

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные  
процессы»

(наименование)

15.04.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки)

«Производство и ремонт сварных конструкций газонефтехимического  
оборудования»

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Исследование ремонтной технологии восстановления штампов

Студент

А.А. Фирстов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент К.В. Моторин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2022

## Содержание

Введение .....	4
1 Современное состояние ремонтной наплавки прессовых штампов. ....	7
1.1 Общие сведения о производственном участке .....	7
1.2 Условия работы штамповой оснастки и требования к физико-химическим свойствам материала прессовых штампов ....	9
1.3 Анализ материалов для изготовления прессовых штампов. ....	13
1.4 Общие вопросы построения ремонтной технологии восстановления прессовых штампов .....	18
1.5 Наплавка прессовых штампов штучными электродами .....	23
1.6 Постановка задач на диссертационное исследование .....	30
2 Обоснование выбора способа восстановления штампов. ....	32
2.1 Ручная дуговая наплавка штучными электродами. ....	32
2.2 Механизированная наплавка проволокой сплошного сечения в защитных газах .....	34
2.3 Наплавка под флюсом. ....	36
2.4 Плазменная наплавка. ....	37
2.5 Наплавка порошковыми проволоками. ....	38
3 Повышение эффективности ручной дуговой наплавки штучными электродами при восстановлении штамповой оснастки. ....	41
4 Повышение эффективности механизированной наплавки порошковой проволокой при восстановлении штамповой оснастки. ....	52
4.1 Общие вопросы восстановительной наплавки порошковой проволокой .....	52
4.2 Техника наплавки порошковой проволокой .....	54
4.3 Технология наплавки штампа с применением порошковой	

проволокой .....	58
Заключение .....	67
Список используемой литературы и используемых источников .....	68

## Введение

В настоящее время при штамповке имеется возможность обработки деталей из широкого спектра материалов. При этом повышение эффективности технологических операций в металлургическом и кузнечно-прессовом производстве связано с решением задачи повышения стойкости и восстановления изношенных деталей штамповой оснастки. В этом существенная роль отводится процессам наплавки [23], [26], [27], [52].

В процессе работы на поверхности штампов образуются трещины, задиры и риски, нарушается геометрия, что объясняется действием высоких удельных давлений, износа истиранием и тепловых ударов. Экономическая эффективность ремонта штамповой оснастки с применением наплавочных технологий объясняется более низкими финансовыми затратами по сравнению с приобретением новых штампов [49].

В настоящий момент на эксплуатацию и ремонт штамповой оснастки приходится до 20 % и более расходов прессового производства. Поэтому резервы повышения эффективности отечественного производства заключаются в рациональном использовании и ремонте штамповой оснастки. Получение биметаллического штампового инструмента с применением технологии дуговой и плазменной наплавки позволяет осуществить ремонт изношенных штампов и упрочнение новых штампов. При этом наплавку можно выполнять износостойкими композиционными сплавами, которые обладают высокими эксплуатационными и физико-механическими свойствами [34], [43].

В совершенствование наплавочных технологий применительно к восстановлению штампов существенный вклад внесли учёные русскоязычного пространства: Л.Н. Бармин, В.А. Быстров, В.П. Демьяцевич, Г.В. Ксензык, И.А. Кондратьев, В.Д. Орешкин, И.К. Походня, Е.Н. Сафонов; а также западные учёные: Andrews D., Bransali K., Crook P., Dilawary A., Friedman L., Hickl A., Evans C., Johnson P. [48].

Штампы холодного деформирования могут применяться для различных технологических процессов, среди которых можно перечислить: выдавливание, вырубку, формовку, гибку, вытяжку и пр. Характер износа штампового инструмента определяется условиями его работы, в частности, преимущественно выявляются такие дефекты штампа, как налипание штампуемого материала, истирание, растрескивание, выкрашивание. Наиболее часто приходится встречаться с истиранием и возникающим при этом изменением размеров контактирующих поверхностей.

Современные штамповые стали и оптимизированные параметры их термической обработки позволяют существенно повысить стойкость штампового инструмента. Но наибольший экономический эффект позволяют получить технологии наплавки изношенных поверхностей, которые позволяют управлять содержанием в наплавленном слое легирующих элементов. Это объясняется тем, что модернизация процессаковки и термической обработки штампа является более трудоёмкой и затратной, чем применение новых наплавочных материалов и технологий. Тем более, что наплавку можно вести на основу из конструкционной стали, что существенно снижает стоимость штампа и общие затраты на его производство.

Из вышеизложенного следует признать, что организация и проведение ремонта наплавкой штампов является намного более эффективной, чем покупка нового штампа.

Различают следующие виды ремонта штампов – текущий, средний и капитальный. Вид ремонта определяется сложностью и объемом работы по исправлению дефектов штампа. Текущий ремонт предполагает проведение работ по устранению мелких дефектов, к которым можно отнести замену пружин, проволочных пунсонов, фиксаторов и упоров. Также в процессе текущего ремонта выполняют переточку затупившихся матрицы и пуансона. Для проведения текущего ремонта непосредственно в штамповом цеху специально отводят ремонтный участок. Средний ремонт обычно выполняется в инструментальном цехе и предполагает замену

вспомогательных деталей штампа или основных рабочих частей штампа. Капитальный ремонт требует полной разборки штампа и предполагает замену пуансона или матрицы, а также значительного количества вспомогательных деталей. Трудоёмкость и стоимость капитального ремонта штампа может составлять 60...75 % трудоёмкости и стоимости изготовления нового штампа [9], [33], [51].

Необходимость повышения экономических показателей производства требует уменьшения простоев оборудования. Поэтому поиск эффективных и оперативных способов восстановления штампов с применением наплавки материалами повышенной прочности является актуальным [3], [47], [57], [59]. Однако при этом следует учитывать характерные дефекты, появляющиеся на наплавленных поверхностях, к которым можно отнести: шлаковые включения, трещины и поры. В условиях переменного температурного и силового воздействия эти дефекты являются локальными концентраторами напряжений и могут значительно снизить долговечность штампа. В связи с этим следует признать необходимость применения перспективных способов восстановления деталей машин [2], [13], [16], [44], [45] применительно к прессовым штампам.

Диссертационное исследование посвящено исследованию технологии восстановительной наплавки штампов. На основании вышеизложенного следует сделать вывод об актуальности выбранной темы диссертационного исследования.

Объектом исследования является технология наплавки при восстановлении штампов. Предметом исследования являются способы и режимы наплавки, наплавочные материалы, которые могут быть применены при ремонте штампов.

Цель диссертационного исследования – повышение эффективности наплавочных работ при ремонте прессовых штампов.

# 1 Современное состояние ремонтной наплавки прессовых штампов

## 1.1 Общие сведения о производственном участке

На предприятии выполняется обработка металла толщиной от 0,8 до 2,5 мм, который поступает в виде рулонов и складывается около цеха. Заправку рулона листового материала в рулонницу выполняется с использованием мостового крана, после чего начало ленты подводят под подающий валок.

Перед резкой лист промывают с использованием солянки, смывая с него грязь и масло. После этого лист выправляют, отрезают с применением механических ножниц до нужного размера и штабелируют. При помощи фотоэлемента контролируют высоту штабеля. По достижении заданной высоты штабелер отключают, нарезанные металлические листы снимают с использованием крана и подают к прессам, как показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Прессы двойного действия

Прессы для обработки металлических заготовок расположены по участку цеха и позволяют максимально автоматизировать производство. Применяются т.н. прессы «двойного действия». При движении вниз ползун выполняет поджатие металлического листа, после чего происходит сама штамповка. Перемещение заготовок от одной операции к другой происходит

автоматически. Переналадку прессов и отслеживание корректности их работы осуществляет оператор-наладчик, который закреплён сразу за несколькими прессами.

На предприятии выпускается около 2000 наименований штампованных деталей: панели крыши, панели передка, усилители пола, удлинители, кронштейны, лонжероны, крылья, арки, панели дверей и боковины.

Основным рабочим инструментом является штамповая оснастка, пример которой представлен на рисунке 2. Повышение производительности при переналадке прессов на следующую деталь достигается правильным хранением штампов. При небрежном обращении со штампом он может быть повреждён. Запрещено хранить штампы около прессов, так как это приводит к загромождению рабочей площади, затруднению поиска нужного штампа и потере его частей.



Рисунок 2 – Примеры штамповой оснастки

Для хранения штампов предназначены специальные места. Штампы малого и среднего размера следует хранить на специальных стеллажах. Штампы большого размера следует хранить на деревянных брусках, предусматривая возможность снятия штампа вилочным погрузчиком.



Каждый штамп имеет клеймо, на котором содержится информация о индексе операции, инвентарном номере прессы, номере штампуемой детали. Окрашивают определённым цветом нерабочую поверхность каждого штампа, цвет выбирают в соответствии со штампуемым изделием.

После того, как штамп снимут с прессы, следует предъявить сам штамп и несколько последних изделий контролёру ОТК, который принимает решение о возможности повторного использования штампа и ставит соответствующую отметку в карточке штампа. В случае необходимости штамп направляют в ремонт или на переточку.

Хранение штампов осуществляют в сомкнутом виде, при этом между рабочими частями штампов следует уложить одну отштампованную деталь или деревянную прокладку. Хранение крупных штампов может осуществляться в несколько ярусов, но не более трёх, при этом штампы на верхних ярусах должны быть не больше штампов на нижних ярусах.

## **1.2 Условия работы штамповой оснастки и требования к физико-химическим свойствам материала прессовых штампов**

Объёмная штамповка, вырубка и резка могут считаться наиболее нагруженными операциями из всех видов холодной штамповки. Это объясняется сложноподвижным состоянием инструмента в процессе работы и значительными удельными давлениями [34], [43].

В процессе работы штамповый инструмент испытывает воздействие изгибное, сжимающее, кручение и прочие виды деформирования. При высадке, прессовании и объёмной штамповке наблюдается значительное повышение температуры штампового инструмента, зависящее от производительности (числа ходов в минуту). При штамповке с ручной подачей заготовок температура штампа может повыситься до 100 °С, а при автоматической подаче – до 280...300 °С. Такой нагрев приводит к дополнительному износу штамповой оснастки, стойкость которой в

большинстве случаев может быть признана неудовлетворительной. Повышение ресурса штамповой оснастки сопряжено со значительным расходом дефицитных легирующих элементов на её производство.

Кроме того, износ рабочей поверхности штампов и изменение его геометрии нарушают нормальную работу штампов. Вследствие этого на 15...20 % возрастают действующие на штамп нагрузки. В результате возрастания нагрузок от расчётных значений в опасных сечениях штампа начинают зарождаться трещины, которые впоследствии приводят к его разрушению [23], [15], [36].

Вследствие того, что теплопроводность легированных сталей, которые применяются для изготовления штамповой оснастки, существенно ниже, чем теплопроводность нелегированных сталей. Из-за этого на рабочей поверхности штампового инструмента возникает значительный градиент температуры, который способствует появлению дополнительных растягивающих напряжений и образованию микротрещин – наблюдается т.н. «тепловая усталость» металла штампа [4], [5], [20], [33], [34]. Исходя из этого одним из требований к материалу для изготовления штампов является теплостойкость до 450 °С [33], [34].

Таким образом, необходимыми свойствами сталей для изготовления и наплавки штампов являются [15]: теплостойкость, твёрдость, износостойкость, вязкость.

На теплостойкость стали влияет стабильность металлической матрицы и содержание в ней химических элементов. Теплостойкость стали повышается при повышении температуры её фазового превращения.

Другим необходимым свойством стали является твёрдость, которая должна быть существенно выше твёрдости обрабатываемого материала. Твёрдость штамповой стали определяется, в основном, содержанием в ней углерода и температурой, до которой происходит нагрев инструмент в процессе работы. При повышении температуры прочность и твёрдость стали

снижаются. Также твёрдость штамповой стали можно повысить за счёт остаточного аустенита и эффективным дисперсионным твердением [4], [60].

Износостойкость может быть признана самой важной характеристикой штамповой стали, которая в значительной степени определяет долговечность инструмента для холодной штамповки [15]. Износостойкость штамповой стали определяется её твёрдостью, а также количеством и качеством карбидов и остаточного аустенита. При распаде мартенсита износостойкость резко снижается, поэтому для изготовления штампов следует применять стали, устойчивые по отношению к отпуску.

Штамповый инструмент, работающий в условиях динамического нагружения, должен обладать значительным запасом вязкости. Поскольку вязкость и износостойкость могут считаться противоположными свойствами материала, следует увеличивать вязкость штампового инструмента без снижения его твёрдости. Это может быть достигнуто путём получения как можно более мелкого зерна в структуре металла штампового инструмента, легированием металла молибденом, введением легирующих микродобавок, улучшением состояния границ зёрен металла. Вязкость штамповых сталей определяется несколькими факторами. Первый – процентное содержание углерода в стали; второй – содержание легирующих элементов; третий – величина и количество неметаллических включений; четвёртый – величина зерен аустенита; пятый – количество, распределение и дисперсность карбидов [1], [6], [10], [19].

Износ и разрушение штампов происходит главным образом в поверхностном слое штампа. Из-за механического истирания и абразивного воздействия заготовок в ходе контактного трения наблюдается потеря массы, изменяются форма и размеры штампа, разупрочняется материал, сминаются контактные поверхности, появляются макронесплошности (выкрашивания, усталостные трещины).

По характеру процессов, протекающих в поверхностных слоях при трении, можно выделить несколько видов износа, из которых применительно

к штамповому инструменту для вырубных, режущих гибочных и др. операций основными являются механический, молекулярно-механический (схватывание I рода) и окислительный [15], [36], [49].

Первый вид изнашивания – механический – проявляется в виде выкрашивания или локальных пластических деформаций. Этот вид износа объясняется абразивным влиянием продуктов износа на штамповую оснастку.

Второй вид изнашивания – молекулярный – объясняется проявлением сил молекулярной связи, в результате действия которых образуются очаги схватывания штамповой оснастки с обрабатываемой деталью.

Третий вид изнашивания - окислительный – объясняется химическим взаимодействием металла штампа со средой или смазкой.

Указанные виды разрушения, как правило, не встречаются в «чистом» виде, а развиваются либо одновременно, либо появление одних является следствием наличия других. Интенсивность и преобладающий вид износа контактирующей поверхности зависит от эксплуатационных, конструктивных, технологических особенностей процесса штамповки и, в конечном итоге, определяется совокупностью, всех факторов [8], [19], [34].

Стойкость штампа определяется количеством ходов (штамповок), которые выполняет штамп в течение всего времени от заточки до заточки, от заточки до ремонта или от ремонта до ремонта. Также в качестве стойкости штампа может приниматься общее количество ходов до полного износа штампа.

Стойкость прессового штампа определяется действием следующих факторов:

- конструкция штампа;
- технологичность конструкции штампуемой детали;
- условия эксплуатации штампа;
- свойства штампуемого материала;
- материал, из которого сделаны рабочие детали штампа;

- особенности технологического процесса штамповки;
- качество изготовления штампа.

Увеличение стойкости штампа позволяет снизить простои оборудования и достигнуть существенного сокращения потерь рабочего времени на проведение ремонта, увеличить количество деталей, полученных с одного штампа и существенно повысить эффективность производства.

### **1.3 Анализ материалов для изготовления прессовых штампов**

Разнообразие технологических операций холодного деформирования металла и существенно различающиеся условия работы инструмента не позволяют использовать универсальные стали и сплавы, что привело к специфичности использования марок сталей в зависимости от условий работы инструмента [14], [34].

Обработка металлов давлением производится с применением инструментов (ролики, валики, пуансоны, штампы), которые изготавливают из специальных – штамповых сталей. Исходя из условий работы, эти стали могут быть разделены на две группы. К первой группе относят стали для изготовления инструментов, деформирующих металл в холодном состоянии. Ко второй группе относят стали для изготовления инструментов, деформирующих металл в горячем состоянии.

Для штампов, деформирующих металл в холодном состоянии, необходимо применять сталь с высокими показателями износостойкости, твёрдости и прочности, при этом сталь должна обладать необходимым запасом вязкости и быть теплостойкой [14], [15]. Химический состав штамповых сталей регламентируется ГОСТ 5950 и представлен в таблице 1. Штамповые стали могут быть разделены на несколько групп в зависимости от химического состава. К первой группе принадлежат высокоуглеродистые стали (У8А, У10А и 45Л), ко второй группе относят низколегированные стали (40Х, 30Г), к третьей группе относят высокохромистые стали (Х12М,

X12Ф1), к четвёртой группе относят комплекснолегированные стали с пониженным содержанием хрома (4Х5МФС, 9ХС, ХГСВФ, 5ХНМ), к пятой группе относят высоковольфрамовые стали (3Х2В8Ф), к шестой группе относят дисперсионно-твердеющие сплавы (40Х5МФ), к седьмой группе относят твердосплавные штамповые стали (Р6М5).

Таблица 1 – Содержание химических элементов в наиболее применимых штамповых сталях

Марка стали	углерод	марганец	кремний	хром	Прочие элементы
45Л	0,42...0,50	0,50...0,80	0,20...0,42	0,30	никель – 0,30 сера – 0,06
У8А	0,75...0,84	0,15...0,30	0,15...0,30	0,15	сера – 0,03 фосфор – 0,0035
У10А	0,95...1,04	-	-	-	сера – 0,03 фосфор – 0,0035
40Х	0,36...0,44	0,15...0,80	-	0,80...1,0	сера – 0,005 фосфор – 0,005
Х12М	1,45...1,70	0,35	0,40	11,50...12,50	молибден – 0,4...0,6 ванадий – 0,15
9ХС	0,85...0,95	0,30...0,60	1,20...1,60	0,95...1,25	-
3Х2В8Ф	0,30...0,40	0,15...0,40	0,15...0,40	2,20...2,70	ванадий – 0,2...0,5
6ХВГ	0,55...0,70	0,90...1,20	0,15...0,35	0,5...0,8	вольфрам – 0,5...0,8 молибден – 0,3
Р6М5	0,85...0,95	-	-	3,00...3,60	молибден – 3,6...5,0
40Х5МФ	0,35...0,45	0,50...0,80	0,17...0,37	4,50...5,50	молибден – 1,2...1,6 ванадий – 0,4...0,6

По степени прокаливаемости штамповые стали могут быть разделены на четыре группы [43]. К первой группе следует отнести стали такие стали, как У8А и У10А, являющиеся углеродистыми инструментальными сталями небольшой прокаливаемости (критический диаметр составляет до 25 мм). Ко второй группе следует отнести такие стали, как 9ХС, 6ХВГ, которые являются легированными сталями повышенной прокаливаемости (критический диаметр составляет 40...50 мм). К третьей группе следует отнести такие стали, как Х12М, Х6ВФ, являющиеся высокохромистыми сталями высокой прокаливаемости (критический диаметр составляет до 80 мм), эти стали характеризуются высокой износоустойчивостью. К четвёртой

группе можно отнести такие стали, как 9ХС, 5ХВГ, являющиеся легированными сталями повышенной вязкости.

Вырубку-пробивку, а также обрезку деталей, которые имеют простую форму и толщину 3...4 мм, выполняют пунсонами и матрицами, для изготовления которых применяется углеродистая сталь У8А или У10А. Вместо этих сталей может применяться сталь 5ХГС, которая обладает большей износостойкостью.

В случае, если обрабатываемая деталь имеет сложную форму, прессовые штампы изготавливают из высокохромистых сталей Х12М.

В углеродистых и высокохромистых сталях повышение содержания карбидной фазы при сухом трении скольжения повышает износостойкость, что представлено в таблице 2. Однако, износ сталей определяется как количеством карбидной фазы, так и ее строением. Увеличение количества карбидной фазы при одинаковом строении и расположении карбидов способствует повышению износостойкости при трении [11], [12], [15], [29].

Увеличение количества карбидной фазы в наплавленных сталях холодного деформирования приводит к снижению ударной вязкости и увеличению склонности стали к появлению трещин, однако при одновременном увеличении количества остаточного аустенита трещины появляются за меньшее количество циклов, что видно по данным, представленным в таблице 3. Т.е. пластичность аустенитной фазы способствует более медленному развитию трещин [15].

Таблица 2 – Зависимость относительной износостойкости и ударной вязкости наплавленного металла от количества карбидной фазы [15]

Марка стали	Содержание карбидной фазы, %	Относительная износостойкость	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup>
У8	2,2	1,0	25
Х12М	15,6	1,2	14
8Х4ГСВ4Ф	11,4	4,35	30
8Х3ГСВ2Ф	9,45	4,0	32
7Х3ГСМ	5,66	3,1	29
7ХГ2ВФМ	4,04	2,4	38

Таблица 3 - Стойкость к усталостному разрушению наплавленного металла в зависимости от содержания карбидной фазы и остаточного аустенита

Марка стали	Количество, %		Число циклов до	
	карбидной фазы	остаточного аустенита	появления трещин, $\cdot 10^6$	Разрушения, $\cdot 10^6$
X12M	15,6	30,0	3,4	3,6
7ХГ2ВФМ	10,9	15,0	4,8	6,1
8Х4ГСВ4Ф	11,1	5,0	4,5	5,8

Сопротивление усталостному разрушению – структурно чувствительная характеристика, зависящая от характера карбидной фазы и величины зерен матрицы. Поэтому по малоцикловой усталости можно оценить степень влияния химического состава и термообработки на долговечность деталей [11].

Химический состав и режимы термической обработки наиболее часто используемых сталей для изготовления прессовых штампов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Свойства пуансонов, изготовленных из сталей различных марок [15]

Марка стали	Температура закали, °С	Охлаждающая среда	Температура отпуска, °С	Твёрдость после закали и отпуска, HRC
У8А	750...800	вода + масло	140...200	56...62
У10А	770...790	вода + масло	140...250	56...64
X12M	1000...1030	масло	190...350	57...62
9ХС	860...880	масло	140...220	58...65
ХГВ	860...880	масло	140...220	58...65
Р6М5	1200...1230	масло	560...580	63...65
5ХГС	840...880	масло	550...580	41...47
40Х	820...840	вода + масло	140...180	56...60
Сталь 45	820...840	вода + масло	140...180	56...60

Самое широкое применение для отрезных и выдавливающих прессовых штампов получила сталь X12M – инструментальная штамповая сталь, являющаяся высокохромистой, износостойкой и обладающей глубокой прокаливаемостью.



Высокая износостойкость стали X12M объясняется наличием большого числа карбидов  $(CrFe)_7C_3$  согласно данным в таблице 2. По механическим свойствам сталь X12M близка к быстрорежущим сталям. Правильный выбор оптимальной температуры закалки стали X12M определяет её свойства после окончания термической обработки. Повышение температуры закалки увеличивает растворимость карбидов повышает содержание хрома и углерода в остаточном аустените [11], [15].

Сталь X12M обладает плохой свариваемостью, поэтому для изготовления сварных конструкций не применяется. Но может быть использована в качестве наплавленного слоя при восстановлении деталей машин, в частности, восстановлении прессовых штампов.

При наплавке стали X12M необходимо учитывать трудности, причиной которых является высокое содержание углерода (1,45...1,70 %). К этим трудностям следует отнести значительную склонность наплавленного металла и околошовной зоны к образованию горячих и холодных трещин. Частично уменьшить вероятность образования холодных трещин можно при предварительном подогреве наплавляемой детали до температуры 400...550 °C и последующем замедленном охлаждении. Но горячие трещины предварительным нагревом при наплавке стали X12M не устраняются.

Появление горячих (кристаллизационных) трещин при наплавке стали X12M объясняется появлением при кристаллизации карбидных эвтектик, имеющих низкую температуру плавления. При этом нужно учитывать, что увеличение содержания углерода более 1,7 % приводит не к повышению, а к снижению склонности к горячим трещинам, это объясняется значительным количеством образующейся легкоплавкой эвтектики, которая свободно перемещается между закристаллизовавшимися зёрнами аустенита и залечивает трещины [46].

Наплавленный слой из стали X12M имеет относительно невысокую твёрдость, которая составляет 40...44 HRC. Такая незначительная твёрдость объясняется значительным количеством остаточного аустенита в структуре

наплавленного металла. Увеличения твёрдости до 55...60 HRC достигают при высоком отпуске с температурой 500...550 °С. Для того, чтобы получить возможность механической обработки наплавленного слоя, следует выполнить отжиг изделия после наплавки. Для отжига принимают следующий термический цикл: нагрев до 870...900 °С, выдержка 1,0...2,0 ч, охлаждение до 700 °С вместе с печью, выдержка 5...8 часов, остывание до комнатной температуры на воздухе. После такого отжига твёрдость наплавленного слоя составляет всего 25...29 HRC. После механической обработки изделия выполняют закалку с последующим отпуском.

#### **1.4 Общие вопросы построения ремонтной технологии восстановления прессовых штампов**

Сложность и объём работ по восстановлению прессового штампа определяют характер предстоящего ремонта, который может быть текущим, средним или капитальным.

При текущем ремонте прессового штампа выполняется устранение мелких дефектов: замена проколочных пуансонов, пружин или фиксаторов, а также переточка затупившихся пуансона и матрицы. Мелкий ремонт, как правило, выполняют на ремонтном участке, для которого отводят специальное место непосредственно в штамповочном цехе.

Средний ремонт прессовых штампов обычно выполняют в инструментальном цехе. При среднем ремонте заменяют несколько вспомогательных деталей штампа или одну основную часть штампа.

Проведение капитального ремонта прессового штампа предусматривает полную его разборку. При этом значительную часть деталей штампа заменяют на новые или ремонтируют. Проведение капитального ремонта штампа сопряжено со значительными финансовыми и трудовыми затратами, объём которых достигает 60...70 % стоимости

приобретения нового штампа. Выполняют замену матриц и пуансонов, а нижнюю и верхнюю плиты – оставляют.

Перед проведением ремонта прессового штампа необходимо выполнить тщательный осмотр самого штампа и бракованной детали, который позволит установить причины брака и вид дефекта, предположить объёмы и характер предстоящих ремонтных работ. В ходе осмотра следует заполнить акт о выходе штампа из строя из-за аварии или карту дефектов.

Если причиной выхода из строя штампа являлась авария, (в качестве примера можно привести сломанную матрицу, представленную на рисунке 3) проведение ремонта предусматривает изменение конструкции штампа. Для этого необходимо разработать технологический процесс ремонта и составить ремонтные чертежи. При этом следует выяснить целесообразность проведения ремонта, так как его стоимость может оказаться выше стоимости приобретения нового штампа, а результаты ремонта – неудовлетворительными (в частности, продолжительность работы отремонтированного штампа не позволит использовать его в массовом производстве). Следует также принимать во внимание срочность проведения ремонта. Если поставка нового штампа может затянуться по срокам, то ремонт вышедшего из строя штампа будет актуален даже при малом сроке его службы.



Рисунок 3 – Пример вышедшего из строя штампа в результате аварии – разрушение штампа

При ремонте штампов всегда следует рассматривать возможность использования уже имеющихся частей штампа вместо изготовления и приобретения новых.

Проводить испытания штампа должен персонал, способный выявлять дефекты штампов, определять их природу и причины возникновения. Количество пробных деталей при испытаниях штампов должно быть не менее 50...70 штук. В противном случае невозможно получить полного представления о работе штампа. В случае получения деталей неудовлетворительного качества следует прекратить эксплуатацию штампа и снять его с прессы для исправления дефектов.

Одной из самых распространенных причин появления дефектных деталей при обработке металлов давлением является неправильная установка штампа в прессе [37]. Поэтому перед проведением ремонта штампа следует исключить эту причину появления дефектных деталей.

О факте неправильной установки штампа в прессе свидетельствуют характерные признаки. Первым признаком является блестящая поверхность среза с одной стороны обрабатываемой детали, которая сигнализирует о недостаточной величине зазора с этой стороны. Вторым признаком является повышенное одностороннее трение на направляющих колонках прессы. Также может наблюдаться быстрое затупление режущих кромок пуансонов и матриц со стороны перекоса.

Наличие перекоса стола прессы можно определить экспериментально, если выполнять пробные вырубki при повернутом на 180° штампе. В этом случае грат и одностороннее трение начинает проявлять себя с другой стороны детали. Также перекос стола прессы можно определить путём проведения измерений зазора между столом прессы и штампом при помощи щупа.

При загрязнении подаваемой полосы металла режущие кромки штампа истираются с повышенной скоростью, происходит рубка неполных деталей,

возникает опасность заклинивания полосы материала, расшатывания и поломки пуансонов.

При износе штампа или при его низком качестве на обрабатываемой детали обнаруживаются различные дефекты, представленные на рисунке 4: нарушение формы заготовки (её изгиб, морщины и складки на поверхности, волнистость и задиры на отогнутой части, заготовка не садится правильно на фиксатор, неодинаковая ширина фланца), нарушение поверхности детали (наличие блестящих следов на поверхности вытягиваемой детали, разрыв поверхности детали, прогиб дна вытяжки, резкие оттиски на поверхности детали).

При износе пуансонов вырубных и дыропробивных штампов происходит затупление их режущих кромок. В этом случае следует выполнить переточку рабочей части штампа, величина которой составляет 0,1...0,15 мм, таким образом, один вырубной или дыропробивной штамп за весь срок службы выдерживает 15...25 переточек, после чего следует выполнить его замену или ремонт наплавкой [30].



Рисунок 4 – Примеры дефектов деталей при износе прессового штампа

Повышение стойкости штампового инструмента холодного деформирования и снижение расходов на изготовление деталей обеспечивается использованием перспективных материалов с повышенной износостойкостью и оптимизацией параметров обработки материалов давлением.

Зарождение разрушения чаще всего происходит на поверхности прессового штампа [15], [35], поэтому различные виды химико-термической обработки (цементация, азотирование, нитроцементация, хромирование, борирование, комплексное насыщение), которые придают ряд специфических свойств поверхностному слою, позволяют существенно увеличить повышения срок службы прессовых штампов.

При изготовлении и упрочнении штампового инструмента часто используют закалку ТВЧ (объемную и поверхностную), обеспечивающую высокую износостойкость и прочность поверхности (до 4-6 раз) при достаточной прочности основы.

Одним из наиболее эффективных способов изготовления и восстановления штампового инструмента является наплавка. По сравнению с другими способами, повышения стойкости штампов (химико-термические методы, закалка ТВЧ и др.), наплавка комплекснолегированными сплавами позволяет не только изготавливать новые детали, но и многократно восстанавливать изношенные. При рационально подобранном составе наплавленного металла она позволяет повысить также межремонтную стойкость инструмента. Наибольшее применение при восстановлении штампового инструмента находят дуговые способы наплавки, для которой существует широкая номенклатура типов и конструкций наплавочных материалов, в частности, широкое применение, несмотря на присущие недостатки, нашла наплавка порошковыми лентами и проволоками.

Широко известны работы в этой сфере ученых ИЭС им. Е.О. Патона, ГВУЗ «ПГТУ», ЗНТУ, НТУУ «КПИ им. И.И.Сикорского», ДДТУ, НУК им. адм. С.О. Макарова, ДГМА и др. [31], [39], [53], [55], [58], которые внесли

существенный вклад в изучение металлургии процессов наплавки и массопереноса, развитие теории и практики проектирования и разработки составов и конструкций порошковых проволок и лент, а также технологию их производства и наплавки композиционными сплавами поверхностей с особыми свойствами.

Большое внимание, уделяемое известными учеными вопросам повышения стойкости штампового инструмента и экономии дефицитных легирующих элементов, а также совершенствованию способов изготовления порошковых проволок, их сварочно-технологических свойств, технологий наплавки и последующих видов упрочнения говорит о целесообразности дальнейшего развития математических методов их моделирования и расчета и других исследований в этом направлении. Поэтому анализ особенностей легирования, структуры и термообработки известных штамповых сталей следует проводить с учетом возможности получения рабочего слоя инструмента путем наплавки.

### **1.5 Наплавка прессовых штампов штучными электродами**

Изношенные изделия перед отправкой на участок сварки для ремонта должны быть очищены ветошью от загрязнений и масла. Удаление следов износа необходимо производить механической обработкой (точением, фрезерованием, шлифованием). Промывка изделий осуществляется на установке мойки штампов.

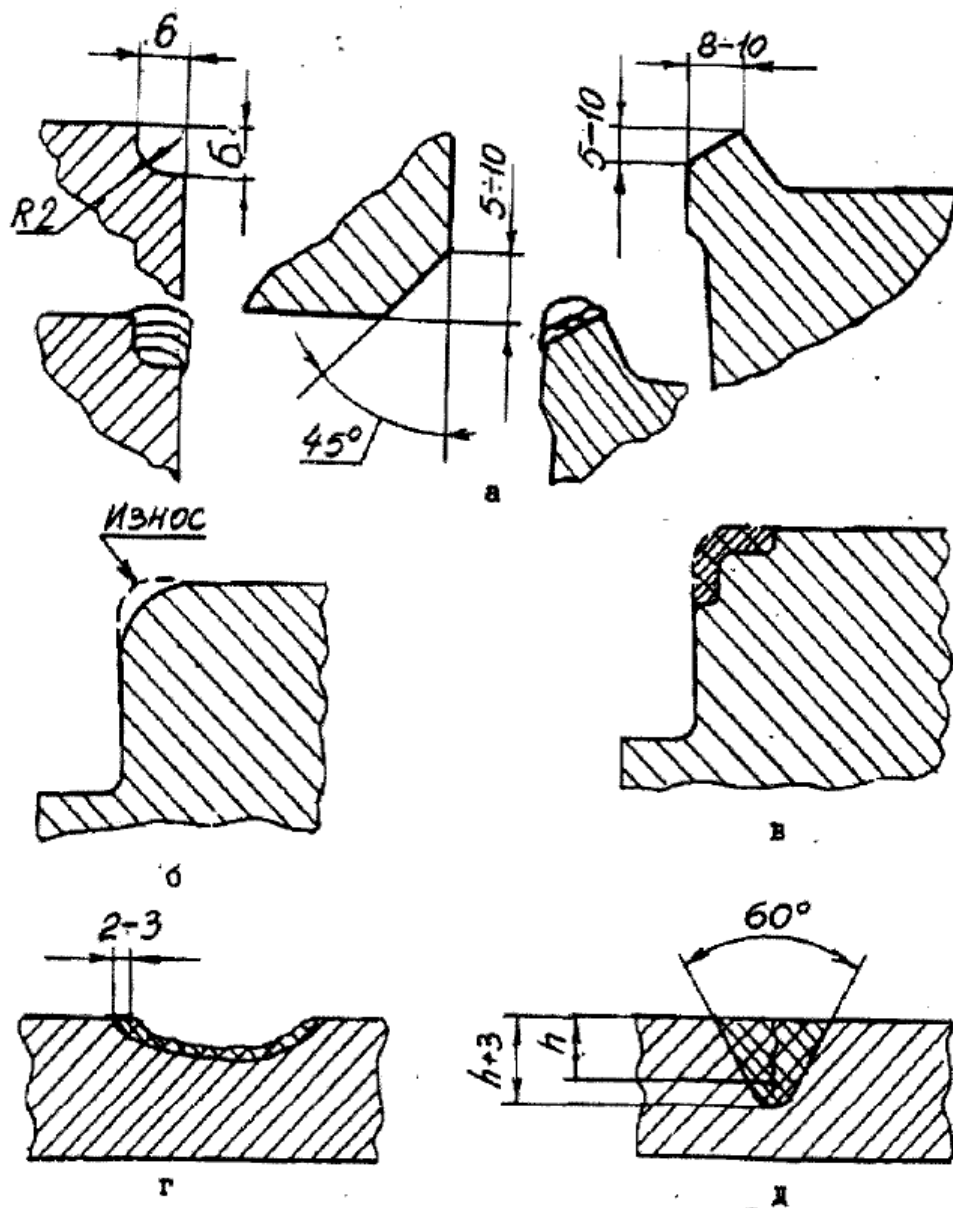
Перед началом разделки трещины концы ее необходимо засверлить.

После очистки от загрязнений и масел дефектные места (изношенные поверхности, выбоины, сколы и др.) разделать под сварку (наплавку) механическим способом на глубину до «чистого» металла. Примеры разделки дефектных мест приведены на рисунке 5.

В процессе наплавки, в зависимости от конфигурации и габаритов, детали могут деформироваться (коробиться). Для предотвращения

коробления и снятия остаточных сварочных напряжений необходимо применять специальные технологические приемы:

- рациональные технологические процессы сварки;
- предварительный подогрев и отжиг металла;
- отжиг или отпуск конструкции после наплавки;
- проковку или обжатие наплавленных швов;
- создание обратных деформаций;
- закрепление отдельных элементов конструкции в процессе наплавки.



*а* – режущие кромки; *б* и *в* – большой износ при криволинейной поверхности;  
*г* – выбоины; *д* – трещины

Рисунок 5 – Разделка поверхности штампа под сварку и наплавку



Пуансоны, прошивки, матрицы, имеющие затупления рабочей кромки, должны пройти механическую подготовку резанием до чистого металла по всему периметру, как показано на рисунке 5-а.

В случае повторного восстановления методом наплавки отработанных деталей штампов, необходимо производить разделку со снятием поверхностного слоя металла для удаления наклепанного, устаревшего и пораженного микро- и макротрещинами металла на глубину до слоя основного металла. Причем, при последующих повторных ремонтах, глубина разделки должна увеличиваться (количество ремонтов следует ограничить от семи до десяти) [42].

Для восстановления штампового инструмента применяется ряд электродов. При выборе марки электродов для наплавки необходимо учитывать свойства и химический состав основного металла. При этом необходимо, чтобы наплавленный металл по своим свойствам (твердости, теплостойкости и др.) был не хуже основного металла. Марки электродов и свойства наплавленного металла (согласно паспортным данным на эти электроды) приведены в таблице 5 [42].

Для наплавки деталей штампов целесообразно использовать электроды диаметром 2,5; 3,0; 4,0; 5,0 мм.

Перед использованием электроды следует проверить по сертификату на соответствие выбранной марки. Хранить электроды необходимо в сухом помещении и при необходимости прокалывать их при температуре от 250°C до 300 °C в течение двух часов.

При получении каждой новой партии электродов необходимо проверять их технологические свойства в соответствии с требованиями ГОСТ 10052. Не допускается использование электродов с отколотой обмазкой и обмазкой, имеющей пористую поверхность. Это может привести к нарушениям химического состава наплавленного металла.

Таблица 5 – Электроды для ремонтной сварки и наплавки прессовых штампов

Марка электрода	Тип электрода	Наименование и область применения	Свойства наплавленного металла		
			Обрабатываемость режущим инструментом	Вид термообработки после наплавки	Твёрдость HRC после термообработки
ОШЗ-1	Э-16Г2ХМ	Наплавка молотовых, высадочных штампов, в качестве подслоя	Без отжига	Отпуск 400...500 °С	37...41
ОШЗ-3	Э-37Х9С2	Наплавка и обрезных вырубных штампов	После отжига при 700 °С	1. Отпуск 450 °С 2. Закалка 1000 °С и отпуск 450 °С	54...59

Выполнению наплавочных работ предшествует задание толщины наплавки и расположения наплавки. При этом следует учитывать величину износа и припуск на механическую обработку.

В зависимости от марки стали, твердости восстанавливаемой поверхности, обусловленных характером работы инструмента, выбор электродов для наплавки производится по таблице 5.

Диаметр электрода выбирается в зависимости от удобства наплавки и требуемой толщины наплавленного слоя. При заварке трещин диаметр электрода не должен превышать ширины основания разделки.

При выполнении наплавки следует накладывать один или несколько слоев, при этом каждый предыдущий валик должен перекрываться последующим валиком на 1/3 от диаметра. Каждый валик после наложения следует обязательно очистить от шлака. Также каждый валик следует проковывать молотком массой 0,5 кг, что позволит уплотнить металл валика и уменьшить остаточные напряжения.

Ручную дуговую наплавку лучше производить на постоянном токе обратной полярности. Сварочный ток выбирается в зависимости от марки и диаметра электрода.

При восстановлении штампового инструмента ручной дуговой наплавкой, наплавку следует вести на короткой дуге, вследствие повышенного выгорания легирующих элементов, особенно углерода.

Деталям штампов после наплавки необходимо обеспечить медленное охлаждение в нагретой печи или в ящике с чугунной стружкой.

При большой толщине наплавленного слоя на кромках обрезных штампов рекомендуется нижние слои выполнять электродами ОЗШ-1, после чего заполнять легированным электродом требуемой твердости. При наличии на концах разделок засверловки их заваривают в первую очередь.

При наплавке кромок обрезных штампов разделка должна быть такой, чтобы можно было наплавить не менее трех валиков, как показано на рисунке 5-а. На рисунке 1.5 показан порядок наложения валиков при наплавке кромок электродом диаметром 4 мм.

При наличии местного износа кромки, наплавку следует производить в вертикальном положении так, чтобы избежать возможности возникновения подрезов, как показано на рисунке б.

Для наплавки применяется источник питания – сварочный выпрямитель ВД-306.

Электроды для наплавки штампов разделяются на три группы [14]. К первой группе относят электроды ОЗШ-1, ЭН-60, ЭН-60М и ЦМ-4, наплавленная которым поверхность сохраняет свою износостойкость при температуре до 400 °С. Ко второй группе относят электроды УОНИ-13/НЖ, ЦМ-5, ЭШГ, Ш-1, являющиеся высоколегированными на основе хрома, при наплавке которыми образуется самозакаливающийся слой, сохраняющий износостойкость при температуре до 500 °С. К третьей группе относят электроды ОЗИ-3, ОЗИ-2, ЦМ-1М, К-53, легированные вольфрамом и

молибденом, наплавка которыми позволяет получать слой по составу близкий к быстрорежущим сталям.

Если необходимо наплавлять слой толщиной более 10 мм, следует применять комбинированную наплавку, применяя наложение наплавочных слоёв с использованием электродов различных марок. Для выполнения нижних слоев применяют электроды ОЗИ-1, для верхних – электроды марок ЭН-60М или ОЗИ-3.

С целью повышения стойкости разделительных, обрезных и пробивных штампов в промышленности применяется упрочняющая и восстановительная электродуговая наплавка электродами марок ЭН-60, ЭН-60М, ЦМ-5, ОЗШ-3, ОЗШ-4 [14], [15].

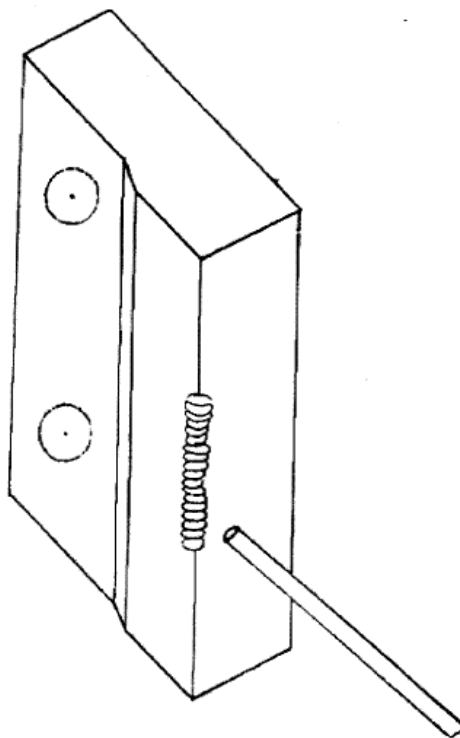


Рисунок 6 – Наплавка кромки в вертикальном положении

В ряде случаев штампы холодной штамповки наплавляют также электродами, предназначенными для наплавки штампов горячей штамповки или для наплавки режущего инструмента [4], [5], [21], [50].

Использование для холодных штампов теплостойкого металла, получаемого при наплавке горячих штампов или режущего инструмента, оправдывается тем, что в условиях холодной штамповки режущие кромки штампов нагреваются до температур, достигающих 600...680 °С и выше. И поэтому стойкость штампов холодной штамповки в значительной мере возрастает с увеличением теплостойкости сплавов, применяемых не только для штампов горячей штамповки или для режущего инструмента, но и для холодных штампов.

При наплавке прессовых штампов всё более широкое применение находят наплавочные материалы с эффектом вторичного твердения. Эксплуатационные свойства наплавленного такими электродами металла превышают свойства инструментальных сталей.

После наплавки и охлаждения на воздухе с применением электродов, обеспечивающих перлитно-сорбидную структуру наплавленного слоя (за счёт небольших добавок углерода, хрома, молибдена, ванадия), возможно получение твёрдости наплавленного металла 200...300 НV. Японской промышленностью предлагаются электроды DF2F и DF2B.

Кроме перлитно-сорбитных электродов широко применяются мартенситные электроды, которые можно разделить на четыре группы: низколегированные мартенситные, борсодержащие мартенситные, аустенитно-мартенситные и хромистые (13% Cr и более).

Первая группа – низколегированные мартенситные электроды позволяют получать наплавленный слой с содержанием в структуре мартенсита, бейнита и сорбита. По мере повышения количества мартенсита увеличивается твёрдость и износостойкость. Эти электроды имеют относительно малое легирование, в основном, углеродом и хромом. К этой группе можно отнести электроды DF2B, DF3F, DF3B. Наплавленный этими электродами металл существенно снижает свою твёрдость и износостойкость при отпуске. Также твёрдость существенно снижается при многослойной наплавке.

Вторая группа – борсодержащие мартенситные электроды позволяют получать наплавленный слой твёрдостью 700...900 HV, обладающий высокой стойкостью против задирания и абразивного изнашивания. Это достигается за счёт структуры, представленной мартенситом, твердыми карбидами и боридами по границам кристаллитов. Однако положительные свойства наплавленного слоя проявляются при статическом нагружении, в условиях динамических нагрузок в наплавленном слое могут возникать трещины из-за повышенной хрупкости. К этой группе можно отнести электроды DF3C. За счёт высокого содержания карбидов и боридов наплавленный металл самоупрочняется, в результате отпуска снижение твёрдости незначительно и мало зависит от скорости охлаждения.

Третья группа – аустенитно-мартенситные электроды, которые позволяют получать наплавленный слой с высокой вязкостью, хотя и с меньшими твёрдостью и износостойкостью, по сравнению с чисто мартенситными электродами.

Хромистые электроды, например DF4A или DF4C, позволяют получать наплавленный слой с преимущественно мартенситной структурой, имеющий высокую твёрдость до 600 HV и сопротивление изнашиванию.

## **1.6 Постановка задач на диссертационное исследование**

Диссертация посвящена решению актуальной проблемы повышения эффективности восстановления наплавкой прессовых штампов.

Как показано выше, особенности износа прессового штампа определяются эксплуатационными, конструктивными и технологическими особенностями штамповки. Это в конечном итоге и определяет выбор материала для изготовления прессового штампа.

В настоящее время для изготовления прессовых штампов применяется большое разнообразие сталей с различными системами легирования.

Эксплуатационные свойства этих сталей неоднозначно зависят от химического состава и термообработки. Поэтому необходимо правильно выбирать оптимальные значения свойств, что позволяет существенно снизить расход дорогих и дефицитных легирующих элементов. При этом следует руководствоваться сохранением высокой износостойкости инструмента и увеличением срока его эксплуатации.

Для обеспечения удовлетворительной стойкости штампового инструмента одним из важнейших требований к наплавленному металлу и процессу наплавки является получение сплава с вязкой матрицей в сочетании с высокой твердостью и износостойкостью при обеспечении однородности химического состава. Поверхность рабочих частей (пуансона и матрицы) в процессе работы длительное время не должна подвергаться смятию, а их режущие кромки выкрашиванию.

Исходя из выше изложенного целью диссертационного исследования является – повышение эффективности наплавочных работ при ремонте прессовых штампов

Поставленная цель может быть достигнута путём последовательного решения следующих задач:

- выбрать систему легирования наплавленного металла штампового инструмента холодного деформирования;
- обосновать выбор способа наплавки штампа;
- повысить эффективность выбранного способа наплавки применительно к прессовым штампам холодного деформирования.

## 2 Обоснование выбора способа восстановления штампов

### 2.1 Ручная дуговая наплавка штучными электродами

Рабочие кромки и прессующая поверхность штампов подвергаются интенсивному износу и требуют применения технологий по восстановлению утраченной формы и свойств. Эта задача решается сварочной наукой уже длительное время, что позволило внедрить в производство несколько эффективных технологий.

К первой технологии следует отнести ручную дуговую наплавку штучными электродами [25], [49], схема выполнения которой приведена на рисунке 7.

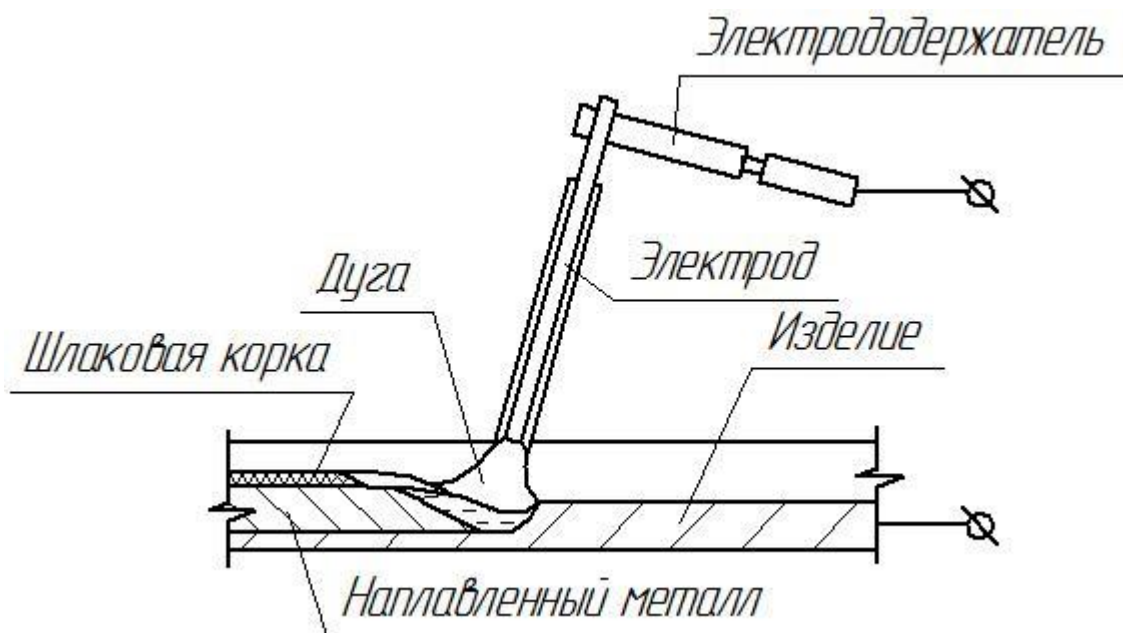


Рисунок 7 – Схема выполнения ручной дуговой наплавки штучными электродами

В числе преимуществ восстановления штампов с применением ручной дуговой наплавки штучными электродами следует выделить:

- простота применяющегося оборудования, которое, скорее всего, уже имеется и широко используется на предприятии;



- отсутствует необходимость в сложном метрологическом обеспечении;
- возможность начинать наплавку сразу после разработки соответствующей технологии и приобретения наплавочных материалов.

В процессе наплавки штампов с применением ручной дуговой наплавки возникает ряд проблем, решением которых занимается сварочная наука.

Первой проблемой является значительное снижение твёрдости рабочей поверхности после наплавки, которая может достигать до 15...30 HRC. Это вызывает снижение сопротивления шаржированию, образование на поверхности штампа налипшей массы металла. В результате требуется периодическая остановка линии для очистки поверхности штампа.

Второй проблемой является недостаточная вязкость наплавленного слоя при использовании карбидсодержащих наплавочных материалов. В результате этого наплавленный слой при работе штампа испытывает значительные внутренние напряжения. В результате действия этих напряжений происходит образование трещин и сколов.

Для наплавки многими материалами требуется предварительный подогрев штампа, что существенно снижает стойкость штампа и сопротивляемость шаржированию.

Для уменьшения размеров зоны термического влияния не может быть рекомендовано уменьшение сварочного тока, так как в этом случае уменьшается проплавливающая способность дуги и глубина зоны сплавления. В случае восстановления штампов малая глубина зоны сплавления может привести к скалыванию частей наплавленного слоя.

При наплавке штампа скорость охлаждения в различных местах значительно отличается, так как изменяются условия теплоотвода. В результате затрудняется формирование одинаковой по объёму структуры

наплавленного слоя. Свойства наплавленного слоя становится неравномерными.

Для того, чтобы на поверхности восстанавливаемых деталей сформировать наплавленный валик необходимых размеров и формы, требуется высокая квалификация сварщика.

Зачастую практически отсутствует возможность выполнения механической обработки поверхности штампа после восстановительной наплавки.

В связи с вышеизложенным, следует заключить, что восстановление штампов с применением ручной дуговой наплавки штучными электродами является весьма распространенной технологией. Однако, для её успешного применения требуется проведение некоторых обязательных мероприятий.

Во-первых, необходимо выполнить подбор соответствующих электродных материалов, которые позволяют получить наплавленный слой с заданными свойствами и химическим составом.

Во-вторых, необходимо обоснованно подходить к выбору параметров режима и техники выполнения наплавки.

В третьих, необходимо повышать культуру производства и квалификацию сварщиков, от которых в значительной мере зависит качество выполнения восстановительных работ с применением ручной дуговой сварки штучными электродами.

## **2.2 Механизированная наплавка проволокой сплошного сечения в защитных газах**

Ещё одним способом восстановления штампов является механизированная наплавка в защитных газах проволокой сплошного сечения [4], [5], [21], схема выполнения которой представлена на рисунке 8.

Применяемый для защиты сварочной ванны и нагретого металла углекислый газ является легкодоступным и относительно недорогим газом по

сравнению с инертными газами. При наплавке в среде защитных газов проволоками сплошного сечения устраняется проблема удаления шлака. Кроме того, дуга горящая в углекислом газе, позволяет формировать менее текучий валик, чем при наплавке порошковыми проволоками и ручной дуговой наплавке, что позволяет выполнять наплавку сложных деталей в различных пространственных положениях.

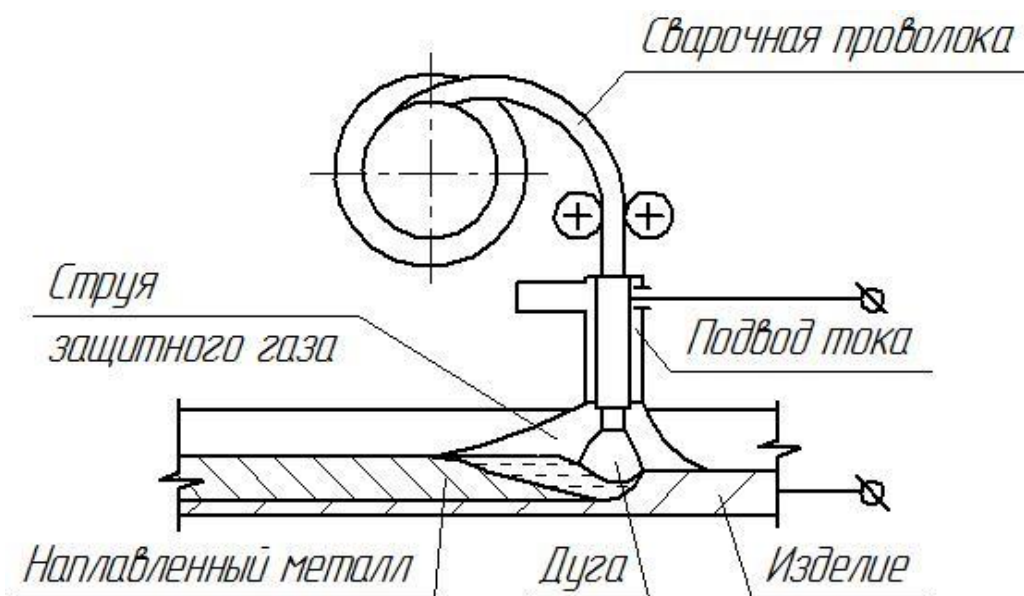


Рисунок 8 – Схема наплавки в защитных газах

На совершенствование наплавки в защитных газах проволоками сплошного сечения направлены большое число разработок. Большинство из них посвящены повышению эффективности дуги за счёт импульсного управления горением дуги и импульсной подачи проволоки [26], [37].

Наплавка в углекислом газе ведётся на постоянном токе обратной полярности. Поскольку углекислый газ является активным, то наплавочную проволоку необходимо дополнительно легировать раскислителями, в качестве которых применяются кремний и марганец.

Расходным материалом при механизированной наплавке проволоками сплошного сечения является наплавочная проволока, составом которой определяются свойства наплавленного слоя и особенности дальнейшей эксплуатации восстановленного штампа. Производство высоколегированных проволок сплошного сечения очень трудоёмко и экономически невыгодно

[22]. В связи с этим высокая стоимость восстановительных работ с применением механизированной наплавки проволоками сплошного сечения существенно ограничивает применение этого способа.

Ещё одним недостатком способа является сильное разбрызгивание при переходе на форсированные режимы. Это существенно ограничивает производительность выполняемых работ и снижает качество наплавки, а также приводит к дополнительным расходам наплавочных материалов.

### 2.3 Наплавка под флюсом

Ещё одним способом, который широко распространён при восстановлении изношенных штампов, является наплавка под флюсом, схема выполнения которой представлена на рисунке 9.

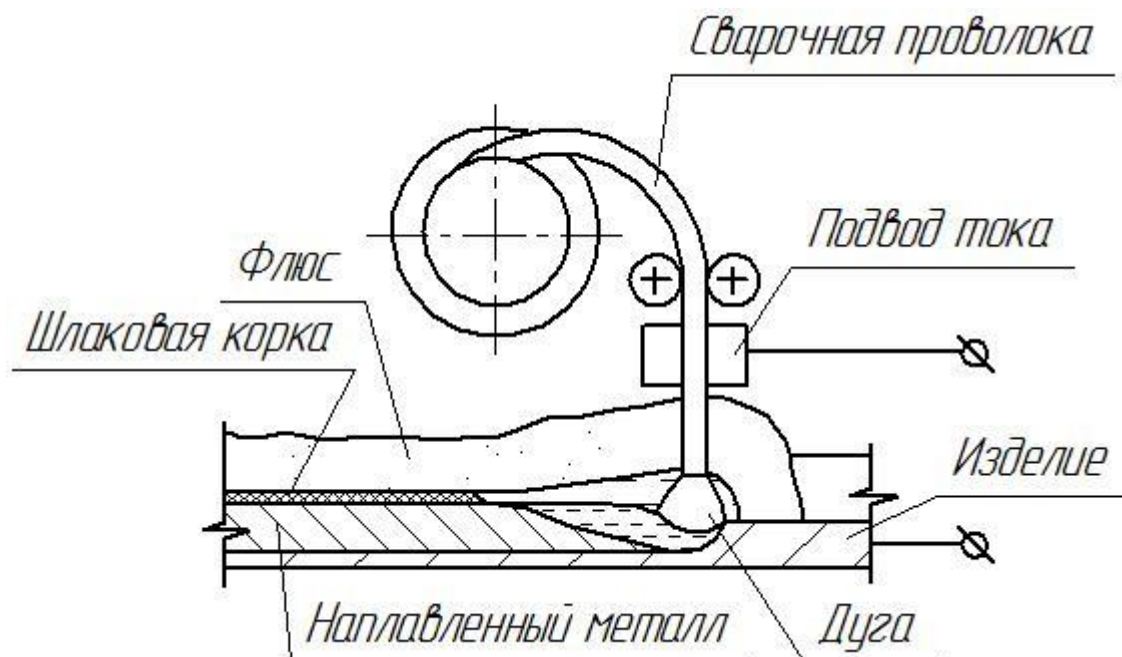


Рисунок 9 – Схема осуществления наплавки под флюсом

Применение наплавки под флюсом при восстановлении штампов приводит к существенному повышению производительности и качества наплавочных работ. При этом возможна наплавка как проволочными, так и ленточными электродами.

Следует признать, что наплавка под флюсом является одним из самых технологичных и производительных способов, позволяющим получать наплавленный слой с высоким качеством. При этом в качестве наплавочных материалов могут быть применены:

- порошковые проволоки ПП-Х12ТФ, ПП-Х12ВФ, ПП-сормайт, ПП-Х12Ф, а в качестве флюса может быть применён АН-30;
- порошковая проволока ПП-3Х2В8 совместно с флюсом АН-20;
- проволока сплошного сечения ЭИ-701 совместно с флюсом АН-20.

В качестве основного недостатка наплавки под флюсом следует отметить необходимость применения специализированного оборудования, которого может не оказаться на предприятии. Поэтому для организации восстановительных работ потребуются значительные финансовые затраты.

Кроме того, увеличенный ток при наплавке под флюсом приводит к увеличению глубины проплавления восстанавливаемого штампа, что в ряде случаев может оказаться нежелательным.

## **2.4 Плазменная наплавка**

Для восстановления штампов может быть применена порошково-плазменная наплавка [13], [24], [27], [28], схема выполнения которой представлена на рисунке 10. Самые хорошие результаты получены при использовании в качестве порошка самофлюсующихся сплавов на основе никеля и кобальта. Недостатком применения порошка такого типа является его высокая стоимость. Кроме того, разупрочнение этих сталей происходит при 500 °С, что ограничивает их применение при восстановлении деталей штамповой оснастки.

Следует признать, что в настоящее время отечественная промышленность не выпускает достойного оборудования для плазменной наплавки, а стоимость импортных образцов может оказаться критически высокой для российских предприятий [13].

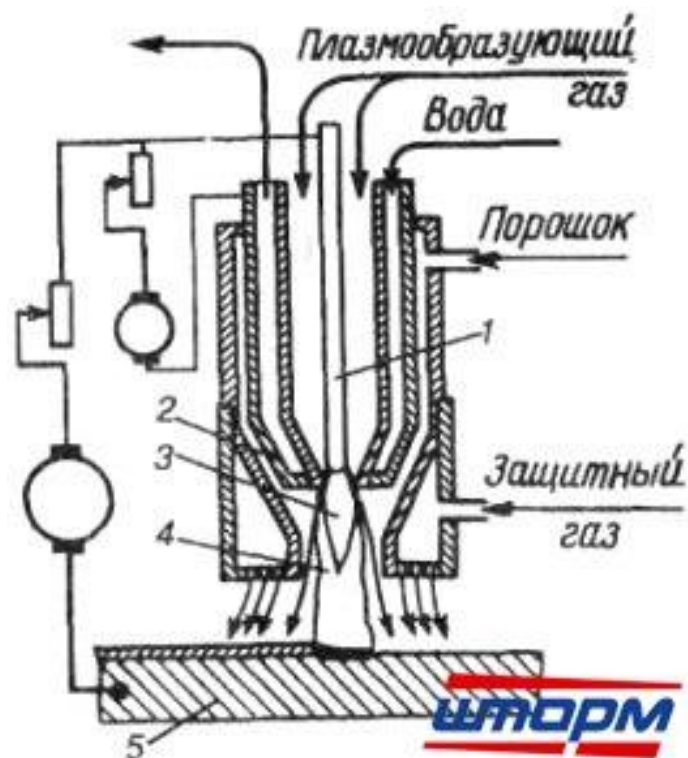


Рисунок 10 – Схема плазменной наплавки с вдуванием порошка в дугу

## 2.5 Наплавка порошковыми проволоками

Наплавка порошковыми проволоками, схема выполнения которой представлена на рисунке 11, широко применяется при восстановлении штампового инструмента. За счёт изменения состава шихты проволоки существует возможность изменять состав наплавленного металла в широких пределах. При этом существенно увеличивается межремонтная стойкость штампов и снижается себестоимость их восстановления.

Защита сварочной ванны и перегретого металла при наплавке порошковыми проволоками обеспечивается введением в состав шихты мрамора, кальцинированной соды, магнезита и других карбонатов [38], [41], [54].

В настоящий момент серийно выпускается большое число порошковых проволок для наплавки, которые обеспечивают качественную наплавку штампов.

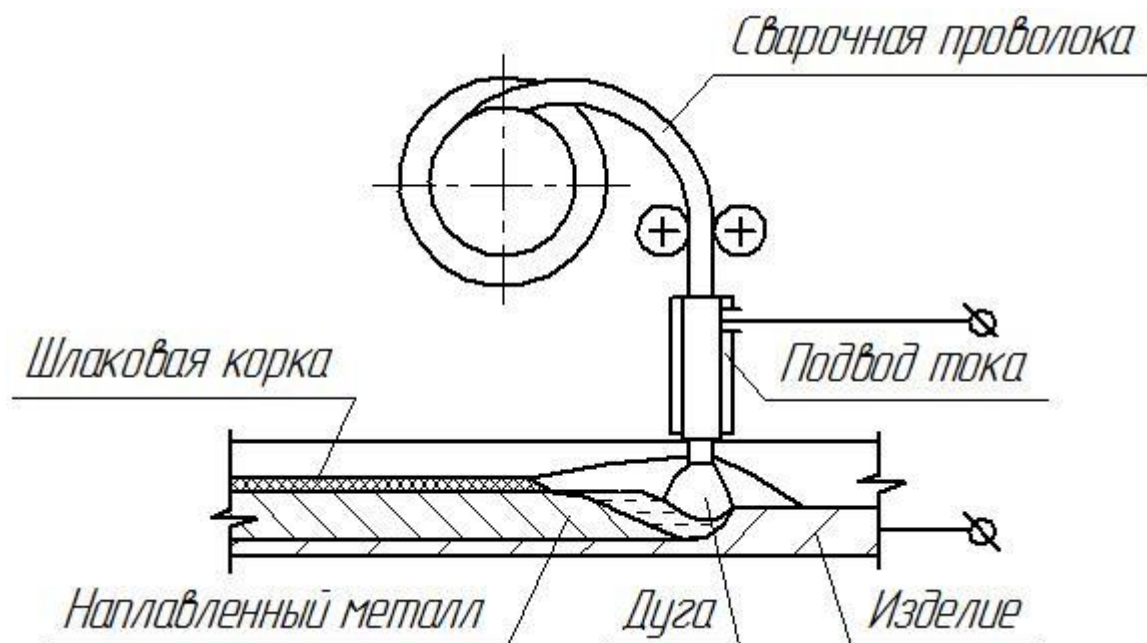


Рисунок 11 – Схема восстановительной наплавки порошковой проволокой

Основным недостатком наплавки порошковой проволокой является неравномерность плавления сердечника и оболочки проволоки [40]. Это происходит по причине низкой электропроводности сердечника, в результате чего его плавление отстаёт от плавления оболочки проволоки. В результате нерасплавившиеся компоненты сердечника могут попадать в сварочную ванну и вызывать образование дефектов наплавки.

Кроме того, высока текучесть шлака при наплавке порошковой проволокой тоже может представлять проблему, так как возможно образование пор и шлаковых включений.

#### Выводы по второму разделу

В ходе выполнения второго раздела решались задача по обоснованию выбора способа восстановления штампов.

В ходе решения этой задачи рассмотрены такие способы, как:

- ручная дуговая наплавка штучными электродами,

- механизированная наплавка в защитных газах проволокой сплошного сечения,
- наплавка под флюсом,
- механизированная наплавка самозащитной порошковой проволокой.

На основании анализа преимуществ и недостатков каждого способа следует признать наиболее перспективными способами ручную дуговую наплавку и наплавку порошковой проволокой.

Ручная дуговая наплавка характеризуется минимальными капитальными вложениями. Оборудование для её осуществления уже имеется на предприятии. После приобретения соответствующих наплавочных материалов и составления технологии наплавки можно приступать к восстановлению деталей.

Наплавка порошковой проволокой представляется более перспективным способом, поскольку повышается качество наплавленного слоя и уменьшается стоимость выполнения работ в случае большого объёма наплавки. Однако для внедрения этого способа требуется приобретение дополнительного оборудования и обучение сварщиков.



### **3 Повышение эффективности ручной дуговой наплавки штучными электродами при восстановлении штамповой оснастки**

Поскольку обработка металлов давлением характеризуется значительным разбросом параметров и условия работы штампового инструмента, в настоящий момент не найдены универсальные сплавы и стали для ремонта штамповой оснастки. В связи с этим в зависимости от особенностей конкретного производства приходится подбирать наплавочные материалы и технологии [12], [33], [34].

Самое широкое распространение при восстановлении деталей штамповой оснастки получила ручная дуговая наплавка штучными электродами. В зависимости от содержания легирующих элементов в наплавленном слое электроды для наплавки штампов разделяются на три группы.

К наплавочным электродам первой группы относят электроды ЭН-60М, ОЗШ-1, ЭН-60, ЦМ-4, износостойкость поверхности, наплавленной такими электродами, сохраняется до температуры 400 °С.

К наплавочным электродам второй группы относят электроды на основе хрома (ЭШГ, Ш-1, УОНИ-13/НЖ, ЦМ-5). При наплавке этими электродами на поверхности детали получается слой, который самозакаливается при охлаждении на воздухе. При нагреве до температуры 400...500 °С слой, наплавленный такими электродами, сохраняет мартенситную структуру.

К наплавочным электродам третьей группы относят электроды, легированные вольфрамом и молибденом (ОЗИ-2, ОЗИ-3, ЦМ-1М, К-53). При наплавке такими электродами формируется наплавленный слой, близкий по составу к быстрорежущим сталям.

При толщине наплаваемого слоя более 10 мм необходимо применять комбинированную наплавку, используя послойно наплавку электродами различных групп [9]. Наплавку нижнего слоя ведут электродами ОЗИ-1,

далее наплавку ведут с применением электродов ЭН-60М или ОЗИ-3. Выбор электрода для наплавки верхних слоев определяется условиями работы штампа и предъявляемыми к нему требованиями.

Большая хрупкость делает малопригодными твердые сплавы для изготовления и наплавки штамповой оснастки, работающей в условиях ударных нагрузок (вырубные, пробивные, обрезные штампы). Также следует принимать во внимание дефицитность и дороговизну вольфрама и кобальта, которые входят в состав твердых сплавов. По этим причинам применение твердых сплавов для изготовления и наплавки штампового инструмента ограничено, а на долю стальных штампов приходится до 90...95 % в различных отраслях промышленности [14], [15].

На основании проведенных литературных исследований можно сформулировать выводы по направлению развития технологий восстановления штамповой оснастки с применением ручной дуговой наплавки штучными электродами.

Высокую твердость и теплостокость наплавленного слоя позволяет получать наплавку с применением электродов ЭН-60М, которые не содержат дефицитных и дорогих элементов – кобальта и вольфрама.

Наплавка электродами ЦН-5, НЖ-2, Ш-1, ЦН-4 и ЭШГ-50 не позволяют получать наплавленный металл высокой твердости и теплостойкости. Для наплавки штампового инструмента они рекомендованы быть не могут.

Наплавка электродами ОЗИ-1, ОЗИ-4 и ОЗИ-5 позволяет получать слой с высокой твердостью и теплостойкостью. Однако высокое содержание в этих электродах дефицитных и дорогих химических элементов – вольфрама и кобальта – значительно увеличивает стоимость восстановительной наплавки штампового инструмента и делают бесперспективным массовое применение этих электродов.

Применение электродов ОЗИ-3 позволяет получать наплавленный слой достаточной твердости и теплостойкости. Эти электроды содержат

незначительное количество вольфрама и могут быть рекомендованы для наплавки штампов как горячей, так и холодной штамповки.

Наибольшее распространение в промышленности при наплавке штампового инструмента получили наплавочные электроды ОЗШ-1, ОЗШ-1В, ЦШ-4 и ЦН-2, представленные в таблице 6.

Таблица 6 – Содержание химических элементов и свойства наплавленного металла при использовании различных электродов

Марка электрода	Содержание химических элементов, %					Мака соответствующей стали	Твёрдость после наплавки, HRC
	С	Mn	Cr	Si	Прочее		
ОЗШ-1	0,18	1,0	1,0	1,2	0,8% Мо	20ХГСМ	34...40
ОЗШ-1В	0,16	1,5	1,1	1,2	0,8% Мо	15ХГСМ	32...37
ЦШ-2	0,45	2,0	1,0	0,2	-	45ХГ2	37...40
ЦН-4	0,32	6,0	-	0,3	-	30Г6	45...50

Наиболее сильно на прочность и твёрдость наплавленного металла при восстановлении наплавкой штучными электродами влияет содержащийся в них марганец. Также марганец существенно увеличивает размеры зерна в наплавляемом слое.

Такие элементы, как хром и молибден, образуют в наплавленном слое устойчивые карбиды, которые значительно повышают дисперстность структуры и существенно снижают отрицательное влияние марганца, проявляющееся в увеличении зерна структуры наплавленного слоя.

Представленные в таблице 6 электроды характеризуются относительно низкой стоимостью и позволяют выполнять качественную восстановительную наплавку деталей штамповой оснастки. Особенно это проявляется на электродах ЦН-4, при легировании которых не было использовано дорогостоящих и дефицитных химических элементов, а применяется относительно недорогой марганец. При наплавке электродами

ОЗШ-1, ОЗШ-1В, ЦШ-2 и ЦШ-4 возможно получение наплавленного слоя, близкого по свойствам таким сталям, как 5ХНМ, 5ХНВ, 7Х3 и др.

После наплавки электродами электродами ОЗШ-1, ОЗШ-1В, ЦШ-2, ЦШ-4 и отпуска штампы могут быть обработаны резанием с получением рельефа необходимой сложности. Однако наплавленный этими электродами слой имеет незначительную твёрдость, что позволяет использовать наплавку приведёнными электродами без последующей обработки только применительно к малонагруженным деталям штамповой оснастки.

Для повышения износостойкости штампов, восстановленных наплавкой электродами ОЗШ-1 и ОЗШ-1В, следует применять цементацию и последующую закалку. Для цементации применяются высокоактивные пастообразные карбюризаторы, использование которых приводит к образованию в наплавленном слое мелкодисперстных карбидов, что повышает твёрдость структуры до HRC 66...68. Износостойкость наплавленного слоя также повышается в несколько раз.

При ручной дуговой наплавке штампов с применением электродов ЦШ-2 химический состав и механические свойства наплавленного слоя соответствуют стали 45ХГ2. Наплавленный слой имеет недостаточную твёрдость, для эксплуатации наплавленной детали требуется упрочнение. Содержащийся в наплавленном слое углерод в количестве 0,45 % позволяет выполнять упрочнение наплавленного слоя с применением поверхностной закалки токами высокой частоты. Если выполнять закалку в масле при температуре 870 °С с последующим отпуском, твёрдость наплавленного слоя может быть повышена до HRC 60...62, а также предел выносливости может быть повышен до  $\sigma_R=600$  МПа.

При ручной дуговой наплавке электродами ЦН-4 наплавленный слой содержит до 6 % марганца, поэтому его твёрдость сразу после наплавки составляет уже 45...50 HRC. Это позволяет использовать наплавленные детали сразу после наплавки без проведения дополнительной упрочняющей обработки. Целесообразно использовать электроды ЦН-4 для наплавки

подсоя под более дорогие электроды, имеющие сложную систему легирования.

По результатам анализа условий работы и напряжённо-деформированного состояния деталей штамповой оснастки установлено, что гибка тонколистовых деталей из стали 08кп приводит к возникновению значительных усилий в радиусах закругления матрицы штампа. Возникающие ударные нагрузки и трение вызывают ускоренный износ этих элементов. В связи с этим показан необходимость повышения теплопроводности, твёрдости и устойчивости к вибрации рабочих частей штампов.

Восстановление изношенных элементов (матриц и пуансонов) штампов рассматривалось с применением нескольких способов.

В качестве первого способа рассматривалась напайка твёрдосплавных вольфрамокобальтовых пластин ВК8, состав и свойства которых представлены в таблице 7.

В качестве второго способа рассматривалась ручная дуговая наплавка электродом ОЗИ-3, содержание химических элементов которого представлены в таблице 8.

В качестве третьего способа рассматривалась лазерная восстановительная наплавка с применением порошкового материала.

Таблица 7 – Состав и свойства спечённого сплава ВК8

WC, %	Co, %	Прочность на изгиб, МПа	Твёрдость, HRA	Плотность, г/см <sup>3</sup>
92	8	1700	87,5	14,8

Таблица 8 – Содержание химических элементов в наплавленном слое при использовании электродов ОЗИ-3

C	Mn	Si	Mo	Cr	V	W	S	P
0,8	0,5	0,4	0,4	3,6	1,0	1,4	0,014	0,022

Эффективность рассматриваемых методов восстановления штамповой оснастки изучалась на заготовках размером 18×30×170 мм, представленные на рисунке 12. Образцы были выполнены из стали У10А и стали Х12М.

Исследование микроструктуры образцов выполняли по известным методикам [7]. Для увеличения использовался микроскоп, оснащённый цифровой камерой «Axio Cam HR». Замер твёрдости НРС выполнялся на поверенном приборе (твердомере). Статистическая обработка данных выполнялась на ЭВМ. Установлено, что наибольшей эффективностью восстановления с точки зрения оптимальности получаемой структуры и равнопрочности основному металлу обладает наплавка сварочными электродами ОЗИ-3, получаемая структура показана на рисунке 13.

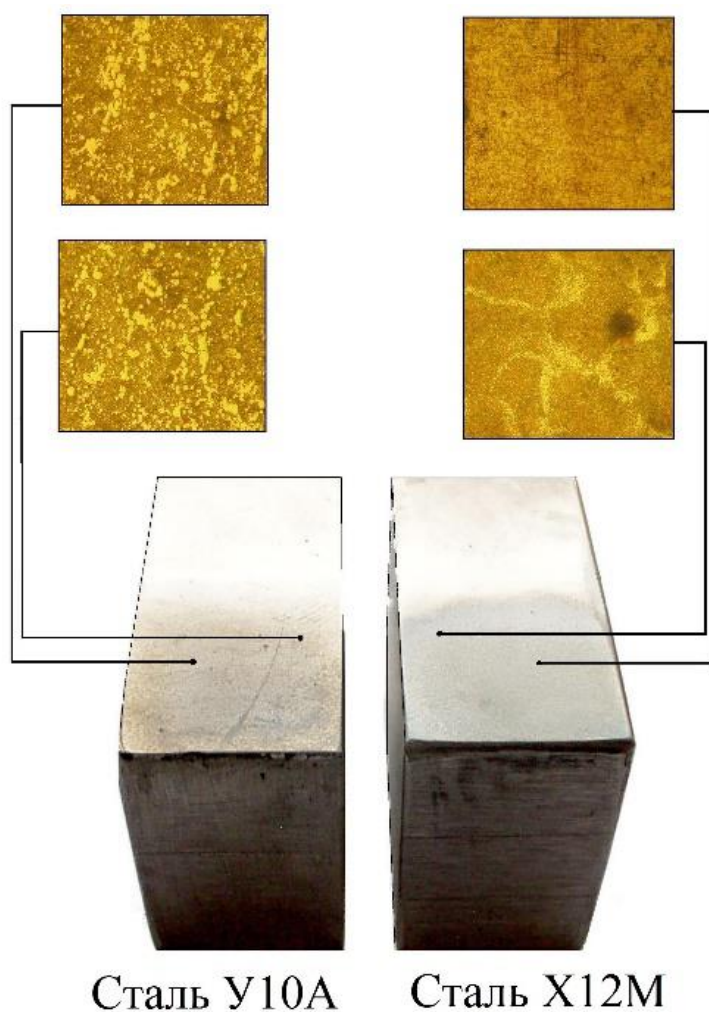


Рисунок 12 – Внешний вид экспериментальных образцов и их микроструктура в исходном состоянии

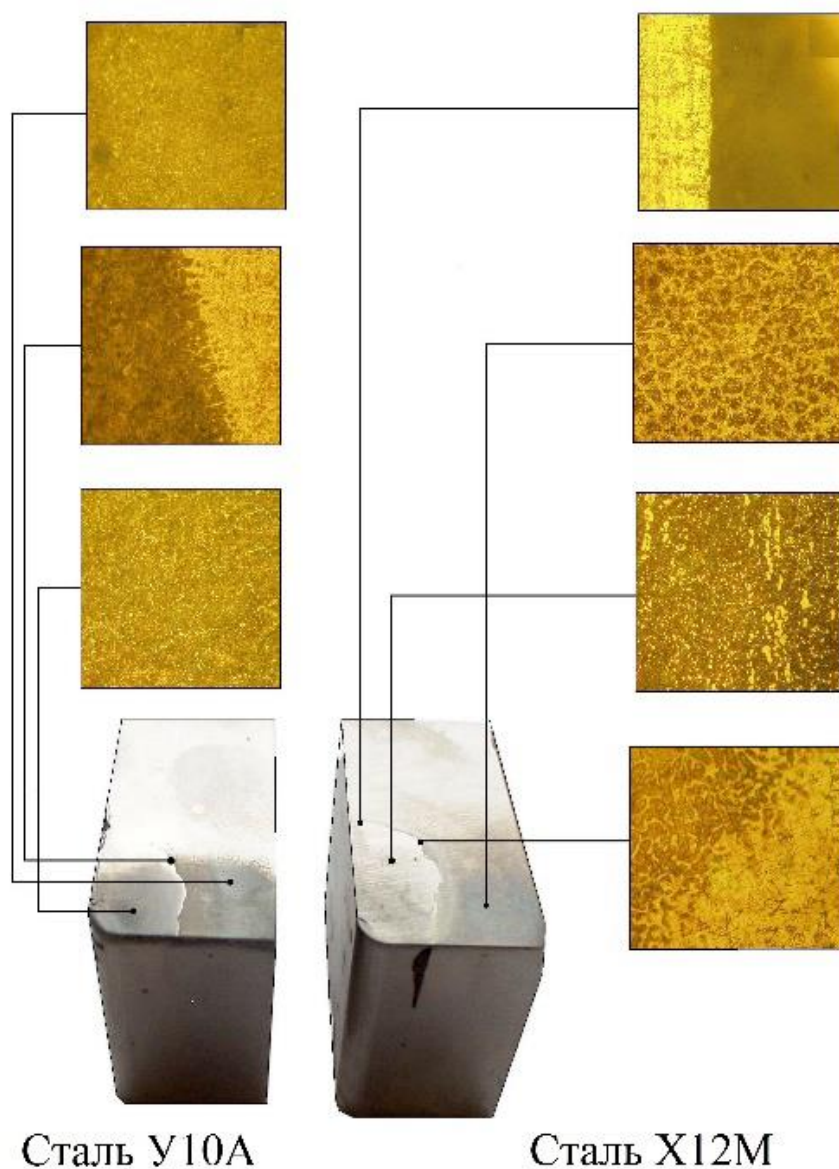


Рисунок 13 – Наплавляемые образцы и микроструктура различных зон для сталей после наплавки электродами ОЗИ-3

Перспективным методом восстановления элементов штамповой оснастки может считаться лазерная наплавка порошковым материалом, которая позволяет получить требуемые свойства наплавленного слоя. Также возможно проведение напайки твердосплавных пластин, позволяющих получать структуру, представленную на рисунке 14.

Таким образом, выполнен анализ различных методов восстановления деталей штамповой оснастки из стали Х12М и стали 10А. Наибольшую эффективность показана ручная дуговая наплавка электродами ОЗИ-3.

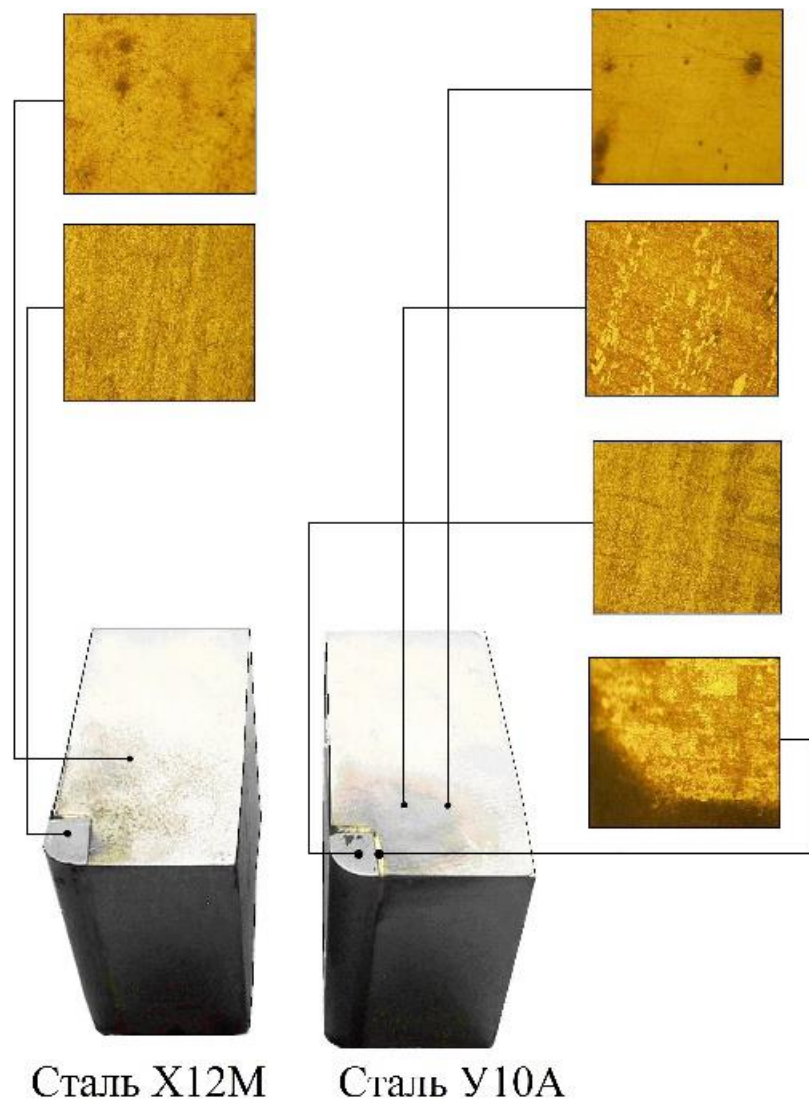


Рисунок 14 – Наплавляемые образцы и микроструктура различных зон при напайке твердосплавных пластин

Перспективным методом следует признать лазерную наплавку порошковыми материалами.

Выполнялась экспериментальная ремонтная наплавка плоского бойка и плоского вкладыша из стали 5ХНМ, представленных на рисунке 15. Быстрый локальный износ деталей обусловлен частым варьированием номенклатуры выпускаемых изделий. Боек эксплуатируется на прессе усилием 31,5 МН. Выработка рабочей поверхности и наплывы металла на поверхности бойка заставляют выполнять переточку его рабочей поверхности. Для ремонтной наплавки детали рассматривались к применению электроды ХН65МВ, Stelloy С-О, Stelloy Ni520-G, ОЗШ-1 и ОЗШ-6.



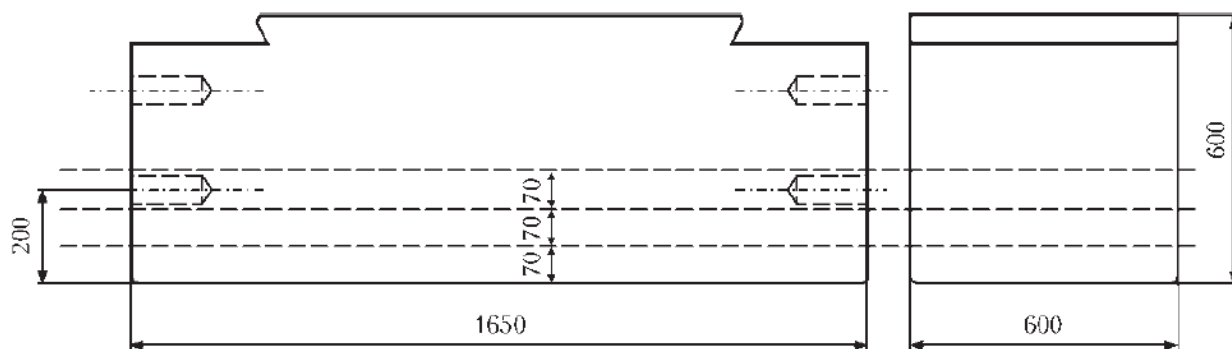


Рисунок 15 – Боек прессы усилием 31,5 МН

По результатам предварительного изучения особенностей ремонтной наплавки с применением электродов различных марок для дальнейшего использования принято решение применить электроды ОЗШ-1 и ОЗШ-6. Предпочтение эти электроды получили благодаря своей невысокой стоимости и простоте построения технологического процесса.

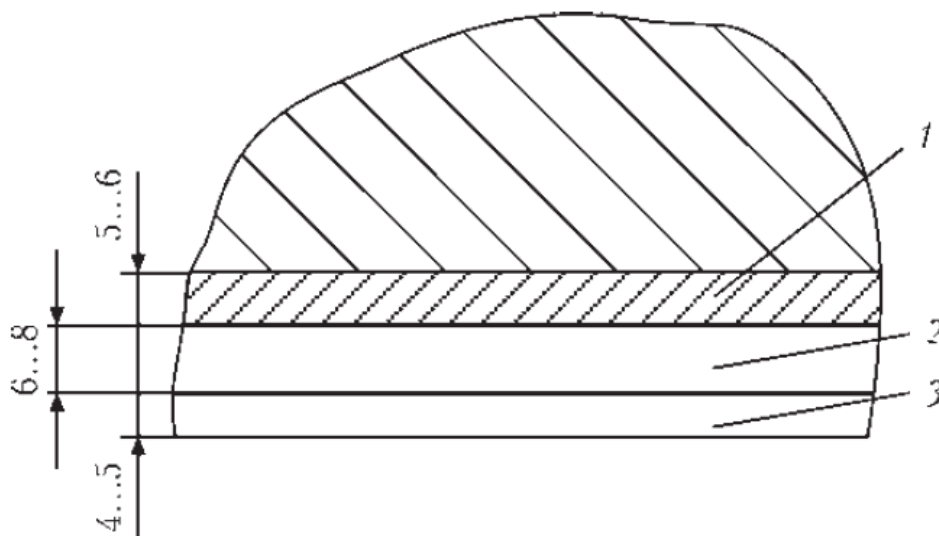
Перед наплавкой выполняли предварительный подогрев деталей до температуры 300...400 °С. Нагрев выполняли двумя газоздушными горелками. Ремонтную наплавку выполняли тремя слоями, как показано на рисунке 16. Первый слой наплавляли проволокой Св-08Г2С механизированной наплавкой в углекислом газе. Второй слой выполняли ручной дуговой наплавкой электродами ОЗШ-1. Третий слой выполняли ручной дуговой наплавкой электродами ОЗШ-6. После каждого прохода выполняли проковку наплавленного слоя.

По окончании наплавки выполняли отпуск наплавленных бойков, помещая их в печь и нагревая до температуры 580 °С. Время выдержки составляло 3 часа.

Восстановленный с использованием наплавки боек проверяли на прессе с рабочим усилием 31,5 МН, установленном в кузнечно-прессовом цехе № 2. При сравнении ресурса работы исходного и наплавленного бойка выявлено следующее:

- боёк, на котором не выполнялась восстановительная наплавка, был использован в период с 23.11.2020 по 25.01.2021, он позволил отковать 781,7 тонну деталей, при этом потребовалась переточка рабочей зоны бойка;

- боёк, который был наплавлен с использованием указанных выше электродов, был в эксплуатации в период с 25.01.2021 по 07.05.2021 и позволил отковать 2201,13 тонн, при этом ресурс инструмента увеличился в 2,8 раза, как показано на рисунке 17.



1 – первый слой (подслой, выполненный механизированной наплавкой в углекислом газе проволокой Св-08Г2С); 2 – второй слой (промежуточный слой, выполненный ручной дуговой наплавкой электродами ОЗШ-1); 3 – третий слой (рабочий слой, выполненный электродами ОЗШ-6)

Рисунок 16 – Расположение слоёв наплавки

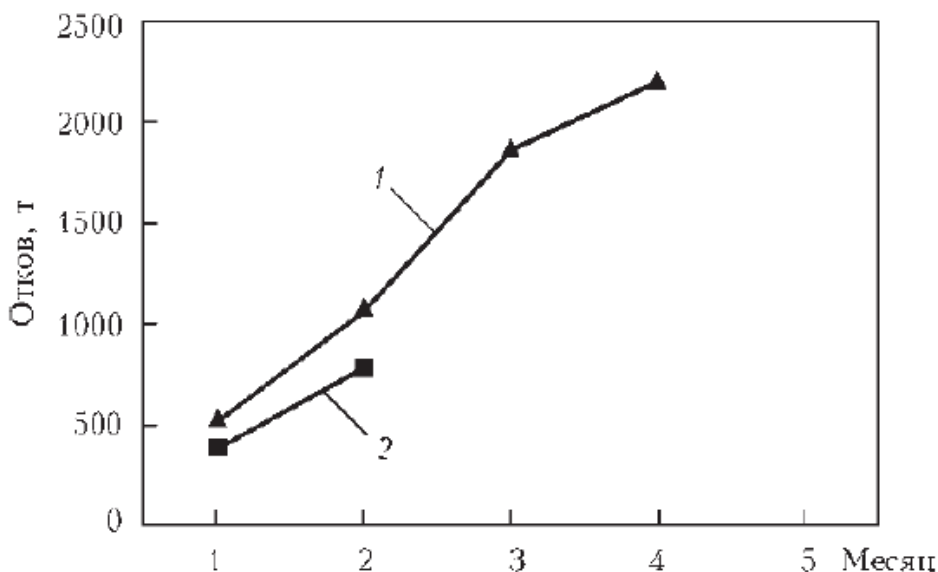


Рисунок 17 – Ресурс наплавленного (1) и ненаплавленного (2) бойка прессы

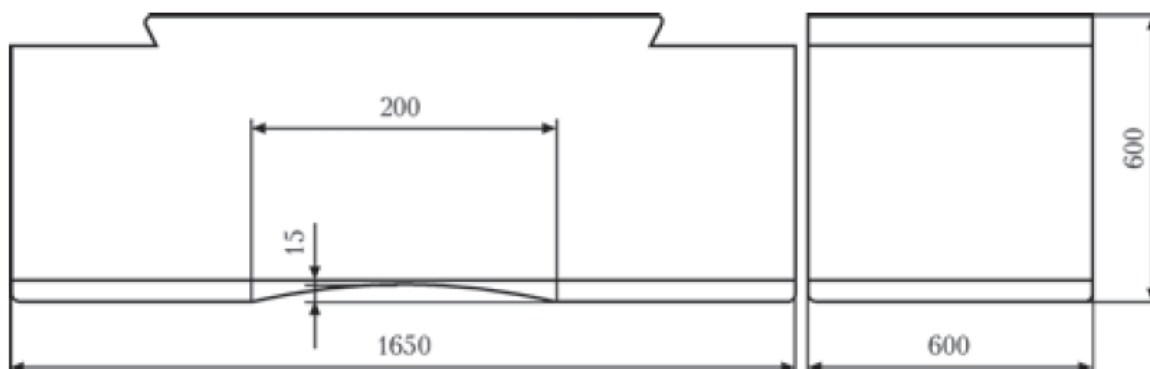


Рисунок 18 – Выработка рабочей поверхности бойка прессы

В обоих случаях в рабочей зоне бойка происходила образование выработки, представленной на рисунке 18. Устранение этой выработки выполнялось дуговой наплавкой с последующей механической обработкой.

#### Выводы по третьему разделу

В ходе выполнения раздела на основании анализа источников научно-технической информации и результатов опытной проверки эффективности применения различных материалов выполнялся обоснованный выбор наплавочных электродов.

Эти электроды будут применяться для восстановительной наплавки с использованием уже имеющегося на предприятии оборудования для ручной дуговой сварки.

Такая ручная дуговая наплавка является промежуточной мерой и будет выполняться, пока не будет подготовлена к реализации основная технология восстановительной наплавки с применением порошковой проволоки.

Для ручной дуговой наплавки штампов предложено использовать электроды ОЗИ-3, ОЗШ-1 (для выполнения промежуточных слоев) и ОЗШ-6 (для выполнения внешнего, рабочего слоя).

## **4 Повышение эффективности механизированной наплавки порошковой проволокой при восстановлении штамповой оснастки**

### **4.1 Общие вопросы восстановительной наплавки порошковой проволокой**

Стойкость штампового инструмента при восстановительной наплавке может быть повышена, если обеспечить:

- твёрдость наплавленного слоя после закалки не менее 59...62 HRC;
- теплостойкость наплавленного слоя не ниже 450 °С;
- свойства металла наплавленного слоя и параметры его термообработки должны быть близки к свойствам и параметрам термообработки основного металла штампового инструмента;
- наплавленный слой не должен иметь дефектов в виде трещин, шлаковых включений и пор;
- твёрдость наплавленного слоя в отожженном состоянии должна быть не выше 30 HRC, и наплавленный слой должен хорошо обрабатываться резанием;
- стойкость инструмента после восстановительной наплавки должна быть не ниже стойкости нового инструмента;
- наплавленный слой должен выдерживать до 1 млн. циклов нагружения;
- ударная вязкость наплавленного слоя должна быть не менее 25...30 Дж/см<sup>2</sup> в зависимости от назначения штампового инструмента.

Содержащиеся в наплавленном слое карбиды и интерметаллиды повышают сопротивление наплавленного слоя абразивному изнашиванию. Также эти соединения затрудняют процесс схватывания штампуемой детали и поверхности самого штампа. Однако следует принимать во внимание, что неоднородность структуры наплавленного слоя может повлиять его

склонность к выкрашиванию. Поэтому карбиды и интерметаллиды должны быть равномерно распределены по объёму наплавленного слоя.

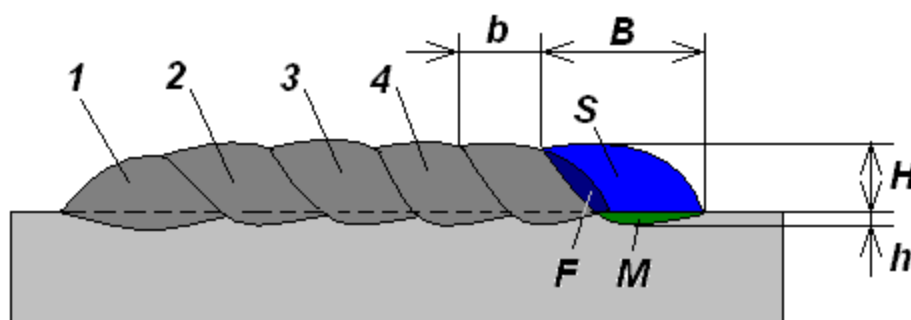
Существенное распространение при восстановительной наплавке штампового инструмента получила механизированная наплавка порошковой проволокой [55], [56], [58]. При этом следует учитывать существенное влияние характера плавления порошковой проволоки на качество и свойства наплавленного слоя.

Порошкообразный сердечник сварочной проволоки нагревается и плавится за счёт излучения сварочной дуги, энергии Джоуля-Ленца при прохождении тока через сердечник, конвективного теплообмена с нагретым газом и расплавленным металлом. Нагрев торца проволоки не всегда достаточен для полного расплавления её сердечника. Также следует учитывать, что на стабильность плавления сердечника в значительной мере влияет расположение пятна нагрева, которое хаотично блуждает по торцу проволоки (в основном по периметру, где сосредоточена более электропроводная оболочка проволоки). В связи с этим наблюдается неравномерное плавление металлической оболочки проволоки и её сердечника. Плавление сердечника отстаёт от плавления оболочки, в результате чего часть шихты попадает в сварочную ванну. Такое просыпание сердечника имеет случайный характер, приводит к неоднородности распределения легирующих элементов в наплавленном слое и может вызывать образование дефектов в виде пор и шлаковых включений [53], [61].

Переход химических элементов из сердечника проволоки в сварочную ванну определяется многими параметрами. Во-первых, окислением элементов шлакообразующими компонентами и кислородом газовой фазы. Во-вторых, переход легирующих элементов во многом определяется параметрами режима наплавки: при увеличении тока наплавки коэффициент перехода увеличивается, а при увеличении напряжения дуги – уменьшается. В-третьих, на переход легирующих элементов влияет характер плавления проволоки и переноса электродного металла [38], [39], [41], [58].

## 4.2 Техника наплавки порошковой проволокой

Восстановительную наплавку и нанесение упрочняющих слоёв на штамповый инструмент может быть выполнено с применением механизированной сварки порошковой проволокой в защитном газе, при этом в качестве защитного газа применяется аргон [17], [18]. При этом толщина наплавленного слоя может составлять 3...5 мм. В процессе наплавки следует свести к минимуму перемешивание наплавляемого металла с основным металлом штампа. Схема укладки валиков представлена на рисунке 19. Главным образом на перемешивание наплавленного и основного металлов влияет давление дуги, действие которого приводит к деформированию наплавочной ванны и образованию кратера в расплаве. Поскольку давление дуги определяется током наплавки, первый слой следует наплавлять на минимально возможном токе, при котором ещё происходит нагрев поверхности основного металла до температуры плавления. Для штамповых сталей минимальный ток наплавки составляет 90...100 А при диаметре проволоки 1,6 мм. При этом длина дуги составляет 3...4 мм, а напряжение на дуге – 11...12 В.



1, 2, 3 и 4 – номера валиков;  $b$  – смещение дуги;  $B$  – ширина наплавочной ванны;  
 $S$ ,  $F$ ,  $M$  - сечения наплавки;  $H$  – высота наплавки;  $h$  – подплавление подложки

Рисунок 19 – Схема укладки валиков при наплавке штампового инструмента

При токе наплавки 100 А и скорости наплавки 5 мм/с ширина наплавочной ванны составляет 5...6 мм, скорость подачи проволоки при этом составляет 16...18 мм/с. Высота одиночного валика не превышает 2,2 мм и

составляет в среднем 1,35 мм, площадь поперечного сечения валика составляет 6 мм<sup>2</sup>. Влияние силы тока и скорости подачи присадочной проволоки на формирование одиночного наплавочного валика согласно [56] представлено на рисунке 20.

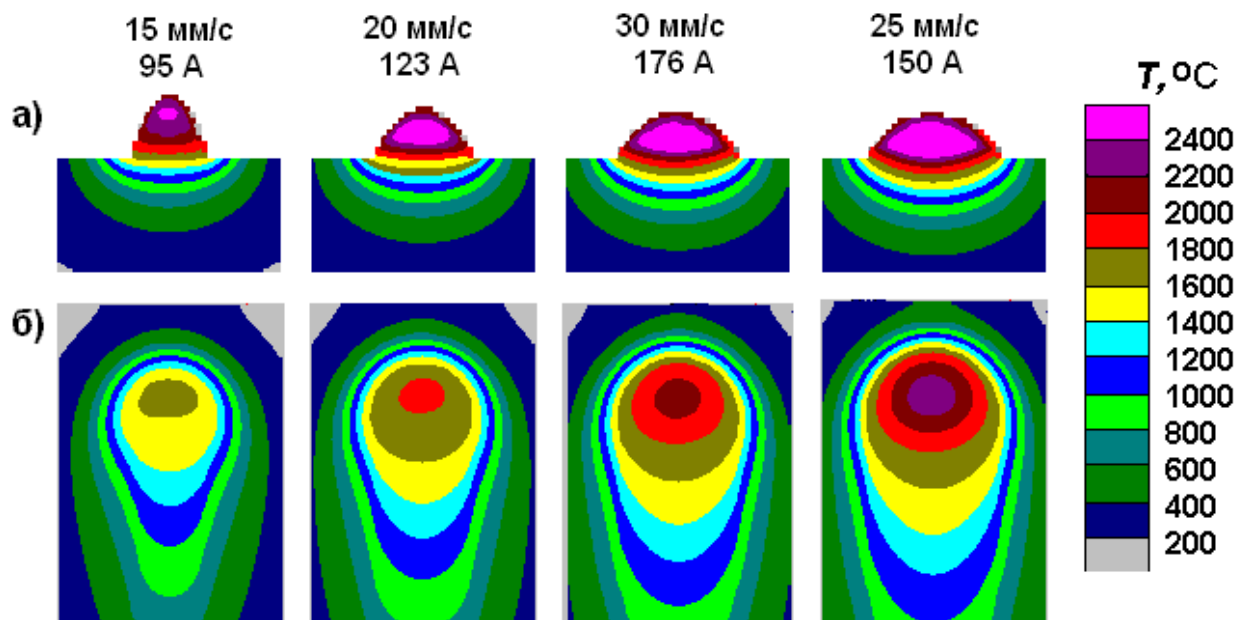


Рисунок 20 – Влияние силы тока и скорости подачи проволоки на формирование одиночного наплавочного валика

Последующие валики следует наплавлять параллельно со смещением 3 мм. Второй и последующий валики имеют высоту до 2,7 мм (в среднем высота последующих наплавочных валиков составляет 2,7 мм).

При наплавке второго слоя может быть использован больший ток наплавки, величина которого может достигать 200...250 А. Такой ток гарантированно не позволяет получить сквозного проплавления первого наплавленного слоя. При токе 200 А наплавочная ванна имеет ширину 7...8 мм, скорость подачи проволоки составляет 40...42 мм/с, длина дуги составляет 3...4 мм, а напряжение на дуге – 12 В. Скорость наплавки составляет 5 мм/с, наплавочные валики укладываются с шагом 4 мм.

При наплавке в два слоя суммарная толщина наплавленных слоёв в среднем равна 6 мм и изменяется от 5,4 до 6,6 мм. Равномерность толщины наплавленного слоя достигается при механической обработке резанием –

удалении верхнего слоя толщиной 0,4...1,6 мм, что составляет приблизительно 20 % от толщины наплавленного слоя.

На геометрию наплавленного валика влияет также температура предварительного подогрева штампа, что показано на рисунке 21.

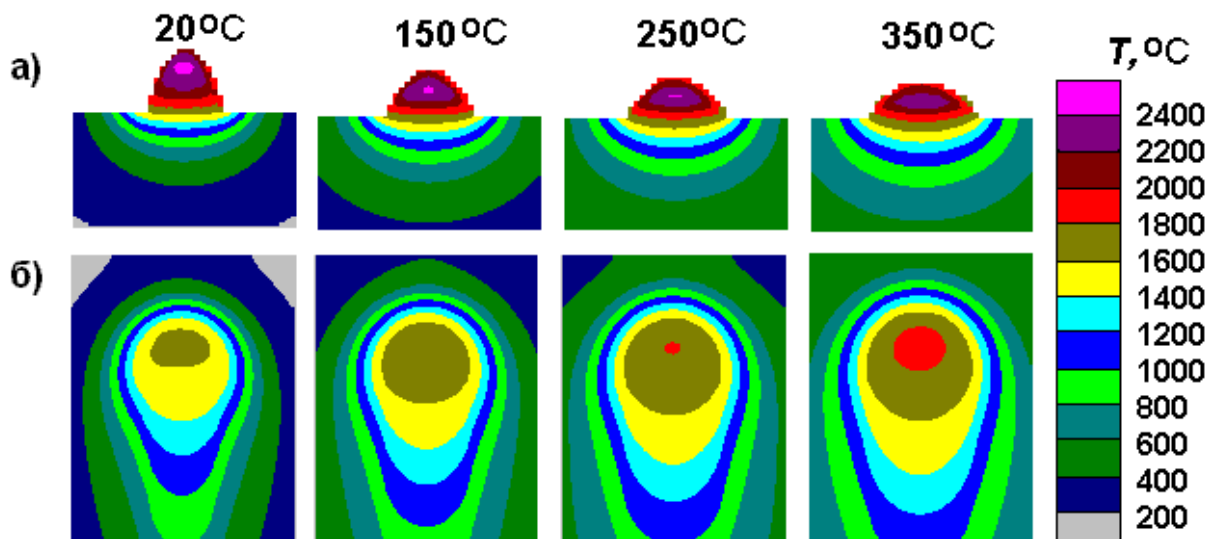


Рисунок 21 – Влияние температуры предварительного подогрева штампа на геометрию единичного наплавочного валика [56]

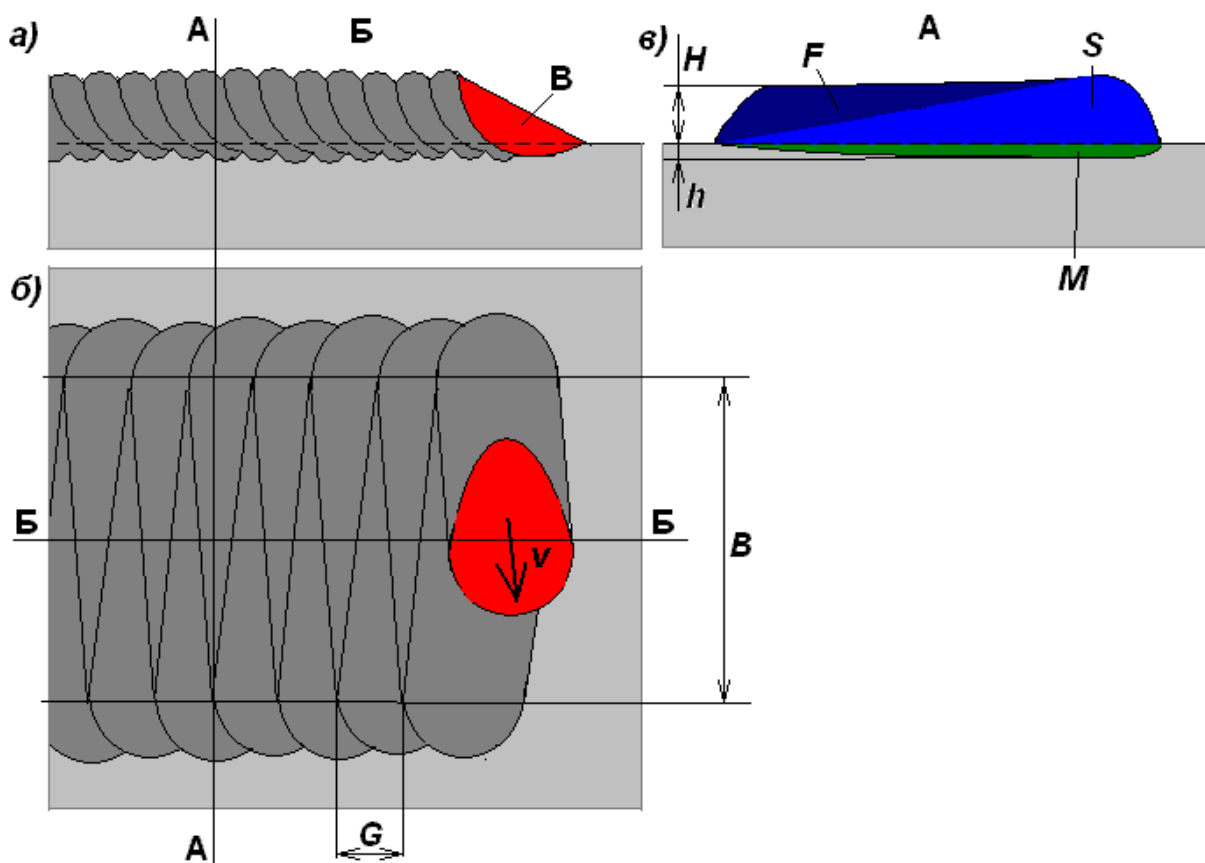
Поскольку наплавляемые штампы имеют значительную площадь наплавки, при их восстановлении и упрочнении применяется особая техника ведения электрода – с поперечными колебаниями горелки, как показано на рисунке 22. Для получения перекрытия наплавочных валиков в первом слое (ток наплавки минимален и составляет 90...100 А, а скорость подачи проволоки – 16...18 мм/с) шаг смещения не должен превышать ширины валика за период поперечных колебания. При амплитуде колебаний  $\pm 10$  мм смещение составляет 4 мм. Период поперечных колебаний составляет 4 с при скорости поперечного перемещения горелки 12 мм/с, при этом в крайних положениях горелка задерживается на 0,2 с. Наплавка первого слоя с поперечными колебаниями позволяет получать слой шириной 24...26 мм, при этом средняя высота валиков составляет 1,3...1,4 мм.

Величина смещения при укладывании второго слоя составляет 22 мм. Наплавку второго слоя ведут при токе 240...260 А, длина дуги составляет



3...4 мм, а напряжение на дуге – 15 В, скорость подачи проволоки – 50 мм/с. Такие параметры наплавки позволяют получить наплавочную ванну шириной 7...8 мм, исходя из этого принимается смещение поперечных колебаний 5 мм. Период поперечных колебаний составляет 5 с при скорости поперечного перемещения горелки 9 мм/с, при этом в крайних положениях горелка задерживается на 0,25 с. Наплавка второго слоя с поперечными колебаниями позволяет получать слой шириной 27 мм, при этом средняя высота валиков составляет 3,7 мм.

Суммарная толщина двух наплавленных таким образом слоёв составляет 5,1...5,3 мм, при этом требуется удаление механическим резанием толщины металла 0,1...0,3 мм.

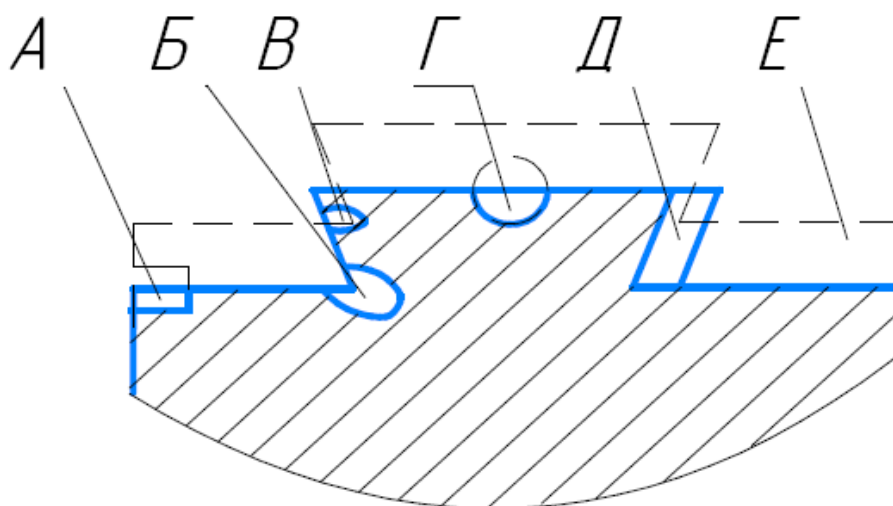


H – высота наплавки; h – проплавление подложки; B – ширина слоя; G – шаг смещения;  
S – сечение наплавки; F – переплав предшествующего валика; M – сечение расплава подложки

Рисунок 22 – Схема выполнения наплавки с поперечными колебаниями электрода: осевое сечение (а), вид сверху (б), поперечное сечение наплавленного слоя (в)

### 4.3 Технология наплавки штампа с применением порошковой проволокой

После транспортировки дефектных штампов на участок наплавки выполняют их установку на рабочем столе. Ориентирование штампа в пространстве осуществляется в зависимости от устраняемого дефекта. В случае, если устраняемый дефект располагается на верхней или нижней рабочей поверхности штампа, штамп следует расположить на рабочем столе дефектной поверхностью вверх. Если устраняемый дефект находится на хвостовике штампа, то штамп на столе следует располагать хвостовиком вверх. При этом на хвостовике штампа можно указать особо опасные зоны, расположение которых показано на рисунке 23.



А и Г – отверстия для транспортировки штампа; Б – галтель с трещиной; В – хвостовик с трещиной; Д – износ опорной части хвостовика; Е – срезанный слой

Рисунок 23 – Зоны на хвостовике штампа, которые подвергаются наибольшему износу

Наибольшую опасность представляют дефекты в зоне «Б», поскольку из-за них происходит уменьшение сечения рабочей части хвостовика. В результате возникает вероятность отрыва хвостовика, что повлечёт за собой приведение штампа в полную негодность.

Устранение дефектов штампа проводят после его установки на рабочем столе. Дефекты устраняют с применением воздушно-дуговой строжки угольным электродом. Для этого применяется резак РВДм-500, представленный на рисунке 24.

Для питания резака применяется источник питания ВДУ-506, который представлен на рисунке 25.



Рисунок 24 – Резак РВДм-500



Рисунок 25 – Сварочный выпрямитель ВДУ-506

При строгании дефектной поверхности штампа глубина выборки за один проход должна быть не более 5...7 мм. При этом общая глубина выборки не должна быть более 16 мм. На рисунке 26 представлена схема строгания дефектного штампа.

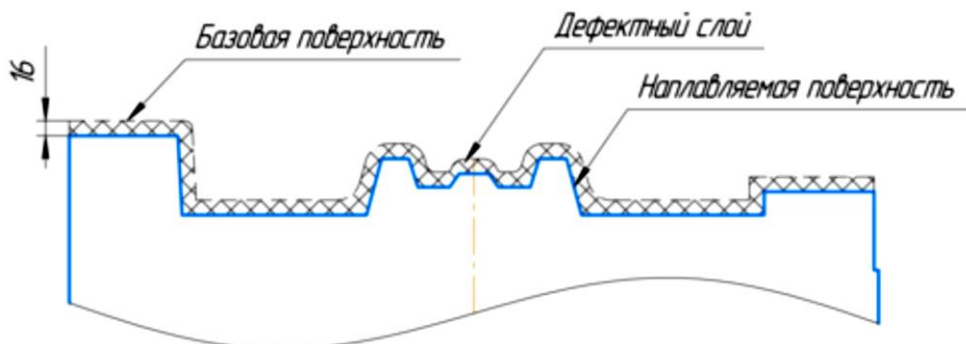


Рисунок 26 – Схема строгания дефектного штампа

В процессе строгания каждого слоя необходимо выполнять визуальный осмотр поверхности штампа, выявляя такие дефекты, как:

- раковины,
- поры,
- трещины.

В случае, если был обнаружен дефект, его следует устранить путём дополнительной выборки. При устранении трещины в галтели хвостовика её длина не должна превышать 40 мм. На рисунке 27 показана схема строгания дефектного хвостовика.

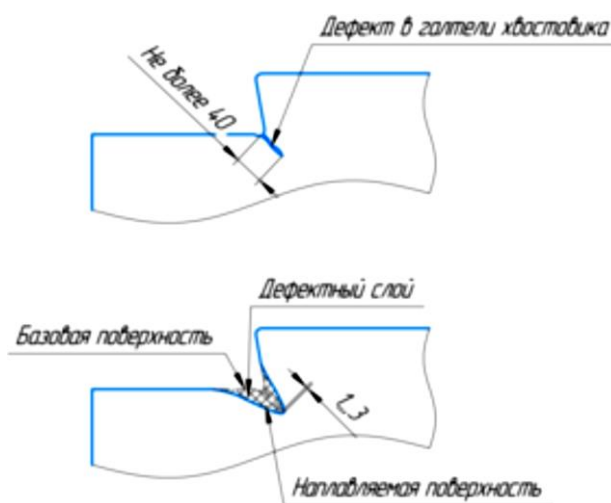


Рисунок 27 – Схема строгания хвостовика

При устранении трещин в галтелях поступают следующим образом. После установки на столе дефектного штампа отмечают места расположения дефектов на штампе. Далее выполняют выборку дефектов. После проведенной выборки выполняют измерения глубины выборки с использованием штангенциркуля. Также следует провести внешний осмотр выборки на предмет обнаружения недопустимых дефектов. В случае обнаружения недопустимых дефектов следует выполнить их полное удаление. В случае, если глубина выборки приближается к 40 мм, а трещина не устранена, решение о целесообразности восстановления штампа принимает главный сварщик предприятия.

После выполнения строгания следует выполнить зачистку металла до блеска. Также дефектный штамп проверяется методами цветной капиллярной дефектоскопии и ультразвуковым контролем. Если обнаружены скрытые дефекты и выходящие на поверхность дефекты, необходимо выполнить дополнительную строжку до их полного удаления.

Далее следует транспортировать восстанавливаемый штамп на участок восстановительной наплавки и расположить его на рабочем столе.

Для восстановительной наплавки применяется механизированная сварка порошковой проволокой.

Перед выполнением восстановительной наплавки штамп проходит операцию сканирования поверхности, которая позволяет задавать область наплавки и количество наплавляемых слоев. Это сканирование позволяет контролировать наплавку и выполнять автоматическую настройку при использовании роботизированной наплавки. Для сканирования применяется сканер RS1 и измерительная рука Romer Absolute Arm 7330Si, представленные на рисунке 28.

После сканирования штамп транспортируют на участок предварительного нагрева, который выполняют с применением печи ПВП-8.16.8/7М, представленной на рисунке 29.



Рисунок 28 – Сканер RS1 и измерительная рука Romer Absolute Arm 7330Si



Рисунок 29 – Печь с выкатным подом ПВП-8.16.8/7М

Время предварительного нагрева штампа будет определяться его толщиной, которая измеряется как расстояние от фигуры до начала хвостовика. Для толщины штампа 360 мм время нагрева и выдержки составляет 6 часов, а температура нагрева – 420 °С. Контрольный замер температуры следует выполнять каждый час.

После того, как выполнен предварительный нагрев штампа, его транспортируют на пост наплавки. Для поддержания температуры нагретого штампа выполняют его дополнительное укутывание в термостойкие одеяла и фольгу. Рабочий стол для наплавки также оснащён устройством подогрева.

Для выполнения наплавки применяется три типа сварочной проволоки:

- порошковая проволока Eureka 635 диаметром 1,6 мм – применяется для наплавки первого слоя, она позволяет получать наплавленный металл повышенной пластичности;
- порошковая проволока Eureka 450 диаметром 1,6 мм – применяется для выполнения последующих слоёв до полного заполнения выборки;
- порошковая проволока Eureka 650 диаметром 1,6 мм – применяется для наплавки последнего слоя.

В таблице 9 представлен химический состав наплавленного слоя при использовании проволоки Eureka 635. В таблице 10 представлен химический состав наплавленного слоя при использовании проволоки Eureka 450. В таблице 11 представлен химический состав наплавленного слоя при использовании проволоки Eureka 650.

В качестве защитного газа применяют смесь К20, в состав которой входит 20 % углекислого газа и 80 % аргона. После того, как выполнена наплавка валика, следует очистить его от окалины и брызг, а также очистить от брызг сварочную горелку.

Параметры режима наплавки следующие:

- ток наплавки – 220...300 А;
- напряжение на дуге – 24...28 В;

– скорость сварки – 0,6 см/с.

При выполнении многослойной наплавки каждый последующий слой необходимо накладывать поперёк ранее выполненного слоя. Перекрытие валиков должно составлять  $\frac{1}{4}$  их ширины. Кратер следует выводить на наплавленную поверхность. Наплавленные валики представлены на рисунке 30.

Перед выполнением каждого прохода следует измерить температуру штампа. Допускается продолжительность наплавки штампа не более 6 часов. Если произошло остывание штампа ниже 300 °С или продолжительность наплавки превысила 6 часов, следует прекратить наплавочные работы и выполнить промежуточный подогрев штампа длительностью не менее 8 часов.

Таблица 9 – Содержание химических элементов в наплавленном слое при использовании проволоки Eureka 635

C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni
0,08	1,2	0,35	1,5	1,1	2,3

Таблица 10 – Содержание химических элементов в наплавленном слое при использовании проволоки Eureka 450

C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni
0,15	0,6	0,4	10,5	2	1,8

Таблица 11 – Содержание химических элементов в наплавленном слое при использовании проволоки Eureka 650

C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	W	V
0,3	0,8	0,4	9	2	2	0,4	0,3

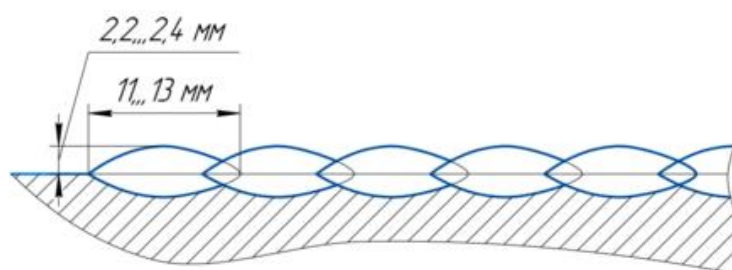


Рисунок 30 – Наплавленные валики



После выполнения наплавки следует поместить штамп в нагретую до 420 °С печь и выдерживается там до выравнивания температуры по объёму штампа. После этого штампа следует поместить в термос и охлаждать до температуры 100...120 °С.

После охлаждения штампа следует выполнить его высокий отпуск. Для этого разогревают печь до температуры 570 °С, помещают туда штамп и выдерживают в течение 14 часов. После этого помещают штамп в термос и выполняют остывание штампа до комнатной температуры.

После охлаждения штампа выполняют его механическую обработку. После выполнения механической обработки контролируют твёрдость наплавленного слоя.

После контроля твёрдости наплавленного слоя выполняют визуальный и капиллярный контроль штампа.

В качестве источника питания для наплавки применяется сварочный инвертор Fronius TPS 4000 механизм подачи проволоки VR 3300, представленные на рисунке 31.



Рисунок 31 – Сварочный инвертор Fronius TPS 4000 и механизм подачи VR 3300

Для роботизированной наплавки возможна комплектация, представленная на рисунке 32.



Рисунок 32 – Роботизированный комплекс для восстановительной наплавки со сварочным оборудованием Fronius и роботом KUKA

#### Выводы по четвёртому разделу

Предложен технологический процесс восстановительной наплавки штампа с применением порошковой проволоки.

С учётом ранее изученными источниками научно-технической информации предложена техника выполнения восстановительной наплавки штампа с поперечными колебаниями электрода.

В качестве наплавочного материала предложено использовать порошковую проволоку Eureka 635, 450 и 650. Сварку предлагается вести в защитной смеси K20 (20% углекислого газа + 80% аргона).

В качестве источника питания и механизма подачи проволоки предложено использовать разработки фирмы Fronius.

## Заключение

В диссертационной работе поставлена цель - повышение эффективности наплавочных работ при ремонте прессовых штампов.

При анализе состояния вопроса был выполнен обзор особенностей условий эксплуатации и износа прессовых штампов.

Для обеспечения удовлетворительной стойкости штампового инструмента одним из важнейших требований к наплавленному металлу и процессу наплавки является получение сплава с вязкой матрицей в сочетании с высокой твердостью и износостойкостью при обеспечении однородности химического состава. Поверхность рабочих частей (пуансона и матрицы) в процессе работы длительное время не должна подвергаться смятию, а их режущие кромки выкрашиванию.

На основании анализа преимуществ и недостатков рассмотренных способов восстановительной наплавки штампов наиболее перспективными способами признаны ручная дуговая наплавка и наплавка порошковой проволокой.

Для ручной дуговой наплавки штампов предложено использовать электроды ОЗИ-3, ОЗШ-1 (для выполнения промежуточных слоев) и ОЗШ-6 (для выполнения внешнего, рабочего слоя). Ручная дуговая наплавка является промежуточной мерой и будет выполняться, пока не будет подготовлена к реализации основная технология восстановительной наплавки с применением порошковой проволоки.

Для наплавки порошковой проволокой предложена техника наплавки. Сварку предлагается вести в защитной смеси К20 (20% углекислого газа + 80% аргона). В качестве наплавочного материала предложено использовать порошковую проволоку Eureka 635 (первый слой), 450 (промежуточные слои) и 650 (рабочий слой). В качестве источника питания и механизма подачи проволоки предложено использовать разработки фирмы Fronius.

Поставленную в диссертации цель можно считать достигнутой.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Артингер И. Инструментальные стали и их термическая обработка. Справочник // М. : Metallurgia, 1982. 311 с.
2. Бартенев Д. В. Разработка наплавочного сплава и технологии упрочнения и ремонта штампов горячего деформирования : дисс. ... канд. техн. наук, Курский государственный технический университет, Курск, 2008.
3. Бельский Е. И., Ситкевич М. В. Эксплуатация, ремонт и пути повышения стойкости штампов // М. : Машиностроение, 1981. 51 с.
4. Богуцкий А. А., Куций А. М. Механизированная наплавка металлорежущего инструмента быстрорежущей сталью // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали V Міжнародної наук. техн. конф., 4-7 червня 2007 року. Краматорськ: Донбаська державна машинобудівна академія, 2007. С. 9.
5. Богуцкий А. А. Многокритериальная оптимизация состава безвольфрамовой стали для наплавки режущего инструмента // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. праць. 1999. Вып. 9. С. 95–97.
6. Богуцкий А. А. Повышение стойкости наплавленного слоя при наплавке самозащитной порошковой проволокой биметаллического инструмента // Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии: сб. науч. трудов. Краматорск: ДГМА. 2012. № 3. С. 47–50.
7. Вапуль Х. Практическая металлография. Методы изготовления образцов // М. : Metallurgia, 2001. 640 с.
8. Виноградов В. Н., Сорокин Г. М. Износостойкость сталей и сплавов // М. : Нефть и газ, 1994. 417 с.
9. Владимиров В. М. Изготовление штампов, пресс-форм и приспособлений // М. : Высшая школа, 1974. 431 с.
10. Власов А. Ф., Богуцкий А. А., Лысак В. К., Куций А. М. Разработка материалов и технологии наплавки биметаллического режущего и

штампового инструмента // Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии: сб. науч. трудов. Краматорск: ДГМА. 2012. № 3. С. 80–85.

11. Геллер Ю. А. Инструментальные стали // М.: Metallurgy, 1983. 527 с.

12. Геров В. В. Влияние модификации поверхности на статические и циклические характеристики мартенситно-старяющей стали: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01 / Геров Владимир Владимирович. – М.: Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, 2003. – 183 с.

13. Гладкий П. В., Переплётчиков Е.Ф., Рябцев А. И. Плазменная наплавка // К. : Екологія, 2007. 292 с.

14. Голуб Д. М. Анализ материалов для повышения износостойкости штампового инструмента холодного деформирования // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. 2016. № 2. С. 79–84.

15. Голуб Д. М. Совершенствование технологии наплавки штампового инструмента с применением порошковой проволоки инструмента: дисс. ... канд. техн. наук, Донбасская государственная машиностроительная академия, Мариуполь, 2016.

16. Ельцов В. В. Восстановление и упрочнение деталей машин : учебное пособие // Тольятти: Изд-во ТГУ, 2014.

17. Ерофеев В. А., Захаров С. К., Зотова С. В. Влияние параметров дуговой наплавки порошковых материалов на свойства поверхности инструмента // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 19. 2017. С. 117–124.

18. Ерофеев В. А., Захаров С. К., Кузнецов О. В. Особенности технологии дуговой наплавки упрочняющих слоёв на стальную подложку // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 11. 2014. С. 132–138.

19. Зубцов А. Ф., Корсаков В. Д. Стойкость штампов // Л. : Машиностроение, 1971. 200 с.

20. Кальянов В. Н., Багров В. А. Мартенситно-стареющие стали для наплавки штампов // Сварочное производство. 2003. № 2. С. 35–37.
21. Кальянов В. Н., Багров В. А. Мартенситно-стареющие стали для наплавки штампов // Сварочное производство. 2003 № 2. С.35–37.
22. Кащенко Ф.Д., Беляев А.И. Реновация деталей металлургического оборудования наплавкой // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова, 2006. № 1. С. 3–6.
23. Колмогоров В. Л., Богатов А. А., Мыгачев Б. А. Пластичность и разрушение // М. : Металлургия, 1977. 336 с.
24. Кудинов В. В., Иванов В. М. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий // М. : Машиностроение. 1981. 192 с.
25. Куликовский Р.А. Восстановление наплавкой штампов пресс-форм // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении, 2012. № 2. С. 67–70.
26. Лебедев В. А., Лендел И. В., Яровицын А. В. Особенности формирования структуры сварных соединений при дуговой наплавке с импульсной подачей электродной проволоки // Автоматическая сварка. 2006. № 3. С. 25–30.
27. Макаренко Н. А., Богущкий А. А., Грановская Н. А. Повышение эффективности работы деталей машин металлургического и прессового производства применением плазменно-порошковой наплавки на разнополярном токе // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. 2011. № 1. С. 108–114.
28. Малаховский В. А. Плазменные процессы в сварочном производстве // М. : Высшая школа, 1988. 72 с.
29. Мансциашвили О. Г. Влияние азота на режущие свойства быстрорежущих сталей повышенной производительности. Металловедение и коррозия металлов // Менуереба, Тбилиси, 1980. № 6. 40 с.

30. Мурасов А. Ш., Макаров В. Ф. Металлосберегающие малозатратные технологии листовой штамповки // Заготовительные производства в машиностроении. 2005. № 3. С. 23–29.

31. Нероденко М. М. Исследование и разработка дисперсионно-твердеющих износостойких сплавов для наплавки прецизионных штампов: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.05 - технология и машины сварочного производства / М.М. Нероденко. – ИЭС. Им. Е.С. Патона АН УССР, Киев, 1965.

32. Никитенко В. М., Курганова Ю. А. Штампы листовой штамповки. Технология изготовления штамповой оснастки // Ульяновск : УлГТУ, 2010. 68 с.

33. Околович Г. А. Штамповые стали для холодного деформирования металлов: монография // Барнаул : АлтГТУ, 2010. 202 с.

34. Позняк Л. А., Скрынченко Ю. М., Тишаев С. И. Штамповые стали // М. : Металлургия, 1980. 244 с.

35. Попов И. П. Направленное изменение толщины листовой заготовки в процессах пластического деформирования : учебное пособие // Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. 190 с.

36. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки // М. : Машиностроение, 1977. 278 с.

37. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов Д. А. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего // Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2012. 208 с.

38. Походня И. К., Альтер В. Ф., Шлепаков В. Н. Производство порошковой проволоки // К. : Вища шк., 1980. 231 с.

39. Походня И. К., Горпенюк В. Н., Миличенко С. С. Металлургия дуговой сварки: Процессы в дуге и плавление электродов // Киев: Наук. думка, 1990. 221 с.

40. Походня И. К., Суптель А. М., Шлепаков В. Н. Сварка порошковой проволокой. Киев : Наукова думка, 1972. 224 с.

41. Походня И. К., Шлепаков В. Н., Максимов С. Ю. Исследования и разработки ИЭС им. Е. О. Патона в области электродуговой сварки и наплавки порошковой проволокой // Автоматическая сварка. 2010. № 12. С. 34–42.
42. РД 020000.37.101.0021-2019 Наплавка деталей штамповой оснастки для холодной обработки металлов давлением, деталей оборудования и вспомогательного инструмента в прессовом производстве, АО «АВТОВАЗ», 2019. 25 с.
43. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке // Л. : Машиностроение, 1979. 520 с.
43. Романовский В. И. Справочник по холодной штамповке // М. : Маштиз, 1959.
44. Рябцев И. А. Наплавка деталей машин и механизмов // Киев : Екотехнологія, 2004. 160 с.
45. Сидоров А. И. Восстановление деталей машины напылением и наплавкой // М. : Машиностроение, 1987. 192 с.
46. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие // Санкт-Петербург : Лань, 2021. 268 с.
47. Соколов Г. Н., Лысак В. И. Наплавка износостойких сплавов на прессовые штампы и инструмент для горячего деформирования сталей // Волгоград : ВолгГТУ, 2005. 284 с.
48. Соколов Г. Н. Формирование композиционной структуры наплавленного металла для работы в условиях термосилового воздействия и разработка технологии ЭШН прессовых штампов и инструмента : дисс. ... д-ра техн. наук ВолгГТУ, Волгоград, 2007.
49. Соломка Е. А., Лобанов А. И., Орлов Л. Н. Восстановительная и упрочняющая наплавка деталей штампового оборудования // Автоматическая сварка. 2014. № 6–7. С. 111–113.
50. Старова Е. П. Малолегированная быстрорежущая сталь с азотом // М. : Машгиз, 1953. 58 с.



51. Толстых Л. Г., Фурман Е. Л. Наплавочные материалы и технология наплавки : учебное пособие // Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2004. 102 с.
52. Шишков М. М. Марочник сталей и сплавов // Донецк: Юго-Восток, 2002. 456 с.
53. Шлепаков В. Н., Котельчук А. С., Наумейко С. М. Влияние состава сердечника порошковой проволоки и защитного газа на стабильность процесса дуговой сварки // Автоматическая сварка. 2005. № 6. С. 18–22.
54. Шоно С. А. Плавкость шлаков, образующихся при износостойкой наплавке порошковой проволокой открытой дугой // Автоматическая сварка. 1974. № 1. С. 7–9.
55. Юзвенко Ю. А., Кирилюк Г. А. Модель плавления самозащитной порошковой проволоки // Автоматическая сварка. 1983. № 1. С. 26–29.
56. Cary H. B. Flux-cored arc welding. Advances and applications in USA // Welding and metal fabrication. 1971. № 1. С. 39.
57. Doria J. G. Welding consumables: Market Trends // European Welding Association. Istanbul. 2001. № 20. С. 18–25.
58. Economic Impact and Productivity of Welding. Heavy Manufacturing Industries Report // Report AWS, EWI, insight-MAS, the Bureau of Export Administration U. S Department of Commerce. 2001. 37 p.
59. Irving B. US Navy Maintains High Interest in Funding for Welding Research. Construction and maintenance welding play a page part in the Navy's plans // Welding Journal. 1995. №3. С. 41-47.
60. Keonu, S. Niobium moves into height-speed steels // Metals and materials. 1978. № 10. С. 35–36.
61. Tsusumi S., Ooyama S. Investigation on carrent usage and future trends of welding materials // Intern. Inst. of Welding; Doc. XII-1759-03. 2003.