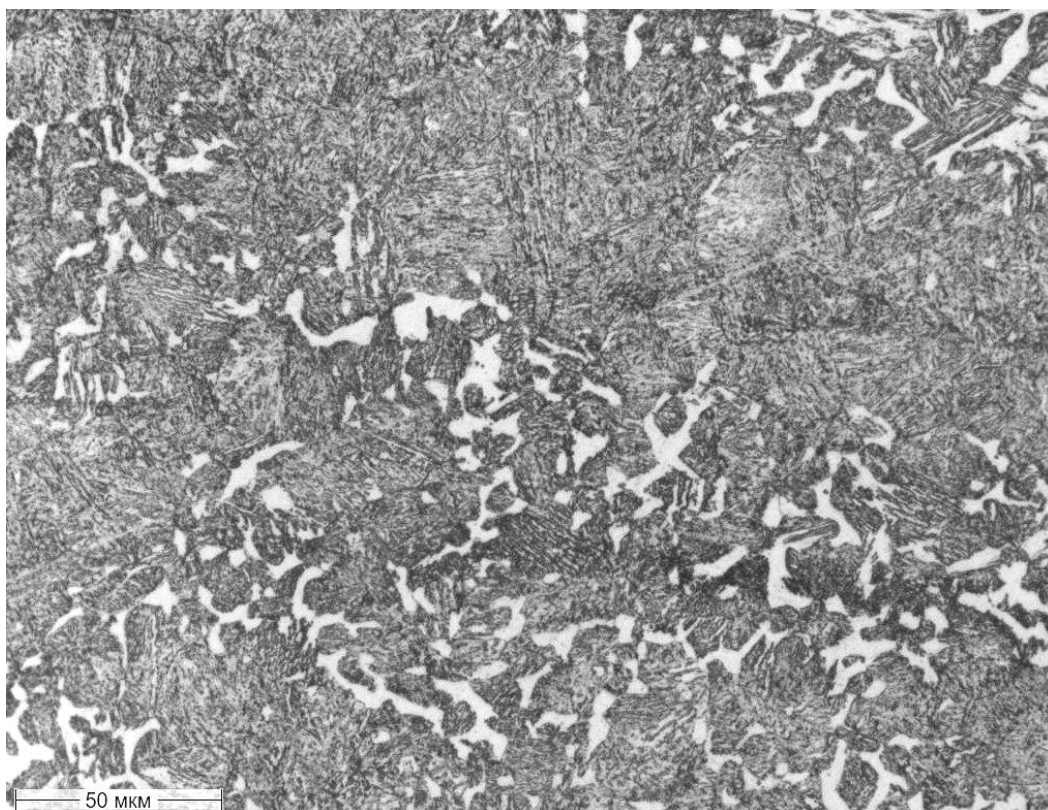


Рисунок 13 - Микроструктура образца из стали 38X2МЮА - бейнит, трооститосорбит, феррит, х500

Несмотря на практически идентичную твердость образцов, микроструктура имеет качественные отличия. Микроструктура образца №1 характерна для классического улучшения – закалка из аустенитного состояния + отпуск. Наличие свободного феррита в микроструктуре образца №2 указывает на то, что полная аустенизация перед закалкой не прошла. Кроме того, в структуре образца выявлен верхний бейнит. Наиболее вероятной причиной образования такой структуры является закалка из межфазовой области (А+Ф) с температуры меньше чем Ас3 (900° С согласно справочным данным).

Обращает на себя внимание, что в предоставленной документации для пуансонодержателей, изготовленных из марок 40ХГНМ и 38Х2МЮА, изначально заложены противоречивые требования под закалку. Если для марки 40ХГНМ температура закалки 880...900° С несколько завышена относительно теоретической (830...850° С [12]), что подтверждается образованием крупноигльчатой структуры. Для марки 38Х2МЮА температура закалки 900° С является заниженной относительно теоретической (930...950° С [11]), что приводит к закалке из двухфазной области и последующей фиксацией в структуре не растворившегося феррита. В условиях ударных нагрузок наличие феррита может выступать в качестве демпфирующих включений, что задерживает зарождение и развитие усталостных трещин.

Итак, можем сформулировать первые выводы:

Химический состав материалов образцов №№1 (40ХГНМ) и 2 (38Х2МЮА) соответствует требованиям КД.

Твердость стали образцов №№1 (40ХГНМ) и 2 (38Х2МЮА) занижена относительно требований (КД: 46...51 HRC, факт: 36...37 HRC), но при этом фактически идентична. При этом стойкость образцов выше, чем у детали, обработанной по чертежу - образец №3 (40ХГНМ).

Таким образом, для пуансонодержателей оптимальным видом термообработки является улучшение - закалка + высокий отпуск.

Микроструктура образца №1 сформирована полной закалкой из аустенитного состояния с некоторым перегревом с последующим высоким отпуском, образца №2 из двухфазной области с последующим высоким отпуском (неполная закалку).

Рекомендовано скорректировать режим термической обработки для образцов из стали 40ХГНМ.

4.2 Моделирование режима термообработки для стали 40ХГНМ

На данном этапе в соответствии с методической частью работы были подготовлены образцы из стали 40ХГНМ, отобранные от металлопроката. Результаты химического анализа приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Результаты химического анализа

Хим. элемент	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Марка стали
Содержание по НД, % масс	0,37-0,43	0,17-0,37	0,5-0,8	$\leq 0,035$	0,02-0,04	0,6-0,9	0,7-1,1	0,15 - 0,25	$\leq 0,25$	40ХГНМ
Факт, % масс.	0,4	0,22	0,78	0,018	0,025	0,71	0,88	0,18	0,20	40ХГНМ

Микроструктура и твердость исходного состояния образцов приведена на рисунке 14. Она характерна для горячекатанного состояния среднеуглеродистой легированной стали и представляет собой смесь троостосорбита, бейнита и феррита игольчатой формы с твердостью 275...280 HV5.



а) Продольное сечение. Троостосорбит, бейнит, феррит, твердость 280 HV5, X500



б) Поперечное сечение. Троостосорбит, бейнит, феррит, твердость 271 HV5, X500

Рисунок 14 - Микроструктура и твердость исходного металлопроката

На рисунках 15 - 19 приведены микроструктуры образцов из стали марки 40ХГНМ, закаленных с различных температур, начиная с 740° С (теоретическая температура Ас1 марки 40ХГНМ и заканчивая классической температурой закалки для стали - 840° С [11]).



Рисунок 15 - Температура - 840° С, твердость 583 HV5 X500



Рисунок 16 - Температура - 800° С, твердость 570 HV5 X500



Рисунок 17 - Температура - 770° С, твердость 557 HV5 X500



Рисунок 18 - Температура - 760° С, твердость 534 HV5 X500

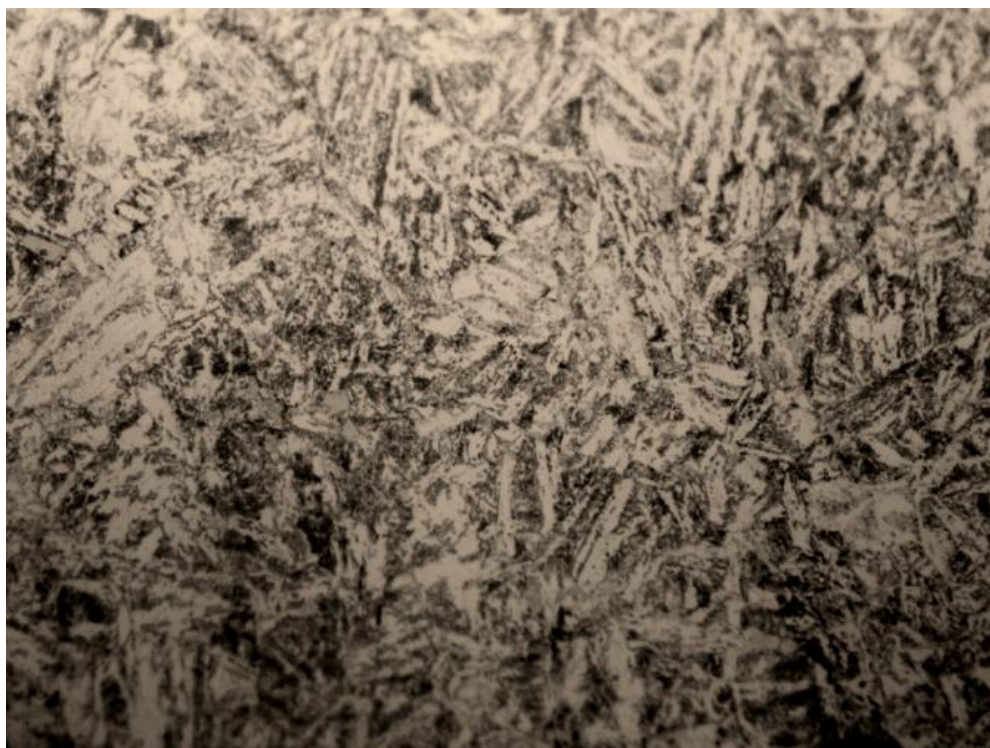


Рисунок 19 - Температура - 740° С, твердость 246 HV5 X500

Из рисунков 15 – 19 следует, что при температуре 800° С сталь марки 40ХГНМ данного химического состава полностью переходит в однофазное состояние, т.е. точка Ас3 соответствует приблизительно 800° С, при нагреве до температуры 740° С признаков аустенизации не выявлено, таким образом точка Ас1 соответствует приблизительно 740° С. График зависимости твердости от температуры нагрева приведен на рисунке 20.

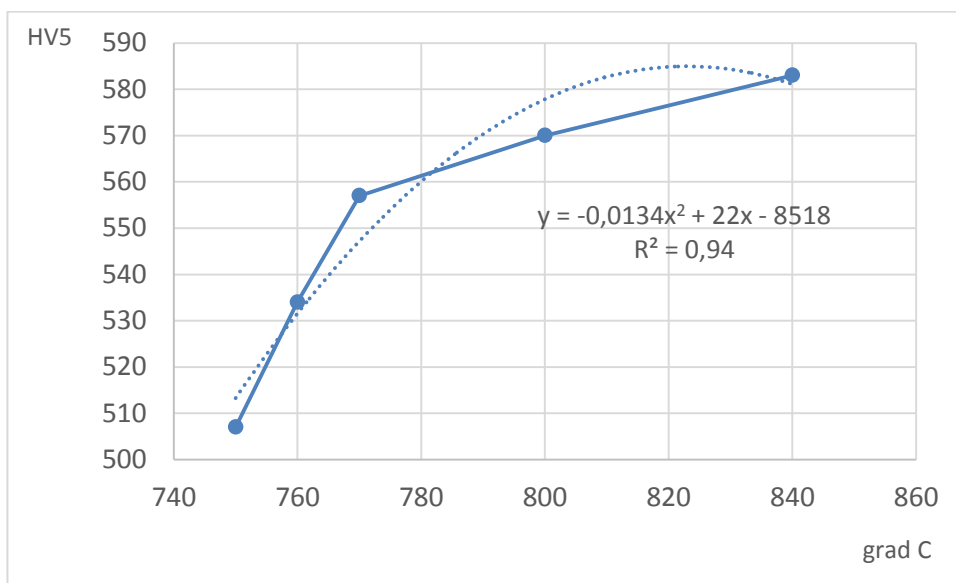


Рисунок 20 - Изменение твердости при нагреве образцов выше Ас1

Полученные результаты говорят о том, что при нагреве под закалку стали 40ХГНМ для получения двухфазной структуры температура должна принадлежать интервалу 750...780° С.

Далее исследовали влияние предварительной термообработки на количество феррита после закалки. Фактически по техпроцессу перед закалкой выполняется операция «отжиг», хотя, по сути, имеющийся режим термообработки соответствует классической нормализации. В образце, изготовленном из стали марки 38Х2МЮА выявлена структурная полосчатость, характерная для марганцовистых сталей [8]. В горячекатанном состоянии полосчатость не выявляется, однако приведение стали в равновесное состояние - полный отжиг - сформирует исходную полосчатость. Поэтому в качестве альтернативной предварительной термообработки предложен изотермический отжиг. Результаты этих

исследований приведены на рисунках 21 – 26. Из которых следует, что нормализованная микроструктура обладает более высоким потенциалом к сохранению феррита по сравнению с изотермической отожжённой.

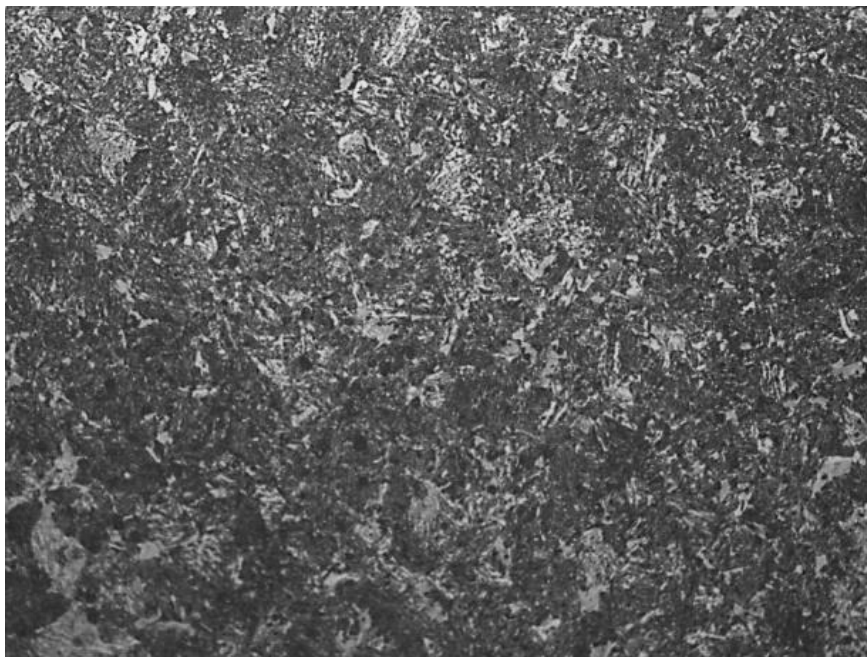


Рисунок 21 – Нормализация, температура нагрева - 840° C, 15 мин, охлаждение на воздухе, твердость 307 HV5, X500



Рисунок 22 – Температура – 760° C, предварительная термообработка – нормализация 840° C, 15 мин, микроструктура: мартенсит, троостит, следы феррита, X500



Рисунок 23 – Температура закалки - 750°C , предварительная термообработка – нормализация 840°C , 15 мин, микроструктура: мартенсит, феррит, X500



Рисунок 24 – Изотермический отжиг, нагрев: температура - 840°C , 15 мин, охлаждение с печью до температуры – 630°C , X500



Рисунок 25 – Температура - 760° С, предварительная термообработка – отжиг 840° С, 15 мин, охлаждение с печью до температуры - 630° С, микроструктура: мартенсит, следы феррита, троостит, X500



Рисунок 26 – Температура - 750° С, предварительная термообработка – отжиг 840° С, 15 мин, охлаждение с печью до температуры - 630° С, микроструктура: мартенсит, троостит, следы феррита, X500

График изменения твердости в зависимости от температуры нагрева и предварительной термообработки приведен на рисунке 27.

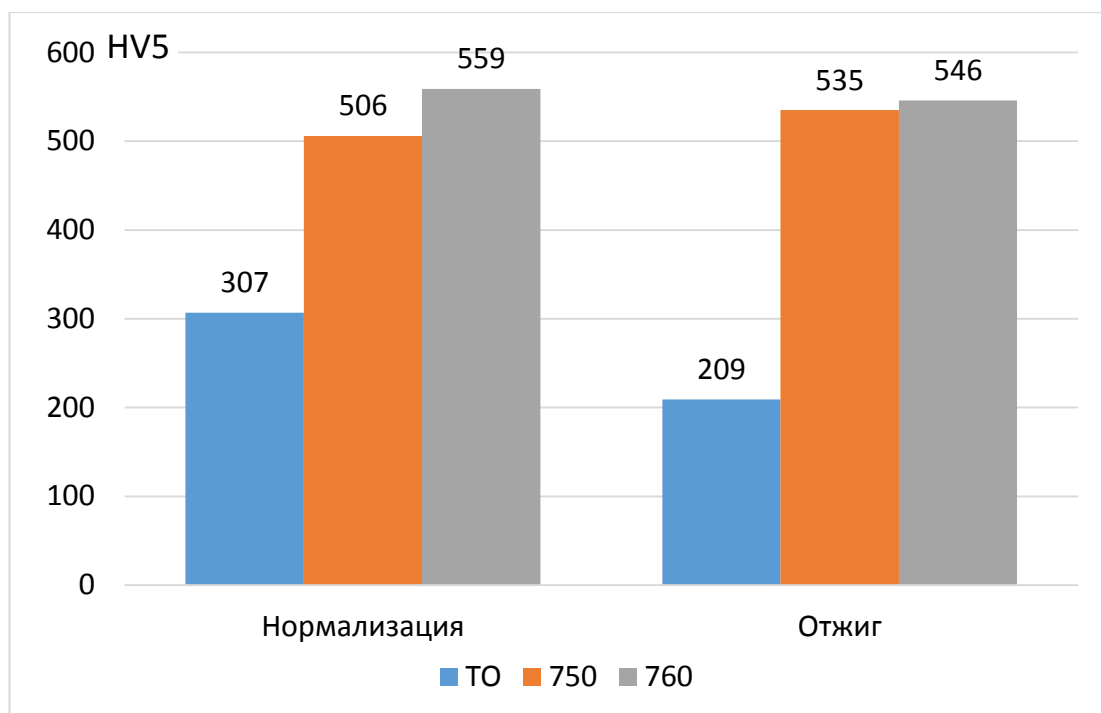


Рисунок 27 – Твердость образцов после термообработки по режимам, приведенным на рисунках 21 – 26

Из результатов, представленных на рисунках 21 – 27 следует, что применение дополнительной термообработки перед закалкой нецелесообразно. Причём после изотермического отжига образование аустенита идёт интенсивнее, чем в исходном состоянии. Скорость перехода феррита + ферритокарбидной смеси в аустенит при предварительной нормализации и образцов в горячекатанном состоянии приблизительно идентична.

Таким образом, полученные результаты показывают, что закалку стали марки 40ХГНМ при данном химсоставе необходимо проводить в интервале 750...780° С.

Полученные результаты свидетельствуют, что несмотря на близость химического состава при закалке из двухфазной области на стали 40ХГНМ эквивалентной количество феррита стали марки 38Х2МЮА достичь не удастся. Это свидетельствует о том, что двухфазная область стали марки 38Х2МЮА шире, чем у марки 40ХГНМ, что удовлетворительно объясняется

высоким содержанием алюминия. Известно [2], что дополнительное легирование алюминием стали 35ХН1М2ФА приводит к расширению межкритического интервала температур. К аналогичным выводам можно прийти исходя из анализа термокинетических диаграмм [26].

Таким образом, при закалке стали 40ХГНМ указанного химического состава, двухфазная структура, состоящая из мартенсита и феррита, образуется в интервале 750...780 °С. Стоит отметить, что наличие остаточного феррита в структуре неизбежно снизит предел прочности детали. Наличие достаточно узкого интервала двухфазной области у стали 40ХГНМ может привести к нестабильности воспроизводимости двухфазной структуры при закалке, что приведет к нестабильности механических свойств. Результаты измерения ударной вязкости представлены на рисунке 28.

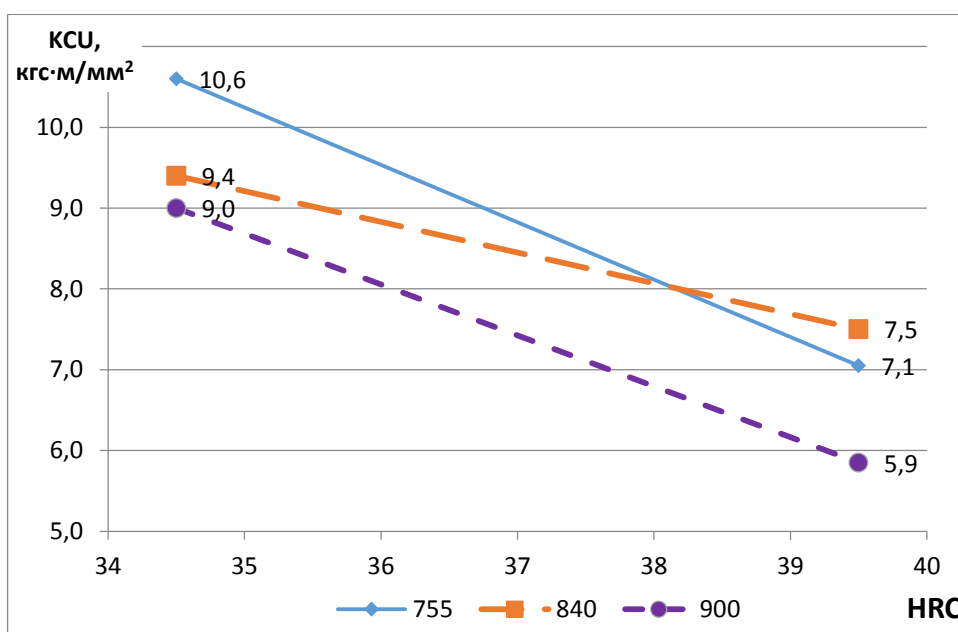


Рисунок 28 – Изменение ударной вязкости в зависимости от температуры нагрева под закалку

Закалка при нагреве до двухфазной области при некотором преимуществе по механическим свойствам [29] является нестабильной в плане определения конкретной температуры необходимого распределения фаз, т.е. не технологичной. Предпочтительной для практического применения является

технология термической обработки с нагревом до теоретической температуры, обеспечивающей равномерную микроструктуру, но такая твердость достижима только при условии полного растворения феррита.

В стали 38Х2МЮА повышенное содержание хрома стабилизирует α -фазу (феррит) и способствует образованию карбидов, что задерживает растворение феррита при нагреве до высоких температур, и увеличивает упрочнение при отпуске. Таким образом, для пуансонодержателей из 40ХГНМ достижение уровня стойкости деталей из 38Х2МЮА при равных условиях невозможно, однако, как показали результаты работы, повысить механические свойства деталей из стали 40ХГНМ при снижении температуры закалки вполне реально.

Стоит отметить, что дополнительно не исследовался параметр, который оказывает значимое влияние на склонность к закаливанию реальных деталей - это геометрия. В работе [30] показано влияние геометрических параметров на растрескивание и закаливаемость стальных образцов. Сам процесс закалки из межкритического интервала широко исследовался в нашей стране и за рубежом [29] [31] [32].

- В результате проведенной работы установлено, что закалка из двухфазной области способствует увеличению ударной вязкости в интервале твердости от 34,5 до $\square$ 38,2 HRC, в дальнейшем с точки зрения ударной вязкости предпочтительно использовать классический режим с закалкой от 840° С. Закалка с температуры 900° С способствует снижению ударной вязкости от 15 до 22%, причём этот эффект более выражен для повышенной твердости.
- В целом стойкость пуансонодержателей, помимо ударной вязкости, определяется не твердостью, а прочностью, которая коррелирует с твердостью только при однородной структуре, поэтому для принятия решения о наиболее рациональном режиме термообработки необходимо провести сравнительные производственные испытания пуансонодержателей термообработанных на твердость в диапазоне

32...38 HRC и пуансонодержателей с твердостью в диапазоне 38...43 HRC, закаленных с температуры 840 °С. В случае если повышенной стойкостью будут обладать пуансонодержатели с твердостью 32...38 HRC, провести сравнение с пуансонодержателями с твердостью 32...38 HRC, закаленными с температуры 755° С.

4.3 Выводы по разделу

- - для получения двухфазной структуры температура должна принадлежать интервалу 750...780° С;
- - применение дополнительной термообработки перед закалкой нецелесообразно;
- - после изотермического отжига образование аустенита идёт интенсивнее, чем в нормализованном состоянии;
- - установлено, что закалка из двухфазной области способствует увеличению ударной вязкости в интервале твердости от 34,5 до 38,2 HRC;
- - закалка с температуры 900° С способствует снижению ударной вязкости от 15 до 22%, причём этот эффект более выражен для повышенной твердости.
- - целесообразно установить требование чертежа по твердости пуансонодержателей в интервале 32...38 HRC.

Заключение

1. Твердость стали образцов с максимальной стойкостью занижена относительно требований чертежа (КД: 46...51 HRC, факт: 36...37 HRC).
2. Применение дополнительной термообработки перед закалкой нецелесообразно.
3. Закалка стали 40ХГНМ с температуры 900° С снижает механические свойства при дальнейшем отпуске на 15...22%.
4. При твердости 34...38 HRC большей ударной вязкостью обладают образцы из стали 40ХГНМ, закаленные с температуры 755° С, при твердости □ 38 HRC повышенная ударная вязкость отмечается у образцов закаленных с температуры 840° С.

Для производств всегда актуально повышение эффективности действующего производства, снижение материальных затрат. Однако при внедрении более экономически выгодных марок стали важно провести правильную омологацию материала. Различный уровень легирования, различная концентрация легирующих элементов в сплаве приводит к необходимости проводить тщательную подготовку производства. Ведь каждый элемент по-разному влияет на положение критических точек в сплаве. Несмотря на близость механических свойств сталей марок 38Х2МЮА и 40ХГНМ для получения стабильных высоких эксплуатационных свойств решающее значение оказывает правильно подобранные режимы термической обработки – закалки и отпуска. Этому и посвящена настоящая работа. Результаты которой показали, что потенциал деталей из марки стали 40ХГНМ, может быть значительно повышен за счёт корректно подобранных режимов и правильно установленных требований чертежа. Кроме того, анализ показал, что экономический эффект может быть увеличен за счёт отказа от предварительной термической обработки. Однако при переходе на сталь марки 40ХГНМ обращает на себя внимание очень узкий интервал существования феррита, при отсутствии которого ударная вязкость снижается.

Список используемой литературы

1. Анализ диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита : метод. указания к практ. и лаб. работам по дисциплинам «Основы термической обработки», «Материаловедение» для студентов всех форм обучения по направлению подготовки 150400 «Металлургия»/ НГТУ; сост.: Нуждина Т.В., Чеэрова М.Н., Комарова Т.В.- Н.Новгород, 2014. – 33 с.
2. Арзамасов Б.Н. и др. Материаловедение: Учебник для вузов / Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г. и др.; Под общ. ред. Арзамасова Б.Я., Мухина Г.Г. 8-е изд., стереотип. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. - 648 с.
3. Влияние ряда факторов на ударную вязкость. [Электронный ресурс]. URL: <https://mydocx.ru/2-1752.html> (дата обращения: 07.04.2020).
4. Гервасьев М.А., Юровских А.С., Беликов С.В., Маслова О.В., Жилин А.С. Влияние Al и Si на образование аустенита в межкритическом интервале температур в Cr - Ni - Mo стали. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2015. Том 58. № 9. С. 677 – 681
5. Гольдштейн Я.Е., Заславский А.Я. Конструкционные стали повышенной обрабатываемости – М.: Металлургия. 1977. 248 с.
6. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г. Производство чёрных металлов и сплавов. – М.: Металлургия. 1986. 272 с.
7. Динамические испытания на ударный изгиб. Методические указания к лабораторным и практическим работам по специальным дисциплинам для студентов металлургических специальностей [Электронный ресурс]. URL: <http://5fan.ru/wievjob.php?id=14628> (дата обращения: 01.04.2020).
8. Изучение технологии отпуска закаленной стали. [Электронный ресурс]. URL: <https://multiurok.ru/index.php/files/praktichieskaia-rabota-4-29.html> (дата обращения: 04.04.2020).
9. Каменичный И.С.. Краткий справочник технолога – термиста . – МАШГИЗ. 1963. 287 с.

10. Кудряшова О.В., Гервасьев М.А., Худорожкова Ю.В. Структура и свойства среднеуглеродистой Cr-Ni-Mo стали с добавлением Al и Si после закалки из двухфазной области // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4-3. – С. 580-585.
11. Материаловедение и основы термической обработки металлов: метод. указания к лаб. работам для студентов всех форм обучения машиностроительных и химико-технологических специальностей/ НГТУ; сост.: Бугров Ю.В., Нуждина Т.В. Н. Новгород, 2011. 47 с.
12. Материаловедение: Учебное пособие / Смирнов М.А., Окишев К.Ю., Ибрагимов Х.М., Корягин Ю.Д. — Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2005. — Ч. I. — 139 с.
13. Мельников, А. А. Материаловедение. Конспект лекций. Ч. 1. Материаловедение и термическая обработка [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Мельников А.А.; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Самара, 2011. – 65 с.
14. Металлография железа / Том. 1. "Основы металлографии" (с атласом микрофотографий) / Перев. с англ. к.т.н. З.Ш. Херодинашвили, под ред. акад. АН ГрузССР Тавадзе Ф.Н. / Fundamentals of Metallografy by L.Habraken et. J.-L. de Brouwer Centre National de Recherches Metallurgiques CNRM. Presses Academiques Europeennes S.C. Bruxelles – М.: Металлургия. 1972. с. 240.
15. Мухамадиева Д.Т. Алгоритм линейного повышения контраста изображения при нечеткой исходной информации / Мухамадиева Д.Т., Солиев Э.А., Атаханов М.Х. // Проблемы вычислительной и прикладной математики. 2015. №1. — С. 102 – 105.
16. Польте, Г.А., Саенко А.П. Количественная оценка качества изображений с использованием методов нечеткой логики / Польте, Г.А., Саенко А.П. // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2011. Т. 54. №3. С. 32 – 36.

17. Попов А.А., Попова Л.Е.. Справочник термиста. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлаждённого аустенита. Москва. Свердловск. Машгиз. 1961. 430 с.
18. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. М.: Металлургия, 1976. 271 с.
19. Святкин, М.В. Определение практической применимости прогнозирования фазового состава сложнолегированных латуней / Святкин М.В., Святкин А.В., Шендере́й П.Э., Лазутов П.Н., Прасолов С.Г. // Евразийское Научное Объединение. 2015. Т.1. №7 (7). С. 35 - 37.
20. Сергеева К.И. Процессы формирования структуры и комплекса свойств низколегированной трубной стали повышенной стойкости: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01: защищена 14.12.2012 / К.И. Сергеева. – Екатеринбург: УрФУ, 2012. – 24 с.
21. Спектрометр SPECTROLAB [Электронный ресурс]. URL: https://www.pergam.ru/catalog/nondestructive_testing/chemical/spectrolab.htm (дата обращения: 07.04.2020).
22. Способы металлографического травления: Справ. изд.: Пер. с нем. Беккерт М., Клемм Х. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1988. С. 400 с.
23. Сталь марки 38Х2МЮА. [Электронный ресурс]. URL: http://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/stj/38x2mya (дата обращения: 01.04.2020).
24. Сталь марки 40ХГНМ. [Электронный ресурс]. URL: http://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/stj/40xgnm (дата обращения: 01.04.2020).
25. Технология изготовления штамповой оснастки. [Электронный ресурс]. URL: https://studwood.ru/1983240/tovarovedenie/tehnologiya_izgotovleniya_shtampovoy_osnastki (дата обращения: 02.04.2020).

26. Топилин Р.Ю. Исследование влияния бора на структуру низколегированных углеродистых сталей: ВКР ... бакалавр./ Топилин Р.Ю.. - Тольятти: ТГУ, 2018. - 54 с.
27. Чудина О.В. Теория и практика термической обработки металлов: учебно-методическое пособие к мультимедийному изданию / Чудина О.В., Гладова Г.В., Остроух А.В. – М.: МАДИ, 2013. – 64 с.
28. Шинин М.А. Разработка технологии ультразвуковой сборки пластиковых изделий автокомпонентов: ВКР ... бакалавр./ Топилин Р.Ю. - Тольятти: ТГУ, 2016. - 53 с.
29. Mou, Y.; Li, Z.; Zhang, X.; Misra, D.; He, L.; Li, H. Design of an Effective Heat Treatment Involving Intercritical Hardening for High Strength/High Elongation of 0.2C–3Al–(6–8.5)Mn–Fe TRIP Steels: Microstructural Evolution and Deformation Behavior. *Metals* 2019, 9, 1275.
30. Chen N, Zhang W, Gao C, Liao B, Pan J (2006) The effects of probe geometric shape on the cooling rate curves obtained from different quenchants. *Diffusion and defect data Solid state data Part B, Solid state phenomena* 118:227–231.
31. Vasil'eva, A.G., Gulyaeva, T.V. & Sazonov, V.G. Influence of original structure and heating rate on the properties of steel after hardening from the intercritical range. *Met Sci Heat Treat* 23, 362 - 366 (1981).
32. O. Abedini. Intercritical Heat Treatment Temperature Dependence of Mechanical Properties and Corrosion Resistance of Dual Phase Steel / O. Abedini, M. Behrooz, P. Marashi, E. Ranjbari, M. Pouranvari. *Mat. Res.* vol.22 no.1 São Carlos 2019 Epub Jan 17, 2019.
33. Movahed P, Kolahgar S, Marashi SPH, Pouranvari M, Parvin N. The effect of intercritical heat treatment temperature on the tensile properties and work hardening behavior of ferrite-martensite dual phase steel sheets. *Materials Science and Engineering: A*. 2009;518(1-2):1-6.

Приложение А Оценка безопасности и экологичности

Таблица А 3.1 – Технологический паспорт технического объекта

№ п./п	Технологический процесс	Технологическая операция/ Вид выполняемых работ	Должность персонала, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
1.	Технологический процесс безопасной работы при подготовке образцов на термоучастке	Загрузка образцов в печь	Термист	Муфельная печь «Термокерамика»	Панель приборов, термостойкие перчатки
		Выставление программы термообработки			
		Термообработка			
		Выгрузка образцов			
2.	Технологический процесс безопасной работы при изготовлении металлографических образцов и шлифов	Вырезка образцов	Лаборант металлографического анализа	Отрезной станок «Discotom Struers»	Отрезной круг, СОЖ для охлаждения образцов
		Запрессовка образцов	Лаборант металлографического анализа	Заливочный пресс «Престопресс»	Карбопласт
		Шлифовка образцов	Лаборант металлографического анализа	Шлифовальный станок «Metasineх»	Абразивная шлифовальная шкурка различной зернистости
		Полировка образцов	Лаборант металлографического анализа	Скоростной полировальный станок «Buehler»	Алмазная паста АСМ 0/1
		Химическое травление	Лаборант металлографического анализа	Вытяжной шкаф ШВ-2	Реактивы: Ниталь (4% спиртовой раствор азотной кислоты в спирте)

Таблица А 3.2 – Выявление профессиональных рисков

№ п./п.	Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный / вредный производственный фактор	Источник опасного и/или вредного производственного фактора
1.	Загрузка образцов в печь	Термические воздействие в процессы загрузки/выгрузки образцов, возможное поражение током при выставлении программы на панели управления термощафом	Муфельная печь «Термокерамика»
2.	Выставление программы термообработки		
3.	Термообработка		
4.	Выгрузка образцов		
5.	Вырезка образцов	Подвижные части оборудования; повышенная температура поверхностей оборудования, материалов и образцов; повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; острые кромки, заусенцы, и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов, оборудования; повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; недостаточное освещение рабочего места [26]; воздействие химических и абразивных веществ на организм	Отрезной станок «Discotom Struers»
6.	Запрессовка образцов		Заливочный пресс «Престопресс»
7.	Шлифование и полирование образцов		Шлифовальный станок «Metasinx»
			Полировальный станок «Buhler»
8.	Химическое травление	Химическое воздействие на кожу, дыхательные пути, слизистые человека	Реактивы

Таблица А3.3 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

№ п./п.	Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1.	Термоучасток	Муфельная печь «Термокерамика»	А, В, D, Е	Пламя и искры, термическое воздействие	Падение разогретых до высоких температур образцов на различные части оборудования, полы и другие изделия
2.	Лаборатория металловедения	Отрезной станок «Discotom Struers»	А, D, Е	Пламя и искры, термическое воздействие	Случаи короткого замыкания высокого электрического напряжения на персонал, оборудования, изделий и иного имущества
		Заливочный пресс «Престопресс»	А, D, Е		
		Шлифовальный станок «Metasineх»	А, D, Е		
		Скоростной полировальный станок «Buhler»	А, В, D, Е		
		Вытяжной шкаф ШВ - 2	А, В, D, Е		Экзотермические реакции

Таблица А 3.4– Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Переносные и передвижные огнетушители порошкового типа ОП-1, ОП-2	Пожарные автомобили (основные и специальные)	Переносные и передвижные огнетушители порошкового типа ОП-2	Извещатели пожарные тепловые Securiton ГОСТ Р 53325-2012	Подставка напольная для ОП-2, универсальная) Кронштейн (пластмасса) для ОП-1, ОП-2 Подставка квадратная П-10шт. Кронштейн ТГ-2 транспортный с металлической защёлкой для ОП-2, ОУ-2 [28]	Средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения; Средства индивидуальной защиты пожарных	Топор, лом, ведро	Ручной ИР-П; тепловой ИП-105; дымовой ИПД-1; Извещатель пламени ИП [25]
Пожарные краны и средства обеспечения их использования		Пожарный инвентарь		Устройство пожаротушения (сосуд)			
Пожарный инвентарь							
Покрывала для изоляции очага возгорания							

Таблица А 3.5 – Основные организационно-технические мероприятия по предотвращению пожара

Наименование технологического процесса, используемого оборудования в составе технического объекта	Наименование видов реализуемых орг. (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые нормативные требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Технологический процесс безопасной работы при изготовлении металлографических образцов и шлифов, Термообработки образцов	Защита технологических процессов установками пожаротушения; Применение пожарной сигнализации и систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре; Обучение персонала предприятий способам ликвидации аварий	Периодическая очистка территории, на которой располагается объект, помещений, коммуникаций, аппаратуры от горючих отходов, отложений пыли, пуха и т.п. [26]; Своевременное удаление пожароопасных отходов производства, шлама; Применение автоматических установок пожарной сигнализации и пожаротушения; Организация с помощью технических средств, включая автоматические, своевременного оповещения и эвакуации людей; Применение средств коллективной и индивидуальной защиты людей от опасных факторов пожара; Устройство аварийного отключения и переключения установок и коммуникаций; Организационно-технические мероприятия должны включать: организацию пожарной охраны, организацию ведомственных служб пожарной безопасности в соответствии с законодательством; Паспортизация веществ, материалов, изделий, технологических процессов, зданий и сооружений объектов в части обеспечения пожарной безопасности [26]; Привлечение общественности к вопросам обеспечения пожарной безопасности; Организация обучения работающих правилам пожарной безопасности на производстве; Разработка и реализация норм и правил пожарной безопасности, инструкций о порядке обращения с пожароопасными веществами и материалами, о соблюдении противопожарного режима и действиях людей при возникновении пожара [26]; Разработка мероприятий по действиям администрации, рабочих, служащих и населения на случай возникновения пожара и организацию эвакуации людей; Применяемая пожарная техника должна обеспечивать эффективное тушение пожара (загорания), быть безопасной для природы и людей [26]

Таблица А 3.6 Идентификация негативных экологических факторов

Наименование технического объекта, производственно- технологического процесса	Составляющие технического объекта, производственно- технологического процесса, энергетической установки, транспортного средства и т.п.	Воздействие технического объекта на атмосферу	Негативное экологическое воздействие технического объекта на гидросферу	Негативное экологическое воздействие технического объекта на литосферу
Технологический процесс безопасной работы	Загрузка образцов в печь	Продукты горения могут попадать в атмосферу	Отходы футеровки, шамотного кирпича могут попадать в почву	Отходы футеровки, шамотного кирпича могут попадать в почву
	Выставление программы термообработки			
	Термообработка			
	Выгрузка образцов			
Технологический процесс безопасной работы при изготовлении металлографических образцов и шлифов [26]	Вырезка образцов	Нет	Попадания отходов промышленной резки в канализационные сливы	Мелкие части промышленных отходов – продукты резания, абразивов при утилизации могут попадать в литосферу
	Запрессовка образцов			
	Шлифование и полирование образцов			

Таблица А 3.7 Основные мероприятия направленные на снижение негативного антропогенного воздействия на окружающую среду

Наименование технического объекта	Технологический процесс безопасной работы при анализе представленных образцов, изготовлении металлографических шлифов, термообработке образцов
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Нейтрализация агрессивных растворов и реагентов, утилизация металлоотходов в контейнеры для вывоза мусора и остатков производства, сортировка отходов производства, периодическая чистка вытяжного шкафа, на термоучастке установка термостойких ограждений и приспособлений
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	