

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»
(наименование кафедры)

15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных
производств

(код и наименование направления подготовки)

Технология автоматизированного машиностроения

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Исследование влияния плазменной и пламенной закалки на
стойкость штамповой оснастки

Студент	<u>А.А. Блинов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Научный руководитель	<u>Н.М. Бобровский</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	<u>В.Г. Виткалов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

Руководитель программы д.т.н., доцент Н.М. Бобровский _____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)
« _____ » _____ 20 _____ г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент Н.Ю. Логинов _____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)
« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. Способы улучшения эксплуатационных характеристик штамповой оснастки.....	8
1.1 Холодная штамповка и методы ее контроля.....	8
1.2 Свойства материалов, применяемых в деталях и штампах.....	10
1.3 Стойкостные свойства штамповых сталей.....	13
1.4 Получение моделей отливок из полистирола.....	15
1.5 Основные виды термообработки.....	17
1.5.1 Объемная закалка.....	19
1.5.2 Лазерная закалка.....	21
1.5.3 Плазменная закалка.....	24
1.5.4 Пламенная закалка.....	28
1.6 Нанесение упрочняющих покрытий.....	31
1.6.1 Метод хромирования.....	31
1.6.2 CVD и PVD покрытия.....	32
1.7 Основные выводы по применению упрочняющих покрытий.....	35
2. Объект исследования и цель исследовательской работы.....	36
2.1 Особенности плазменной закалки.....	37
2.2 Оценка эффективности упрочнения поверхности штамповой оснастки методом плазменной закалки.....	38
2.2.1 Проведение исследований эффективности упрочнения поверхности штамповой оснастки методом плазменной закалки на образцах из различных материалов.....	38
2.2.2 Выбор материалов для проведения исследований на образцах.....	38
2.2.3 Методика проведения исследований.....	40
2.2.4 Плазменная закалка образцов из чугуна ХФ.....	42
2.2.5 Плазменная закалка образцов из стали Х12МФ.....	45
2.2.6 Плазменная закалка образцов из стали 40Х.....	48

2.3 Проведение опытного упрочнения штамповой оснастки методом плазменной закалки.....	51
2.3.1 Проведение опытного упрочнения штампов вытяжки «тоннель пола», «пол центральный», «пол задний».....	51
3. Технический регламент поверхностного упрочнения штамповой оснастки методом плазменной закалки.....	53
3.1 Оборудование и материалы, применяемые в процессе плазменного упрочнения технологической оснастки.....	53
3.2 Подготовка штамповой оснастки к проведению плазменного упрочнения поверхности.....	54
3.3 Процесс плазменного упрочнения штамповой оснастки.....	55
4. Техничко-экономический расчет эффективности поверхностного упрочнения штамповой оснастки методом плазменной закалки.....	63
4.1 Расчет эффективности поверхностного упрочнения методом плазменной закалки штамповой оснастки из чугуна.....	63
4.2 Расчет эффективности поверхностного упрочнения методом плазменной закалки штамповой оснастки из легированной стали.....	67
4.3 Выводы по применению плазменной закалки.....	70
5. Цели и объекты исследования плазменной закалки.....	72
5.1 Технология плазменной закалки.....	73
5.2 Анализ эффективности упрочнения поверхностей штамповой оснастки путем применения плазменной закалки.....	79
5.2.1 Исследование эффективности термоупрочнения поверхностей штампов методом плазменной закалки на различных образцах материалов.....	79
5.2.2 Выбор материалов для проведения исследования плазменной закалки.....	79
5.3 Плазменная закалка образцов из стали X12MФ.....	81
5.4 Плазменная закалка образцов из чугуна XФ.....	83

5.5 Пламенная закалка образцов из стали 40X.....	85
6. Расчет экономической эффективности от применения газопламенной закалки.....	87
6.1 Обоснование расчета экономической эффективности по внедрению газопламенного упрочнения рабочих частей штампов.....	87
6.2 Сравнительный анализ стоимости разработки техпроцесса с наплавкой и техпроцесса с пламенной закалкой.....	91
6.3 Обоснование расчета экономической эффективности и сроков окупаемости замены объемной термообработки пламенным упрочнением.....	92
6.4 Основные выводы и результаты применения технологии газопламенной закалки.....	94
7. Выводы по проведенным исследованиям.....	96
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	98
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	99
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	105

ВВЕДЕНИЕ

В условиях нестабильной политической и экономической ситуации, которая в последние годы сложилась в стране и мире, одной из наиболее важных и ключевых задач, стоящих во многих предприятиях, заключается в вопросе – как эффективнее улучшить производительность, чтобы изготовить свою продукцию. В нынешнее время имеется довольно большое количество разнообразных решений, благодаря которым удастся добиться нужных результатов. Однако стоит учесть, что многие зарубежные компании и фирмы, ушли достаточно далеко во всех этих вопросах. Но, к сожалению, в нашей стране пока что эти методы развиваются не столь стремительно, как там. И для того чтобы не отставать от прогресса, в производственный процесс стоит внедрять уже проверенные временем способы, а так же методы повышения эффективности, которые сейчас успешно применяются на иностранных предприятиях. Однако, так же важно оставаться независимыми от различных экономических и политических проблем, и именно поэтому в России взяли курс на развитие своих собственных разработок и технологий.

Производства штампов и пресс-форм постоянно стараются улучшить качество своей продукции, а так же снизить затраты на производство деталей. Довольно большое внимание уделяется новым технологиям упрочнения поверхностей. Они в свою очередь делятся на два вида:

- Методы нанесения специальных упрочняющих покрытий

Наиболее распространенные из них: метод хромирования, а так же методы нанесения PVD и CVD покрытий;

- Способы термической обработки

Наиболее известные из них: объемная термообработка, лазерная, плазменная и пламенная закалки.

Но здесь стоит отметить, что технологии локального упрочнения гораздо проще и выгоднее по сравнению с закалкой в печи. Их существенное преимущество заключается в том, что они применяются непосредственно для

рабочих поверхностей, на которые приходится основная нагрузка, оставляя тем самым нетронутой сердцевину детали. Благодаря этому можно существенно сэкономить время, исключив в свою очередь дополнительную финишную обработку.

В промышленности для поверхностного упрочнения в основном применяется высокочастотная и газопламенная термообработка. Но кроме этих видов термообработки существует ещё лазерная закалка, объёмная закалка в печи, а так же методы нанесения специальных упрочняющих покрытий. Но, правда, на данный момент производства применяют закалку в печи, потому как ее технология уже проверена и отработана годами. Впрочем, у нее имеются и свои недостатки, в числе которых длительность самого процесса, значительные энергозатраты, потребность выполнения дорогостоящих финишных операций, дополнительная логистика и т.д. В связи с чем, были рассмотрены варианты закалки плазменной дугой и пламенной горелкой. И поскольку детали - это части штампа, то рациональней использовать гораздо более новые способы упрочнения, которые лучше объёмной закалки в печи. А чтобы выбрать какой из этих способов наиболее оптимальный по сравнению с другими следовало провести ряд экспериментов, для детального сравнения этих методов поверхностной закалки. Были проведены исследования микроструктуры различных образцов применяемых материалов. Замерялись глубины упрочненных слоев. Изучались данные свойств материалов, которые применяют в изготовлении оснастки, а так же замерялась и сравнивалась твердость каждого образца. И на основе всего этого были так же проведены экономические расчеты.

Плазменная, пламенная и лазерная закалки продемонстрировали, что их можно считать лучшими вариантами для закалки рабочих частей штампов, причем, у лазерного луча область соприкосновения все же меньше чем у плазменной дуги и пламенной горелки. Поэтому основываясь на проведенных экспериментах можно сделать вывод о том, что технологии

плазменной и пламенной закалки лучше всего подойдут для упрочнения сложно-профильных поверхностей штампов и пресс-форм. К тому же, чтобы обработать всю рабочую поверхность, не потребуется значительного количества времени.

Цель работы заключается в том, чтобы разобраться в современных методах улучшения эксплуатационных характеристик штамповой оснастки и выбрать из них самый оптимальный для конкретных деталей.

1. Способы улучшения эксплуатационных характеристик штамповой оснастки.

1.1 Холодная штамповка и методы ее контроля.

Холодная штамповка является одним из основных способов обработки давлением, при котором формообразование новых деталей совершается благодаря непосредственному воздействию рабочих частей штампа на материал заготовки. Среди основных преимуществ холодной штамповки можно выделить низкую трудоемкость и невысокую стоимость выпускаемой продукции. Имеется возможность выполнять достаточно сложные формоизменения, при этом изготавливаемые детали получают высокой точности. Так же, при достаточно невысоком расходе материала, заготовки получают легкими и прочными. Материал расходуется весьма экономично, при том, что отходы совсем незначительны. Прессовое оборудование обладает высокой производительностью и универсальностью, причем, имеется возможность механизировать и автоматизировать процесс. Как раз благодаря всем этим преимуществам холодная штамповка широко применяется в машиностроении. Дело в том, что штампы это дорогостоящее оборудование, в связи с чем, необходимо систематически наблюдать и контролировать работу штампов, уделять должное внимание ремонту и следить за их износостойкостью. Поэтому в соответствующих цехах на заводе следует иметь систему организации штампового хозяйства, которая бы надлежащим образом контролировала состояние работы штампов в процессе эксплуатации на каждой из стадий.

Нельзя не отметить, что особое внимание должно быть уделено и состоянию прессы, ведь во многом от него как раз и зависит надежность и качество всех штампов, а так же стабильность процесса штамповки. Довольно важно, чтобы параллельность ползуна и стола, зазоры между направляющими ползуна и станины, а так же перпендикулярность хода ползуна к плоскости стола соответствовали всем необходимым нормам

точности по ГОСТам и заявленным паспортным данным производителя оборудования. В случае отступления от этих норм могут произойти поломки штампов, в результате их выхода из строя из-за износа, и в то же время не смогут быть выдержаны заданные параметры штамповки, что приведет к геометрическим отклонениям в изделии и процесс штамповки не будет стабильным. Чтобы этого не произошло, периодически рекомендуется производить проверку и своевременно выявлять проблемы прессов, введенных в эксплуатацию.

Основные требования, которые предъявляются к штампам:

Конструкция штампа должна быть технологична;

Штампы должны обладать стойкостью и прочностью;

Крепление деталей обязательно должно быть надежным;

Штампы должны обладать возможностью легкой и быстрой замены изношенных деталей, а так же быть ремонтнопригодны;

Так же штампы должны обладать удобной конструкцией, чтобы не возникало трудностей с загрузкой заготовок;

Отштампованные детали должны легко удаляться из штампа;

Работа штампа должна быть безопасной;

Изготовление должно быть экономичным.

Конструкция штампа может быть рациональна только в том случае, если все вышеизложенные требования выполняются. При разработке конструкции необходимо решить вопросы правильности размеров и форм заготовок по переходам, надежности зажима заготовки, точности фиксирования, безопасности и удобства закладывания заготовок в сам штамп, а так же их удаления, надежности направления верхней и нижней части штампа по отношению друг к другу, возможности замены вышедших из строя деталей штампа без съема его с пресса, надежности крепления, удобства установки штампа на пресс, и, в случае с тяжелыми штампами, удобства транспортировки.

1.2 Свойства материалов, применяемых в деталях и штампах.

Помимо конструкции штамповой оснастки на производстве особое внимание уделяют материалам, из которых будут изготовлены новые детали, а так же сами пресс-формы и штампы. Поэтому чтобы новый материал запустить в производство необходимо подвергнуть исследованию в лаборатории его химический состав, физико-механические и эксплуатационные свойства, и произвести его контроль, который в свою очередь делится на контроль внешнего вида (где так же обращается внимание и на размеры), а так же контроль штампуемости. В лаборатории сначала изучают поверхность материала путем визуального осмотра. На ней должны отсутствовать свищи, раковины, различного вида надрывы и, конечно же, глубокие царапины. Затем, путем наружного осмотра изучают геометрическую форму, при которой недопустимо иметь грубые отклонения. Листы контролируются по толщине при помощи специальных микрометров, а ленты с полосами еще проходят контроль по ширине.

У листового металла (стали), из которой изготавливают новые детали при нормальных режимах и условиях работы во время штамповки ни в коем случае не должны появляться трещины, а уж тем более происходить разрывы листа. Можно выделить основные причины, чем это может быть вызвано: В первую очередь из-за возможных колебаний толщины листа, которые в значительной мере происходят из-за несоблюдения размеров валков. Из-за этого образуются складки, которые как раз и приводят к разрывам металла и трещинам. Во-вторых, на поверхности могут образоваться грубые дефекты, которые возникают в результате прокатки, очистки, а так же во время транспортировки металла. Если не соблюсти правильные режимы отжига листовой стали, то результатом такого просчета может стать появление слишком крупнозернистой структуры листа.

Так же может произойти окисление поверхности, благодаря чему в значительной мере возрастет трение в связи с чем, уменьшится зазор между штампом и металлом.

Сталь может получиться низкого качества из-за высокого содержания в ней различных примесей, загрязняющих состав. Содержание углерода обязательно должно соответствовать ГОСТу.

Ещё один фактор, который обязательно нужно учитывать, это то, что сталь склонна к старению. Со временем она становится хрупкой. И это особенно заметно, если возникают большие временные интервалы между отдельными переходами штамповки. Листовой металл, который предназначен для глубокой вытяжки, при штамповке не должен иметь склонности к образованию каких-либо линий сдвига. Качество листового материала, поступающего в цехи холодной штамповки [40], подтверждается наличием сертификата от производителя, в котором завод (поставщик) материала обязательно указывает марку и его химический состав, которые в свою очередь должны соответствовать требованиям ГОСТа. Но важно понять, что получение новых деталей зависит не только от листового металла. Значительную роль здесь играет правильно спроектированная штамповая оснастка. Ее изготовление является довольно дорогостоящим процессом, поэтому при ее разработке необходимо рассмотреть все возможные причины, из-за которых она могла бы выйти из строя. Ведь если допустить грубые ошибки во время ее проектирования, то в первую очередь брак будет замечен на отштампованном листе. И результатом таких просчетов могут послужить серьезные проблемы в дальнейшем производстве. Как правило, эти проблемы пытаются оперативно устранить, проведя анализ полученных дефектов. В настоящее время для анализа процесса штамповки используется различное П.О.. Поэтому, проектируя оснастку для пресс-форм и штампов, нужно обязательно знать из какого материала будут изготовлены новые детали. Важно учесть все нюансы, необходимо просчитать, как материал может себя повести во время

прилагаемых нагрузок. А так же внимательно изучить все характеристики металла, обозначить его сильные и слабые стороны, и благодаря полученным результатам, в том числе определив технологию получения деталей, сделать вывод – оптимально ли будет использовать данный материал для формообразования новых деталей или нет [18]. Но помимо брака листовой стали, который встречается на производстве, существуют и поломки у штампов, которые зачастую возникают из-за проблем связанных с износом оборудования или неправильной эксплуатацией. Из-за того что штампы порою работают в интенсивном режиме, очень важно правильно подобрать материал для рабочих частей штампа. Поэтому все материалы и сплавы, применяемые на производстве, как и в случае с листовым металлом обязательно проходят лабораторные исследования. Их подвергают различным испытаниям, чтобы выявить их прочность, пластичность, вязкость и другие параметры. Помимо этих испытаний так же производят технологические пробы, которые позволяют определить пригодность применяемого металла в тех или иных условиях, происходящих в технологическом процессе. В процессе воздействия внешних сил на металл в нем возникают различного рода деформации, которые в свою очередь приводят к изменению формы металла, а так же его размеров. Существует 2 вида деформаций – упругая и пластическая. В результате приложения внешних нагрузок в металле возникают силы упругости и внутренние напряжения. Они представляют собой силы, которые взаимодействуют между атомами. После того как снимаются все нагрузки эти силы стремятся вернуть форму и размеры, которые были изначально. Материалы очень внимательно исследуют, проводят множество статических, динамических испытаний. Прилагая повторно-переменные нагрузки образцы испытывают на выносливость. Но одним из самых надежных и универсальных испытаний, проводящихся на образцах, является испытание на растяжение. В ходе него строится диаграмма условных напряжений, которую затем внимательно анализируют.

1.3 Стойкостные свойства штамповых сталей.

Для сталей, используемых в штампах, необходимо знать их стойкостные свойства, которые обуславливают длительность и эффективность использования в различных условиях деформирования и резания. Их определяют в условиях промышленных испытаний. Благодаря результатам можно вынести суждение о том, пригодна ли эта сталь для штамповой оснастки или же необходимо изменить некоторые свойства [11]. Однако эти испытания не всегда бывают достаточны для получения полной характеристики штамповых сталей и выбора способа термообработки. Стоит заметить, что стойкостные свойства – это комплексная характеристика, которая зависит от нескольких факторов: изначально от свойств штамповой стали и условий ее термообработки, затем от режима резания, где учитывается скорость резания и сечение снимаемой стружки, благодаря которым происходят изменения условий аккумуляции тепла в режущей кромке. Еще один фактор, который влияет на свойства - это характер процесса резания, который приводит к изменению напряженного состояния штампа. Стойкость штампов напрямую зависит от изменений температур и условий охлаждения. Необходимо так же учитывать и свойства деформируемого материала. Достаточно знать что стали, которые чувствительны к перегреву или же имеют повышенную склонность к обезуглероживанию, обнаруживают высокие свойства у штамповых материалов, которые изготовлены и испытаны на заводе. Таким образом, если брать за основу стойкостные испытания, то зачастую сложно объяснить в чем основные причины различий в стойкости испытанных штампов и иногда трудно связать уже полученные данные со свойствами сталей, проходящих проверку. Исходя из всего этого, можно сделать вывод, что стойкостные испытания должны проводиться многократно и выполнять их следует в течение длительного времени, что, конечно же, требует определенных затрат [17]. Поэтому большое значение для характеристик

штамповых сталей и области их применения в технике приобретает определение более простых свойств, которые непосредственно зависят от структуры, состава и обработки.

Еще недавно между простыми свойствами и стойкостью штампов в промышленных условиях не было возможности провести какую-либо аналогию [12]. Однако благодаря подробному изучению свойств промышленных сталей и разработке надежных методов их определения появилась возможность устанавливать зависимости, позволяющие качественно оценить, а так же предсказать влияние хим-состава и обработки на стойкость. Все это, во многом мере, ускоряет и упрощает внедрение в промышленность новых материалов и новых методов обработки [23]. А так же позволяет подобрать оптимальные составы стали и режимы обработки для заранее заданных условий эксплуатации. Причем такие прогнозы сравнительно надежны, если у исследователя имеются в распоряжении необходимые данные об аналогичных, уже известных свойствах, применяющихся на протяжении длительного времени и если у изучаемой стали в одном и том же направлении происходит изменение одного или нескольких свойств относительно той стали, которая взята для сравнения. В завершении всех исследований, когда уже получается готовый материал, поставщик материала обязательно указывает марку и его химический состав, которые в свою очередь должны соответствовать всем необходимым требованиям ГОСТа и обладать сертификатом качества. И только после этого материал поступает в цехи холодной штамповки, где из него уже и будут изготавливать новые детали для штампов и пресс-форм.

1.4 Получение моделей отливок из полистирола.

В производстве отливок по моделям из полистирола имеются свои особенности в изготовлении моделей, а так же форм [4]. Техпроцесс формовки по полистирольным моделям включает следующие подготовительные и производственные операции:

Выбор формовочной смеси, выбор метода и способа формовки;

Определение необходимости использования противопригарного покрытия модели, а так же его толщины;

Определение положения модели в форме, во время процесса ее заливки;

Выбор места, где подводятся питатели;

Конструирование и расчет литниковой системы;

Выбор положения, расчета и конструирования прибылей и выпоров;

Расчет груза для формы;

Определение температуры, при которой будет происходить заливка формы металлом.

К сожалению, полистирол не всегда обладает высоким качеством. Хуже всего выгорает полистирол, обладающий повышенной плотностью. Из-за того что материал выгорает не полностью, поверхности полученных после него отливок зачастую обладают различными неровностями и дефектами, тем самым ухудшая товарный вид. А внутри отливок появляются так называемые «газовые раковины». Такого рода дефекты, как правило, характерны для отливок из чугуна. Обнаружить их можно визуально или в процессе механической обработки [52]. Исправить эту проблему можно наварив металл, или же деталь будет считаться браком. Пример некачественной отливки показан на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Пример отливки низкого качества.

Полистирольная модель в процессе заливки металла разрушается, а продукты этого процесса удаляют из формы при помощи газового потока. Сам процесс, при котором модель разрушается в форме, довольно сложный. Во время нагрева в полистироле протекают различные фазовые [37, 44] и химические превращения (таблица 1.1):

Таблица 1.1 – Процессы, протекающие при различных температурах.

Температура	Процесс
164°C	Плавление
316°C	Разложение
576°C	Горение и разрушение до водорода и углерода

Для крупных отливок штампов лучше всего подойдет хрупкий полистирол. Он лучше выгорает, да и к тому же с ним легче работать модельщикам. Однако не только от полистирола зависит, какого качества будут получены в итоге отливки. Если заливку будут производить с высокой скоростью, у формы будет низкая газопроницаемость, а модель будет неправильно расположена в форме, то у отливки обязательно будут проявляться дефекты, потому что нельзя отступать от основных технологий литья [55].

1.5 Основные виды термообработки.

Одним из ключевых моментов, который обязательно нужно учесть при производстве штамповой оснастки, является термообработка [19, 24]. От соблюдения оптимальных режимов во время этого процесса будет зависеть прочность и долговечность штампов. Уже известно множество различных способов повышающих срок службы рабочих поверхностей, которые подвергаются износу. Детали, подвергавшиеся упрочнению современными и прогрессивными способами служили достаточно дольше, по сравнению с деталями, которые были обработаны по устаревшим технологиям [25]. Например, снижение износа при использовании новых методов может составлять десятки, а порою и сотни раз. А при увеличении твердости в 2-3 раза происходит увеличение износостойкости на порядок или даже больше [50]. Поэтому повышается не только ресурс, но и срок службы оснастки, к тому же внедрение этих технологий позволяет добиться отличных показателей с точки зрения экономической эффективности. Стоит так же добавить, что стойкость пресс-форм и штампов так же во многом зависит от структуры и свойств поверхностного слоя, который в процессе эксплуатации претерпевает наиболее существенные изменения [41]. В этом слое происходят различные процессы механической и термической усталости, окисление и истирание рабочих зон, а так же пластическая деформация. Как правило, пуансоны и матрицы, являющиеся рабочими частями штампов, постоянно подвергаются ударным нагрузкам, в которых возникает сильная концентрация напряжений на рабочих кромках и поверхностях. Поэтому к используемым там материалам уделяется особое внимание, и предъявляются высочайшие требования к твердости и износоустойчивости при наличии достаточно необходимой вязкости. Протекание всех этих процессов, их интенсивность и характер взаимодействия напрямую зависят от условий работы штампов и их загруженности. В связи с этим на длительность работы пресс-форм и штампов целиком и полностью влияют свойства

использованных материалов и правильно подобранные способы упрочнения [49]. И если рассмотреть традиционную объемную закалку с нагревом в печах, которая была разработана достаточно давно, то она порой оказывается невозможной или достаточно затруднительной на массивных деталях большой длины. Чтобы решить эту задачу, необходимо выявить на какие зоны приходятся основные нагрузки – то есть, какие поверхности непосредственно участвуют в процессе получения изделий. Именно их и нужно будет упрочнять, применяя метод локальной термообработки [13]. А остальные поверхности, которые не участвуют в формообразовании новых деталей, нам упрочнять уже не придется. Получается, что нам нет смысла закаливать всю деталь полностью, благодаря чему мы можем существенно сэкономить время, затрачиваемое на термообработку, а так же электроэнергию, на которую приходится значительная часть расходов.

Достаточно прочные позиции в современной промышленности успели занять технологии пламенной, плазменной и лазерной обработки. Однако эффективному применению этих технологий порою препятствует недостаток систематизированной информации о различных закономерностях и возможностях технологических процессов, которые соответствовали бы необходимым стандартам [20]. Как раз все это и затрудняет выбор оптимальных технологий для решения конкретных задач, поставленных на производстве. Необходимо правильно назначить все режимы обработки, а так же спрогнозировать результаты.

1.5.1 Объемная закалка.

Основной задачей диссертационной работы является поиск метода упрочнения, который бы мог увеличить эксплуатационные характеристики штамповой оснастки. Мы рассмотрим несколько способов поверхностного упрочнения, но хотелось бы еще упомянуть о методе, который применялся еще до появления локальной термообработки - это традиционная объемная закалка. Изначально штампы разогревают в печах до 400-500°C. Затем температура повышается с каждым часом на 50°C, до тех пор пока не достигнет 650-675°C. После этого происходит процесс выдержки, который занимает от 3 до 5 часов, по завершении которого производят окончательный нагрев примерно на 70-80°C в час. Поверхности штампов защищают, чтобы уменьшить окисление и обезуглероживание. Для того чтобы получить высокую прокаливаемость при температуре закалки штамп необходимо полностью прогреть. Нагрев и выдержка в пламенной печи определяется по нормам, которые увеличивают на 30% при нагреве в электрической печи. Штампы, обладающие простой формой охлаждают, как правило, в масле, а штампы со сложной формой охлаждаются на воздухе. Если полностью охлаждать в масле более крупные штампы со сложной фигурой, то могут появиться повышенные напряжения и образоваться трещины. Поэтому их охлаждают применяя способ прерываемой закалки, остужая на воздухе до 750-780°C. В это время так же проходит их очистка от изоляции, после чего штамп помещают в масло, с температурой чуть более или равной 70-75°C. Затем происходит выдержка в масле, которая рассчитывается таким образом, чтобы не допустить полного охлаждения, потому что после этой выдержки еще не остывший штамп переносят в электропечь, где будет происходить отпуск. Из-за того что некоторые очень крупные штампы технически сложно охладить в масле, их охлаждают с помощью водо-воздушной смеси. Охлаждающая способность этой смеси целиком и полностью зависит от давления воздуха, от степени увлажнения и, безусловно, от расстояния

распылителя до самой охлаждаемой поверхности. В зависимости от размеров и габаритов штампа, а так же толщины слоя, который необходимо закалить устанавливают зависимость степени увлажнения. Если изменять количество воды, то можно в различных пределах производить регулировку диапазонов теплоотдачи. Расход воды в достаточно большом объеме приводит к тому, что охлаждающая способность этой смеси становится даже сильнее, по сравнению с маслом, из-за чего может усилиться деформация и образоваться трещины. Охлаждают штамп этой смесью до того момента пока не потемнеет его поверхность. По температуре эти показатели находятся в диапазоне 400-500°C. Затем еще понижают температуру до 300°C охлаждая сжатым воздухом и сразу после этого его нагревают для отпуска, и при этом нагреве структура штампа может содержать много аустенита [36]. Поскольку аустенит превращается в момент охлаждения и выдержки, то целесообразней всего будет провести отпуск 2 раза. По сравнению с первым, температура 2 отпуска ниже на 10-20°C и протекает быстрее в 4-5 раза. Прекращают отпуск тогда, когда появляется серый или же синий цвет побежалости на рабочей части. Как видно, процесс объемной закалки достаточно сложный и трудоемкий, и к тому же занимает много времени. После проведения закалки в печи заготовка должна остыть, чтобы затем была возможность ее обрабатывать дальше. Поэтому на современных производствах отдают предпочтение новым технологиям поверхностной термообработки, которые проще, быстрее и эффективнее.

1.5.2 Лазерная закалка.

В настоящее время лазерная термообработка все больше привлекает внимание специалистов, зарекомендовав себя как довольно эффективный способ улучшения эксплуатационных характеристик рабочих зон поверхностей у разного рода изделий [45]. За последние годы было набрано значительное количество экспериментального материала, который весьма отчетливо проясняет особенности и закономерности процесса лазерной локальной термообработки [27]. Технология лазерной термообработки развивается довольно интенсивно, в основном распространены лазеры обладающие мощностью до 5 кВт [48]. А использование более мощных лазеров является дорогостоящим и их эксплуатация будет экономически целесообразна при их загрузке на 80-90%. К тому же КПД преобразования энергии накачки в лазерное излучение в этих установках составляет порядка 5%. Однако в последнее время были разработаны более компактные диодные лазеры и их КПД достигает уже 50%. Выходная мощность таких лазеров составляет 3-5 кВт, но их главным недостатком является высокая стоимость. При лазерном излучении обеспечивается наиболее высокая концентрация нагрева (так называемая плотность мощности) но реализовать это преимущество удастся не для всех технологических процессов, так как при этом упрочнении может произойти оплавление поверхности. Исходя из этого не лишним было бы провести сравнение лазерных источников с плазменными. Дело в том, что плотность мощности плазменных источников, которую они обеспечивают меньше чем у лазерного луча. Их единичная мощность достигает 160 кВт и более, а КПД нагрева более эффективный и составляет порядка 72%. Стоимость и сложность изготовления плазменного оборудования можно вполне сопоставить с электродуговым.

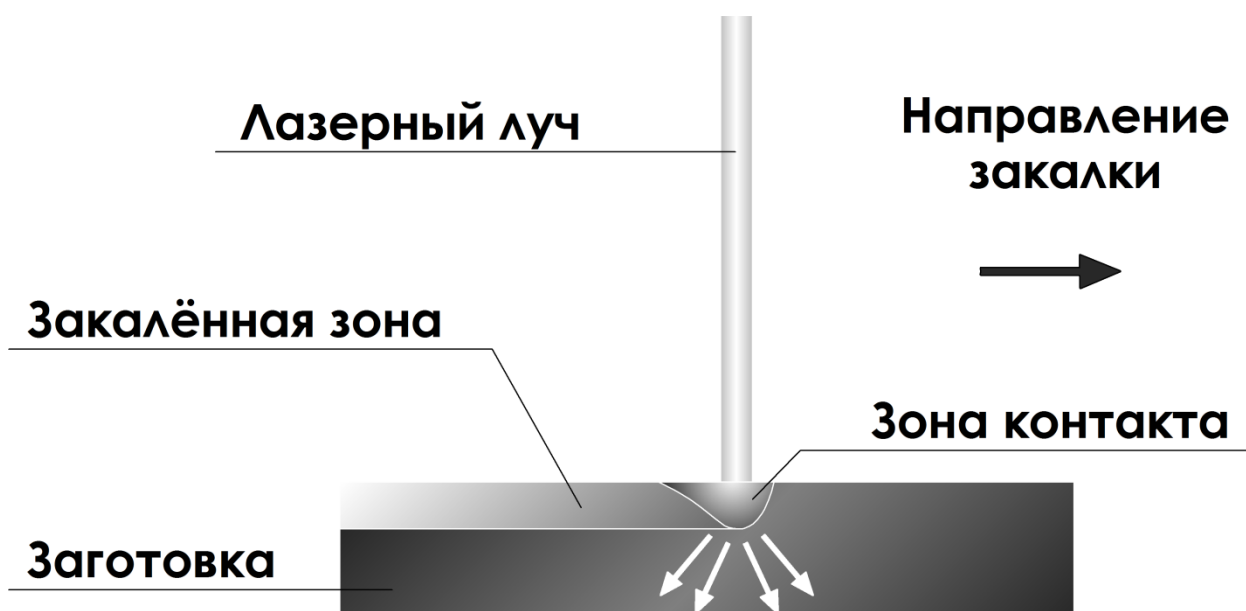


Рисунок 1.2 – Схема проведения лазерной закалки.

Лазерные технологии обладают различными вариациями мощности установок и имеют различные режимы обработки, которые позволяют производить закалку образцов с шириной зоны от 5 до 20 мм и глубиной от 0,5 до 2 мм. Весомым преимуществом этого вида обработки, по сравнению с объемным термоупрочнением является то, что отсутствует дополнительная операция отпуска. Благодаря отпуску снимаются внутренние напряжения в металле, но при этом у обработанного слоя понижается твердость. Если, к примеру, взять для сравнения сталь 40Х, (с которой были проведены исследования в данной диссертационной работе, при упрочнении плазменной и пламенной закалкой) то после термообработки традиционным способом твердость поверхности достигала 48-52 HRC, а применяя упрочнение лазерным лучом, были достигнуты показатели 58-62 HRC. К тому же после лазерной закалки шероховатость обрабатываемой поверхности не меняется [1]. Так же были проведены испытания, которые показали, что при лазерной обработке создается гетерогенная структура на поверхности стали, которая позволяет снизить коэффициент трения, и повышает несущую способность пары [2]. Было установлено, что при прилагаемых нагрузках увеличивались моменты трения и количество продуктов изнашивания. Но впоследствии в

результате приработки коэффициент трения и износ постепенно снижались и стабилизировались. Вероятно, большой износ вызван из-за процессов пластических деформаций и повторных протеканий процессов приработки, в результате которых образовывались вторичные структуры, но после улучшения условий смазки трение и изнашивание уже понижались. В основном изнашиванию подвергаются более мягкие зоны, поэтому чтобы добиться износостойкой поверхности необходимо увеличить относительную площадь упрочнения [47]. Но здесь как раз и выявляется самый главный недостаток этого метода упрочнения – стоимость закалки. Чем больше площадь поверхности, которую нужно упрочнить, тем больше появляется расходов и затрат, связанных с закалкой. Порой при предварительных расчетах выявляется тот факт, что применение лазерной закалки будет невыгодным, и целесообразней рассмотреть другие варианты локальной обработки. Но это не говорит о том, что лазерная закалка - неэффективный способ упрочнения. Просто ее в основном применяют для упрочнения режущих инструментов, так как там зоны режущих кромок небольшие по размеру, и закалка будет происходить быстро, и это выйдет не так затратно с экономической точки зрения. Основной вывод, который можно заключить по лазерной закалке – применение этого метода термоупрочнения должно быть эффективным и в тоже время выгодным. Поэтому если рабочая зона штамповой оснастки значительно большая, то разумней всего подобрать другие варианты поверхностной обработки, при которой тоже будут достигнуты необходимые значения твердости, но стоимость этих работ будет ниже.

1.5.3 Плазменная закалка

Наиболее высокой экономичностью технологических процессов, гибкостью и маневренностью производства, а так же минимальным загрязнением окружающей среды обладают плазменные технологии, которые в качестве рабочего инструмента используют электродуговые плазмотроны. Источником энергии в этой технологии служит электрический дуговой разряд. Среди его преимуществ можно выделить то, что он обладает высоким К.П.Д., он достаточно мобилен, имеет невысокую стоимость и достаточно универсален. Сварочная дуга, которая стабилизирована потоком плазмообразующего газа при помощи специальных устройств, которые как раз и называют плазмотронами, при плазменной обработке позволяет вести закалку и упрочнение поверхности. Так же благодаря ей есть возможность производить плазменно-механическую обработку металлов и другие технологические процессы. Но плазменные технологии не стоят на месте и постоянно совершенствуются. Важно понять, какие процессы, происходящие в электрической дуге необходимы для эффективного использования ее свойств, при закалке, для управления технологическими характеристиками дуги и создания новых прогрессивных технологий. Изучая электрическую дугу, необходимо проанализировать ее физические и энергетические свойства и провести исследование технологических и электрических характеристик.

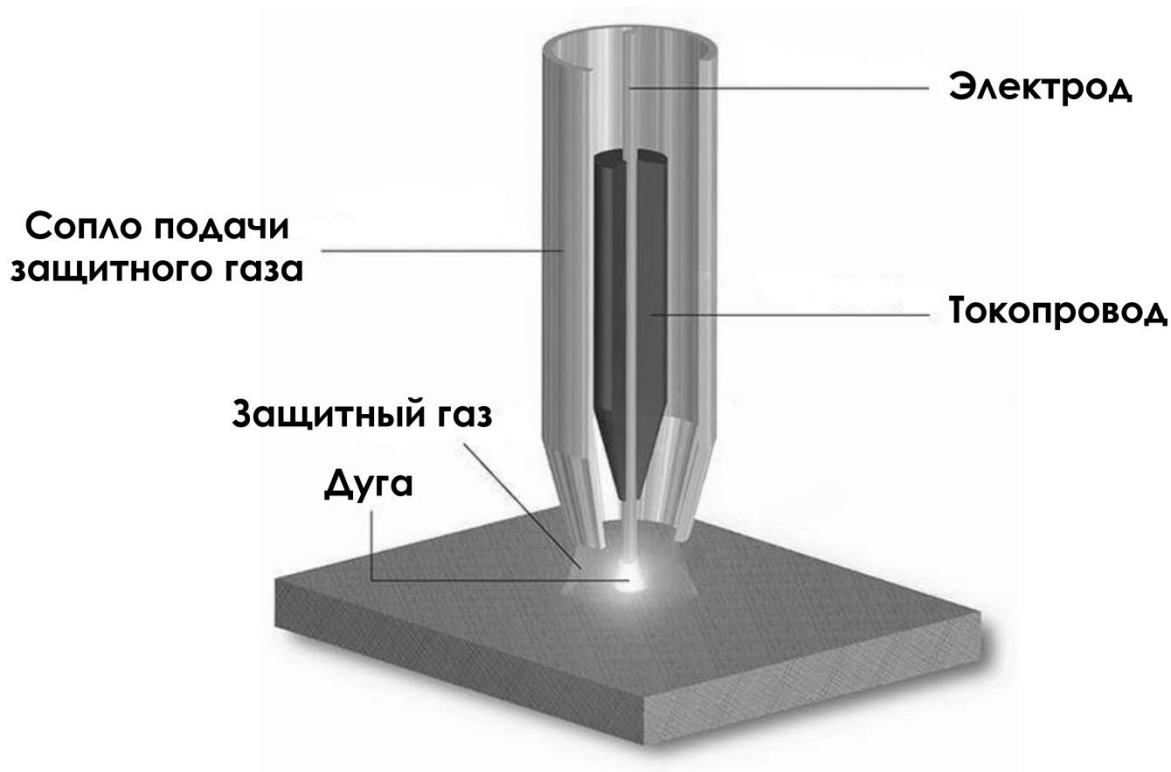


Рисунок 1.3 – Принцип плазменной поверхностной закалки.

Поверхностная плазменная закалка – метод локального термоупрочнения. Процесс закалки состоит в том, что движущаяся сжатая дуга очень быстро нагревает поверхность металла и при последующем быстром охлаждении поверхностного слоя происходит передача теплоты к глубинным слоям материала детали. Самой главной целью плазменной закалки является изготовление новых деталей с очень прочным поверхностным слоем (обычно от 0,7 до 1,5 мм). И в тоже время с нетронутой сердцевиной, которая должна обладать первоначальными свойствами исходного материала, и во внутреннем слое которой необходимо сохранить изначальный хим-состав. Эффект от плазменного термоупрочнения высок потому что детали становятся более стойкими и дольше эксплуатируются благодаря тому что достигаются необходимые физико-механические характеристики упрочненного поверхностного слоя, в котором образуется специфическая структура и фазовый состав металла с высокой дисперсностью [9]. К тому же на поверхности появляются

сжимающие остаточные напряжения, позволяющие повысить работоспособность изделий после применения этого метода закалки.

Оборудование, предназначенное для плазменной закалки включает в себя: блок аппаратуры, источник тока, малогабаритный плазмотрон и механизм для перемещения (в зависимости от того что удобней будет перемещать плазмотрон или же непосредственно саму деталь). И так же для удобства весь этот процесс можно автоматизировать, выполняя переходы по программе. Это кстати так же позволит избежать различных оплавлений материала, которые могут произойти, если выполнять закалку в ручном режиме. Но тут сразу же возникает вопрос - как понять, что деталь уже закалилась. Обработанную поверхность осматривают визуально и сравнивают цветовую окраску с эталоном. Можно так же произвести замеры твердости твердомерами. Именно так и производится контроль качества упрочненного поверхностного слоя. Особо важное внимание уделяется безопасности при проведении работ плазменной закалки. Так как в этом процессе применяются сварочные источники нагрева, то обязательно иметь исправную вытяжную вентиляционную систему. Нельзя забывать и про защиту органов зрения, которое может подвергнуться излучению. Так же существует еще ряд методов безопасности, которые прописаны в инструкции по проведению данных видов работ.

Перед тем как производить процесс плазменной закалки необходимо предварительно очистить поверхность, а так же прогреть ее горелкой. После чего можно производить закалку. Чтобы обеспечить оптимальные свойства поверхностного слоя упрочняемой детали необходимо задать определенный алгоритм, в котором будут заданы параметры процесса закалки. Именно он будет рассчитывать сколько нужно тока для плазменной дуги, сколько потребуется плазмообразующего газа, какое нужно задать расстояние между плазмотроном и самим изделием, а так же какая необходима скорость перемещения. Так же необходимо ограничивать максимальную температуру поверхности материала (к примеру, для сталей не более 1200°C).

Существуют так же параметры, по которым необходимо осуществлять выбор режимов закалки: глубина и ширина зоны закалки, скорость движения (которая определяет производительность процесса), погонная энергия (которая определяет термические деформации изделия) и скорость охлаждения (которая влияет на структуру закаленной зоны). Стоит упомянуть, что плазмообразующий газ, использующийся в дуге, состоит из аргона или его смесей с азотом, а так же воздуха. Ширина закалённой зоны составляет в среднем 6-13 мм.

Плазменное поверхностное упрочнение перспективно применяется для штампов и матриц, состоящих из углеродистых и легированных сталей, эксплуатирующихся в условиях, где происходит интенсивное трение металла по металлу. В отличие от объемной закалки, плазменное термоупрочнение гораздо проще, эффективней и протекает значительно быстрее. А после самого упрочнения поверхность детали получается высокого качества и не требует дополнительных финишных операций.

1.5.4 Пламенная закалка.

Пламенная поверхностная закалка, как и другие методы локального термического упрочнения, должна обеспечить высокую твердость и износостойкость деталей из стали и чугуна [21]. Процесс пламенной закалки очень схож с плазменной в том, что поверхностный слой детали так же очень быстро нагревают до закалочной температуры, и следом охлаждают за очень короткий промежуток времени [22, 43]. Причем поверхностный слой у изделия должен быть нагрет до значения температуры выше A_{c3} . Скорость изменения температуры в процессе нагрева должна быть наибольшей, тогда как длительность воздействия высоких температур – наименьшей. Все это необходимо для того чтобы не допустить перегрева поверхностного слоя и чтобы сердцевина детали не успела нагреться, тем самым сохранив свою исходную вязкую структуру. В результате этого процесса снижается скорость отвода тепла во внутренние слои изделия при закалке и получается упрочненная поверхность с необходимыми значениями твердости.

Газовое пламя является менее сосредоточенным и более низкотемпературным источником нагрева, чем плазменная дуга. Однако, при газопламенном нагреве возможно весьма гибко регулировать распределение теплоты по заданным участкам поверхности изделия. Пламенная поверхностная закалка применяется для большинства сталей и чугунов. Однако лучшие показатели твердости демонстрируют стали, содержание углерода которых составляет 0,35-0,7%.

Существует 4 способа проведения пламенной закалки – стационарный, вращательный, непрерывно-последовательный и комбинированный, которые в свою очередь подразделяются на циклические и непрерывные процессы [54]. Так как конструкция штампов не предусматривает вращение во время закалки, то нам подойдут только 2 способа, которые наглядно представлены на рисунке 1.4.

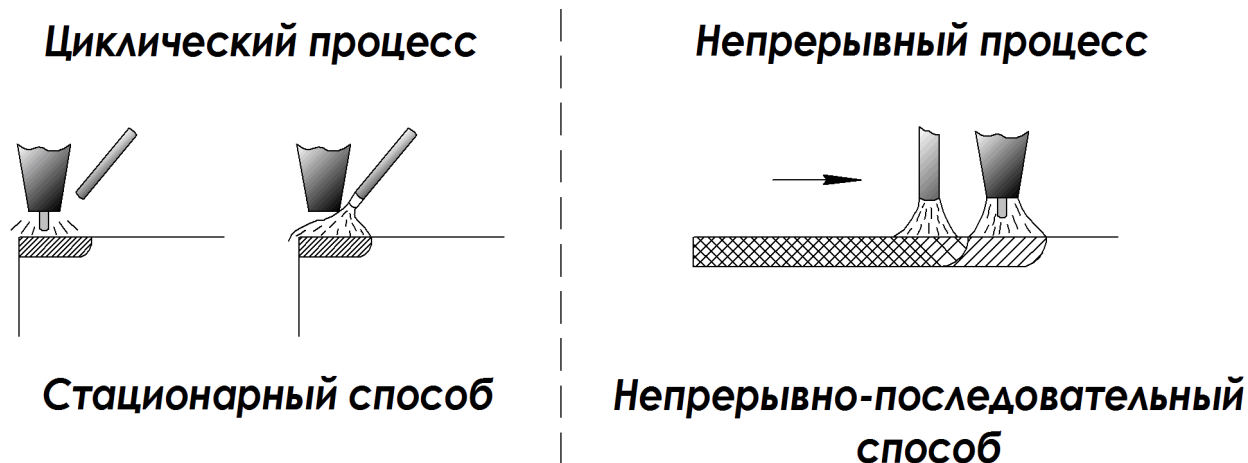


Рисунок 1.4 – Способы пламенной закалки (при охлаждении водой).

Для газопламенного упрочнения поверхностей рабочих частей штампа применяется непрерывно-последовательный способ закалки. В зависимости от толщины закаливаемого слоя для горелки подбирается соответствующий наконечник и устанавливается скорость перемещения горелки и водяной трубки, с которой они будут двигаться относительно самой детали [42]. Но для получения высококачественного закаленного слоя скорость не должна превышать 150 миллиметров в минуту. Горелка вместе с водяной трубкой находятся на определенном друг от друга расстоянии, в одной оправе. Благодаря этому обеспечивается синхронное движение. Охлаждающей средой (зависящей от содержания углерода) служит вода (или водные растворы) с температурой 18-35°С со сжатым воздухом, которая подается через многоструйные разбрызгиватели [53]. Сопла разбрызгивателей имеют диаметры 0,9-1,2 мм, а средний расход воды составляет 0,65-0,9 л/см². Компоновка источника нагрева с разбрызгивателем рассчитывается таким образом, чтобы расстояние охлаждающей среды до пламени находилось в пределах 12-25 мм. Время после нагрева и перед началом охлаждения при этом методе закалки составляет от 5 до 10 секунд.

Перед закалкой необходимо очистить поверхность при помощи пескоструйного или химического способа. А чтобы избежать подплавлений, острых углов и образования трещин их следует предварительно залить в виде

фасок. После проведения закалки поверхность детали проходит контроль качества путем визуального осмотра поверхности и замера твердости. И, как правило, если при закалке соблюдались все необходимые условия, то будет достигнут ожидаемый результат.

Если проводить сравнение пламенной и плазменной закалки, то стоит учесть что при упрочнении газовой горелкой, нужно предусмотреть, чтобы в цехе был специальный канал для слива воды, так как горелка работает в паре с разбрызгивателем. Порой этот фактор является ключевым при выборе между этими двумя технологиями локальной обработки.

Однако существует еще один способ проведения газопламенной закалки, не предусматривающий охлаждение при помощи воды. В этом случае закаленная поверхность остывает на открытом воздухе. Причем охлаждение происходит естественным путем, без применения сжатого воздуха. И что примечательно - при использовании такого метода, значения твердости тоже достигают необходимых высоких показателей. Исследования пламенной поверхностной закалки без охлаждения водой, с остыванием на воздухе как раз и будут так же представлены в данной диссертационной работе.

1.6 Нанесение упрочняющих покрытий.

1.6.1 Метод хромирования.

Помимо методов объемной и локальной термообработки, существует еще несколько способов, позволяющих добиться высокой износостойкости поверхностей штамповой оснастки. Например, хромирование – достаточно известный способ покрытия поверхности хромом, который применяется для защиты материалов стальных деталей и изделий [10]. Его в основном применяют для защиты пресс-форм и штампов от воздействия вредных кислот и щелочей, а так же от коррозии, которые способны испортить конструкционный материал. После нагревания хром не тускнеет, поэтому поверхность, покрытая им на протяжении долгого времени остается стойкой и стабильной. Так как хромированные покрытия растворяются в растворах азотных и серных кислот на воздухе, то благодаря действию окислителей, на поверхности появляется тонкая окисная пленка. В значительной мере хромирование штамповой оснастки служит еще и для увеличения ее износостойкости [16]. Благодаря чему исключается налипание материала к поверхности матрицы. Хромированная поверхность формы значительно снижает смачиваемость стенок форм раскаленным материалом, из-за чего будущие изделия получают высокого качества и легко отделяются от формы [39]. Но помимо этого хромирование применяют для того чтобы восстановить изношенные детали оснастки. Так путем нанесения этих покрытий восстанавливаются исходные размеры деталей форм и матриц, что способствует увеличению срока эксплуатации штампов.

1.6.2 CVD и PVD покрытия.

Но еще помимо хромирования существуют другие современные технологии по упрочнению рабочих поверхностей путем нанесения тонких покрытий. В последнее время достаточно большую популярность получили еще 2 способа: (CVD – Chemical Vapour Deposition) – известный как метод химического осаждения и (PVD – Physical Vapour Deposition) – метод физического осаждения поверхности [28, 29]. И конечно у каждого из этих методов есть свои преимущества и недостатки [26].

Способ CVD считается достаточно трудоемким процессом. Дело в том, что для этой технологии необходимо использовать дорогостоящие высокочистые химические реагенты, а сама реакция осаждения происходит при высоких температурах, порядка 1000°C . Именно по этим причинам покрытие может осаживаться только на те материалы, которые обладают высокой теплостойкостью. На сегодняшний день основными покрытиями слоев CVD являются TiCN, TiN и Al_2O_3 . Эти слои обеспечивают стойкость, позволяют легче определить износ и работают как термобарьер [46].

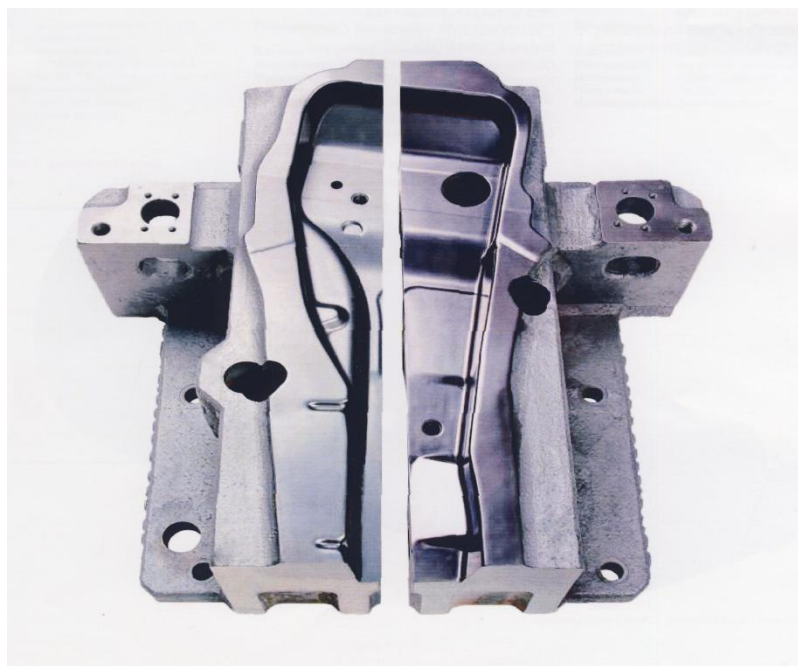


Рисунок 1.5 – Покрытие деталей при помощи метода CVD.

Теперь обратимся к другому способу и рассмотрим вариант с нанесением на рабочую поверхность штампа специального вакуумного ионно-плазменного напыления – PVD покрытия. Это напыление получается в том случае, если происходит прямая конденсация пара наносимого материала в процессе воздействия газа в вакуумной печи. Материалы, которые служат для напыления – это металлы (титан, вольфрам, алюминий, молибден, медь, графит, никель и хром) и их сплавы, а так же соединения (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2). Для покрытий, которые содержат углерод, может быть еще добавлен химически активный газ – к примеру, ацетилен, а так же еще и азот с кислородом. Благодаря нагреву, ионизации или диссоциации газа какой-либо формы газового разряда на поверхности активируется химическая реакция. При помощи метода вакуумного напыления на поверхности образуются очень тонкие покрытия, которые достигают толщины от нескольких ангстрем до нескольких микрон. Как правило, после нанесения PVD покрытия в дополнительной обработке поверхность уже не нуждается. Процесс самого напыления протекает при невысоких температурах (100-360°C) из-за чего у изделия не образуются нежелательные деформации. В результате этого метода рабочие зоны штампов и пресс-форм становятся более устойчивыми к износу, и повышается твердость поверхностного слоя [30, 31].

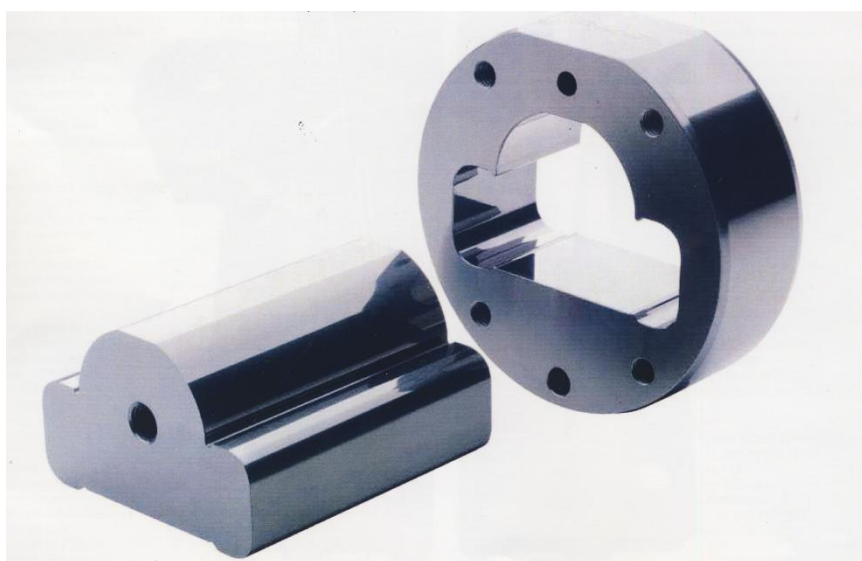


Рисунок 1.6 – Покрытие деталей при помощи метода PVD.

Если сравнивать PVD покрытия с CVD, то обычно PVD оказывается прочнее. Однако сравнительные испытания показывают, что два этих метода демонстрируют отличные результаты, при которых стойкость поверхности материала повышается в несколько раз. Конечно, еще существуют и другие методы нанесения покрытий, но представленные здесь способы достаточно хорошо себя зарекомендовали широкой областью применения. Просто для каждого материала нужно правильно определить какая из технологий лучше подойдет. И при грамотном подходе к выбору упрочняющих покрытий можно достичь необходимых показателей твердости, прочности и износостойкости.

1.7 Основные выводы по применению упрочняющих покрытий.

В первой главе диссертационной работы было рассмотрено несколько методов термоупрочнения. Это традиционная объемная закалка в печах, а также способы локальной термообработки – лазерная, плазменная и пламенная закалки. Однако чтобы улучшить эксплуатационные характеристики штамповой оснастки не всегда обязательно использовать закалку. Путем нанесения упрочняющих покрытий методом хромирования, а так же нанесения CVD и PVD покрытий, можно так же добиться хороших значений твердости, прочности и износостойкости поверхности.

Существенная экономия финансовых затрат и времени – это главный плюс новых прогрессивных методов поверхностного упрочнения. Эти технологии очень перспективны и уже сейчас пользуются большим спросом у ведущих машиностроительных предприятий.

В данной диссертационной работе будут так же проведены необходимые исследования, которые позволят изучить влияние плазменной и пламенной закалок на материалы, наиболее применяемые в изготовлении штамповой оснастки. На образцах будет производиться закалка, будет изучаться микроструктура, а так же будут произведены замеры твердости и глубин закаленных слоев каждого образца. В завершении получатся результаты экономической эффективности от применения каждой из этих технологий локального термоупрочнения.

2. Объект исследования и цель исследовательской работы.

В качестве объекта исследования данной работы выбран способ упрочнения рабочих поверхностей штампов путем применения плазменной закалки.

Целью работы являются исследования свойств и структуры упрочненного слоя после проведения плазменной закалки на образцах различных материалов, а так же изучение незакаленной сердцевины.

В качестве деталей были взяты образцы из чугуна ХФ, стали 40Х и стали Х12МФ. Был составлен технический регламент, по которому проводилась плазменная закалка деталей штампов, который позволил провести технико-экономическую оценку применения этой технологии локального упрочнения.

Плазменную закалку всех трех образцов, а так же комплектов штамповой оснастки провели специалисты ООО «Композит» (г. Нижний Тагил).

Результаты этой работы позволят выбрать технологию упрочнения при изготовлении элементов формообразующих штампов, с целью увеличить их износостойкость и улучшить эксплуатационные свойства [32].

2.1 Особенности плазменной закалки.

Термическое упрочнение деталей из чугуна и считается одним из наиболее эффективных и действенных способов, позволяющих увеличить ресурс работы элементов механизмов и машин, на которые приходится нагрузка, а также снизить их материалоемкость. Здесь стоит обратить внимание на локальную термообработку. При этом упрочнению подвергаются нагруженные рабочие поверхности деталей, а сердцевина в этом случае остается нетронутой. В промышленности для упрочнения поверхности деталей широко применяется термическая высокочастотная и газопламенная обработки.

Дальнейший прогресс, нацеленный на повышение качества термической обработки рабочих зон поверхностей деталей, связан с применением высокоцентрированных источников энергии: плазменной струи и лазерного луча. Достигнутое при этом качество упрочнения, а так же эксплуатационные свойства получаются достаточно высокими. Одним из наиболее производительных и экономичных способов поверхностной термообработки, обладающим высококонцентрированными источниками нагрева, считается плазменный [3, 5]. Он отличается невысокой стоимостью, доступностью оборудования и достаточно большими размерами упрочненной зоны.

Главным отличием поверхностной плазменной закалки является кратковременный процесс нагрева с созданием условий охлаждения, которые обеспечивают повышенную интенсивность, тем самым оказывая значительное влияние на структуру упрочненного слоя [34]. Благодаря металлографическим исследованиям получилось выяснить что эффект скорости охлаждения прежде всего заметен в диспергировании структуры [6, 7]. На размер рекристаллизованного зерна существенное влияние оказывает скорость нагрева [8]. При ее увеличении быстрее растет число центров рекристаллизации. Из-за этого зерно становится меньше.

2.2 Оценка эффективности упрочнения поверхности штамповой оснастки методом плазменной заправки.

2.2.1 Проведение исследований эффективности упрочнения поверхности штамповой оснастки методом плазменной заправки на образцах из различных материалов.

В исследованиях будут участвовать материалы, наиболее применяемые при изготовлении штамповой оснастки.

2.2.2 Выбор материалов для проведения исследований на образцах.

В качестве материалов имитирующих штамповую оснастку для проведения исследований упрочнения были выбраны следующие:

1. Высокопрочный хромо-ванадиевый чугун ХФ. Химический состав чугуна ХФ в соответствии с СТП 37.101.0028-2001 применяемый для изготовления штамповой оснастки, в частности пуансонов и матриц, приведён в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Химический состав чугуна ХФ.

Составляющие элементы, %									
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	V	Cu	Ti
2,9-3,1	0,6-0,9	1,4-1,6	<0,12	<0,12	0,4-0,5	-	0,2-0,3	-	-

Чугун ХФ - один из самых применяемых материалов, из которых изготавливаются пуансоны и матрицы формообразующих штампов холодной штамповки в ПАО «АВТОВАЗ».

2. Высокохромистая сталь Х12МФ (ГОСТ 1435-81). Химический состав стали Х12МФ отображен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Химический состав стали Х12МФ.

Составляющие элементы, %								
Fe	C	Mn	Si	Mo	Cr	V	S	P
Основа	1.45-1.7	0,15-0,4	0.1-0.4	0.4-0.6	11.0-12.5	0.15-0.30	≤0.030	≤0.030

Сталь X12МФ используют чтобы изготовить формообразующие элементы штампов холодной штамповки.

3. Конструкционная легированная сталь 40Х (ГОСТ 4543-71). Химический состав стали 40Х представлен в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Химический состав стали 40Х.

Составляющие элементы, %								
Fe	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S	P
Основа	0.36-0.44	0,5-0,8	0,17-0,37	0.8-1.1	≤ 0.3	≤ 0.3	≤0.035	≤0.035

Сталь 40Х используют при изготовлении ответственных деталей с повышенной прочностью в различных отраслях машиностроения. В данной работе будут рассмотрены и изучены свойства упрочненного слоя 40Х для оценки возможной альтернативной замены стали X12МФ для изготовления формообразующих элементов штампов холодной штамповки.

2.2.3 Методика проведения исследований.

Для того чтобы провести плазменную закалку из выбранных материалов были изготовлены образцы. Они продемонстрированы на эскизе (Рисунок 2.1). Именно такую конфигурацию образцов выбрали из соображений соответствия имеющейся оснастки для фиксации роликов в разрывной машине UTS-100, на которой планируется проведение трибологических исследований упрочненных слоев в последующих этапах работы.

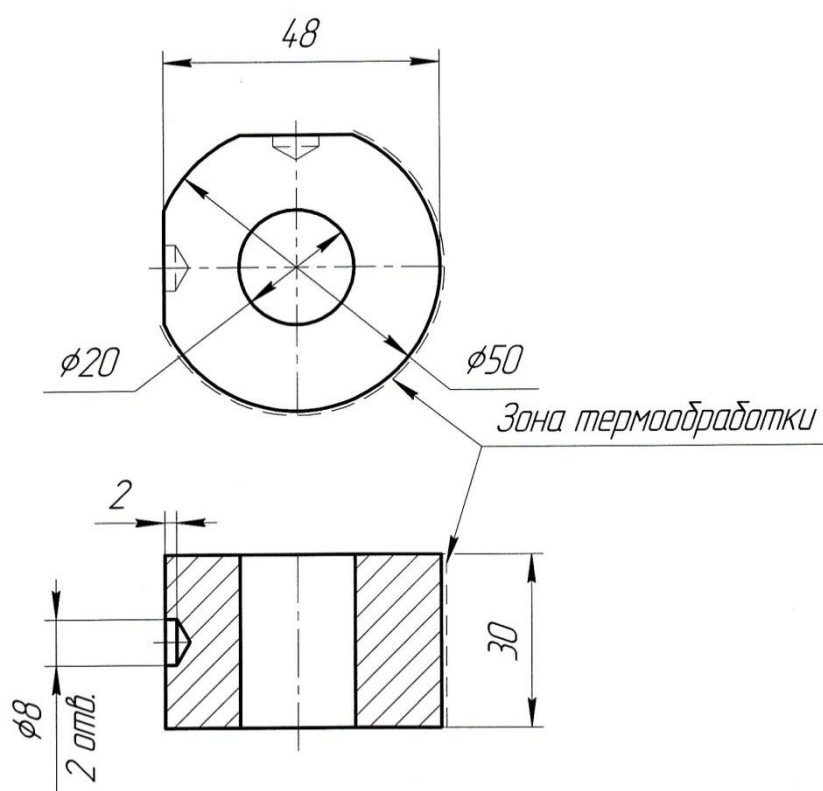


Рисунок 2.1 – Геометрические размеры образцов-роликов для проведения плазменной закалки.

Плазменную закалку образцов производили специалисты-сварщики ООО «Композит» из Нижнего Тагила. Сам процесс проводили без механизации, путем ручного перемещения плазмотрона [35]. Суть процесса заключается в том, что плазмотрон вместе с плазменным факелом последовательно проходит над упрочняемой поверхностью. В качестве защитного газа в процессе использовался аргон. После того как плазмотрон

проходит над поверхностью образца, на нем остается «дорожка упрочнения», которая отличается от необработанных участков цветами побежалости. Последовательно вся упрочняемая поверхность покрывается такими дорожками упрочнения. При этом главной задачей оператора-сварщика становится внимательное наблюдение за поверхностью, которую не стоит сильно перегревать, чтобы избежать оплавления и возможные термические растрескивания, так как для того чтобы осуществить необходимые фазовые превращения в металле достаточно прогреть его поверхность. При установленных предварительно экспериментальным подбором постоянного значения тока плазменного факела и давления защитного газа оператор-сварщик в процессе закалки визуально контролирует состояние плазменного факела и обрабатываемой поверхности.

Поскольку у данных образцов в связи с небольшими размерами невелика способность к отведению тепла, на некоторых участках упрочняемой поверхности появлялись небольшие оплавления металла. Чтобы полностью устранить возникшие неровности, поверхности всех представленных образцов подверглись операции шлифования, для проведения последующих трибологических испытаний, со съемом металла толщиной 0,3-0,4 мм до уровня значений шероховатости Ra 0,8 и Ra 0,2.

В закаленных образцах были вырезаны фрагменты, и упрочненные слои материалов исследовались при помощи следующего оборудования:

микроскоп Axio Observer D1m;

микроскоп Axiotech 100;

микротвердомер Micromet-II;

После чего произвелась оценка результатов упрочнения. А полученные данные затем использовались при проведении плазменной поверхностной закалки вытяжных штампов панелей пола.

2.2.4 Плазменная закалка образцов из чугуна ХФ.

«На рисунке 2.2 изображен внешний вид образца из чугуна ХФ упрочненного путем плазменной закалки. На данном образце отшлифовали упрочненную цилиндрическую поверхность со съемом материала толщиной 0,4 мм, после чего при помощи электроэрозионного способа вырезали фрагмент поверхности, чтобы провести металлографические исследования.

Основные параметры процесса упрочнения:

- рабочее давление аргона 0,3 МПа;
- рабочий ток дуги 150А;
- ширина закаленной зоны 10-12 мм;
- скорость прохода по поверхности (ориентировочно) 0,5 м/мин;
- длина дуги 20 мм (подбирается экспериментально).

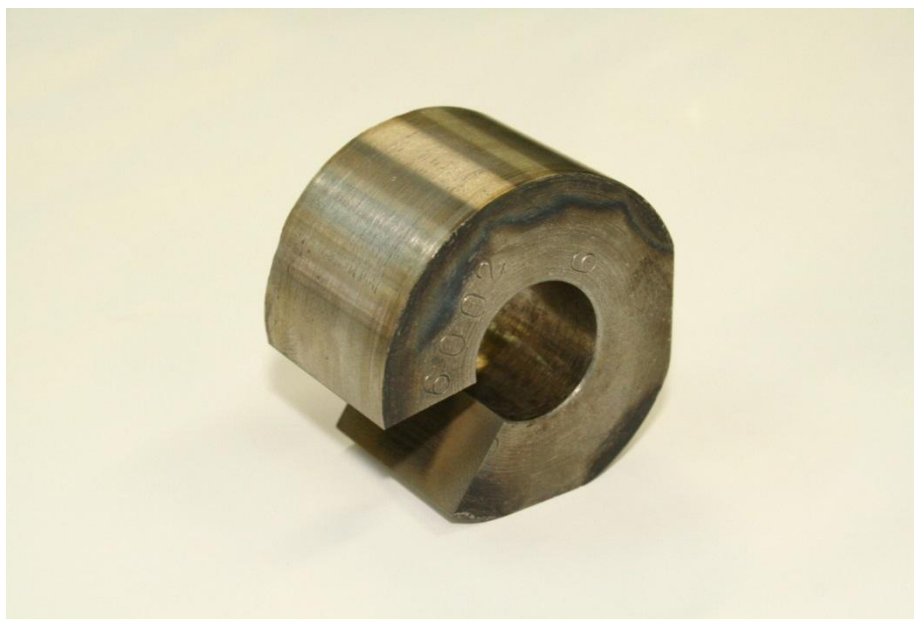


Рисунок 2.2 – Образец из чугуна ХФ после проведения плазменной закалки, шлифования, вырезки фрагмента упрочненной поверхности.

Микроструктура образца из чугуна ХФ в зоне упрочнения отображена на рисунке 2.3. Распределение микроструктуры от поверхности внутрь материала следующее: ледебурит, мартенсит, остаточный аустенит, троостомартенсит, цементит, графит пластинчатый по всему сечению упрочненного слоя.

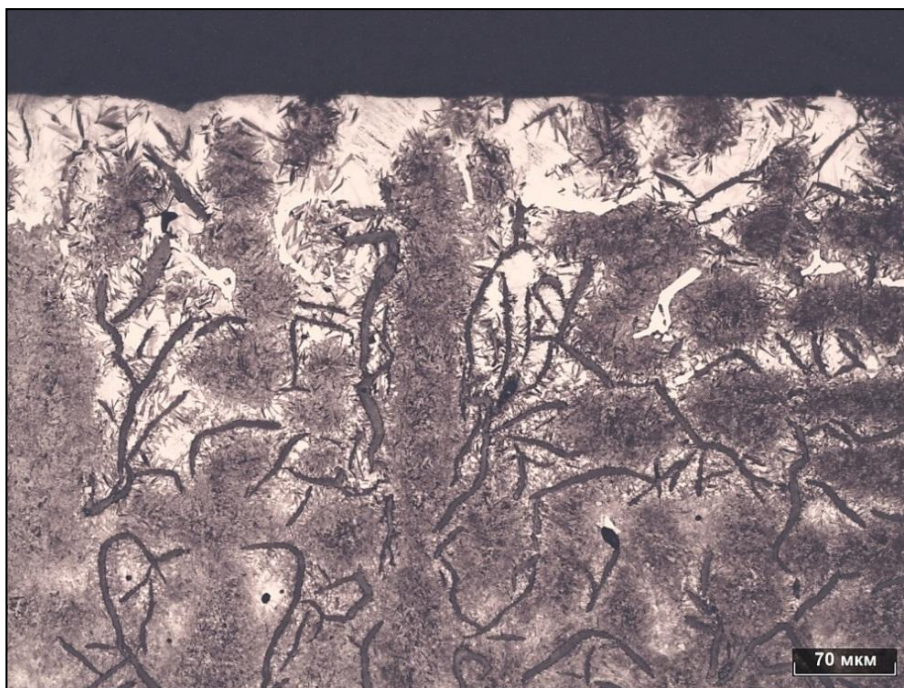


Рисунок 2.3 – Микроструктура упрочненного слоя образца из чугуна ХФ
($\times 70$).

Микроструктура сердцевины образца из чугуна ХФ показана на рисунке 2.4: перлит пластинчатый, цементит, графит пластинчатый.

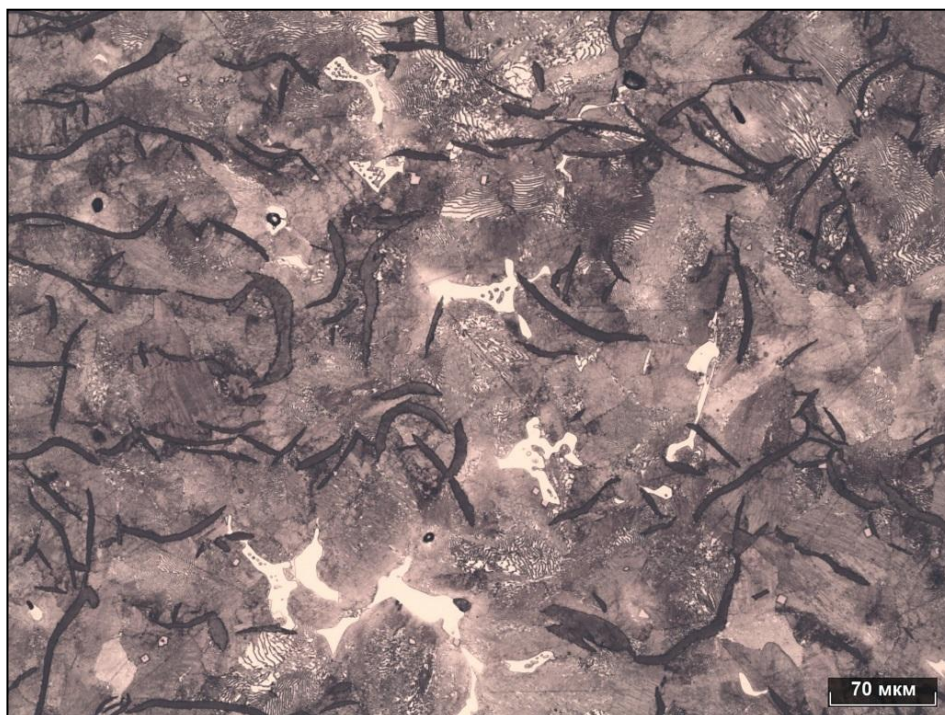


Рисунок 2.4 – Микроструктура сердцевины образца из чугуна ХФ ($\times 70$).

Параметры упрочненного методом плазменной закалки слоя чугуна ХФ:

Глубина упрочненного слоя – 0,8-1,0 мм;

Твердость упрочненного слоя – 55-58 HRC;

Структура упрочненного слоя – ледебурит, мартенсит, остаточный аустенит, троостомартенсит, цементит, графит пластинчатый;

Твердость сердцевины – 24-26 HRC;

Структура сердцевины – перлит пластинчатый, цементит, графит пластинчатый» [15].

2.2.5 Плазменная закалка образцов из стали X12MФ.

«Внешний вид образца из стали X12MФ упрочненного плазменной закалкой после шлифования приведен на рисунке 2.5.

Основные параметры процесса упрочнения:

- рабочее давление аргона 0,3 МПа;
- рабочий ток дуги 150А;
- ширина закаленной зоны 10 мм;
- скорость прохода по поверхности (ориентировочно) 0,6 м/мин;
- длина дуги 25 мм (подбирается экспериментально).



Рисунок 2.5 – Образец из стали X12MФ после проведения плазменной закалки и операции шлифования.

Микроструктура упрочненной зоны образца из стали X12MФ наглядно представлена на рисунке 2.6. Полученная в результате закалки структура упрочненного слоя – литая дендритная структура.



Рисунок 2.6 – Микроструктура упрочненного слоя образца из стали X12МФ
($\times 500$).

На рисунке 2.7 представлена микроструктура сердцевины образца из стали X12МФ: зернистый перлит, карбиды.

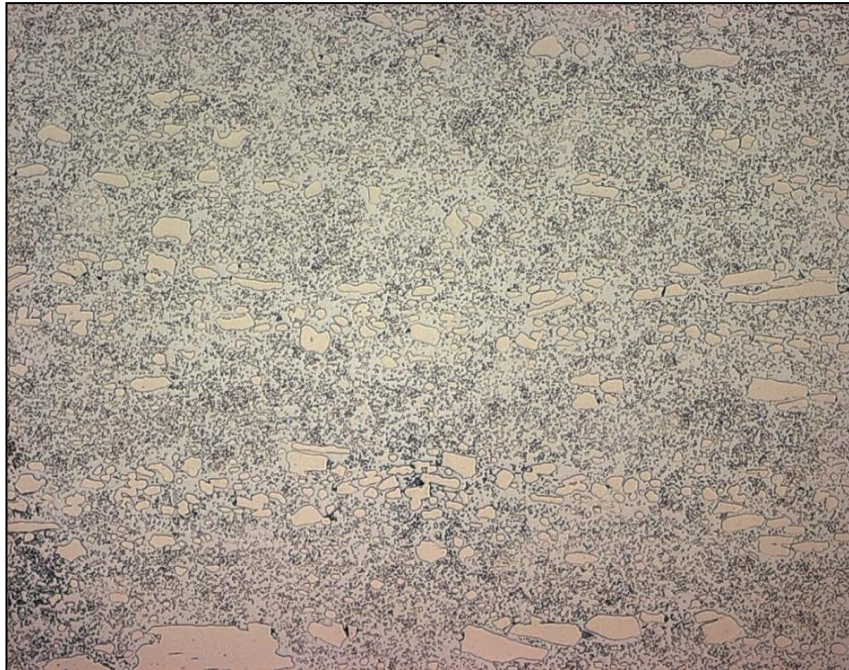


Рисунок 2.7 – Микроструктура сердцевины образца из стали X12МФ.
($\times 500$).

Параметры упрочненного методом плазменной закалки слоя стали X12МФ:

Твердость упрочненного слоя – 57-60 HRC;

Глубина упрочненного слоя – 0,4-0,8 мм;

Структура упрочненного слоя – литая дендритная структура;

Твердость сердцевины – 23-25 HRC;

Структура сердцевины – зернистый перлит, карбиды.

У образца из стали X12МФ отмечена склонность к образованию раковин и микротрещин (Рисунок 2.8) [38]. Скорее всего, это связано с нарушением режима нагрева (локального перегрева поверхности, который привел к плавлению металла). Но подобные дефекты можно устранить, если применить механизацию процесса плазменной закалки и обеспечить строго оптимальную скорость прохода плазмотрона над упрочняемой поверхностью.» [14].

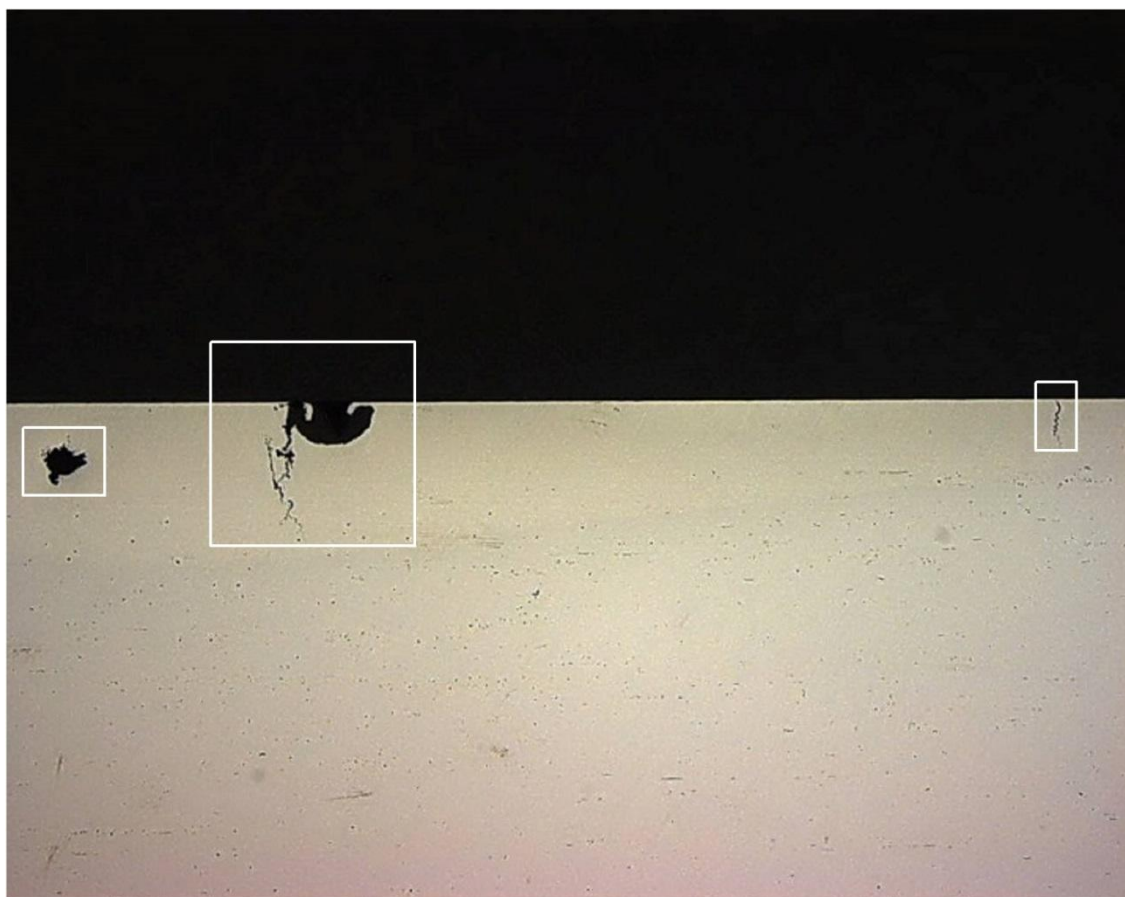


Рисунок 2.8 – Дефекты упрочненного слоя образцов из стали X12МФ – раковины, микротрещины. ($\times 30$)

2.2.6 Плазменная закалка образцов из стали 40Х.

Внешний вид образца из стали 40Х после проведения операции шлифования, упрочненный плазменной закалкой приведен на рисунке 2.9.

Основные параметры процесса упрочнения:

- рабочее давление аргона 0,3 МПа;
- рабочий ток дуги 150А;
- ширина закаленной зоны 12 мм;
- скорость прохода по поверхности (ориентировочно) 0,4 м/мин;
- длина дуги 15-20 мм (подбирается экспериментально).



Рисунок 2.9 – Образец из стали 40Х после проведения плазменной закалки и операции шлифования.

Полученная микроструктура упрочненной зоны образца из стали 40Х (крупноигльчатый мартенсит) приведена на рисунке 2.10.

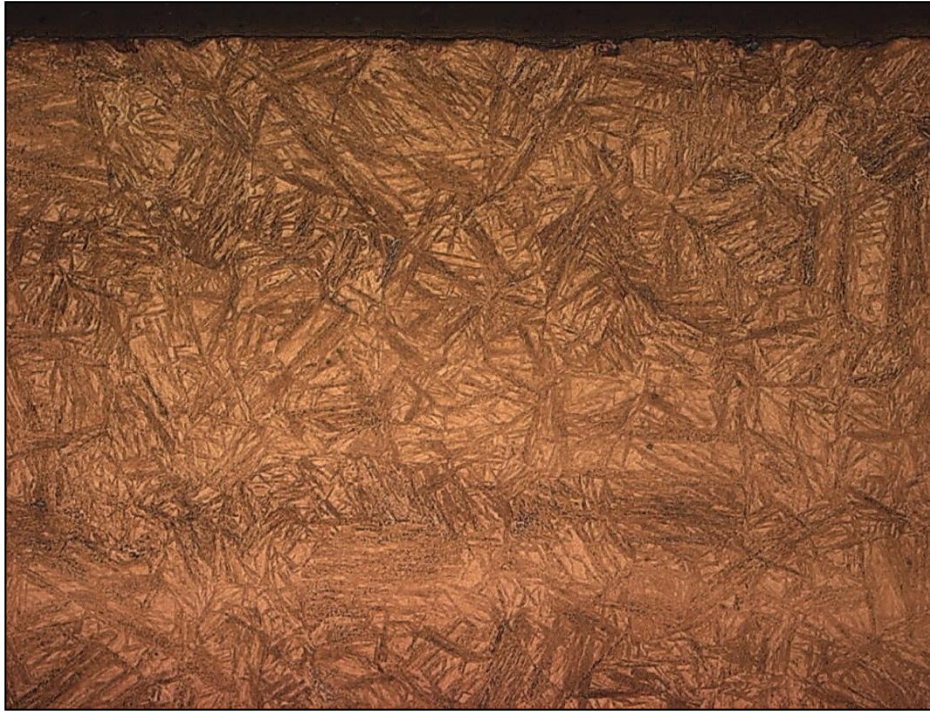


Рисунок 2.10 – Микроструктура упрочненного слоя образца из стали 40Х.
(× 500).

Микроструктура сердцевины образца из стали 40Х видна на рисунке 2.11: бейнит, сорбит, перлит, феррит.

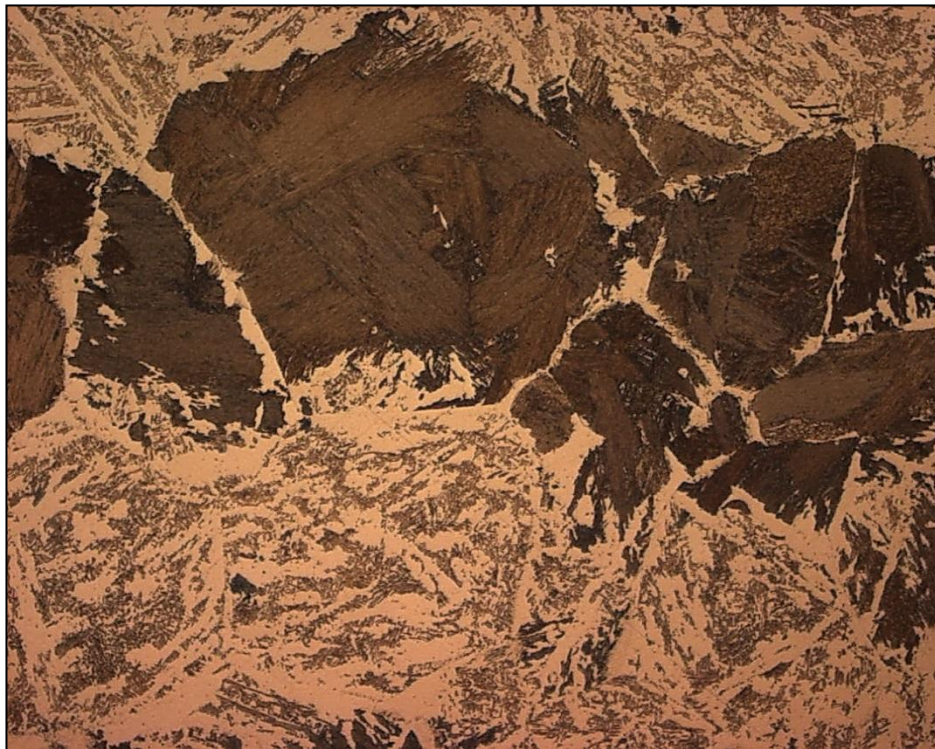


Рисунок 2.11 – Микроструктура сердцевины образца из стали 40Х.
(× 500).

Параметры упрочненного методом плазменной закалки слоя стали 40X:

Твердость упрочненного слоя – HRC 53-56;

Глубина упрочненного слоя – 1,5-1,7 мм;

Структура упрочненного слоя – крупноигольчатый мартенсит;

Твердость сердцевины – 25-29 HRC;

Структура сердцевины – бейнит, сорбит, перлит, феррит.

2.3 Проведение опытного упрочнения штамповой оснастки методом плазменной закалки.

2.3.1 Проведение опытного упрочнения штампов вытяжки «тоннель пола», «пол центральный», «пол задний».

Опытному упрочнению методом плазменной закалки были подвержены наиболее нагруженные участки (радиусные переходы) следующих штампов:

Тоннель пола;

Пол центральный;

Пол задний.

Материалы рабочих частей штампов:

Пуансоны – чугун ХФ, твердость поверхности до закалки HRC 24-42;

Матрицы – чугун ХРТД, твердость поверхности до закалки HRC 30-45;

Прижимы – чугун ХРТД, твердость поверхности до закалки HRC 27-40.

Штампы в рабочем состоянии, при проведении приемо-сдаточных испытаний на каждом штампе получено 250 годных вытяжных переходов.

Плазменное упрочнение наиболее нагруженных участков поверхностей штампов было проведено благодаря специалистам ООО «Композит». При проведении упрочнения использованы:

Установка УДГЗ-200 [33], в составе которой:

Источник питания TIG-250 с плазмотроном;

Блок водяного охлаждения WRC-300A;

Баллон с аргоном;

Горелка газовая;

Редуктор для аргона;

Рукав кислородный;

Твердомер УЗиТ-3

а также материалы:

Аргон технический;

Кислород и ацетилен

Операция плазменной закалки была проведена в следующей последовательности и следующими исполнителями:

Подготовка поверхности под термоупрочнение – удаление технологической смазки, удаление слоя металлизации (при наличии), затирка, обезжиривание.

Данная операция необходима для обеспечения отсутствия пор, газовых раковин при плазменном нагреве упрочняемой поверхности.

Подогрев предназначенной к упрочнению поверхности газовой горелкой до 180-220°С, повторное обезжиривание. Данная операция предназначена для удаления остатков технологической смазки из пор и других дефектов поверхности во избежание горения смазки при закалке.

1. Контроль твердости поверхности. Плазменная закалка наиболее нагруженных участков штампа.
2. Контроль твердости поверхности после закалки. Зачистка, затирка поверхности после закалки.

3. Технический регламент поверхностного упрочнения штамповой оснастки методом плазменной закалки.

3.1 Оборудование и материалы, применяемые в процессе плазменного упрочнения технологической оснастки.

В этот состав входят:

Ацетилен (C_2H_2) ГОСТ 5457 в баллонах или централизованно;

Кислород (O_2) ГОСТ 5583 в баллонах или централизованно;

Аргон технический (Ar) ГОСТ 10157 в баллонах;

Бензин (нефрас 80/120 ТУ 38.401-67-108-92);

Баллоны газовые ГОСТ 949;

Редуктор ацетиленовый ГОСТ 13861;

Редуктор кислородный ГОСТ 13861;

Редуктор аргоновый БАРО-50-4 ТУ 3645-026-00220531-95;

Установка УДГЗ-200, в комплекте с источником питания TIG-250, блоком водяного охлаждения WRC-300A;

Горелка газовая ацетиленовая;

Плазмотрон;

Рукав ацетиленовый тип I Ø 9,0 ГОСТ 9356;

Рукав кислородный тип III Ø 9,0 ГОСТ 9356;

Твердомер портативный УЗиТ-3;

Ветошь (салфетки технические) ТУ-8189-018-01877509-01.

3.2 Подготовка штамповой оснастки к проведению плазменного упрочнения поверхности.

Штамповую оснастку следует установить на надежное основание, исключающее её самопроизвольное движение или падение;

Высота расположения обрабатываемой поверхности выбирается из условия свободного доступа к ней оператора-сварщика, возможности удобного и безопасного ведения работы;

При наличии на поверхности штамповой оснастки слоя металлизации необходимо очистить (зачистить) поверхность с полным удалением металлизированного слоя;

Перед проведением операции плазменного упрочнения поверхность оснастки необходимо тщательно очистить от загрязнений и остатков технологической смазки с использованием бензина и ветоши, при необходимости продуть сжатым воздухом.

3.3 Процесс плазменного упрочнения штамповой оснастки.

Чтобы обработать рабочие поверхности штампов начать нужно обязательно выполнить технологическую пробу – на любом нерабочем участке штампа провести пробную закалку контролируя твердость до и после закалики. Обрабатывать рабочие поверхности только после того, когда технологическая проба даст положительный результат.

При помощи горелки прогреть поверхность до 180-220°C. Нагрев производить постепенно, чтобы исключить цвета побежалости у материала. Затем, выбрав оптимальные режимы, упрочняемую поверхность необходимо обрабатывать плазменным факелом, накладывая параллельные дорожки упрочнения. Перекрытие должно составлять не более 2-3 мм.

Нужно добиться максимальной скорости нагрева поверхности, которая упрочняется, при минимальном тепловложении в «тело» оснастки. Необходимо визуально контролировать температуру нагрева определяя цвет свечения металла в пятне нагрева, не допускать недогревов, а также перегревов (оплавлений) упрочняемой поверхности. Закаленная поверхность охлаждалась естественным путем - на воздухе.

После того как будет проведена плазменная закалка, упрочненные участки поверхности необходимо отшлифовать до уровня шероховатости Ra 0,8. Затем упрочненные участки поверхности оснастки отправляют на замеры контроля твердости при помощи портативного твердомера УЗиТ-3.

На рисунке 3.1 приведен внешний вид примененного для плазменного упрочнения оборудования и внешний вид плазмотрона. Упрочняемые радиусные переходы были упрочнены посредством параллельного наложения 3-х (на некоторых штампах до 5) дорожек упрочнения.

В таблице 3.1 приведены данные по замерам твердости, упрочненные плазменной закалкой части штамповой оснастки. Замеры сделаны в серединах и по краю дорожек упрочнения.

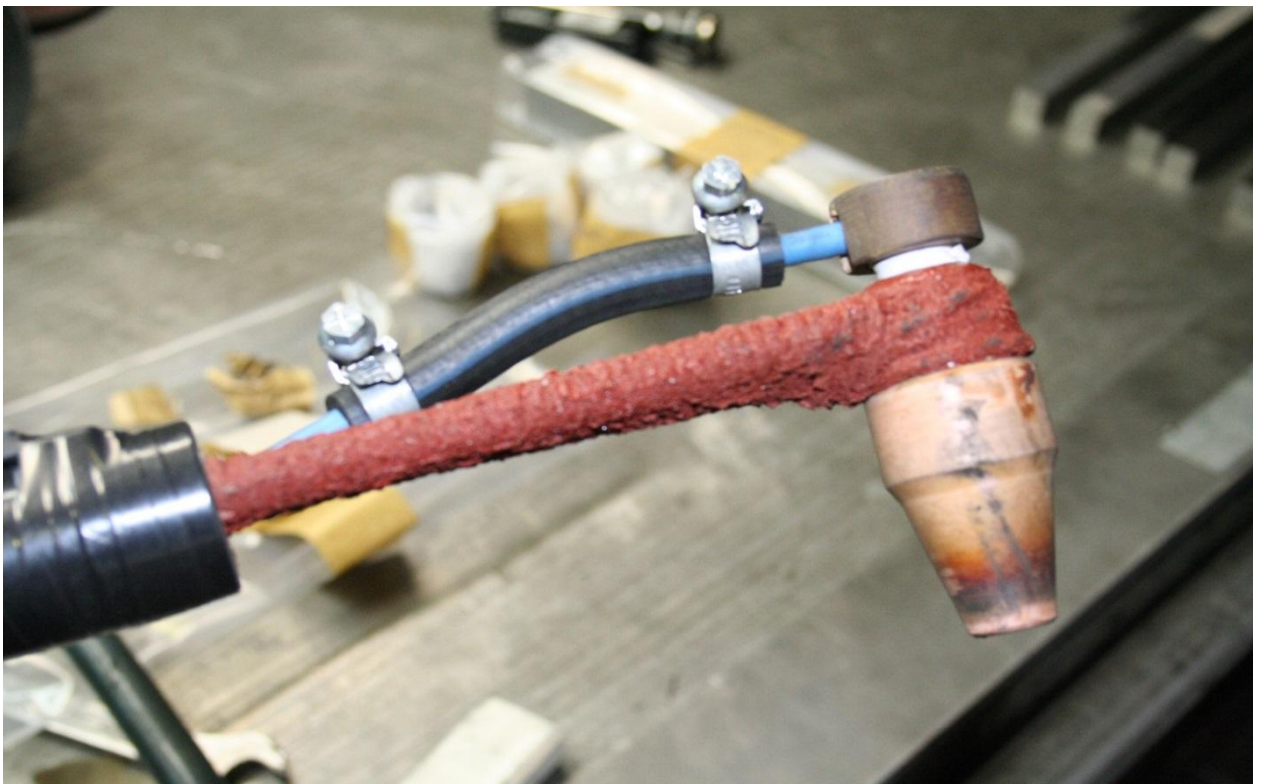


Рисунок 3.1 – Оборудование плазменной заделки:
источник питания с блоком охлаждения и плазмотрон.

Таблица 3.1 – Результаты упрочнения рабочих частей штампов методом плазменной закалки.

№ п/п	Название детали	Наименование, № позиции	Твердость, HRC		
			до закалки	после закалки	
				по середине дорожек	по границам дорожек
1	Пол центральный	Матрица – 01	30-45	50-55	46-49
		Прижим – 02	27-40	53-58	48-52
		Пуансон – 03	25-40	55-58	50-52
2	Тоннель пола	Матрица – 01	35-44	56-63	51-55
		Пуансон – 02	27-39	55-63	50-54
		Прижим – 03	28-41	55-59	52-55
3	Панель пола заднего	Пуансон – 01	24-42	58-65	50-56
		Прижим – 02	30-39	55-61	50-54
		Матрица – 03	30-45	53-58	50-52

На рисунках 3.2-3.4. приведен внешний вид упрочненных методом плазменной закали штампов.



Рисунок 3.2 – Штамп «тоннель пола»: матрица и пуансон.



Рисунок 3.3 – Штамп «пол центральный»: матрица и пуансон.



Рисунок 3.4 – Штамп «пол задний»: матрица и пуансон.

На рисунке 3.5 показаны крупным планом поверхности упрочненной плазменной закалкой штамповой оснастки сразу после проведения упрочнения.



Рисунок 3.5 – Поверхность упрочненных участков штампов непосредственно после проведенной плазменной закалки.

Ширина дорожек выбиралась таким образом, чтобы не происходил отпуск по краям дорожки при соседнем проходе.

В результате проведения операции плазменной закалки отмечено: Твердость поверхности после закалки возросла с HRC 30-40 до HRC 55-58;

При ручном (без механизации и автоматизации) проведении процесса закалки может иметь место ухудшение начальной шероховатости поверхности (подплавление) в результате непостоянной скорости прохода плазмотрона над поверхностью, что влечет за собой необходимость последующей операции шлифования;

В процессе проведения операции шлифования возможно «проявление» мелких пор, раковин, являющихся следствием изначальных дефектов отливки материала штампа; операция шлифования (затирка) минимизирует влияние указанных дефектов на качество детали при последующей штамповке.

После завершения доводочных работ все комплекты оснастки были испытаны на наладочных прессах с использованием контрольного метода «по краске» с получением на выходе годных вытяжных переходов деталей (Рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Вытяжной переход детали «пол задний» с контролем качества штамповки «по краске».

4. Технико-экономический расчет эффективности поверхностного упрочнения штамповой оснастки методом плазменной закалки.

4.1 Расчет эффективности поверхностного упрочнения методом плазменной закалки штамповой оснастки из чугуна.

Штамповая оснастка из чугуна ХФ и чугуна ХРТД не подвергается объемной закалке по причине достаточно внушительных размеров элементов штампа, а также в связи с большой вероятностью образования термических трещин при охлаждении больших объемов металла со скоростью, необходимой для процесса закалки.

Плазменное упрочнение рабочей поверхности чугунного штампа позволяет улучшить качество штампуемых деталей (снизить потери по браку), а также увеличить стойкость оснастки (снизить время ремонтных простоев).

В 2016 году в прессовом производстве ПАО «АВТОВАЗ» было проведено опытное упрочнение среднего штампа на деталь «балка крыши задняя» методом плазменной закалки. В 2017 году штамп был принят в работу, получены данные по снижению простоев и брака штамповок.

Приведенный ниже расчет позволяет оценить экономический эффект который возможен при работе крупного штампа упрочненного плазменным методом с учетом предположения о том, что показатели снижения брака и простоев будут аналогичными.

Исходные расчетные данные:

Комплект штамповой оснастки на деталь «пол центральный»: пуансон (ХФ) – 1 шт., матрица (ХРТД) – 1 шт., прижим (ХРТД) – 1 шт.

Стоимость плазменной закалки – 2 руб/см²

Размер пуансона – 970 × 1420 × 1820 мм;

Площадь закаливаемой поверхности – 50 × 6480 = 324000 мм² = 3240 см²;

Стоимость плазменной закалки пуансона – 2 × 3240 = 6480 руб.

Размер матрицы – $640 \times 2060 \times 2880$ мм;

Площадь закаливаемой поверхности – $50 \times 7880 = 394000$ мм² = 3940 см²;

Стоимость плазменной закалки пуансона – $2 \times 3940 = 7880$ руб.

Размер прижима – $610 \times 2100 \times 2880$ мм;

Площадь закаливаемой поверхности – $50 \times 9960 = 498000$ мм² = 4980 см²;

Стоимость плазменной закалки пуансона – $2 \times 4980 = 9960$ руб.

ИТОГО: величина затрат на проведение плазменной закалки 3-х элементов штампа составляет: $6480 + 7880 + 9960 = 24320$ руб.

Таблица 4.1 – Данные проведения плазменной закалки.

Планируемое количество штамповок в год	70 065 шт.
Стоимость 1 н/часа простоя	109,73 руб.
Стоимость материала (прокат)	20 руб/кг
Масса детали	8,013 кг
Процент брака (исходный)	1,04 %
Снижение брака	«– 25 %»
Время простоев в год (исходное)	23,15 смен
Снижение времени простоев	«– 46 %»

В таблице 4.2 представлен расчет экономической эффективности примененной плазменной закалки на крупном штампе.

Таблица 4.2 – Расчет эффективности примененной плазменной заковки на оснастке из чугуна.

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Изготовление штампа без плазменной заковки	Изготовление штампа с плазменной заковкой	Отклонения (+ экономия; – потери)
1	Стоимость плазменного упрочнения комплекта оснастки	тыс.руб.	0	24,32	– 24,32
Экономия от снижения брака деталей					
2	Планируемое к изготовлению количество деталей в год	шт.	70 065	70 065	
3	Процент брака	%	1,04	0,83	
4	Количество бракованных деталей	шт.	729	582	
5	Масса детали	кг	8,013	8,013	
6	Стоимость материала (прокат)	тыс. руб./кг	0,02	0,02	
7	Стоимость брака	тыс.руб.	116,8	93,3	+ 23,5
Экономия от снижения времени простоев					
8	Стоимость 1 н/ч простоя	руб.	109,73	109,73	
9	Время простоя	ч	185	126	
10	Стоимость простоя	тыс.руб.	20,3	13,82	+ 6,48
11	Снижение себестоимости	тыс.руб.	137,1	131,44	+ 5,66

Получается, что в среднем применяя плазменную поверхностную закалку на штамповой оснастке из чугуна (крупный или средний штамп) экономический эффект составит более 5 тысяч рублей в год за счет снижения потерь по браку и простоям. При применении указанного метода упрочнения для оснастки из 20 деталей (крупной и средней штамповки) экономический эффект составит более 100 тысяч рублей в год.

4.2 Расчет эффективности поверхностного упрочнения методом плазменной закалки штамповой оснастки из легированной стали.

Значительная часть стальных секций штамповой оснастки подвергаются термообработке - объемной закалке. Плазменная закалка является альтернативным методом позволяющим упрочнить стальные секции штампов.

Расчет, представленный ниже, позволяет оценить экономический эффект, который возможно получить при использовании метода плазменного поверхностного термоупрочнения вместо традиционной объемной закалки для штампов из стали.

Исходные данные для расчета:

Комплект из стальных вставок штампа фланцовки и обрезки для детали «панель пола задняя» – материал: сталь X12МФ.

Стоимость плазменной закалки – 2 руб/см² (в нее включены затраты на энергию, оборудование и материалы);

Стоимость работ 1 н/ч – 154,27 руб.

Трудоемкость проведения объемной закалки комплекта вставок – 159,65 н/ч.

Трудоемкость проведения плазменной закалки комплекта вставок – 120,75 н/ч.

Вес закаливаемых частей штампа – 369 кг.

Стоимость объемной закалки 1 кг материала – 68,79 руб.

Необходимая площадь материала для плазменной закалки – 1485,5 см².

Планируемое к производству количество штампов в год – 33 шт.

Расчет экономической эффективности применения плазменной закалки при планируемом годовом объеме изготовления штампов из стали в количестве 33 штук (в качестве образца был взят стальной штамп из штамповой оснастки средних размеров) приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Расчет эффективности применения плазменной заковки на оснастке из стали.

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Изготовление штампа с объемной заковкой	Изготовление штампа с плазменной заковкой	Отклонения (+ экономия; - потери)
1	Трудоемкость на изготовление 1 поз. штампа	н/ч	159,65	120,75	+ 38,9
2	Стоимость 1 н/ч	руб.	154,27	154,27	
3	Количество штампов в год	шт.	33	33	
4	Трудоемкость на проведение упрочнения в год	н/ч	5268,45	3984,75	+ 1283,70
5	Основная зарплата	тыс.руб.	812,76	614,72	+ 198,04
6	Отчисления на соц. страх. (34,5%)	тыс.руб.	280,40	212,08	+ 68,32
7	Итого по зарплате	тыс.руб.	1093,16	826,80	+ 266,36
Расчет на 33 штампа в год					
8	Вес закаливаемых частей 1 штампа	кг	369,00		
9	Стоимость объемной заковки 1кг материала	руб.	68,79		
10	Стоимость объемной заковки на штамп	тыс.руб.	25,38		
11	Стоимость объемной заковки в год	тыс.руб.	837,54		
12	Площадь материала, упрочняемого методом плазменной заковки	см ²		1 487,5	

Продолжение таблицы 4.3

13	Стоимость 1 см ² плазменной закалки	тыс.руб.		0,002	
14	Стоимость закалки 1 штампа методом плазменной закалки	тыс.руб.		2,97	
15	Стоимость плазменной закалки в год	тыс.руб.		98,17	
Сравнение затрат					
16	Экономия по закалке.	тыс.руб.			+ 739,37
17	Снижение себестоимости	тыс.руб.	1930,70	924,97	+ 1005,73

Проанализировав полученные расчетные данные можно сделать вывод о том, что за счет меньших затрат на технологию упрочнения, применяя плазменную поверхностную закалку на штамповой оснастке из легированной стали экономический эффект составит более 1 миллиона рублей в год.

4.3 Выводы по применению плазменной закалки.

1. Благодаря проведенным исследованиям по упрочнению плазменной закалкой поверхностей различных материалов, которые имитировали поверхность штамповой оснастки, можно утверждать, что упрочненный слой материала при проведении плазменной закалки приобретает свойства, представленные на рисунке 4.1 (диаграмма значений твердости и размеров глубин закаленного слоя).

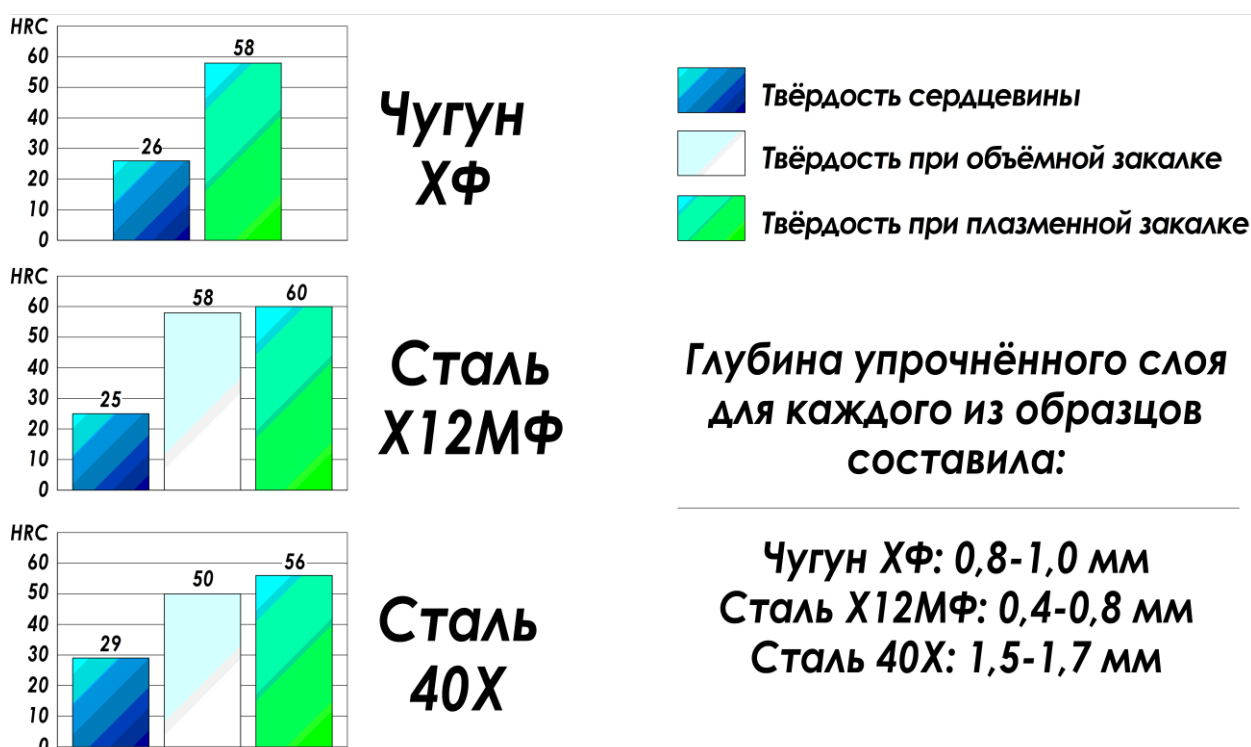


Рисунок 4.1 – Твердость сердцевины, твердость объемной термообработки и твердость упрочненного слоя образцов после проведения плазменной закалки, а так же результаты замера глубин закаленной поверхности.

2. Если проводить плазменную закалку вручную, без использования механизации, то возможны появления дефектов на упрочненной поверхности в виде оплавлений или наплывов. Это связано с тем, что колебания скорости и размеры дуги неизбежны, если закалка проводится ручным способом. Применяв механизацию, обеспечивающую точное соблюдение оптимальных параметров процесса, указанные дефекты будут устранены.

3. Проведя плазменную закалку на действующей оснастке следовало произвести затирку - операцию шлифования до уровня шероховатости не хуже Ra 0,8, для того чтобы избежать возможных дефектов на рабочей поверхности. После шлифовки и наладки с закаленных штампов получились вытяжные переходы необходимого качества.

4. В процессе работы была так же произведена разработка регламента, на основании которого велась плазменная закалка. В нем указаны:
оборудование для плазменного термоупрочнения;
материалы для термоупрочнения;
порядок подготовки поверхности, которая будет закаливаться;
порядок проведения плазменной поверхностной закалки.

5. Расчет экономической эффективности применения плазменной закалки показал:

Что если использовать эту технологию для закалки чугунной оснастки, то экономия составит порядка 100 000 тысяч рублей в год. Сокращение затрат у легированной стали будет еще значительней - более 1 миллиона рублей в год.

6. Успешный опыт применения плазменной закалки при изготовлении штампов позволяет сделать следующие предложения:

С целью дальнейшего снижения себестоимости изготовления штампов с применением плазменной закалки целесообразно опробовать замену дорогостоящих инструментальных сталей на более экономичные стали конструкторского класса. Это даст снижение расхода дорогостоящего твердосплавного инструмента, снизит нагрузку крупного лимитирующего оборудования, даст сокращение работ по термической обработке и слесарной подгонке, снизит сроки и себестоимость изготовления штампов.

5. Цели и объекты исследования пламенной закалки.

Объектом исследования этой работы является способ упрочнения поверхностей штамповой оснастки путем применения пламенной закалки.

Цель работы заключается в исследовании свойств и микроструктуры упрочненного слоя после проведения пламенной закалки на различных образцах материалов.

В качестве деталей были взяты образцы из стали 40Х, стали Х12МФ и чугуна ХФ. На основании составленного технического регламента проведения пламенной закалки, была проведена технико-экономическая оценка применения данной технологии поверхностного термоупрочнения.

Пламенная закалка всех образцов и комплектов штамповой оснастки проводилась специалистами ПАО «АВТОВАЗ» (г. Тольятти).

Благодаря этой работе появится возможность выбрать метод упрочнения при изготовлении штампов, который позволит повысить их износостойкость и улучшить эксплуатационные качества и свойства.

5.1 Технология пламенной закалки

Технология пламенной закалки очень похожа на плазменную. Она так же заключается в высокоскоростном нагреве поверхности с последующим ее охлаждением на воздухе. Только вместо плазматрона используется газовая горелка. А вместо аргона газом служит ацетилен и кислород.

При изготовлении штамповой оснастки традиционным способом для повышения твердости, прочности и износостойкости рабочей кромки секций наплавляют электродами, что при дальнейшей обработке приводит к увеличению времени и затрат на изготовление рабочих частей штампов.

Рабочие части штампа обрабатываются предварительно, собираются на плиту на технологические штифты, обрабатывается прижимная поверхность, снимается с плиты, фрезеруется канавка под наплавку, наплавляется рабочий и ножевой контур, устанавливается на плиту и вновь подвергается фрезерованию окончательно. При изготовлении рабочих частей на разделительные операции необходимо вымерять зазоры в стыках и по результатам замеров снова наплавлять и фрезеровать стыки.

Рабочие части для разделительных операций изготавливают из отливок, что значительно сокращает вес заготовок, и, следовательно, сокращается трудоемкость обработки рабочих частей. Рабочие части фрезеруются окончательно, устанавливаются на плиты и только затем подвергаются пламенной закалке, что позволяет не применять повторной обработки ранее обработанных частей, снизить трудоемкость на механические и слесарные операции. При изменении технологического процесса изготовления рабочих частей штампов на разделительные операции значительно уменьшается количество режущего инструмента.

Кроме того, применение пламенной закалки при изготовлении рабочих частей штамповой оснастки снижает стоимость расходных материалов.

Важной особенностью газопламенной закалки ацетилено-кислородом является то, что она не изменяет геометрических размеров, не ухудшает

шероховатость обрабатываемой поверхности, и пригодна для упрочнения поверхностей рабочих частей штампа.

Цель применения пламенной закалки при изготовлении рабочих частей штамповой оснастки:

- повышение твердости, износостойкости и работоспособности деталей штамповой оснастки;
- уменьшение объема шлифовальных, фрезерных ЧПУ, слесарных операций, времени и средств, связанных с настройкой штампов;
- снижение времени на изготовление штамповой оснастки;
- снижение затрат на операции механической обработки;
- снижение затрат на закалку и инструмент;

Технология пламенной закалки отработывалась с использованием следующего оборудования:

- Баллоны с ацетиленом и кислородом
- Редуктор ацетиленовый.
- Редуктор кислородный.
- Ручная ацетиленовая горелка.

Таблица 5.1 – Рабочее давление ацетилена и кислорода.

Рабочее давление газов:	
Ацетилен	1 кГс/см ²
Кислород	5 кГс/см ²

Закалка велась с нагревом до 800-900°С, степень нагрева поверхности контролировалась сварщиком по цвету раскаленного металла (Рисунок 5.1).

Цвет нагреваемой части



Рисунок 5.1 – Степень нагрева поверхности при пламенной закалке.

Деталь, предварительно очистив, нагревали в необходимой зоне. Процесс охлаждения закаленной поверхности штампа заключался в естественном остывании на воздухе без применения воды.

После остывания закаленных частей штампа поверхность замерялась портативным твердомером К5У в цехе (Рисунок 5.2) и при помощи твердомера Роквелл ТК-3-1 в лаборатории (Рисунок 5.3).



Рисунок 5.2 – Прибор для замера твердости детали - твердомер К5У.



Рисунок 5.3 – Твердомер Роквелл ТК-3-1.

Фотографии микроструктуры материалов были сделаны при помощи микроскопов Neophot-2 (Рисунок 5.4) и OLYMPUS U-CA (Рисунок 5.5) в исследовательской лаборатории УЛИР.



Рисунок 5.4 – Микроскоп Neophot-2

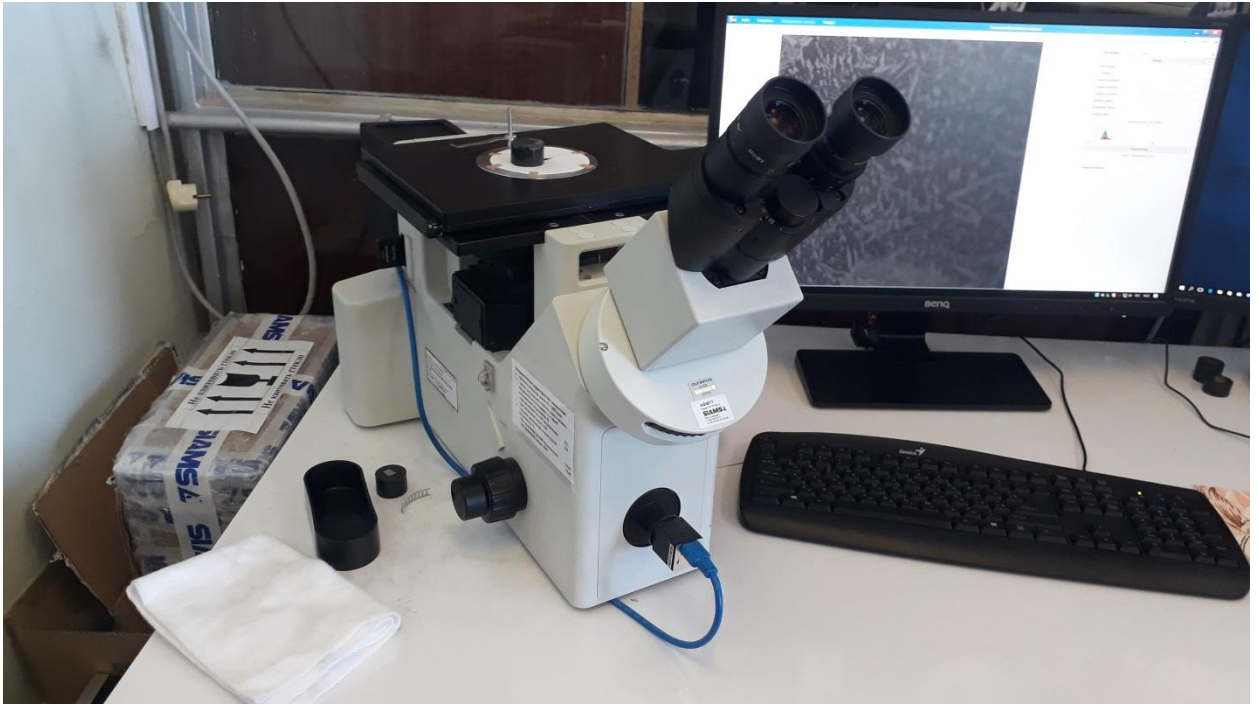


Рисунок 5.5 – Микроскоп OLYMPUS U-SA

Так же как и в случае с плазменной закалкой упрочняются только нагруженные рабочие поверхности деталей, оставляя при этом нетронутой сердцевину. В промышленности для упрочнения поверхности деталей широко применяется термическая газопламенная обработка.



Рисунок 5.6 – Газовая горелка

Дальнейший прогресс, который нацелен на повышение качества термообработки рабочих зон поверхностей деталей, связан с применением газопламенной горелки. При этом достигается хорошее качество упрочнения, и получаются достаточно высокие эксплуатационные свойства. Одним из наиболее экономичных способов локальной термообработки, обладающим источниками с высокой концентрацией нагрева, считается пламенный. Он меньше по стоимости, так как технологическое оборудование доступнее. К тому же у него достаточно большие размеры упрочненной зоны.

При быстром нагреве, который способствует получить более мелкую структуру закаленного материала, появляется возможность получения более благоприятного сочетания свойств прочности поверхности и вязкости сердцевины детали.

5.2 Анализ эффективности упрочнения поверхностей штамповой оснастки путем применения пламенной закалки.

5.2.1 Исследование эффективности термоупрочнения поверхностей штампов методом пламенной закалки на различных образцах материалов.

В этих исследованиях принимают участие материалы, которые в основном применяются в изготовлении пресс-форм и штампов, а так же оснастки. Закалка проводилась при помощи газовой горелки. Остывание поверхности происходило без охлаждения водой – на воздухе.

5.2.2 Выбор материалов для проведения исследования пламенной закалки.

Исследования пламенной закалки, как и в случае с плазменной, проводились на материалах тех же образцов. Это сталь 40Х, чугун ХФ и сталь Х12МФ. Хотя и образцы отличаются друг от друга формой, их химический состав аналогичен и соответствует образцам, взятым для проведения плазменной закалки. Изображения каждого из испытываемых образцов, на которых будут проводиться исследования, представлены на рисунке 5.7.



Рисунок 5.7 – Образцы материалов для проведения пламенной закалки:

Прямоугольные образцы – из стали 40Х, круглые – из стали Х12МФ;

3 образца – из чугуна ХФ.

Перед закалкой каждого материала были произведены замеры твердости. Результаты этих замеров представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Значения твердости образцов до проведения пламенной закалки.

Материал	Твердость
Сталь X12МФ	20-23 HRC
Сталь 40X	23-29 HRC
Чугун ХФ	22-24 HRC

Газопламенную закалку образцов проводили специалисты-сварщики ПАО «АВТОВАЗ» из города Тольятти. Сам процесс проводился без использования механизации, путем ручного перемещения пламенной горелки. Суть термообработки заключается в том, что газопламенная горелка последовательно проходит над упрочняемой поверхностью. В качестве защитных газов в процессе использовали ацетилен и кислород. После того как горелка проходит над поверхностью образца, на нем проявляется дорожка упрочнения, которой после покрывается вся закаленная поверхность. При этом основной задачей оператора-сварщика является внимательное наблюдение за поверхностью, которую не следует сильно перегревать, чтобы избежать оплавлений и возможных термических растрескиваний, ведь для того чтобы осуществились необходимые фазовые превращения в металле его поверхность достаточно прогреть. При установленных предварительно основных параметрах процесса упрочнения оператор-сварщик в процессе упрочнения визуально контролирует состояние газопламенной горелки и обрабатываемой поверхности.

5.3 Пламенная закалка образцов из стали X12MФ.

Параметры процесса закалки стали X12MФ:

- Расход V ацетилена = 0,0264 м³;
- Расход V кислорода = 0,03 м³;
- Время проведения закалки = 4,1 мин.

Внешний вид образцов, после проведения пламенной закалки, материалом которых является сталь X12MФ, показан на рисунке 5.8.



Рисунок 5.8 – Закаленные образцы. Материал - Сталь X12MФ.

Структура сердцевины (Рисунок 5.9) - зернистый перлит.

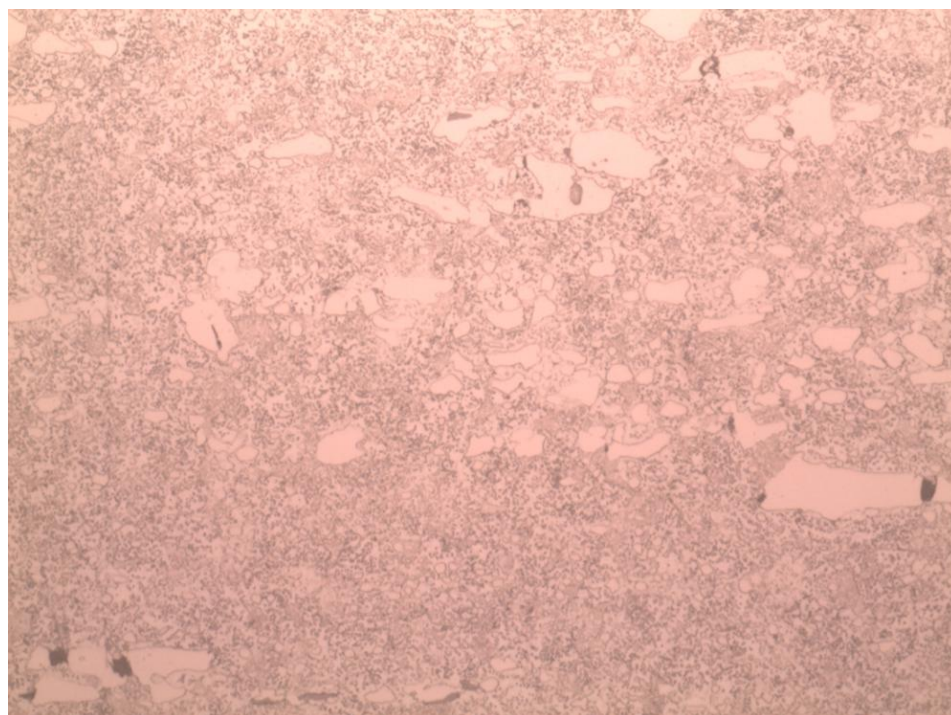


Рисунок 5.9 – Микроструктура сердцевины. Материал – Сталь X12MФ
(× 100).

Микроструктура зоны упрочнения стали X12МФ продемонстрирована на рисунке 5.10. Полученная в результате закалки структура упрочненного слоя – литая дендритная структура.

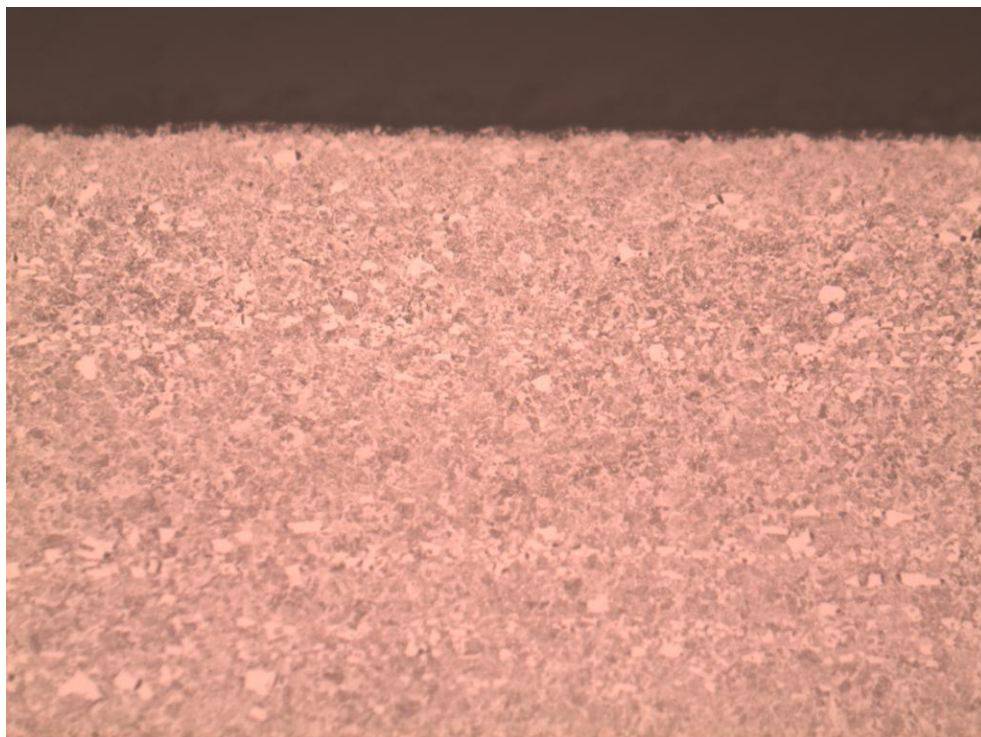


Рисунок 5.10 – Микроструктура упрочненного слоя образца из стали X12МФ
($\times 400$).

Параметры упрочненного слоя образцов из стали X12МФ:

Твердость сердцевины – 20-23 HRC;

Твердость упрочненного слоя – 51-55 HRC;

Глубина упрочненного слоя – 2,1-2,5 мм;

Структура сердцевины – зернистый перлит;

Структура упрочненного слоя – литая дендритная структура.

5.4 Пламенная закалка образцов из чугуна ХФ.

Параметры процесса закалки чугуна ХФ:

- Расход V ацетилена = 0,0306 м³;
- Расход V кислорода = 0,0374 м³;
- Время проведения закалки = 5,1 мин.

На рисунке 5.11 показан внешний вид образцов из чугуна ХФ упрочненных при помощи пламенной закалки.



Рисунок 5.11 – Закаленные образцы. Материал – чугун ХФ.

Структура сердцевины (Рисунок 5.12) - пластинчатый перлит и графит, цементит.

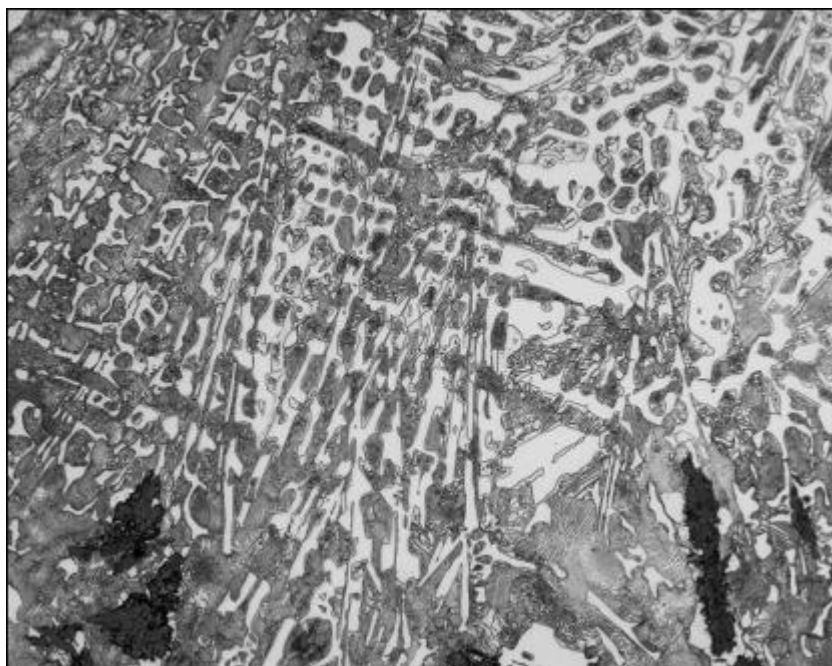


Рисунок 5.12 – Микроструктура сердцевины. Материал – чугун ХФ ($\times 1000$).

Микроструктура чугуна ХФ в зоне упрочнения изображена на рисунке 5.13. Полученная структура упрочненного слоя - перлит, феррит, шаровидный графит. После закалки высокопрочного чугуна при твердости около 58 HRC проявляется мартенсит, а при значении 54 HRC и ниже – троостомартенсит. Еще на упрочненной поверхности остались следы не растворившегося феррита, в виду того что при скоростной закалке феррит часто не успевает полностью раствориться.

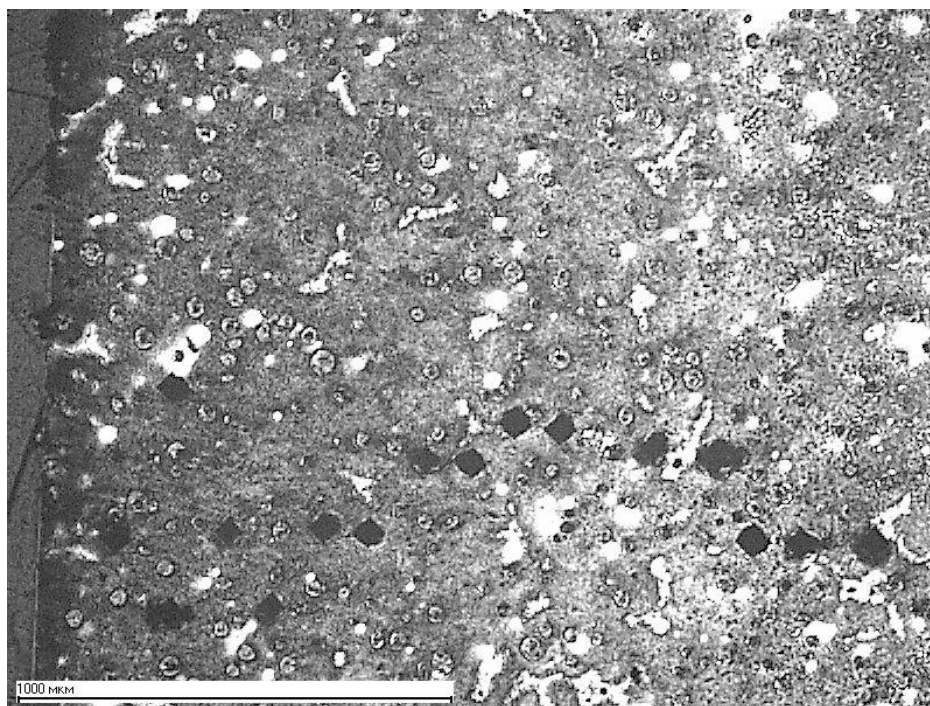


Рисунок 5.13 – Чугун ХФ. Микроструктура закаленного слоя. ($\times 1000$).

Параметры закаленного слоя (образец – чугун ХФ):

Твердость сердцевины – 22-24 HRC;

Твердость закаленного слоя – 54-56 HRC;

Глубина закаленного слоя – 2,0-2,4 мм;

Структура сердцевины – пластинчатый перлит и графит, цементит;

Структура закаленного слоя – перлит, феррит, шаровидный графит, мартенсит, троостомартенсит.

5.5 Пламенная закалка образцов из стали 40Х.

Параметры процесса закалки стали 40Х:

- Расход V ацетилена = 0,0402 м³;
- Расход V кислорода = 0,0491 м³;
- Время проведения закалки = 6,7 мин.

Образцы из стали 40Х упрочненные пламенной закалкой представлены на рисунке 5.14.



Рисунок 5.14 – Закаленные образцы. Материал - Сталь 40Х.

Структура сердцевины (Рисунок 5.15) – бейнит, перлит, феррит, сорбит.

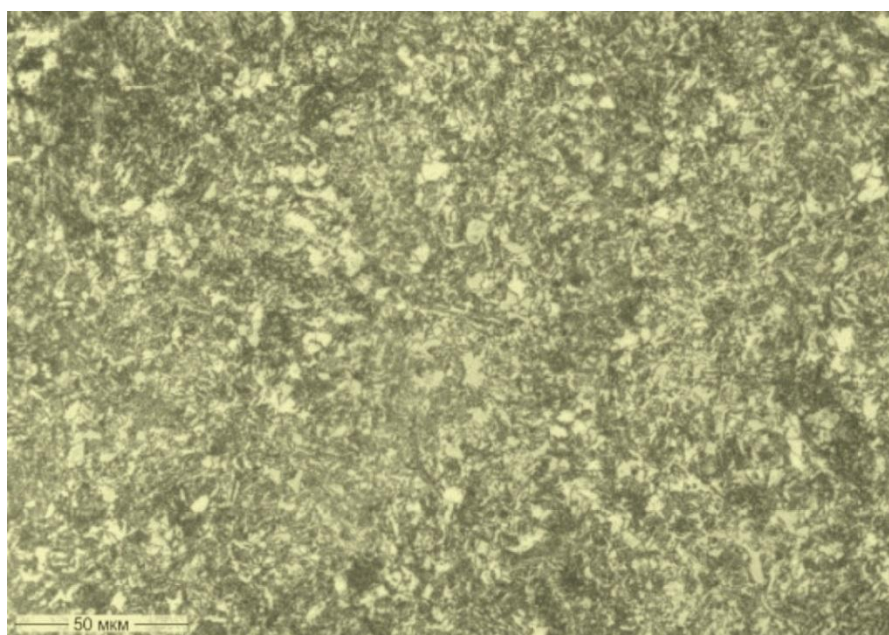


Рисунок 5.15 – Микроструктура сердцевины. Материал – Сталь 40Х
(× 1000).

Получившаяся в зоне упрочнения микроструктура у стали 40X (крупноигольчатый мартенсит) изображена на рисунке 5.16.

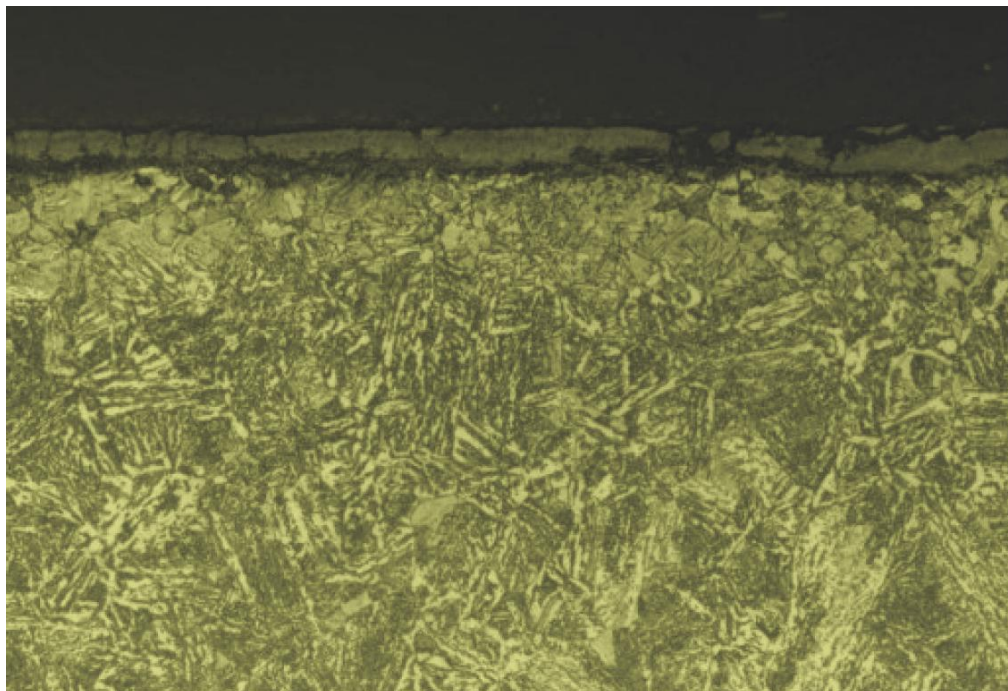


Рисунок 5.16 – Сталь 40X. Микроструктура закаленного слоя. ($\times 1000$).

Параметры закаленного слоя (образец – сталь 40X):

Твердость сердцевины – 23-27 HRC;

Твердость закаленного слоя – 47-50 HRC;

Глубина закаленного слоя – 1,9-2,3 мм;

Структура сердцевины – бейнит, перлит, феррит, сорбит;

Структура закаленного слоя – крупноигольчатый мартенсит.

6. Расчет экономической эффективности от применения газопламенной закалки.

6.1 Обоснование расчета экономической эффективности по внедрению газопламенного упрочнения рабочих частей штампов.

Штамп обрезки, пробивки 852 1741 8710 000 на деталь H79 Localiz 732109256R «Траверса крыши передняя» (MBR-FR CROSS, ROOF)

Исходные данные для расчета экономической целесообразности замены объемной термообработки пламенным упрочнением:

Количество секций – 10 шт.;

Общий вес секций – 592,6 кг;

Количество штампов на проект – 22 шт.;

Площадь наплавки – 10,2 дм²;

Площадь закаливаемой поверхности пламенной закалкой – 3,4 дм²;

Стоимость 1 кг. электродов на наплавку – 83,2 руб.;

Стоимость электродов на проект – 9,3 т. руб.

Стоимость 1м³ кислорода (99004000005000) + 1м³ ацетилена (99004000010000): 26,2 + 708,96 = 735,1 руб. = 0,7 т.руб.

Стоимость 1м³ кислорода (99004000005000) + 1 м³ ацетилена (99004000010000) на проект: 5,7 т. руб.

Стоимость инструмента для наплавленных поверхностей – 40,8 т. руб.;

Стоимость инструмента для обработки закаленных поверхностей пламенной закалкой – 12,3 т. руб.;

Суммарные затраты на обработку секций штампа обрезки, пробивки с наплавкой и пламенной закалкой составляют:

1) Стоимость электродов для наплавки на 1 проект:

$$5,1 \times 0,083 \times 22 = 9,3 \text{ т. руб.};$$

2) Стоимость газа на пламенную закалку на 1 проект:

$$(0,25 + 0,01) \times 22 = 5,7 \text{ т. руб.}$$



Рисунок 6.1 – Упрочненная секция после проведения газопламенной закалки.



Рисунок 6.2 – Упрочненный комплект секций после проведения газопламенной закалки.

Таблица 6.1. – Расчет годового экономического эффекта от применения технологии газопламенной заправки

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Наплавка	Пламенная заправка	Отклонение
1	Вес электродов на наплавку на штамп	кг.	5,1		
2	Стоимость 1кг электродов	т. руб.	0,083		
3	Стоимость электродов на наплавку на штамп	т. руб.	0,42		
4	Стоимость электродов на наплавку на 1 проект	т. руб.	9,3		
5	Расход газа: ацетилен + кислород	м ³		0,8	
6	Стоимость газа на пламенную заправку на 1 штамп	т. руб.		0,26	
7	Стоимость газа на проект	т. руб.		5,7	
8	Экономия по заправке	т. руб.			+ 3,6
9	Стоимость фрез на штамп	т. руб.	40,8	12,3	+ 28,5
10	Стоимость фрез на 1 проект	т. руб.	897,6	270,6	+ 627,0
11	Снижение себестоимости	т. руб.	906,9	276,3	630,6
12	Годовой экономический эффект	т. руб.	906,9	276,3	630,6

Экономия на наплавке на проект:

$$9,3 - 5,7 = 3,6 \text{ т. руб.}$$

Разность стоимости режущего инструмента на 1 штамп:

$$40,8 - 12,3 = 28,5 \text{ т. руб.}$$

Экономия на режущем инструменте на проект:

$$28,5 \times 22 = 627,0 \text{ т. руб.}$$

$$\text{ИТОГО: } 3,6 + 627,0 = 630,6 \text{ т. руб.}$$

Годовой экономический эффект составляет 630,6 т. руб. на проект.

6.2 Сравнительный анализ стоимости разработки техпроцесса с наплавкой и техпроцесса с пламенной закалкой.

Таблица 6.2 – Диаметры отверстий, расход газа и скорости истечения, применяемые в закалочных горелках.

Диаметр отверстия, мм	Расход, л/ч		Скорость истечения газовой смеси, м/сек
	ацетилена	кислорода	
0,6	30	35	70
0,7	45	55	80
0,9	90	110	95
1,2	210	250	115

Расчет производился на 22 штампа.

Стоимость электродов:

$1 \text{ дм}^2 = 10 \text{ мм} \times 1000 \text{ мм} = 0,5 \text{ кг}$ электродов;

$10 \text{ мм} \times 3390 \text{ мм} = 1,7 \text{ кг}$. электродов – 1 слой;

$1,7 \times 3 \text{ слоя} = 5,1 \text{ кг}$. электродов;

ОЗШ-3 Ø3 – код: 94700130300000 – 83,2 руб.;

$5,1 \times 83,2 = 424,3 \text{ руб.} \approx 0,42 \text{ т. руб.}$

$0,42 \times 22 = 9,2 \text{ т. руб.}$

Стоимость газа:

Ацетилен - 99004000010000: 708,96 руб./м³ ;

Кислород - 99004000005000: 26,2 руб./м³.

Расход газа при пламенной закалке: Ø резака – $0,5 \times 8 = 4 \text{ мм}$

Расход V ацетилена: 1 час – $360 \text{ л/ч} = 0,36 \text{ м}^3$;

Расход V кислорода: 1 час – $440 \text{ л/ч} = 0,44 \text{ м}^3$.

Ацетилен: $208 \text{ дм}^2 = 708,96 \times 0,36 = 0,25 \text{ т.руб.}$

Кислород: $208 \text{ дм}^2 = 26,2 \times 0,44 = 0,01 \text{ т.руб.}$

Общая сумма составила: 0,26 т.руб.

Расход V ацетилена на проект: $0,25 \times 22 = 5,5 \text{ т. руб.}$

Расход V кислорода на проект: $0,01 \times 22 = 0,2 \text{ т. руб.}$

Итого на проект: 5,7 т. руб.

6.3 Обоснование расчета экономической эффективности и сроков окупаемости замены объемной термообработки пламенным упрочнением.

Штамп правки, формовки 852 1741 8714 000 на деталь 544H47798R

Проект: H79 Localiz

Расчет произведен по средним значениям.

Количество секций – 306 шт.;

Общий вес секций – 203,5 кг;

Средний вес 1 секции = 24,1 кг;

Средняя трудоемкость изготовления секции с объемной закалкой – 33,3 н/ч;

Трудоемкость изготовления секций с объемной закалкой на проект – 10189,8 н/ч;

Средняя трудоемкость изготовления секции с пламенной закалкой – 25,2 н/ч;

Трудоемкость изготовления секции с закалкой – 7711,2 н/ч;

Стоимость 1 н/ч – 192,89 руб.

$(10189,8 - 7711,2) \times 192,89 = 1965510,5 - 1487413,4 = 478097,1$ руб.

32,92% - 157398,6 руб.

Экономия на стоимости изготовления секций:

$478097,1 + 157398,6 = 635486,7$ руб.

Термообработка конструкционных и легированных сталей – 84,43 руб.;

Трудоемкость пламенной закалки на проект – 305 н/ч;

Стоимость 1м³ кислорода (99004000005000) – 26,2 руб.

Стоимость 1м³ ацетилена (99004000010000) – 708,96 руб.

Стоимость объемной закалки на 1 проект:

$24,1 \times 84,4 \times 306 = 622416,2$ руб.

Стоимость газа на пламенную закалку на 1 проект:

$248,1 \times 305 + 11 \times 305 = 75670,5 + 3355,0 = 79025,5$ руб.

Стоимость работ по пламенной закалке:

$305 \times 192,89 = 58831,4$ руб.

Экономия на объемной закалке:

$622416,2 - 79025,5 - 58831,4 = 484559,3$ руб.

Стоимость инструмента для объемной закалки секций на штамп:

15116,35 т. руб.;

Стоимость инструмента для пламенной закалки секций на штамп:

13073,6 т. руб.;

Суммарные затраты на обработку секций штампа обрезки, пробивки с объемной термообработкой составляют:

1) Стоимость инструмента при изготовлении секций с объемной закалкой:

$163837,6 : 9 \times 306 = 5570478,4$ руб.

(9 секций в штампе, 306 - на проекте)

2) Стоимость инструмента при изготовлении секций с пламенной закалкой:

$131871,9 : 9 \times 306 = 4483644,6$ руб.

3) Экономия режущего инструмента на проекте:

$5570478,4 - 4483644,6 = 1086833,8$ руб.

ИТОГО: $635486,7 + 484559,3 + 1086833,8 = 2206879,8$ руб.

Годовой экономический эффект составляет: 2206879,8 руб. на проект.

6.4 Основные выводы и результаты применения технологии газопламенной закалки.

Результаты применения технологии газопламенной закалки на исследуемых образцах наглядно отображены на диаграмме (Рисунок 6.3).

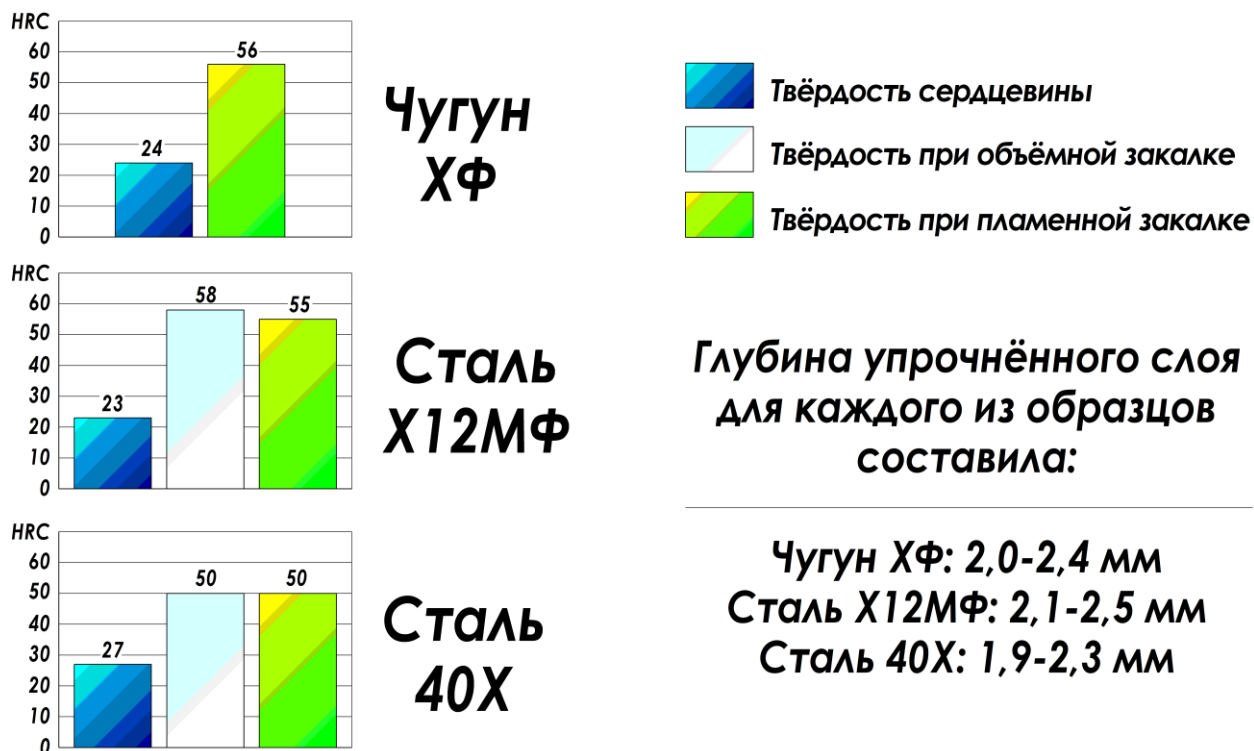


Рисунок 6.3 – Твёрдость сердцевины, твердость объемной закалки и твердость упрочненных слоев образцов после проведения пламенной закалки, и результаты замер глубин закаленных поверхностей.

Основные выводы по применению пламенной закалки:

1. Если пламенную закалку проводить вручную, не используя механизацию, то возможны проявления различных дефектов на закаленной поверхности. Они получаются в результате колебаний скорости и зависят от размеров горелки, так как закалка проводится вручную. Если применить механизацию, которая обеспечит наиболее точное соблюдение оптимальных параметров процесса, то указанные дефекты могут быть устранены.

2. Проводить операцию пламенной закалки на действующей оснастке необходимо предварительно выполнив затирку - шлифовку достигнув уровня

шероховатости не хуже Ra 0,8, чтобы избежать появления различных дефектов на рабочей поверхности.

3. В процессе работы так же была произведена разработка регламента проведения газопламенной закалки. В нем указаны:

Порядок подготовки закаливаемой поверхности;

Порядок проведения пламенной поверхностной закалки.

Оборудование для проведения пламенного термоупрочнения;

Материалы для пламенной закалки;

4. Расчет экономической эффективности показал, что при замене объемной (печной) термообработки пламенным упрочнением экономия составит 630,6 тысяч рублей в год за счет снижения затрат на наплавку и экономии на режущем инструменте.

5. Опыт применения пламенной закалки при изготовлении штамповой оснастки позволяет сделать следующие предложения:

Применяя пламенную закалку без охлаждения водой, показания значений твердости упрочненного слоя получились такие же, как и при объемной закалке или даже ниже. А если сравнивать данный метод упрочнения с технологией плазменной закалки, то показания твердости поверхности при использовании газопламенной обработки оказались хуже. В связи с чем, можно сделать вывод, что если необходимо достичь более высокой твердости, то охлаждение деталей лучше всего производить при помощи воды, так как процесс быстрого остывания способствует получению более мелкой микроструктуры, благодаря которой повышается твердость закаленной поверхности детали.

7. Выводы по проведенным исследованиям.

Технологии плазменной и пламенной закалки предлагаются на замену объемной, в виду того что они эффективнее и экономичнее. На закалку в печи отводится большое количество времени, и к тому же после проведения объемной закалки заготовка должна остывать в течение нескольких часов, чтобы затем была возможность ее обрабатывать дальше, используя при этом твердосплавный инструмент, что заметно повышает трудоемкость процесса. К тому же штампы еще нуждаются в дополнительной логистике. Поэтому следует обратить внимание на новые технологии поверхностной термообработки, которые проще, быстрее и эффективнее.

Проведенные в ходе диссертационной работы исследования показали, что детали, закаленные при помощи поверхностной закалки получаются с высокой твердостью, а значения достигаются практически такие же, как и у закалки в печи (в случае с пламенной закалкой при охлаждении на воздухе) или даже превышают показатели объемной термообработки (если использовать плазменную закалку). Сравнительная диаграмма значений твердости представлена на рисунке 7.1.

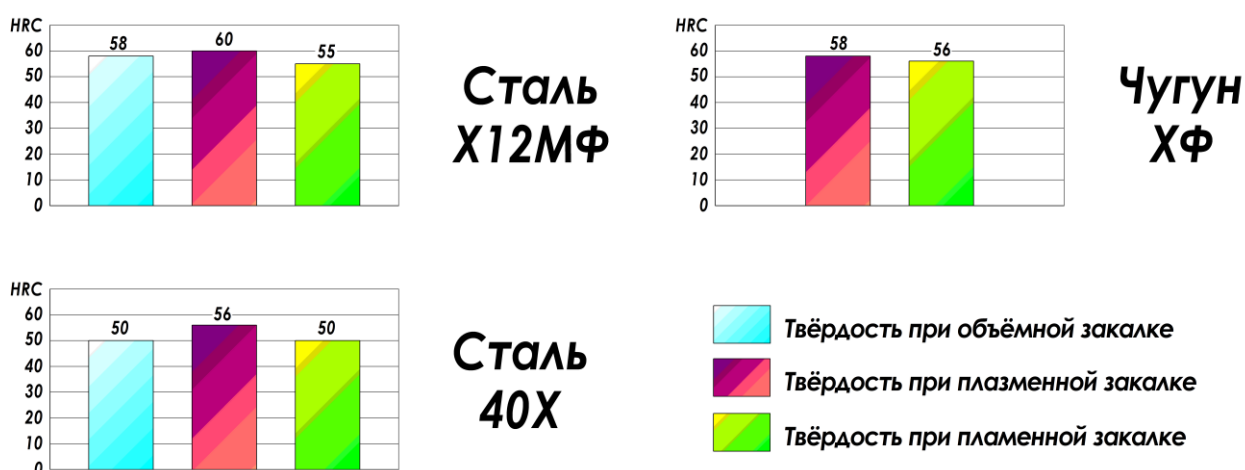


Рисунок 7.1 – Значения твердости при объемной, плазменной и пламенной закалке.

Однако если при газопламенной закалке применять охлаждение при помощи воды, остывание поверхности будет происходить быстрее, в связи с чем, образуется более мелкая микроструктура, благодаря которой получают высокие результаты твердости упрочненного слоя поверхности. Тогда и в этом показателе данный способ закалки не будет уступать плазменной закалке. Но правда в этом случае нужно предусмотреть наличие в цехе специального канала для слива воды, так как газовая горелка работает в паре с разбрызгивателем. Этот фактор может стать ключевым при выборе между этими двумя технологиями локальной обработки.

Используя представленные методы поверхностного термоупрочнения, детали, получают высокого качества и затем не требуют дополнительных финишных операций. Для того чтобы в дальнейшем снизить себестоимость изготовления штампов с применением плазменной и пламенной закалки целесообразно так же рассмотреть вариант замены дорогостоящих инструментальных сталей на стали конструкторского класса, которые более экономичны. Это позволит снизить расход дорогостоящего твердосплавного инструмента, а так же нагрузку крупного лимитирующего оборудования, даст возможность сокращения работ по термообработке и слесарной подгонке, и в то же время уменьшит сроки и себестоимость изготовления штампов [51].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения магистерской работы экспериментально исследованы технологии плазменной и пламенной закалки;
Проведены металлографические исследования;
Изучена микроструктура образцов материалов;
Измерена глубина упрочненного слоя у каждого образца;
Получены результаты твердости материалов;
Рассчитана экономическая эффективность от применения плазменной и пламенной закалки.

Результаты экспериментальных и теоретических исследований показывают, что выбранные методы поверхностного упрочнения рабочих частей пресс-форм и штампов взамен традиционной объемной закалки значительно сокращают время и средства на термообработку. Применение этих технологий позволяет увеличить износостойкость поверхностей деталей, повысить качество выпускаемой продукции и снизить уровень брака.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Dinesh B.P., Balasubramanian K.R., Buvanashakaran G.H. Laser surface hardening // A review. International Journal of Surface Science and Engineering. 2011. – P. 131–151.
2. Ogawa K. A., Tanabe H., Nakagawa H. Proposal of process strategy for micro-cutting edge fabrication: effects of shape formation after laser hardening // Key Engineering Materials. 2015. – P. 545-549.
3. Peng H., Cao X., Yao J. Effects of thermal plasma jet heat flux characteristics on surface hardening // Journal of Materials Processing Technology. 2015. Т. 226. – P. 238-246.
4. Shinsky I., Shalevska I., Musbah Ja. Efficiency of influence of a metal macroreinforcing phase on process of solidification of large-sized castings // Edition of Lublin University of technology. Vol. XD, Lublin. 2015. – P. 1-5.
5. Xiang Y., Yu D., Li Q. Effects of thermal plasma jet heat flux characteristics on surface hardening // Journal of Materials. 2015. – P. 238-246.
6. Xiong Y., Schoenung J.M., Lavernia E.J. Microstructure and mechanical behavior of NS/UFG aluminum prepared by cryomilling and spark plasma sintering // Journal of Alloys and Compounds. Т. 679. 2016. – P. 426-435.
7. Wei D., Cheng Z. Effect of low temperature plasma hardening treatment on microstructure and properties of AISI 420 stainless steel // Heat Treatment of Metals. 2014. – P. 217-226.
8. Wu J., Liu R., Xue W. Analyses of quenching process during turn-off plasma electrolytic carburizing on carbon steel // Applied Surface Science. Т. 316. 2014. №1 – P. 102-107.
9. Алисова Г.В. Структура и свойства сталей после плазменной закалки // Институт физики металлов УрО РАН. 2013. – С. 141-142.
10. Андреев М.Ю. Хромирование // статья в сборнике трудов конференции «В мире научных открытий». ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. 2017. – С. 18-20.

11. Бережиани В.М., Самхарадзе Д.М., Производство и исследование быстрорежущих и штамповых сталей // М.: Металлургия. // 1980. – С. 56-61.
12. Вайнтрауб Д.А. Повышение стойкости штампов // М.: Машгиз. 1988. – С. 133.
13. Васильков В.А. Поверхностная закалка // Материалы II-й научно-практической конференции «Празднику Великой Победы - праздник студенческой науки» (Неделя науки 2015). 2015. – С. 43-44.
14. Васькин К.Я., Блинов А.А., Блинов А.В. Плазменная закалка стали Х12МФ // Технические науки – от теории к практике. Сб. ст. по материалам LXVIII междунар. науч.-практ. конф. № 3(63). Новосибирск: Изд. «СибАК». 2017. – С. 58-62.
15. Васькин К.Я., Блинов А.А., Блинов А.В. Плазменная закалка чугуна ХФ // Технические науки – от теории к практике. Сб. ст. по материалам LXIX междунар. науч.-практ. конф. № 4(64). Новосибирск: Изд. «СибАК». 2017. – С. 33-37.
16. Гаврилов В.П., Федорцев В.А. Особенности технологических методов хромирования металлических изделий. 2016. – С. 144.
17. Гадалов В.Н., Гвоздев А.В., Стариков Н.Е., Романенко Д.Н. Повышение надежности оснастки и инструмента штампового оборудования // Научная статья в журнале «Известия Тульского государственного университета. Технические науки». 2017. №11.2. – С. 114-124.
18. Галынская Н.А., Кухарева Н.Г., Петрович С.Н., Стасевич Г.В. Упрочняющая обработка штампов для глубокой вытяжки // Вестник БНТУ. 2010. №4. – С. 30-34.
19. Геллер Ю.А., Малинкина Е.И., Ломакин В.Н. Металловедение и термическая обработка металлов. // М.: Машгиз. Сб. №1. 1987. №12. – С. 94-102.
20. Гилев И.А., Неулыбин С.Д., Панов А.И., Баженов А.М. Сравнительный анализ способов поверхностного упрочнения // Master's Journal. 2014. – С. 19-24.

21. Гребенников А.В., Черников Е.М. Поверхностное упрочнение штамповой оснастки газопламенной закалкой // Кузнечно-штамповое производство. 2008. №10. – С. 24-26.
22. Дацюк Н.А., Козлов В.В., Балановский А.Е. Сравнительный анализ газопламенного и плазменного пятна нагрева // Материалы докладов VII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Иркутский национальный исследовательский технический университет. Под редакцией Зайдеса С.А. 2017. – С. 236-242.
23. Зубанов И.Ю., Блинов А.В. Новая технология изготовления штампов ОАО «ВАЗ» // Материалы региональной научной конференции. Т. 2. 2014. – С. 122.
24. Йех, Я. Термическая обработка стали // Справочник. Издание №3. 1989. – С. 264.
25. Ковальчук А.В., Константинов С.В. Комплексное поверхностное упрочнение стальных изделий // Литье и металлургия. 2014. №4 (77). – С. 144-150.
26. Ковальчук А.В. Некоторые пути повышения качества PVD и CVD покрытий. 2012. – С. 39-41.
27. Козлов В.В. О промышленном применении лазерной и плазменной закалки // Сварка. Реновация. Триботехника: тезисы докладов VIII Уральской научно-практической конференции. Нижний Тагил: НТИ УрФУ. 2017. – С. 71-74.
28. Комаров Ф.Ф., Ковальчук А.В., Константинов С.В. Комплексный подход к определению свойств PVD/CVD покрытий // Сборник докладов Международного симпозиума (Минск, 8-10 апреля, 2015 г.): в 2 ч. Нац. акад. Наук Беларуси. 2015. Ч.2. – С. 77-84.
29. Константинов В.М., Ковальчук А.В. Перспективы использования химико-термической обработки совместно с нанесением PVD/CVD покрытий // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния: Материалы III Международной научно-

- практической конференции (28–29 апреля 2015 г., Минск.). 2015. – С. 244-246.
30. Константинов В.М., Ткаченко Г.А., Ковальчук А.В. Исследования коррозионной стойкости изделий, упрочненных PVD покрытиями. 2014. – С. 1-4.
31. Константинов В.М., Ткаченко Г.А., Ковальчук А.В. Исследования коррозионной стойкости изделий, упрочненных PVD покрытиями. 2014. – С. 212.
32. Коротков В.А., Злоказов М.В. Исследование износостойкости углеродистых сталей, упрочненных плазменной закалкой // Трение и износ. 2014. Т. 35. №2. – С. 178-182.
33. Коротков В.А., Макаров С.В. Новая установка УГДЗ-200 для упрочняющей обработки // Журнал Металлообработка. 2009. №5 (53) – С. 43-46.
34. Коротков В.А. Поверхностная плазменная закалка // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2014. № 12 (213). – С. 7-16.
35. Коротков В.А. Свойства и промышленное применение ручной плазменной закалки // Металловедение и термическая обработка металлов. 2016. №8 (734). – С. 3-9.
36. Костин Н.А., Трусова Е.В. Влияние температурного режима при отпуске штамповых сталей // Электронный научный журнал Курского государственного университета «Auditorium». Курск. 2016. №2. – С. 1-4.
37. Липчин Н.Н. Влияние структурных и фазовых превращений на свойства стали и сплавов // Пермь, ред.-изд. Отд. ППИ. 1972. №107. – С. 3-15.
38. Малинкина Е.И. Образование трещин при термической обработке // М.: Машиностроение. 1985. – С. 175.
39. Минаев А.М., Пручкин В.А. Диффузионное хромирование деталей литейных пресс-форм // Тамб. гос. техн. ун-т. ВИНТИ РАН. 2011. – С. 11.

40. Моргунов А.П., Удодова А.В., Федоров А.А. Способ повышения износостойкости пуансонов для листовой штамповки // Журнал: Динамика систем, механизмов машин. 2012. №2. – С. 276-279.
41. Песин М.В. Повышение эксплуатационных свойств деталей упрочнением высоконагруженных рабочих поверхностей // Журнал: Научные исследования и инновации. Издательство: Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Пермь). 2011. Т.5 №2 – С. 177-179.
42. Петров Г.Л., Буров Н.Г. Технология и оборудование газопламенной обработки металлов // Изд.2. 1981. – С. 285.
43. Прокопьев С.С. Визуальный анализ газопламенного и плазменного пятна нагрева // Наука, технологии, искусство: теоретико-эмпирические и прикладные исследования сборник научных трудов по материалам XIII Международного междисциплинарного форума молодых ученых. 2017. – С. 136-145.
44. Склюев П.В., Перцовская Е.В. Структурные и фазовые превращения при нагреве стали и сплавов // Изд. Пермского политехнического института. 1982. №73. – С. 41-45.
45. Спиридонов Н.В., Соколов И.О., Пилецкая Л.И. Особенности лазерной закалки деталей из высокопрочного чугуна. 2013. – С. 136-139.
46. Сыркин В.Г. CVD-метод. Химическое парофазное осаждение. 2000. – С. 55.
47. Тополянский П.А. Технологии и оборудование для нанесения тонкопленочных износостойких покрытий // Труды ГОСНИТИ. 2012. – С. 28-38.
48. Трегулов Н.Г., Соколов Б.К., Варбанов Г.А. Лазерные технологии на машиностроительном заводе // В книге: Применение процессов лазерной обработки материалов: ВНТО им. Крылова А.Н. Уфа. 1993. – С. 25-39.
49. Трусова Е.В. Технологические особенности процесса термической обработки деталей штампов. 2017. – С. 1-5.

50. Утаев С.А., Рахманов Ф.Г. Методы повышения качества поверхностного слоя деталей. // Каршинский государственный университет. Статья в сборнике трудов конференции. 2014. – С. 374-376.
51. Фотеев Н.К. Твердосплавные штампы и их изготовление // ГОСИНТИ. 1983. – С. 154.
52. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов // М.: Оборонгиз. 1982. – С. 167.
53. Шевцов А.Ю. Поверхностная газопламенная закалка. Закалочное оборудование и техника газопламенной закалки. 2014. – С. 66-68.
54. Шевцов А.Ю., Савич А.Ю. Поверхностная газопламенная закалка. Сущность процесса и способы закалки. // Новые материалы и технологии их обработки: сборник научных работ XV Республиканской студенческой научно-технической конференции Н. И. Иваницкий. Минск: БНТУ. 2014. – С. 65-66.
55. Шинский О.И., Марукович Е.И., Шалевская И.А., Шинский В.О., Клименко С.И. Экономика, экология, организация производств литья по газифицируемым моделям. Литье и металлургия. 2017. – С. 53-59.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Опубликованная статья



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ – ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ

*Сборник статей по материалам
LXVIII международной научно-практической конференции*

№ 3 (63)
Март 2017 г.

Издается с октября 2011 года

Новосибирск
2017

Рисунок А.1 – Титульная страница сборника

СЕКЦИЯ

«МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ»

ПЛАЗМЕННАЯ ЗАКАЛКА СТАЛИ X12MФ

Васькин Кирилл Яковлевич

канд. техн. наук, доц. Тольяттинского государственного университета,
РФ, г. Тольятти
E-mail: vaskink@mail.ru

Блинов Артур Андреевич

магистрант Тольяттинского государственного университета,
РФ, г. Тольятти
E-mail: mr.artur-1@yandex.ru

Блинов Андрей Владимирович

начальник «Технологического отдела штампов» ПАО АВТОВАЗ,
РФ, г. Тольятти
E-mail: blanvl@yandex.ru

PLASMA HARDENING STEEL X160CRM0V12-1

Kirill Vaskin

phD, assistant professor of Togliatti State University,
Russia, Togliatti

Artur Blinov

undergraduate of Togliatti State University,
Russia, Togliatti

Andrey Blinov

head of "Technological Department of die tooling " PJSC AVTOVAZ,
Russia, Togliatti

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрена проблема повышения твердости стали X12MФ для изготовления штамповой оснастки с помощью плазменного термоупрочнения. Была изучена микроструктура упрочненного слоя и проведена оценка его твердости и глубины. В результате исследований получено, что использование высококонцентрированных источников энергии позволяет повысить твердость поверхностного слоя образца в 1,5...2 раза.

ABSTRACT

The article considers the problem of increasing the hardness of steel X160CrMoV12-1 for making die tooling with use of plasma thermal hardening. The microstructure of the hardened layer was research and its hardness and depth were evaluated. The use of highly concentrated energy sources makes it possible to increase the hardness of the surface layer of the sample 1,5 to 2 times, as a result of our research.

Ключевые слова: плазменная закалка; термоупрочнение.
Keywords: plasma hardening; thermal hardening.

Основным отличием плазменной закалки от объемного термоупрочнения является кратковременность процесса нагрева поверхностного слоя, одновременно с возможностью создания условий интенсивного охлаждения. Эти факторы оказывают значительный эффект на структуру закаленного слоя. Влияние скорости охлаждения проявляется диспергированием структуры, которое заметно при металлографическом исследовании.

Главным преимуществом плазменного термоупрочнения по сравнению с лазерным является то, что область контакта плазменной дуги с обрабатываемым материалом значительно больше, чем у лазерного луча, соответственно времени на обработку поверхности штамповой оснастки данным методом затрачивается меньше [1, 5, 6, 7].

Результатом кратковременного пребывания стали при температурах закалки, а также протекание фазовых превращений в области температур выше равновесных является повышение механических свойств материала по сравнению с объемной закалкой. При быстром нагреве, когда происходит перекристаллизация структурно свободного феррита без влияния атомов углерода, размер зерна аустенита всегда меньше получаемого при медленном нагреве до температуры аустенизации.

Исследования по изучению влияния плазменной закалки проводили на стали X12MФ, применяемой при изготовлении

пуансонов и матриц формообразующих штампов холодной штамповки на ПАО «АВТОВАЗ» [2].

Плазменная закалка образца (рис. 1) была проведена при следующих режимах (табл. 1) на установке УГДЗ-200 [3, 4].

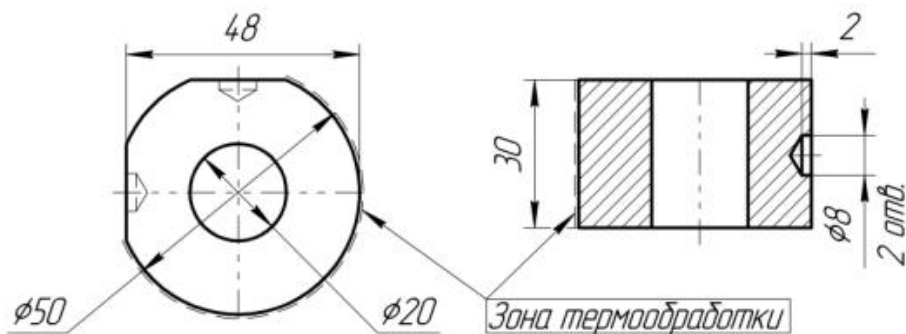


Рисунок 1. Геометрические размеры образца для плазменной закалки.

Таблица 1.

Режимы закалки образца

Рабочий ток дуги	150А
Рабочее давление аргона	0,3 МПа
Ширина закаленной зоны	10 мм
Длина дуги	25 мм
Скорость прохода по поверхности	0,6 м/мин

Оптимальная скорость прохода по поверхности определилась таким образом, чтобы не было раковин и микротрещин, возникающих из-за перегрева поверхности (рис. 2).

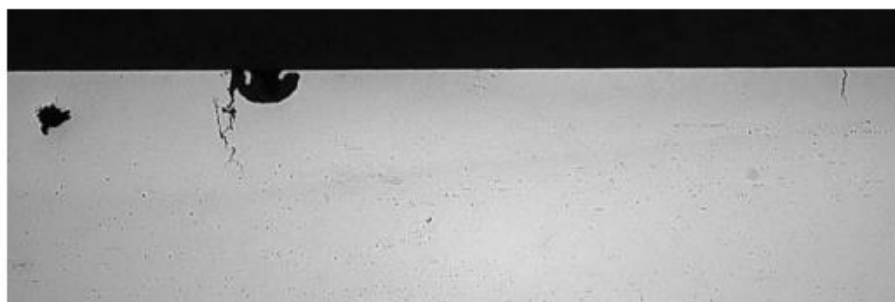


Рисунок 2. Дефекты упроченного слоя образца из стали X12МФ – раковины, микротрещины. (×30)

Так же при проведении плазменной закалки вручную, без использования механизации, на упрочненной поверхности можно наблюдать различного рода наплывы и оплавления. Это связано с неизбежными колебаниями скорости и размеров дуги при ручном способе проведения закалки.

Вследствие небольших размеров образцов их способность к отведению тепла невелика, поэтому на некоторых участках происходило оплавление упрочняемой поверхности. С целью устранения возникших неровностей образец шлифовали, глубина резания составляла 0,3...0,4 мм, шероховатость Ra0,8. Затем на электроэрозионном станке вырезали фрагмент поверхности для проведения металлографических исследований.

Микротвердость определяли с помощью микротвердомера Micromet-II, структуру образца изучали на микроскопе AxioObserver. Внешний вид образца после закалки представлен на (рис. 3а), а структура упрочненного слоя и сердцевины образца из стали X12МФ изображена на (рис. 3б и 3в).

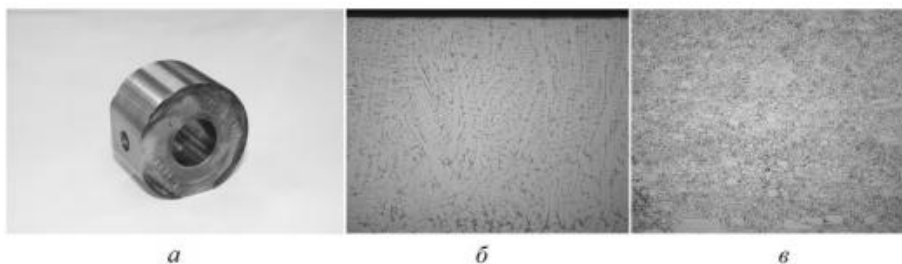


Рисунок 3. Образец после закалки (а), структура упрочненного слоя (б) и сердцевины (в)

Как видно из рисунков, микроструктура упрочненного слоя - литая дендритная, структура сердцевины - зернистый перлит, карбиды.

Литая дендритная структура поверхностного слоя стали X12МФ (рис. 3в) оптимальна для штамповых сталей, так как в ней отсутствует карбидная неоднородность, которая присуща этому материалу (рис. 3в).

Глубина упрочненного слоя образца составила: 0,4...0,8 мм.

Как видно из проведенных исследований, после плазменной закалки твердость поверхностного слоя каждого образца в 2 раза выше твердости сердцевины.

На основе результатов проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

Глубина упрочненного слоя составила – 0,4...0,8 мм, твердость – 60 HRC.

Применение механизации, обеспечивающей точное соблюдение оптимальных параметров процесса, приведет к устранению дефектов в виде раковин, микротрещин и наплывов.

Список литературы:

1. Балановский А.Е. Основные вопросы теории плазменного поверхностного упрочнения металлов (Обзор, часть 2). Упрочняющие технологии и покрытия. 2016. №1 (133). - С. 25-34.
2. Зубанов И.Ю., Блинов А.В. Новая технология изготовления штампов ОАО «ВАЗ». Материалы региональной научной конференции. Т. 2. 2014 - С. 122.
3. Коротков В.А. Опыт применения установки плазменной закалки УДГЗ-200 на предприятиях уральского региона. Автоматическая сварка. 2012. №5 (709). - С. 55-58.
4. Коротков В.А. Свойства и промышленное применение ручной плазменной закалки. Металловедение и термическая обработка металлов. 2016. №8 (734). - С. 3-9.
5. Огин П.А., Васькин К.Я. Повышение ресурса мелкоразмерного инструмента за счет модификации изнашиваемых поверхностей при помощи оптоволоконного лазера. IV Резниковские чтения: труды междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1. Тольятти: ТГУ, 2015. - С. 143–145.
6. Огин П.А., Мерсон Д.Л., Кондрашина Л.А., Васькин К.Я. Влияние режимов лазерной модификации на структуру, свойства и износостойкость мелкоразмерного инструмента из быстрорежущей стали Р6М5. Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2015. № 4 (34). - С. 83-88.
7. Xiang Y., Yu D., Li Q., Peng H., Cao X., Yao J. Effects of thermal plasma jet heat flux characteristics on surface hardening. Journal of Materials. 2015. P. 238-246.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Опубликованная статья



**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ –
ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ**

*Сборник статей по материалам
LXIX международной научно-практической конференции*

№ 4 (64)
Апрель 2017 г.

Издается с октября 2011 года

Новосибирск
2017

Рисунок Б.1 – Титульная страница сборника

СЕКЦИЯ

«МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ»

ПЛАЗМЕННАЯ ЗАКАЛКА ЧУГУНА ХФ

Васькин Кирилл Яковлевич

канд. техн. наук, доц.
Тольяттинского государственного университета,
РФ, г. Тольятти
E-mail: vaskink@mail.ru

Блинов Артур Андреевич

магистрант Тольяттинского государственного университета,
РФ, г. Тольятти
E-mail: mr.artur-1@yandex.ru

Блинов Андрей Владимирович

начальник «Технологического отдела штампов» ПАО АВТОВАЗ,
РФ, г. Тольятти
E-mail: blanvl@yandex.ru

PLASMA HARDENING HIGH-CHROMIUM CAST IRON

Kirill Vaskin

PhD, assistant professor of Togliatti State University,
Russia, Togliatti

Artur Blinov

undergraduate of Togliatti State University,
Russia, Togliatti

Andrey Blinov

head of "Technological Department of die tooling" PJSC AVTOVAZ,
Russia, Togliatti

АННОТАЦИЯ

В работе было исследовано влияние плазменной закалки на физико-механические свойства чугуна ХФ. Были определены значения микротвердости и глубины упрочненного слоя. В результате проведенных исследований было получено, что использование плазменного поверхностного термоупрочнения позволило повысить микротвердость поверхностного слоя образца более чем в 2 раза.

ABSTRACT

Effect of plasma hardening physical and mechanical properties of high-chromium cast iron in article are investigated. Values of hardness and depth of the hardened layer are determined. The use of highly concentrated energy sources makes it possible to increase the hardness of the surface layer more 2 times, as a result of our research.

Ключевые слова: плазменная закалка; термоупрочнение.
Keywords: plasma hardening; thermal hardening.

Кратковременное действие температурного фактора при закалке приводит к диспергированию структуры. Это характерно при плазменной [1, 2, 7] и лазерной закалке [5, 6]. Однако, при лазерной закалке пятно контакта лазерного луча и обрабатываемого материала меньше пятна контакта плазменной дуги с обрабатываемой поверхностью. Поэтому при больших областях закалки более производительным является метод плазменной закалки. Таким образом, при закалке штамповой оснастки предпочтительным является способ плазменного термоупрочнения.

Исследования по изучению влияния плазменной закалки проводили на чугуне ХФ, который применяют при изготовлении пуансонов и матриц формообразующих штампов холодной штамповки на ПАО «АВТОВАЗ» [2].

Плазменная закалка образца (рис. 1) была проведена на установке УГДЗ-200 [3, 4].

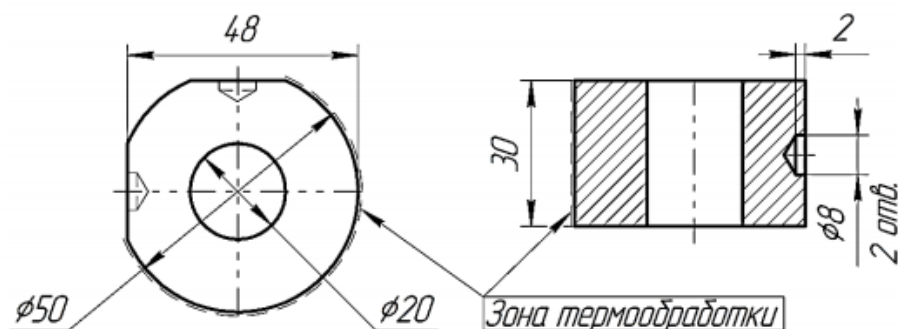


Рисунок 1. Геометрические размеры образца для плазменной закалки

Из-за того, что образец имел небольшие размеры, а его способность к отведению тепла не столь велика, то некоторые участки упрочняемой поверхности оплавились. Чтобы устранить возникшие неровности, образец шлифовали, при этом глубина резания составила порядка 0,3...0,4 мм, а шероховатость Ra0,8. После этого на электроэрозионном станке был вырезан фрагмент поверхности для того чтобы провести дальнейшие металлографические исследования.

Замеры микротвердости были проведены с помощью микротвердомера Micromet-II, структура образца изучалась на микроскопе AxioObserver.

Плазменная закалка образцов из чугуна ХФ

Внешний вид упрочненного плазменной закалкой образца из чугуна ХФ приведен на рисунке 2. На данном образце была проведена операция шлифования упрочненной цилиндрической поверхности со съемом материала толщиной 0,4 мм, затем электроэрозионным способом вырезан фрагмент поверхности для проведения металлографических исследований.

Основные параметры процесса упрочнения:

- рабочий ток дуги 150А;
- рабочее давление аргона 0,3 МПа;
- ширина закаленной зоны 10-12 мм;
- длина дуги - 20 мм;
- скорость прохода по поверхности - 0,5 м/мин.

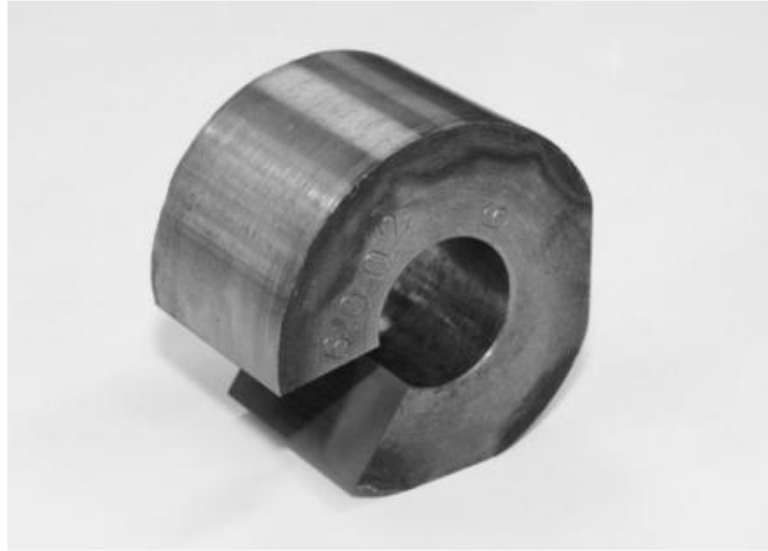


Рисунок 2. Образец из чугуна ХФ после проведения плазменной закали, шлифования, вырезки фрагмента упрочненной поверхности

Микроструктура упрочненной зоны образца из чугуна ХФ приведена на рисунке 3(а). Распределение микроструктуры от поверхности внутрь материала следующее: ледебурит, мартенсит, остаточный аустенит, троостомартенсит, цементит, графит пластинчатый по всему сечению упрочненного слоя.

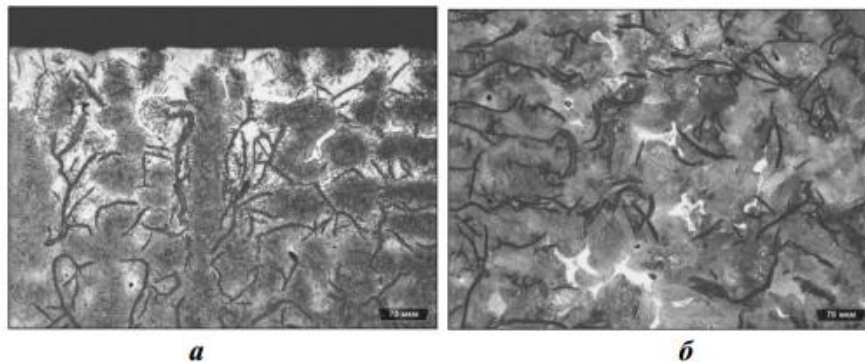


Рисунок 3. Микроструктура упрочненного слоя образца из чугуна ХФ. (а) - структура упрочненного слоя, (б) - структура сердцевины

Микроструктура сердцевины образца из чугуна ХФ представлена на рисунке 3б: перлит пластинчатый, цементит, графит пластинчатый.

Параметры упрочненного методом плазменной закалки слоя чугуна ХФ:

- глубина упрочненного слоя – 0,8...1,0 мм;
- твердость упрочненного слоя – HRC 55...58;
- структура упрочненного слоя – ледебурит, мартенсит, остаточный аустенит, троостомартенсит, цементит, графит пластинчатый;
- твердость сердцевины – HRC 26;
- структура сердцевины – перлит пластинчатый, цементит, графит пластинчатый.

Список литературы:

1. Васькин К.Я., Блинов А.А., Блинов А.В. Плазменная закалка стали Х12МФ. Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. LXVIII междунар. науч.-практ. конф. № 3(63). – Новосибирск: СибАК, 2017. – С. 58-62.
2. Зубанов И.Ю., Блинов А.В. Новая технология изготовления штампов ОАО «ВАЗ». Материалы региональной научной конференции. Т. 2. 2014 – С. 122.
3. Коротков В.А. Опыт применения установки плазменной закалки УДГЗ-200 на предприятиях уральского региона. Автоматическая сварка. 2012. № 5 (709). - С. 55-58.
4. Коротков В.А. Свойства и промышленное применение ручной плазменной закалки. Металловедение и термическая обработка металлов. 2016. №8 (734). - С. 3-9.
5. Огин П.А., Васькин К.Я. Повышение ресурса мелкоразмерного инструмента за счет модификации изнашиваемых поверхностей при помощи оптоволоконного лазера. IV Резниковские чтения: труды междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1. Тольятти: ТГУ, 2015. - С. 143–145.
6. Огин П.А., Мерсон Д.Л., Кондрашина Л.А., Васькин К.Я. Влияние режимов лазерной модификации на структуру, свойства и износостойкость мелкоразмерного инструмента из быстрорежущей стали Р6М5. Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2015. № 4 (34). - С. 83-88.
7. Xiang Y., Yu D., Li Q., Peng H., Cao X., Yao J. Effects of thermal plasma jet heat flux characteristics on surface hardening. Journal of Materials. 2015. P. 238-246.

ПРИЛОЖЕНИЕ В



Рисунок В.1 – Диплом за участие в научно-практической конференции «СТУДЕНЧЕСКИЕ ДНИ НАУКИ В ТГУ»

ПРИЛОЖЕНИЕ Г



Рисунок Г.1 – Диплом за участие в научно-практической конференции «СТУДЕНЧЕСКИЕ ДНИ НАУКИ В ТГУ»