

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт машиностроения

Кафедра нанотехнологии, материаловедение и механика

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

**Исследование возможности повышения стойкости  
штамповой оснастки дорнов**

Направление подготовки - 22.04.01 -

Материаловедение и технологии материалов

Магистерская программа –

материаловедение и технологии наноматериалов и покрытий

Студент	<hr/>	<u>А.С.Онук</u>
	(подпись, дата)	И.О. Фамилия
Научный руководитель	<u>к.т.н., доцент</u>	<u>М.Н.Тюрьков</u>
	(ученая степень, ученое звание)	(подпись, дата)
		И.О. Фамилия
Заведующий кафедрой	<u>к.ф-м.н., доцент</u>	<u>С.Г. Прасолов</u>
	(ученая степень, ученое звание)	(подпись, дата)
		И.О. Фамилия

Тольятти 2016

## Аннотация

Пояснительная записка содержит 94 страницы, в том числе 15 рисунков, 17 таблицы, 49 источников.

Во введение дана общая характеристика проблемы исследования, обоснована актуальность темы, поставлена цель исследования, приведены задачи исследования, сформулированы объект и предмет исследования, указаны структура и объем работы.

Первый раздел посвящен аналитическому обзору литературных данных по теме. В частности, приведены сведения об отечественных материалах, используемых для изготовления и зарубежных материалах-аналогах. Рассмотрено устройство дорнов и условия их работы, а также специальные легированные стали и их химико-термическая обработка.

Второй раздел посвящен непосредственно применявшимся в работе образцам, оборудованию для исследования их физических, химических и механических свойств и методикам испытаний и исследований.

В третьем разделе проводятся исследования касающиеся непосредственного влияния химико-термической обработки на стойкость штамповой оснастки.

В четвертом разделе исследуется влияния микроструктуры стали на стойкость штамповой оснастки дорн, а именно проводится замена марка стали и оцениваются показатели стойкости после проведения производственных испытаний.

## Оглавление

АННОТАЦИЯ.....	2
ОГЛАВЛЕНИЕ .....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ДОРНОВАНИЕ КАК СПОСОБ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛА.....	8
1.1. Дорнование .....	8
1.2. Условия работы дорнов при дорновании .....	16
1.2.1. Материал, применяемые для изготовления штамповой оснастки .....	21
1.2.2. Существующие способы повышения стойкости оснастки .....	26
1.2.3. Термическая обработка штамповых сталей для горячего деформирования.....	26
1.2.4. Химико-термическая обработка оснастки .....	28
1.3. Постановка задач исследования .....	39
ГЛАВА 2. МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ.....	43
2.1. Образцы и методики их изготовления .....	43
2.2. Оборудование и методики выполнения работы .....	48
2.2.1. Методика проведения производственных испытаний опытной оснастки .....	50
2.2.2. Оборудование для исследования структуры .....	53
2.2.3. Оборудование для исследования свойств .....	54
2.2.4. Вспомогательное оборудование.....	56
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ .....	61
3.1. Влияние ХТО на структуру стали .....	61
3.2. Влияние ХТО на стойкость дорнов.....	63
ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛИ НА СТОЙКОСТЬ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ ДОРН .....	65
4.1. Результаты химического анализа .....	65
4.2. Определение параметров микроструктуры и механических свойств .....	66
ВЫВОДЫ .....	83

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	85
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	90
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	91
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	92
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	93
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	95
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	96

## **Введение**

### **Актуальность работы**

Высокая экономическая эффективность производства в значительной степени зависит от срока службы инструмента и штамповой оснастки.

Повышение стойкости штампов является одной из важных задач, которые должны учитываться при их изготовлении, ремонте и эксплуатации. Оно позволяет значительно сократить потери рабочего времени на ремонт, заправку и изготовление штампов, снизить простои оборудования при смене штампов и увеличить количество отштампованных деталей с одного штампа.

Во время эксплуатации поверхности металлических деталей испытывают серьезные нагрузки, которые практически не воспринимаются внутренними слоями изделий. Именно слои, находящиеся сверху, противодействуют разнообразным негативным влияниям, начиная от теплового воздействия и коррозии, и заканчивая изнашиванием деталей [1].

Для увеличения износостойкости поверхности изделий и надежности изделий в целом и был разработан такой метод как дорнование.

Дорнование — прогрессивный бесстружечный точный метод обработки металлов, который основан на способности пластичных металлов приобретать под действием внутреннего давления большие остаточные деформации без разрушения металла заготовки, но со значительным изменением их первоначальных размеров. Дорнование исключает предварительную обработку, в результате чего снижается расход металла, количество операций, объем обработки резанием. За один-два прохода можно получить весьма точные и чистые отверстия, причем одновременно происходит упрочение поверхностных слоев металла, повышается долговечность обработанных деталей. Это дает дорнованию важное технико-экономическое преимущество перед другими технологическими процессами [2].

Однако материалы, применяемые для изготовления оснастки, обладают малой износостойкостью и, соответственно, малым ресурсом работы. Материал кузнечного штампа работает в тяжелых условиях горячего истирания и смятия, поэтому для изготовления штампов используется инструментальная сталь, которая должна иметь высокую теплостойкость и горячую износостойкость [3]. При разрушении и образовании разгарных трещин весьма важным свойством инструментальной стали является пластичность (вязкость разрушения) и ее однородность по сечению, в продольном и поперечном направлении заготовок. Высокий потенциал вязкости означает, что увеличение срока службы инструмента может быть достигнуто путем увеличения рабочей твердости. На практике это достигается путем использования материалов, которые, например, обладают высокой однородностью и имеют высокую микрочистоту, значительно замедляющие начало термического разгара [4].

Одним из факторов, влияющим на снижение затрат и стоимости продукции, является повышение стойкости штампов, а также снижение эксплуатационных расходов. Поэтому в данной работе была предпринята попытка найти способ повышения стойкости для штамповой оснастки дорна 856-1314-4018-028 применяемого на ОАО «АВТОВАЗ» для штамповки детали «обойма внутреннего шарнира» [5].

**Цель работы** определение способов повышения стойкости штамповой оснастки дорнов

**Объекты исследования:** инструментальные штамповые стали типа 4X5МФС.

**Предмет исследования:** химический состав, механические свойства, микроструктура.

**Задачи работы,** поставленные для достижения цели:

1. Установить основные факторы, влияющие на стойкость штамповой оснастки дорнов.

2. Подобрать режим химико-термической обработки, обеспечивающий повышение стойкости штамповой оснастки дорнов.

3. Исследование зависимости стойкости штамповой оснастки дорнов от марки стали.

Практическая значимость: замена марки стали и методов ХТО поможет не только увеличить стойкость дорнов, но и уменьшить затраты на изготовление и дальнейший его ремонт.

Личный вклад автора заключается в подготовке литературного обзора, проведении экспериментов по теме исследования, проведение металлографического анализа на соответствие технологии изготовления и процесса эксплуатации, анализе результатов.

**В сведениях о теоретических и методических основах диссертационного исследования** приводятся теории и методы, примененные магистрантом для решения задач, адекватной цели диссертации.

#### **Структура и объем работы**

Полный объем диссертации составляет 94 страницы, в том числе 15 рисунков и 17 таблиц. Список литературы содержит 49 наименований.

Описание представляемого исследования включает введение, 4 раздела, заключение, список цитируемой литературы.

## **Глава 1. Дорнование как способ обработки материала**

### **1.1. Дорнование**

В процессе эксплуатации деталей большому взаимодействию подвергается его поверхность. Тогда как внутренние слои в металле не испытывают нагрузок или почти не испытывают их, верхние же слои напротив постоянно подвергаются износу, коррозии, взаимодействию с окружающей средой и т.п. В связи с этим в последнее время начало интенсивно развиваться относительно новое направление научных работ посвященных повышению точности и надежности машин технологическими методами, предусматривающее значительное увеличение прочности и износостойкости рабочих поверхностей деталей, которое достигается упрочнением поверхностного слоя металла. Наиболее эффективным оказался процесс обработки металлов поверхностным и объемным пластическим деформированием, который обеспечивает не только упрочнение поверхностного слоя, но так же снижает шероховатость поверхности и значительно повышает точность обработки. Самым перспективным процессом обработки металлов однако является дорнование [6].

#### **Дорнование цилиндрических отверстий**

Для того что бы получить высокую точность и низкую шероховатость поверхности, повысить усталостную прочность и износостойкость, в особенности для деталей, где ослабляющими местами являются отверстия, увеличить прочность и стабильности в работе для прессовых и подвижных посадках, повысить статистическую прочность цилиндров, работающих в условиях высокого внутреннего давления, в основном применяется процесс дорнования отверстий. Заключается процесс калибрования отверстий дорнованием в том, что рабочий инструмент определенной формы (дорн) проталкивается через обрабатываемое отверстие, которое по размерам несколько меньше чем размер самого калибрующего дорна. При этом



вследствие пластических деформаций малый диаметр отверстия увеличивается, поверхностный слой металла в отверстии упрочняется, а шероховатости сглаживаются.

Сущность процесса и схемы обработки.

Дорны бывают различной конструкции, но в целом для всех дорнов характерны общие элементы (Рисунок 1). Дорны имеют заборную часть в пределах рабочей длины своего профиля, которая производит основную работу по деформированию металла, цилиндрическую часть, которая повышает износостойкость дорна и улучшающую качество обработанной поверхности; заднюю часть, которая уменьшает силы тяги при дорновании.

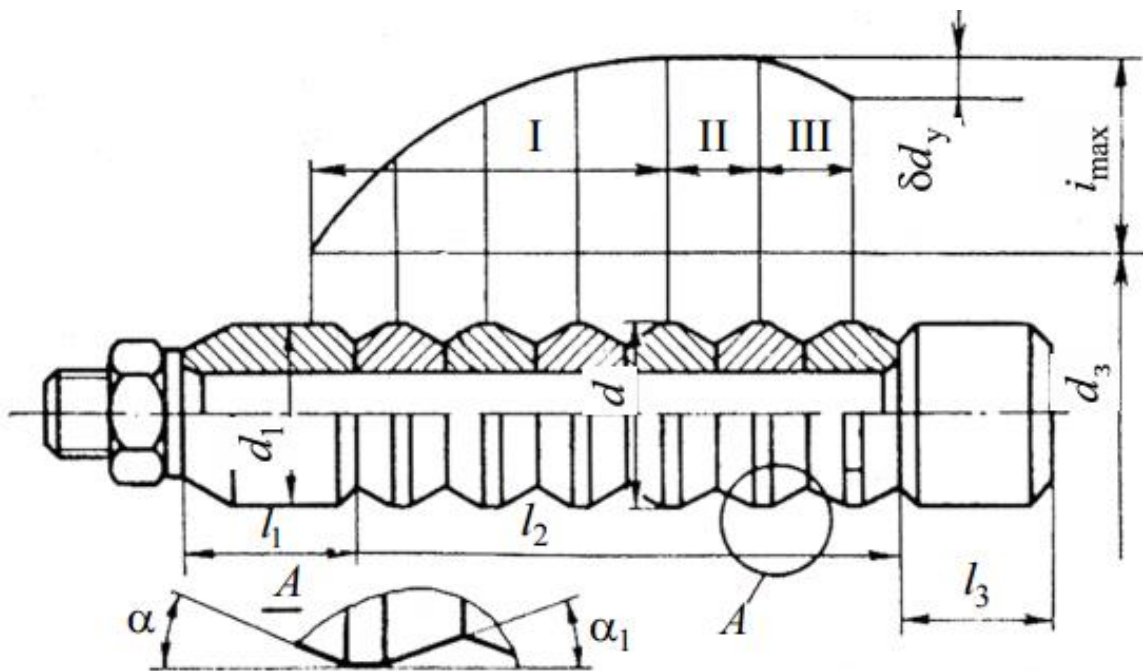


Рисунок 1 - Многозубый дорн [7]

Угол, образованный между осью зуба дорна и образующей заборного конуса, называется углом  $\alpha$  заборного конуса. При применении дорна с заборной частью профиля в виде сферы или другой криволинейной поверхности угол заборного конуса не будет постоянным для всех точек профиля. Угол  $\alpha$ , расположенный между осью дорна и образующей заднего

конуса, называется углом обратного конуса. Многозубый дорн любого типа состоит из передней направляющей части 11, рабочей части с зубьями дорна 21, заднего направления 31.

Передняя часть дорна служит для направления и центрирования в отверстиях. Задняя направляющая служит для обеспечения плавного выхода дорна из отверстия. Рабочая часть многозубого дорна состоит из деформирующих, калибрующих и концевых зубьев. Основная работа по деформации металла возложена на деформирующие зубья, которые обеспечивают выглаживание обрабатываемой поверхности и помогает получить необходимое по размерам отверстие. Для лучшего центрирования и направления многозубого дорна в отверстии первый зуб делается равным размеру предварительно подготовленного отверстия до дорнования. Калибрующие зубья позволяют иметь запас на перешлифовку дорна и обеспечивают лучшее центрирование его в отверстии. Диаметр калибрующих зубьев равен диаметру деформирующего зуба с максимальным натягом. Концевые зубья обеспечивают плавность выхода дорна из отверстия. Размеры зубьев постепенно понижаются до размера окончательно обработанного отверстия. В связи с тем, что диаметр дорна всегда больше диаметра предварительно подготовленного отверстия, в кольцевой зоне вокруг отверстия при дорновании происходят пластические деформации, и диаметр отверстия после дорнования увеличивается. Изменение диаметра отверстия можно определить аналитическим путем. Для этого определим абсолютный натяг  $i$  при дорновании втулки:

$$i = d - d_3, \quad (1)$$

где  $d$  — диаметр дорна по цилиндрической ленточке;  $d_3 = 2r_3$  — диаметр отверстия в заготовке до дорнования. Относительный натяг  $\lambda$ , т. е. натяг, приходящийся на единицу диаметра, имеет вид

$$\lambda = \frac{i}{d_3} = \frac{i}{2r_3} \quad (2)$$

Абсолютная остаточная деформация по отверстию может быть определена из условия

$$\delta d_0 = d_0 - d_3 \quad (3)$$

где  $d_0 = 2r_0$  — диаметр отверстия после однократного дорнования. Тогда относительная остаточная деформация  $\eta_r$  определится из выражения

$$\eta_r = \frac{\delta d_0}{d_3} \quad (4)$$

Абсолютная упругая деформация находится из зависимости

$$\delta d_y = d - d_0 \quad (5)$$

Для случая дорнования отверстий многозубым дорном (Рисунок 2):  $d_1, d_2, d_3 \dots$  — диаметры по цилиндрической ленточке следующих друг за другом зубьев многозубого дорна;  $i_{\max} = d_{\max} - d_3$  — абсолютный максимальный натяг. Сила тяги при дорновании  $P$  определяется из выражения

$$P = P_c + P_m + P_d, \quad (6)$$

где  $P_c$  — часть силы, расходуемой на упругую и пластическую деформацию металла (зависит от механических свойств обрабатываемого материала);  $P_m$  — часть силы, необходимой для преодоления сил трения дорна об обрабатываемую заготовку (зависит от конструкции дорна и шероховатости поверхности обрабатываемой заготовки);  $P_d$  — часть силы, связанной с неравномерностью деформации (зависит от угла заборного конуса дорна  $\alpha$ );  $P_{мд}$  — сила тяги при многозубом дорновании. Поступательное движение дорна по каналу отверстия может происходить с различной скоростью. Эту скорость называют скоростью дорнования. Торцевой частью обрабатываемой втулки, передающий на опору осевое давление дорна, — опорный торец 2, а противоположный ему торец — верхний торец 1.

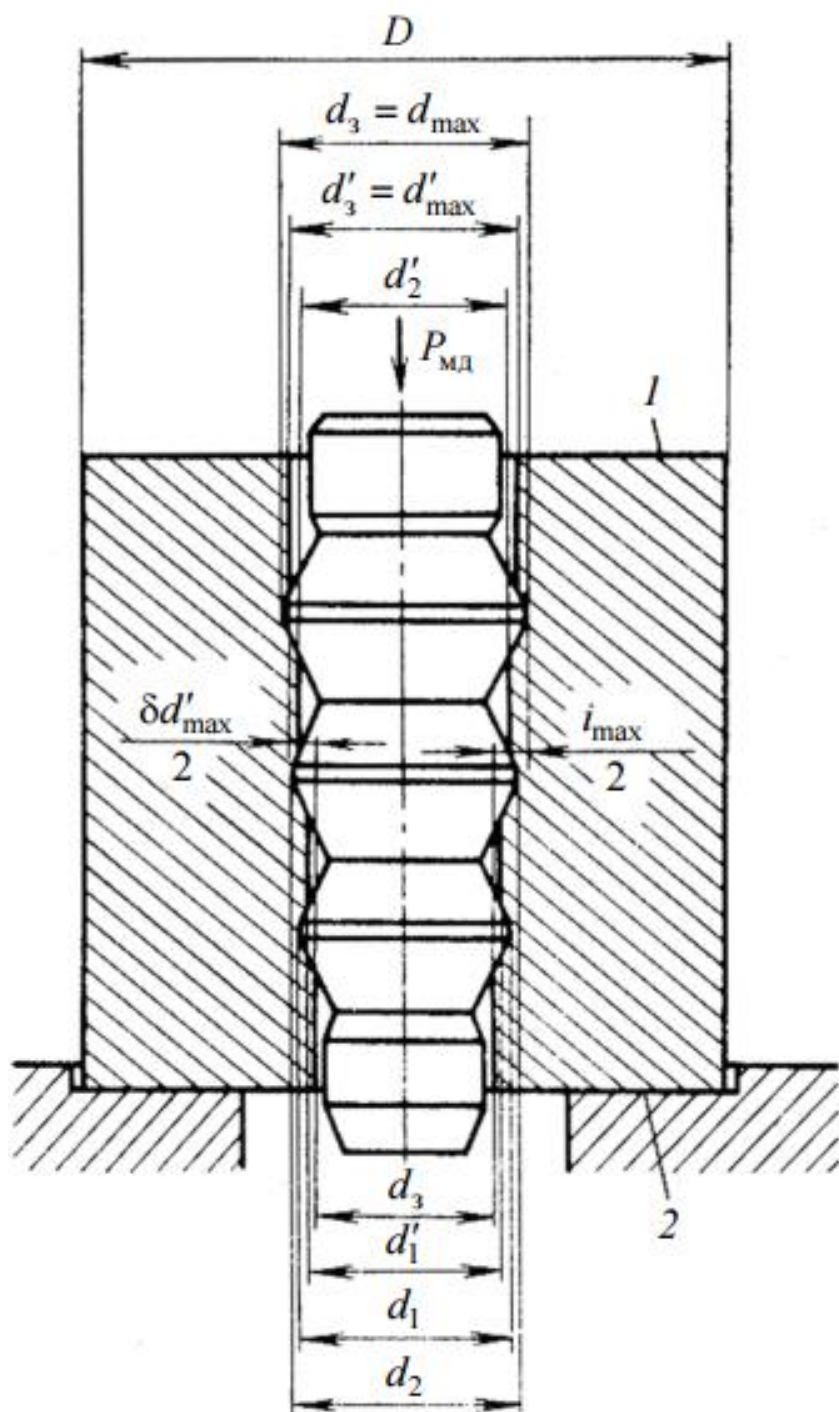


Рисунок 2 - Схема обработки втулки и обозначения расчетных величин при обработке многозубыми дорнами: 1 — верхний торец; 2 — опорный торец [7]

Для того что бы определить соотношение и направление сил действующих на дорнуемую заготовку в момент работы, рассмотрим элементарный объем металла внутри заготовки в области деформации. Объемное напряженное состояние тела при дорновании может быть

приблизительно охарактеризовано следующими главными нормальными напряжениями: радиальным сжимающим напряжением,  $\sigma_r$  которое образуется в результате нормального давления дорна на металл; окружным растягивающим напряжением,  $\sigma_t$  которое направлено по касательной к окружности данного радиуса, и осевым сжимающим напряжением,  $\sigma_z$  возникшим в результате противодействия деформациям соседних участков металла (Рисунок 3).

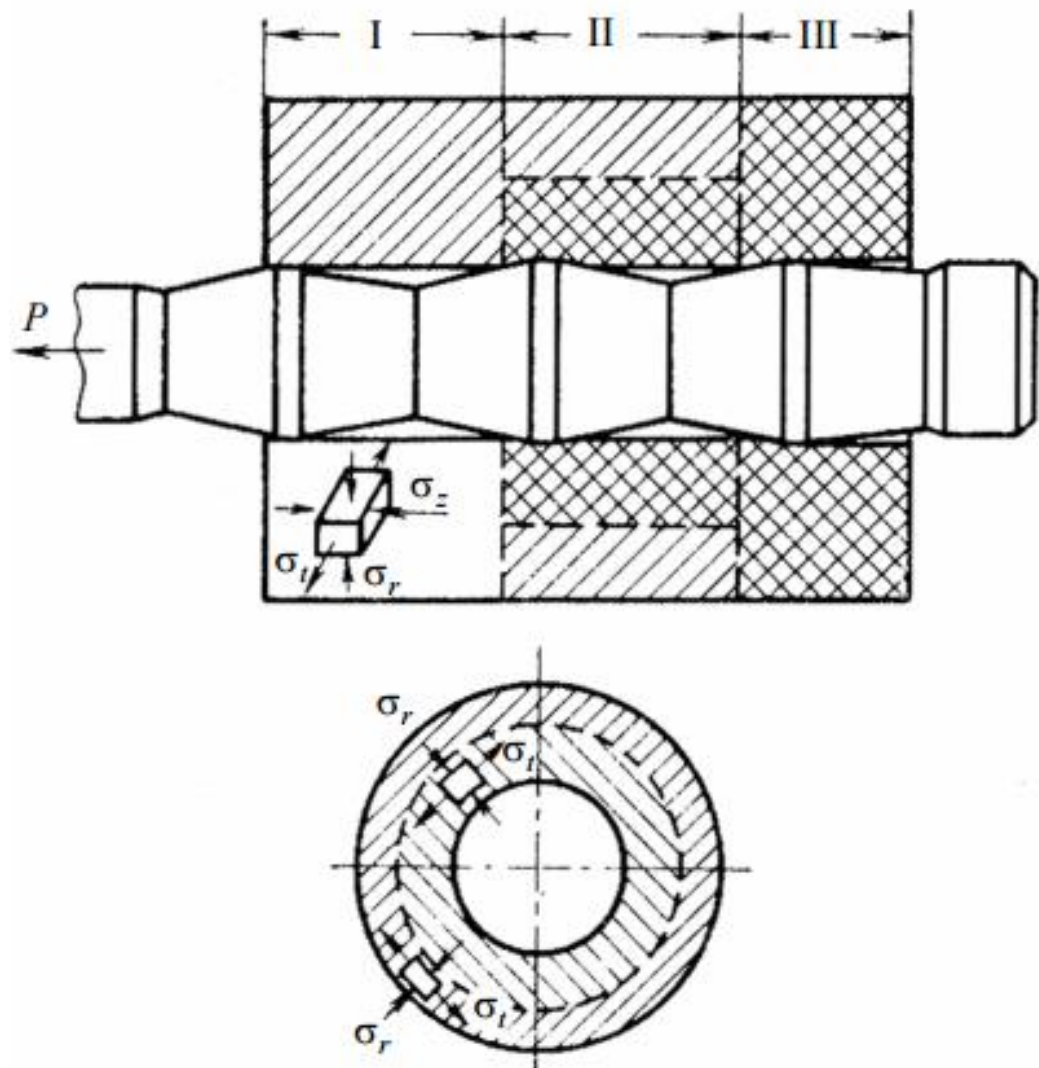


Рисунок 3 - Схема деформации при обработке отверстий многозубыми дорнами: I — зона упругих деформаций; II — зона упруго-пластических деформаций; III — зона пластических деформаций

Из этого следует что, в кубике, выделенного из зоны деформации дорнуемой втулки, будут напряжения равные двум сжимающим напряжениям и одному растягивающему напряжению. Одним из основных факторов при обработке металлов давлением является вид напряженного состояния. В одном и том же металле может быть различная степень пластичности из-за различности показателей соотношения величины и направления главных действующих напряжений. Самым благоприятным видом объёмного напряженного состояния является неравномерное всестороннее сжатие, потому что оно обеспечивает наибольшую пластичность деформируемого металла. Самым же не благоприятным видом в этом случае является неравномерное всестороннее растяжение, которое своими растягивающими напряжениями может привести к охрупчиванию обрабатываемого материала. Происходит это из-за различности соотношений величин нормальных и касательных напряжений. Когда происходит процесс дорнования вид объёмных напряженных состояний получается промежуточным. Если при процессе дорнования взять небольшой натяг, по итогу проталкивания дорна через отверстие поверхностные слои металла почти полностью вернуться в свое первоначальное положение (за исключением некоторых дефектов таких как смятые поверхностные гребешки металла), что приведет к тому что остаточные деформации в металле не возникнут. Если же увеличить натяг, когда главные напряжения  $\sigma_t$ ,  $\sigma_r$  и  $\sigma_z$  достигнут величин, удовлетворяющих уравнению пластичности, это приведет к появлению пластических деформаций.

В процессе дорнования можно образоваться три характерные зоны деформации:

- 1) зона активного деформирования в пределах заборного конуса дорна, где осуществляется процесс упругого и пластического деформирования металла;

2) зона цилиндрической ленточки, характерная наличием в пределах некоторого времени установившегося напряженного состояния металла (для простоты рассуждений трением между дорном и втулкой пренебрегаем);

3) зона обратного конуса, в которой происходит частичное упругое восстановление прежних размеров детали.

В процессе дорнования отверстий цилиндрической форма в заготовке происходит некая перезагрузка, которая вызывает остаточные деформации внутренних слоев материала, а наружные слои в свою очередь получают только упругие деформации. Остаточные деформации возникшие в процессе дорнования в металле сохраняются и после прекращения давления дорном и тем самым препятствуют возвращению вышележащих упругих слоев в первоначальное положение. Это приводит к тому, что после процесса дорнования втулка остается в напряженном состоянии.

Вследствие непрерывно изменяющихся натягов зубья многозубого дорна могут создавать по разным участкам деформируемой втулки разные виды напряженного состояния: упругое, упругопластическое и пластическое (Рисунок 3).

В процессе дорнования между втулкой и дорном появляется внешнее трение, которое значительно влияет на процесс деформации. Внешнее трение в какой-то степени может изменить направление деформации, что в свою очередь может привести к неравномерности распределения напряжений, а так же может вызвать появление дополнительных сдвигов в поверхностном слое дорнуемого отверстия. Дополнительные сдвиги – это искажение элементов деформируемого тела, вызванное изменением направления главных осей деформации. При движении дорна по каналу отверстия условия для деформирования металла не на всех участках одинаковы. У торцов втулки условия деформирования более благоприятны, чем в середине. Поэтому металл, расположенный вблизи торцов, стремится при дорновании сдвинуться в их сторону. Следовательно, после дорнования вблизи торцов

обработанных втулок наблюдается некоторое искажение торцов и образующих отверстий [7].

## **1.2. Условия работы дорнов при дорновании**

В процессе дорнования дорн подвергается постоянному циклическому нагреву и охлаждению. Кроме этого дорн еще подвергается различным как давлениям со стороны валков так и продольным растяжениям, которые вызваны силами трения деформируемого металла во время штамповки и извлечения дорнов. Из-за цикличности процесса очаг деформаций за один оборот непостоянен, действующие сила трения и давление действующее на дорн постоянно меняются. Условия работы дорнов очень тяжелые потому, что дорн находится в длительном контакте с нагретым пластически деформируемым металлом, при этом отсутствует охлаждение в процессе деформации, происходят большие температурные перепады за один цикл на рабочей поверхности (охлаждение до температуры 180-200 °С в ванне с водой и смазкой, нагрев в процессе прокатки и работа в течение 3,5-6,0 минут при температуре 500-650 °С). Совокупности факторов (больших температур и давлений) приводят, в основном, к образованию сеток разгарных трещин, что в последствии приводит к быстрому выходу дорнов из строя. Разгарные трещины на поверхности дорнов начинают появляться через 0,80-0,85 от первоначальной их стойкости, которые со временем работы только увеличиваются как качественно, так и количественно, то есть они начинают расти вширь и проникать все глубже [8].

В связи с этим дорны эксплуатируются до выхода из строя, связанного с появлением разгарных трещин, а так же истиранием, смятием и поломкой дорнов. Истирание – это механический унос частиц металла штампа штампуемым металлом. Самыми уязвимыми местами для процесса истирания являются места интенсивного перемещения металла такие, как облойный мостик, переходный радиус закругления и т.п.



Гравюра сминается вследствие давления горячего металла, а также из-за повышения температуры штампа до температуры отпуска и выше. В первую очередь сминаются выступающие части гравюры.

Многократное изменение температуры штампа в процессе штамповки ведет к необратимым изменениям в его поверхностном слое, к образованию разгарных трещин и к выходу штампа из строя. Повысить стойкость гравюры можно различными методами, например наплавкой специальных электродов, изменением состава поверхностного слоя гравюры методом напыления или диффузионного упрочнения и т.п. [9].

Анализ условий эксплуатации формообразующих элементов штамповой оснастки полугорячего деформирования показал, что:

1. Температурные условия эксплуатации инструмента для полугорячего деформирования характеризуются значительным разогревом поверхности дорнов, длительным временем их контакта с горячей заготовкой и относительно малыми перепадами температуры во время цикла штамповки.

2. Силовые условия эксплуатации инструмента полугорячего выдавливания характеризуются сравнительно плавным нагружением, большой величиной удельных усилий и неравномерностью их распределения [10].

3. Вследствие высоких температур нагрева и значительных удельных усилий штамповки, а также разупрочнения рабочей поверхности основными видами выхода из строя инструмента полугорячего выдавливания являются деформация и истирание рабочих участков.

Ввиду того, что дорны полугорячего деформирования в процессе изготовления изделия находятся в различных условиях теплового и силового нагружения, то их недостаточно высокая стойкость определяется различными причинами

Дорны, интенсивно охлаждаемые СОЖ, преждевременно выходят из строя при эксплуатации вследствие как недостаточно высокой

разгаростойкости, так и теплостойкости, особенно в условиях нарушения режима подачи СОЖ [11, 12].

Основные факторы, влияющие на стойкость штампов, могут быть классифицированы на четыре группы: металлургическую, конструктивную, технологическую, эксплуатационную (Рисунок 4) [5]. Таким образом, на стойкость штампов более или менее существенное влияние оказывает большая группа различных факторов, многие из которых взаимообусловлены. Это сильно затрудняет установление основных закономерностей и придает самой проблеме комплексный характер.

При исследовании стойкости штампов решающее значение имеют вопросы кинетики и механизма износа контактной поверхности. Вопросы износа относятся к числу наиболее сложных и широко исследуемых проблем. Основные виды износа контактной поверхности штампов схематично представлены на Рисунке 5. Перечисленными факторами в основном охватываются наиболее часто встречающиеся причины выхода штампов из строя в процессе эксплуатации. Однако выбраковка штампа, как правило, связана с одним преобладающим видом износа. Для молотов с ограниченным весом падающих частей – это истирание (преимущественно на участке облоя), для крупных молотов – смятие, для кривошипных машин – разгарные трещины.



Рисунок 4 – Основные факторы, влияющие на стойкость штампов.



Рисунок 5 – Основные виды износа контактной поверхности

### **1.2.1. Материал, применяемые для изготовления штамповой оснастки**

Правильный выбор материалов для изготовления дорнов и рациональный режим их обработки очень сильно влияют на срок службы штампа, показатели в работе и стойкость.

Материалы для дорнов необходимо выбирать в соответствии с характером операции, толщиной и свойствами штампуемого материала, конфигурацией и размерами получаемых деталей [13].

Теплоустойчивые штамповые стали, комплексно-легированные хромом, молибденом, вольфрамом, ванадием и другими элементами, склонны к вторичному твердению при отпуске. Максимальное упрочнение («пик» вторичного твердения) достигается после отпуска при 500-550°C; дальнейшее повышение температуры отпуска вызывает разупрочнение, скорость которого, а следовательно и теплостойкость определяется системой легирования данной стали. Исследования влияния легирующих элементов на процесс вторичного твердения и скорость разупрочнения показали, что наиболее интенсивно уровень вторичной твердости повышается при увеличении в штамповой стали содержания углерода, хрома и кремния [14].

По мере повышения содержания углерода (с 0,29 до 0,56%) твердость стали после закалки и последующего отпуска в интервале 200-600°C значительно возрастает; в то же время эффект вторичного твердения несколько снижается. Скорость разупрочнения сталей после отпуска при температурах выше «пика» твердения возрастает с увеличением содержания углерода, вследствие чего разница в твердости низко и высокоуглеродистой стали практически исчезает. В связи с тем, что применение высокоуглеродистых сталей в состоянии высокой твердости весьма ограничено из-за их низкой пластичности и ударной вязкости, повышение содержания углерода более 0,4% в штамповых сталях рассматриваемого типа нецелесообразно.

Кремний и хром заметно повышают уровень вторичной твердости штамповой стали с 0,4% С. Однако механизм влияния этих элементов на

вторичное твердение различен. Рост содержания хрома в стали сопровождается более полным растворением специальных карбидов при нагреве под закалку, увеличением степени насыщения твердого раствора легирующими элементами и, следовательно, выделением большого числа карбидов при отпуске. Кремний, не оказывая существенного влияния на устойчивость против растворения избыточных карбидов при закалке, повышает термодинамическую активность углерода в феррите и интенсифицирует тем самым процесс карбидообразования при отпуске, усиливая эффект вторичного твердения.

При температурах отпуска выше 550-600°C штамповые стали с 0,4% углерода и с более высоким содержанием хрома (5,5%) и кремния (1,5%) разупрочняются быстрее, чем стали с более низким содержанием этих легирующих элементов, т.е. обладают меньшей теплостойкостью.

Для сталей повышенной (4X5МФС, 4X4ВМФС и др.) и высокой (типа 4X2В5ФМ, 5X3В3МФС и др.) теплостойкости можно считать оптимальным содержание 4-5% и 2-3% хрома соответственно. В сталях умеренной теплостойкости и повышенной вязкости содержание хрома обычно ограничивают 1-2%. Это ограничение связано с повышенной склонностью хрома к дендритной ликвации и опасностью образования зернограницных выделений в надкритическом интервале температур [15].

Увеличение концентрации вольфрама (1,0-3,5%), молибдена (1,0-3,5%) и ванадия (0,5-2,0%) вызывает некоторый прирост уровня твердости после отпуска и увеличение эффекта вторичного твердения, приводит к снижению скорости разупрочнения при отпуске при температурах выше «пика» твердения, т.е. к увеличению теплостойкости.

Вольфрам и молибден являются химическими аналогами и влияют почти одинаковым образом на превращения в стали.

Молибден при равном содержании (по массе) с вольфрамом в твердом растворе образует из-за меньшего атомного веса почти в два раза больше

ионов и может значительно усиливать неоднородность распада мартенсита при образовании собственных карбидов.

Обычно считают, что в подобных сталях допустима почти неограниченная замена вольфрама молибденом в соотношениях 2(1,5):1, т.е. признают равнозначность влияния этих элементов на структуру и свойства. Вместе с тем авторы ряда исследований [16] утверждают, что по влиянию на кратковременную и длительную прочность жаропрочных сплавов при повышенных температурах вольфрам значительно эффективнее.

Экспериментами, выполненными О.М. Куимовой, Ю.М. Скрынченко и В.Д. Жалыбиной [17] на модельных сплавах, содержащих 0,3%С, 1,5%V и 1-3%Mo, было установлено, что в присутствии повышенных содержаний молибдена (2-3%) ускоряется коалесценция карбидов типа MC при старении. Наиболее рациональным содержанием молибдена в штамповых сталях повышенной теплостойкости следует считать 0.4-1,0%.

В то же время из-за отчетливо выраженной тенденции к снижению пластичности и ухудшению структуры (усилению ликвационных явлений) при увеличении количества карбидообразующих элементов суммарное содержание в них вольфрама и молибдена целесообразно ограничивать 4-5%. Превышение этих пределов не вызывает также дальнейшего увеличения теплостойкости стали.

Оказывая существенное влияние на структуру штамповых сталей после закалки и отпуска, легирующие элементы в значительной степени определяют уровень механических свойств сталей: предел прочности, предел текучести, твердость, ударную вязкость и пластичность. После улучшения на одинаковую исходную прочность стали, легированные вольфрамом, молибденом и ванадием, а также хромом до 2–3%, не имеют существенных различий в прочности при повышенных температурах. Это объясняется примерно одинаковым растворением вольфрама, молибдена и ванадия в матричной основе – феррите. Повышение содержания этих элементов в стали снижает их вязкость при нагреве.

Такое явление объясняется следующим образом. При закалке рассматриваемых сталей неизбежно происходит выделение некоторой части карбидов по границам аустенитных зерен и, следовательно, обеднение приграничных участков легирующими элементами. Поэтому при отпуске сталей границы зерен разупрочняются быстрее и значительнее, чем сами зерна. При нагружении при повышенных температурах разрушение происходит по границам зерен; показатели ударной вязкости и пластичности при этом снижаются [18].

Увеличение содержания хрома свыше 2–3% благодаря значительному растворению его в матричной основе приводит к существенному повышению прочности и вязкости стали при нагреве.

Таким образом повышение уровня основных свойств (прочности, теплостойкости) штамповых сталей связано с увеличением степени их легирования вольфрамом, молибденом, ванадием, хромом.

Однако должная эффективность многокомпонентной штамповой стали может быть получена только при правильной термообработке. Даже сталь лучшего металлургического качества может быть испорчена из-за ошибок при закалке и отпуске.

Для штамповых сталей, легированных хромом, молибденом, вольфрамом, ванадием важно использовать принятые верхние границы температуры закалки. Только при такой закалке можно полностью использовать свойства легированных сталей, так как при этом наиболее тяжелорастворимые специальные карбиды этих сталей в большем количестве перейдут в раствор. Высокая температура закалки обуславливает большую прочность и высокую температуру отпуска. При слишком низкой температуре закалки высокая прочность может быть достигнута лишь благодаря низкому отпуску, а это создает опасность нагрева штампа при работе выше температуры отпуска. Одновременно снижается разгароустойчивость стали. Во многих случаях можно заметно повысить стойкость инструмента, закаливая инструмент при температуре,



соответствующей верхней границе интервала. Дальнейшее повышение температуры приведет к обратному результату, так как проявляется рост зерна, связанный с уменьшением вязкости [19].

Стали, легированные хромом, молибденом, вольфрамом, ванадием должны обладать достаточно высокой температурой отпуска, а также при нагреве – определенными прочностными свойствами, соответствующими возникающим нагрузкам. При этом температура отпуска определяет границу наибольшей допускаемой температуры, на которую можно нагревать инструмент, не опасаясь снижения заданных прочностных свойств. Так для штампов горячего деформирования температура отпуска должна быть минимум на 30-50° выше, чем температура нагрева штампа при работе, иначе может произойти деформирование инструмента и преждевременный износ. Однако рабочая температура деталей штампа колеблется в широких пределах в зависимости от метода обработки, температуры обрабатываемой детали, скорости работы и охлаждения штампа.

Но практически решающим являются прочностные свойства стали не при обычной температуре, а при температуре работы штампа, так как штампы не должны пластически деформироваться под нагрузкой. Наряду с высокой прочностью необходима достаточно высокая износостойкость и вязкость при высокой температуре. Отсутствие склонности к появлению разгарных трещин, вызываемых малой теплопроводностью стали, также является одним из основных требований. Даже самые малые трещины могут быть очагом последующего разрушения. Поэтому вообще стали этого типа должны быть малочувствительными к изменению температуры.

Эти различные и часто противоречивые требования к сталям для горячего и полугорячего деформирования удовлетворяются благодаря рациональному комплексному легированию стали вольфрамом, молибденом, ванадием, хромом в соответствии с условиями эксплуатации штампов, изготовленных из этих сталей [20].

### **1.2.2. Существующие способы повышения стойкости оснастки**

Стойкость штампа определяется количеством отштампованных деталей от заточки до ремонта (или между двумя заточками, или между двумя ремонтами). Стойкость может определяться и общим количеством отштампованных деталей до полного износа штампа.

На стойкость штампов влияют следующие факторы:

1. технологичность конструкции штампуемой детали;
2. особенности технологического процесса штамповки;
3. свойства штампуемого материала;
4. конструкция штампа;
5. материал, из которого сделаны рабочие детали штампа;
6. термическая и химико-термическая обработка штампов;
7. качество изготовления штампа;
8. условия эксплуатации штампа [21].

Из приведенных выше факторов, влияющих на стойкость штампов, нами были выделены те, которые оказывают наибольшее влияние на стойкость оснастки. К таким факторам мы отнесли материал, из которого сделаны рабочие детали штампа и термическая и химико-термическая обработка штампов.

### **1.2.3. Термическая обработка штамповых сталей для горячего деформирования**

Термическая и химико-термическая обработка штамповой оснастки проводится для того что бы получить необходимую структуру металла с определенной твердостью для улучшения стойкости поверхности гравюры штампа. Завышение твердости может привести к выкрашиванию, а недостаточная – к смятию их рабочей поверхности.

Термическая обработка включает операции закалку и отпуск, отжиг, нормализацию и т.д. В зависимости от размера и назначения штампов

последовательность выполняемых операций может меняться. Термообработку рекомендуется проводить после окончательной механической обработки для некоторых видов штампов, например вставок, легких и средних молотовых, обрезных, штампов. Особое внимание нужно уделять защитной атмосфере печи для избежание таких дефектов как окисления и обезуглероживания поверхности. Термообработка средних и полутяжелых штампов производится между предварительной и окончательной обработкой. Тяжелые штампы подвергаются термообработке до механической обработки.

Режимы термической обработки штампов приведены в Таблице 1.

Таблица 1 - Режимы термической обработки штампов для ГКМ и КГШП

Марка стали	Температура закалки, °С	HRC	Температура отпуска, °С	HRC после отпуска
3X2B8Ф	1100-1140	54-56	640-650	45-46
			600-625	48-50
4X5B2ФС	1060-1080	54	600-610	45-46
4X5MФС	1040-1060	54	600-610	45-46
3X2B8Ф	1140-1160	56-58	660-670	45-46
4X8B2	1050-1100	52-55	580-600	39-47
35ХГС	890-920	48-56	600-660	29-35
7ХЗ	830-860	59-61	480-520	39-47

Примерные режимы термомеханической обработки некоторых штамповых сталей приведены в Таблице 2 [9].

Таблица 2 - Режимы ТМО штамповых сталей

№ п.п.	Вид обработки	Марка стали		
		5ХНМ	3Х2В8Ф	4Х5ВФС
1	Предварительный нагрев	Выдержка 15 минут при температуре, °С		
		600 ± 10	860 ± 10	860 ± 10
2	Окончательный нагрев	850 ± 10	1200 ± 10	1070 ± 10
3	Отпуск	Выдержка 1 час при температуре, °С		
		Охлаждение на воздухе		
4	HRC 44-46	430	660	610
5	HRC 50-52	320	610	500

#### 1.2.4. Химико-термическая обработка оснастки

Стойкость рабочей части штамповой оснастки может быть повышена путем изменения поверхностного слоя.

Свойство поверхности можно изменить в необходимом направлении различными способами:

1. Нанести на поверхность новый материал с определенными свойствами;
2. Изменить состав поверхностного слоя металла.

К первому случаю относятся хорошо известные покрытия, такие как гальванические, химические, наплавочные и др. На поверхность металлических сплавов так же могут наноситься и неметаллические материалы - эмаль, краска, различного рода синтетические материалы.

Ко второму случаю относятся подвергаемые диффузионной химико-термической обработке (ХТО) поверхностные слои металла, в результате чего на поверхности изделия образуется совершенно новый, отличающийся от сердцевины состав.

ХТО позволит получить на поверхности изделия диффузионно насыщенный слой необходимого состава с необходимым комплексом свойств как физико-химических так и механических и др. Это достигается путем помещения детали в среду, богатую элементом, который диффундирует в металле и придает поверхности необходимые свойства.

Основные методы упрочнения изделий:

1. Насыщение из порошковых смесей (порошковый метод). Этот метод имеет довольно таки простой процесс реализации, поэтому применяется чаще всего в мелкосерийном и серийном производстве для цементации, алитирования (алюминирования), хромирования и т.д.

2. Прямоточный и циркулярный метод диффузионного насыщения в газовых средах. При прямоточном газовом методе можно регулировать активность насыщающей атмосферы (потенциал атмосферы). В основном применяется в крупносерийном и серийном производстве для цементации, нитроцементации и азотирования. Газовый метод позволяет обеспечить высокое качество диффузионного слоя и поверхности обрабатываемого изделия. Циркулярный метод находит все более широкое применение при насыщении металлами и кремнием.

3. Диффузионное насыщение из растворов металлов или солей (с электролитом и без). Жидкий метод хорош тем, что позволяет сократить длительность процесса, однако, не всегда обеспечивает высокое качество поверхности и стабильность толщины слоя. Применяется для серийного производства.

4. Насыщение из паст и суспензий (шликерный способ). Этот метод не всегда обеспечивает получение равномерной толщины покрытия и высокое качество диффузионного слоя, поэтому он и не нашел широкого применения в производстве. Однако насыщение из паст может быть рекомендовано для местного упрочнения поверхности при обработке крупногабаритных деталей.

5. Диффузионное насыщение в вакуумной среде. Процесс насыщения происходит путем испарения диффузионного элемента из сублимированной фазы при высоких температурах и вакууме. Метод обладает высокой производительностью, качеством и перспективностью.

Выбор методики упрочнения поверхностных слоев осуществляется в зависимости от вида производства, габаритов обрабатываемого изделия, требуемой толщины слоя и т.д. ХТО это гетерогенный процесс, т.е. происходит в различных соприкасающихся фазах, отделенных друг от друга поверхностями раздела. Он включает в себя три основных взаимосвязанных стадии:

- Реакция в насыщенной среде (диссоциация) - образование активных атомов и диффузия их к поверхности обрабатываемого металла.

- Вторая стадия - адсорбация, взаимодействие между атомами насыщающего элемента и обрабатываемой поверхностью.

- Диффузия - проникновение насыщающего элемента внутрь обрабатываемого металла. Процесс возможен только при условии растворимости диффундирующего элемента в обрабатываемом металле и достаточно высокой температуре, обеспечивающей необходимую энергию атомам.

В результате образуется упрочненный диффузионный слой, концентрация которого на поверхности наибольшая, и по мере продвижения вглубь металла постепенно падает. Толщиной слоя будет считаться глубина проникновения диффузии.

Что бы повысить стойкость штампов используются методы поверхностного упрочнения инструментальных сталей с одновременной оптимизацией состава и температурно-временных режимов их термической обработки. Из всех методов поверхностного упрочнения материалов инструмента можно выделить три основные группы: механические, диффузионные и электрофизические. В заводской практике самое большое применение получил метод диффузионного упрочнения с легированием

поверхностного слоя различными элементами: цементация, азотирование, цианирование, борирование, хромирование, карбонитрирование.

Термодинамическим стимулом процесса химико-термической обработки является разность химических потенциалов насыщающей среды и обрабатываемого материала. Получение структур и свойств диффузионного слоя при химико-термической обработке с целью обеспечения высокой износостойкости довольно широко отражено в литературе [22].

Наиболее часто применяемые диффузионные методы химико-термической обработки - цементация и нитроцементация, азотирование, борирование, хромирование. Тот или иной метод применяется в сочетании с закалкой и отпуском по режимам, в зависимости от марки стали из которой изготовлена деталь. Выбор методики упрочнения зависит от марки стали, из которой изготовлен штамп, и условий эксплуатации и необходимых свойств.

Все рассмотренные методы являются диффузионными, т. е. процесс насыщения поверхностного слоя легирующими элементами и соединениями происходит при высокой температуре и длительной выдержке.

Цементация - процесс насыщения поверхностного слоя штампа углеродом - применяется для повышения износостойкости как вспомогательных деталей штампа (направляющих колонок, втулок, линеек), так и ручьев штампа. Цементация осуществляется в твердой (порошкообразной) и газовой среде. В последнем случае используется природный газ, в котором штамп выдерживается при температуре 930 °С в течение 16 часов.

Нитроцементация производится в среде эндогаза, аммиака и природного газа в течение 14 часов при температуре 840-870 °С.

Азотирование применяется для упрочнения штампов, изготовленных из теплостойких и полутеплостойких сталей. Плюс азотирования в том что его твердость не снижается до температур около 600 °С. Проводится на любом этапе производства как до закалки, так и после.

Борирование является одним из новых процессов, применяемых для упрочнения штампов. Для борирования используется порошковая смесь,

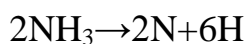
состоящая из карбида бора – 71 %, обезвоженной технической буры – 16 %, шамотного порошка - 10 % и хлористого аммония – 3 %. В этой смеси детали выдерживаются в закрытом контейнере в течение 6 часов при температуре 950 °С.

Хромирование позволяет получить высокотвердый износостойкий слой, сохраняющий свои свойства до высоких температур. Хромирование производится в закрытой камере или в специальном приспособлении в течение 4 часов при температуре 800 °С. Состав хромирующей смеси: хром – 65 %, каолин – 34 %, хлористый аммоний – 1 %. Хромирование может проводиться в комплексе с другими методами упрочнения - цементацией, цианированием [9].

### **Азотирование**

Азотирование – это процесс, при котором происходит упрочнение верхних слоев стали за счет диффузионных процессов насыщения их азотом, происходящим при нагреве стали в аммиаке. Азотированный слой значительно сильнее повышает такую характеристику, как твердость с поверхности, которая в свою очередь увеличивает износостойкость, предел выносливости и сопротивление коррозии в таких средах, как атмосфера, вода, пар и т.д. Твердость с поверхности упрочненного слоя после азотирования выше, чем после той же цементации, и может сохранять ее на таком уровне даже при нагреве в интервале температур (500 – 600 °С), тогда как твердость цементованного слоя, имеющего мартенситную структуру, сохраняется только до 200 – 225 °С [23]

Азотирование стальных изделий проводят в аммиаке, который при нагревании диссоциирует, поставляя активный атомарный азот:



В системе Fe — N во время операции азотирования при температурном воздействии в верхних слоях металла могут образовываться различные фазы, такие как например: :  $\alpha$  - раствор азота в железе (азотистый



феррит),  $\gamma$  - раствор азота в железе (азотистый аустенит), промежуточная  $\gamma$  - фаза переменного состава с г.ц.к. решеткой (записывается формулой  $Fe_4N$ ) и промежуточная  $\varepsilon$  - фаза с г.п. решеткой и широкой областью гомогенности (от 8,1 до 11,1 %N при комнатной температуре).

Если операцию азотирования проводить в районе температуры 550 °С, что является ниже эвтектоидной (590 °С), то в первую очередь в поверхностном слое будет образовываться  $\alpha$  – раствор,  $\gamma'$  – фаза и, самой последнее образуется  $\varepsilon$  – фаза. Порядок их при удалении от поверхности в глубь металла будет иметь следующий вид:  $\varepsilon \rightarrow \gamma' \rightarrow \alpha$ .

Снижение температуры приводит к сужению области  $\alpha$  – раствора и особенно  $\varepsilon$  - фазы на диаграмме состояния, именно из-за этого в процессе медленного охлаждения на операции азотирование в  $\alpha$  - и  $\varepsilon$  – слоях могут появляться вторичные выделения  $\gamma'_{вт}$ . С удалением от поверхности при комнатной температуре слои чередуются в следующем порядке:  $\varepsilon \rightarrow \varepsilon + \gamma'_{вт} \rightarrow \gamma' \rightarrow \alpha + \gamma'_{вт} \rightarrow \alpha$ .

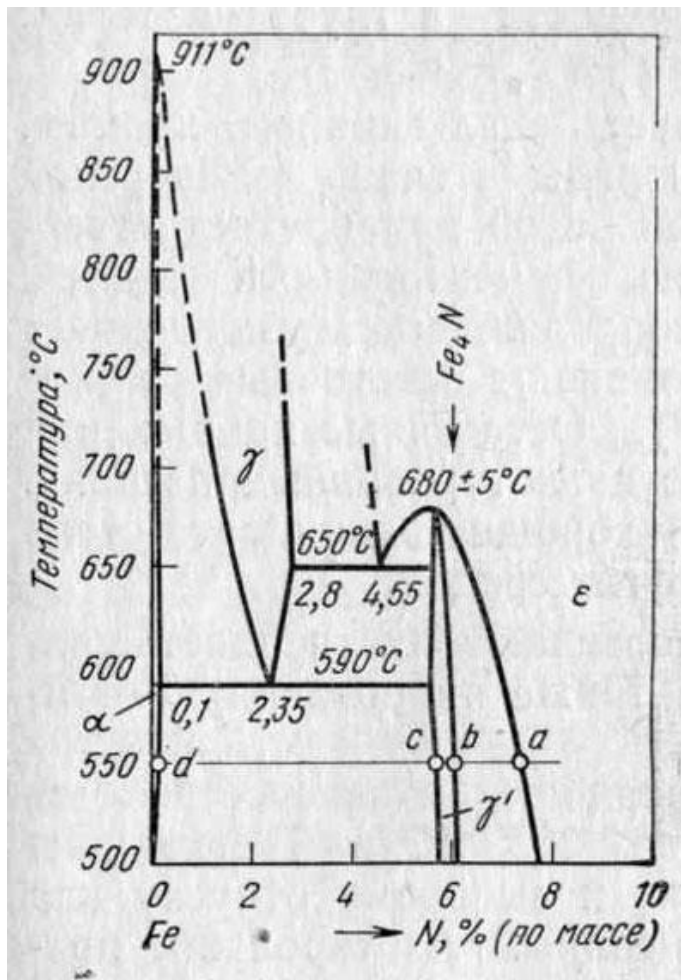


Рисунок 6 - Диаграмма состояния Fe — N [24]

На границах слоев  $\epsilon + \gamma_{\text{вт}}/\gamma'$  и  $\gamma'/\alpha + \gamma_{\text{вт}}$  при комнатной температуре (соответствующие границы при температуре азотирования —  $\epsilon/\gamma'$  и  $\gamma'/\alpha$ ) концентрация азота меняется скачкообразно. Что соответствует отрезкам  $ab$  и  $cd$  на диаграмме состояния. Граница слоев  $\epsilon/\epsilon + \gamma_{\text{вт}}$  соответствует границе между фазовыми областями  $\epsilon$  и  $\epsilon + \gamma'$  на диаграмме состояния (8,1 %N при комнатной температуре). Скачка концентрации азота на границе слоев  $\epsilon/\epsilon + \gamma_{\text{вт}}$  быть не должно.

При температуре азотирования 600 °C с удалением от поверхности изделия должно наблюдаться чередование слоев  $\epsilon \rightarrow \gamma' \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ . При медленном охлаждении аустенит распадается при температурах ниже 590 °C, давая эвтектоидную смесь  $\alpha + \gamma'$ , а в  $\alpha$  - и  $\epsilon$  - слоях появляются вторичные выделения  $\gamma'$  - фазы. При комнатной температуре после медленного охлаж-

дения должно быть следующее чередование слоев от поверхности в глубь изделия:  $\varepsilon \rightarrow \varepsilon + \gamma'_{\text{вт}} \rightarrow \gamma'$  эвтектоид  $(\alpha + \gamma') \rightarrow \alpha + \gamma'_{\text{вт}} \rightarrow \alpha$ .

В легированных сталях азот образует с алюминием, хромом, молибденом и другими элементами нитриды в очень дисперсной форме, вследствие чего азотированный слой приобретает твердость, намного превышающую твердость цементованных сталей.

Образование азотированного слоя сопровождается увеличением удельного объема, и у поверхности возникают остаточные сжимающие напряжения (до 60 — 80 кгс/мм<sup>2</sup>). Остаточные напряжения сжатия повышают предел выносливости азотированных изделий.

Тонкий слой фазы (0,01 — 0,03 мм) хорошо защищает сталь от коррозии во влажной атмосфере и других средах.

Азотирование стали применяют для того, чтобы не только повысить твердость, износостойкость и предел выносливости изделия, но так же и для того, чтобы оно лучше сопротивлялось коррозии.

Азотирование с целью повысить твердость и износостойкость применяют к деталям из сталей типа 38ХМЮА. Перед тем как проводить операцию азотирования на изделие, его следует подвергнуть операции термообработки, а именно закалки и высокому отпуску для того чтобы повысить прочности и вязкости сердцевины. Процесс азотирования проходит при 500 — 520 °С. Из-за низкой температуры атомы становятся менее подвижными, и это приводит к тому, что процесс азотирования протекает медленно и занимает длительное время в технологическом процессе (24 — 90 ч).

Толщина азотированного слоя при этом составляет 0,3 — 0,6 мм. Повысив температуру процесса азотирования можно сократить время операции, но это повлечет за собой и сильный спад твердости азотированного слоя из-за коагуляции нитридов легирующих элементов.

Для ответственных изделий целесообразнее применение длительного процесса азотирования для повышения их твердости и износостойкости.

## Влияние продолжительности азотирования

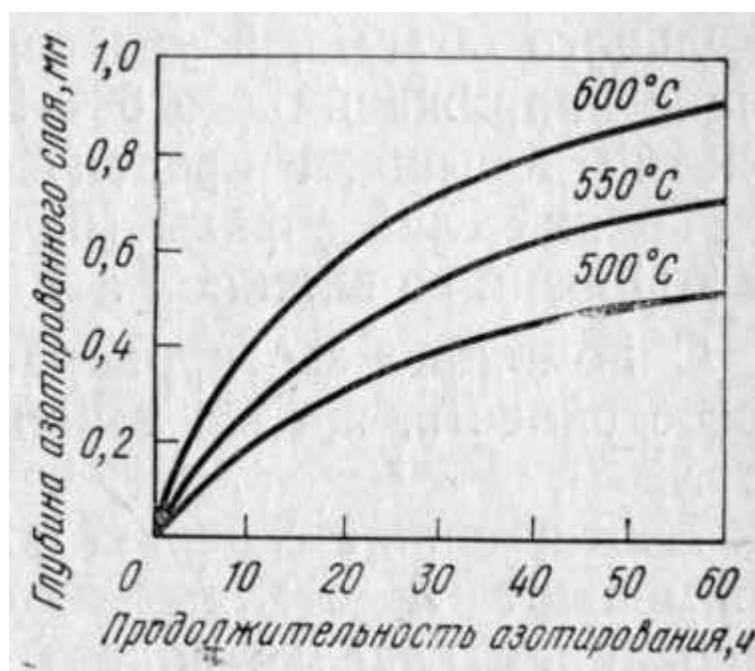


Рисунок 7 - Влияние продолжительности азотирования при разных температурах на глубину азотированного слоя в стали 38ХМЮА [24]

Процессу азотирования подвергают детали из разных марок стали, но главным образом углеродистые, для придания им высокой стойкости в коррозионных средах. В этом случает получение высокой твердости не является основной задачей, поэтому азотирование можно проводить при повышенных температурах (600 — 700 °С); для уменьшения продолжительности процесса 15 мин — 10 ч.

Но так же азотирование применяется и для деталей из высокопрочных чугунов и титановых сплавов.

Азотирование титановых сплавов — один из немногих примеров промышленного использования химико-термической обработки сплавов цветных металлов. Задача азотирования в этом случае является увеличение износостойкости детали и уменьшение схватываемости при работе в условиях трения.

Детали из титановых сплавов азотируют в среде азота при 850 — 950 °С в течение 10 — 60 ч. После азотирования на поверхности детали выделяется тонкий твердый слой нитридов, который распространяется в глубь металла становясь раствором азота в  $\alpha$  – титане. В этом случае глубина азотирования составит всего 0,1 — 0,15 мм, потому что повышение температуры процесса азотирования ведет за собой сильный рост зерна в сердцевине изделия, что является недопустимым.

Основная опасность при азотировании титановых сплавов — хрупкость поверхностного слоя [24].

### **Стали для азотирования.**

Для получения высоких показателей твердости азотированию чаще всего подвергаются среднеуглеродистые легированные стали, в отличие от железа, твердость азотированного слоя которого не велика. При этом азотирование среднеуглеродистые легированные стали показывает не только высокие показатели твердости упрочненного слоя, но и приобретает износостойкость. При азотировании легированных сталей образуются нитриды специальных элементов. При низких температурах азотирования в  $\alpha$  - твердом растворе образуются сегрегации типа зон Гинье – Престона. При высоких температурах возникают дисперсные нитриды легирующих элементов ( $\text{Cr}_2\text{N}$ ,  $\text{Mo}_2\text{N}$ ,  $\text{VN}$  и др.). Зоны Гинье – Престона и обособленные выделения нитридов препятствуют движению дислокаций, и тем самым повышают твердость азотированного слоя. Наиболее сильно повышают твердость алюминий, хром, молибден и ванадий. Стали, легированные хромом, вольфрамом, молибденом, ванадием и не содержащие алюминия, после азотирования имеют твердость HV 600 – 950. Эти стали часто применяют для азотирования.

Если главным требованием, предъявляемым к азотированному слою, является высокая твердость и износостойкость, то применяют сталь 38Х2МЮА, содержащую 0,35 – 0,42 %С; 1,35 – 1,65 %Cr; 0,7 – 1,10 %Al и

0,15 – 0,25 %Mo. Одновременно присутствие алюминия, хрома и молибдена позволяет повысить твердость азотированного слоя до HV 1200. Молибден, кроме того, устраняет отпускную хрупкость, которая может возникнуть при медленном охлаждении от температуры азотирования. Легирующие элементы, повышая твердость, одновременно уменьшают, при прочих равных условиях, толщину слоя. Для повышения коррозионной стойкости можно азотировать и углеродистые стали.

Износостойкость азотированной стали выше, чем цементованной и закаленной. В азотированном слое возникают остаточные напряжения сжатия, величина которых на поверхности составляет 60 – 80 кгс/мм<sup>2</sup>. Это повышает предел выносливости и переносит очаг усталостного разрушения под азотированный слой. Предел выносливости гладких образцов возрастает на 30 – 40 %, а при наличии концентраторов напряжений (острых надрезов) более чем на 100 % [25].

### 1.3. Постановка задач исследования

Довольно длительное время – с начала создания завода, на ВАЗе для изготовления горячештамповой оснастки очень широко (до 800т/год) применяется сталь 4Х5МФС в обычном стандартном исполнении по качеству поставок.

Изготовление дорнов из стали 4Х5МФС, которая сохраняет удовлетворительный уровень прочности и теплостойкости при длительном нагреве не выше 600 °С, также не обеспечивает высокую стойкость оснастки.

Для инструмента, работающего в условиях повышенных удельных давлений (80-150 кгс/мм<sup>2</sup>) и разогрева (до 650-660 °С и более), стойкость которого в случае изготовления его из стали 4Х5МФС недостаточна, необходимо применять в качестве материалов более теплостойкие стали [15].

В последнее время участились случаи брака поставляемого металла, в особенности это касается инструментальной штамповой стали. За последний год нами было зафиксировано до 85% брака этой позиции по параметрам микроструктура и величины зерна аустенита при проведение поплавочного контроля.

В связи с этим перед нами стала проблема устранения такого большого количества брака и повышения стойкости штамповой оснастки. Достигнуть это можно было двумя способами: либо изменить поставщика, либо изменить марку стали для изготовления штамповой оснастки.

Первый способ оказался очень трудным из-за того, что ОАО «АВТОВАЗ» очень консервативное предприятие и многие из поставщиков, заключивших с ним контракт, работают в содружестве «АВТОВАЗа» уже не первый год и завод уже им доверяет.

В отличие от первого способа, второй более реален и занимает по времени введения гораздо меньше времени. На ОАО «АВТОВАЗ» имеется множество различных поставщиков, но чаще всего они поставляют только вид стали.

Для достижения этой цели нами были поставлены следующие задачи

- 1) Установить основные факторы, влияющие на стойкость штамповой оснастки дорн, на основании анализа литературы и интернет источников;
- 2) Исследовать влияние химико-термической обработки (ХТО) на микроструктуру и свойства стали применяемой для изготовления дорнов и влияние ХТО на стойкость;
- 3) Определить стойкость штамповой оснастки дорн изготовленной из серийной марки стали и ее аналогов.

В МГТУ «Станкин» по техническому заданию ОАО «АВТОВАЗ» разработаны составы комплексно-легированных сталей повышенной теплостойкости и разгаростойкости для дорнов 4X5BM3ФС-Ш, 6X3BM5Ф-Ш.

Так же под наши требования была закуплена горячештамповая инструментальная сталь W 303 ISOBLOC ф. Bohler обладающая высокотемпературной прочностью, высокой отпускной стойкостью, хорошей вязкостью и устойчивостью к температурному растрескиванию, допускает охлаждение в воде.

### **Характеристики стали W 303 ISOBLOC согласно проспекту ф. Bohler**

Соответствие стандартам EN/DIN < 1.2367 > X38CrMoV5-3

Горячештамповая инструментальная сталь, обладающая великолепной высокотемпературной прочностью, высокой отпускной стойкостью, хорошей вязкостью и устойчивостью к температурному растрескиванию, допускает охлаждение в воде. Существуют также специальные марки BÖHLER W 303 ISODISC и ISOBLOC с улучшенной однородностью и повышенной вязкостью.

### **Применение**

Работающие в тяжелых условиях инструменты для горячей обработки и штампы, в основном для обработки легких сплавов: пробойники, матрицы,



контейнеры для экструзии металлических труб и прутков; оборудование для горячей экструзии; инструменты и штампы для производства пустотелых деталей, винтов, заклепок, гаек и болтов.

Оборудование для литья под давлением, формообразующие детали пресс-форм, вставки, ножницы для горячей отрезки, пресс-формы для литья пластмасс.

### **Горячая формовка**

#### **Ковка:**

1100 до 900 °С (2012 до 1652 °F). Медленное охлаждение в печи или термоизолирующем материале.

### **Термообработка**

#### **Отжиг:**

750 до 800 °С (1382 до 1472 °F). Медленное контролируемое охлаждение в печи со скоростью 10 – 20 °С/час (50 – 68 °F/час) до примерно 600 °С (1112 °F), с дальнейшим охлаждением на воздухе. Твердость после отжига: не более 205 НВ.

#### **Снятие напряжений:**

600 – 650 °С (1112 до 1202 °F). Медленное охлаждение в печи; необходим для снятия напряжений, полученных при интенсивной механической обработке или при изготовлении инструмента со сложной геометрией. После сквозного прогрева выдержать в нейтральной среде 1-2 часа.

#### **Закалка:**

1030 – 1080 °С (1886 – 1976 °F). Масляная, соляная ванна (500-550 °С /932-1022 °F), воздух. Время выдержки после выравнивания температур: 15 – 30 мин.

Достигаемая твердость:

52 – 56 HRC при закалке в масляной или соляной ванне;

50 – 54 HRC при закалке на воздухе.

#### **Отпуск:**

Медленный нагрев до температуры отпуска сразу после закалки / время выдержки в печи 1 час на каждые 20 мм толщины заготовки, но не менее 2 часов/охлаждение на воздухе. Рекомендуется по крайней мере двукратный отпуск. В целях снятия остаточных напряжений может быть полезен 3-й цикл отпуска.

1-й отпуск примерно на 30 °C (86 °F) выше температуры максимальной вторичной твердости.

2-й отпуск до желаемой рабочей твердости. На диаграмме отпуска показаны средние величины твердости после отпуска.

3-й отпуск для снятия остаточных напряжений при температуре на 30-50 °C (86-122 °F) ниже наивысшей температуры отпуска [26].

Для проведения сравнительных испытаний по стойкости нами была выбрана штамповая оснастка позиции «Дорн» 856-1314-4018-028 [Приложение А], используемый для штамповки детали 2108-2215080-71 «обойма внутреннего шарнира» [Приложение Б]. Штамповая оснастка «Дорн» 856-1314-4018-028 была выбрана нами в связи с тем, что в последнее время эта позиция не отстаивает своей нормативной стойкости 4000шт. ее фактическая стойкость составляет всего 2000...4000шт. Она выходит из строя по причине истирания рабочей части и потери формы.

## Глава 2. Методики исследования образцов

### 2.1. Образцы и методики их изготовления

Работа проводилась на образцах и оснастке изготовленных из горячештамповых сталей:

- W 303 ISOBLOC (поставщик ф. «Bohler», Австрия);
- 4X5MФС (поставщик «Днепрспецсталь»)
- 6X3BM5Ф-Ш (поставщик «НИИМТ», г. Ижевск; разработка МГТУ «Станкин»);
- 4X5BM3ФС-Ш (поставщик «НИИМТ», г. Ижевск; разработка МГТУ «Станкин»).

Вырезка и подготовка образцов проходила в соответствие с заводской инструкцией И1200.37.101.0405-2013 «Контроль качества инструментальных сталей применяемых для изготовления металлургической оснастки» [27].

От каждой партии было взято по 2 темплета (Рисунок 8).

Темплет № I – использовался для замера твердости в состоянии поставки по ГОСТ 9012 и последующей оценке макроструктуры стали по ГОСТ 10243 без применения увеличительных приборов после «горячего» травления образца при 70 °С в кипящем 50 % водном растворе соляной кислоты.;

Темплет № II – Предназначен для вырезки из него образцов для проведения дальнейших исследований [Приложение Г]:

Образцы № 1, 2 - применялись для оценки неметаллических включений, микроструктуры и микрогетогенности в состоянии поставки;

Образцы № 3, 4, 5, 6, 7– были направлены для прохождения поплавочного контроля - закалки на различные температуры, в цех D 514 ООО «ЛИН» и лабораторные печи ЗИЛ ТО;

Образец № 8 – отправлен на химический анализ.

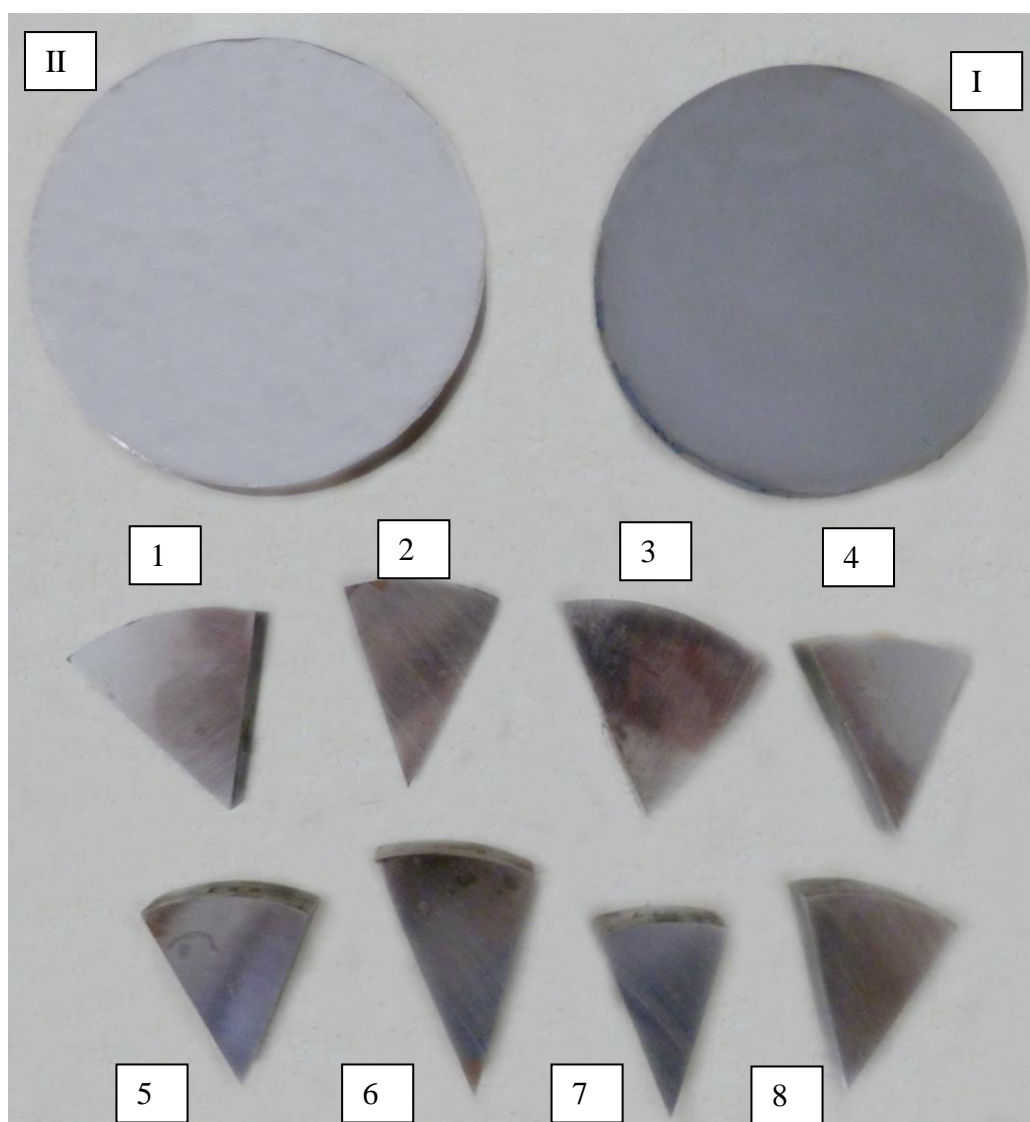


Рисунок 8 - Образцы для входного-поплавочного контроля:

I – для замера твердости в состоянии поставки и горячего травления;

II – для вырезки образцов:

1, 2 - для оценки неметаллических включений, микроструктуры и микрогетогенности в состояние поставки; 3, 4, 5, 6, 7– для проведения поплавочного контроля - закалка на различные температуры;

8 – для проведения химического анализа.

Для проведения производственных испытаний из каждой партии закупленного металла в цехе 1F32 производства технического оборудования (ПТО) ОАО «АВТОВАЗ» были изготовлены опытные партии деталей XXX-1314-4018.028 «дорн» в количестве 3 штук.

Нормативные требования к химическому составу, микроструктуре и механическим свойствам сталей 4X5MΦC, 4X5BM3ΦC-III, 6X3BM5Φ-III, W 303 ISOBLOC представлены в Таблицах 3-5).

Таблица 3 - Химический состав сталей

Марка стали	Массовая доля элементов, %										
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	W	Ni	S	P	Cu
								не более			
4X5MΦC	0,32-0,40	0,2-0,5	0,9-1,2	4,5-5,5	1,2-1,5	0,3-0,5	≤ 0,2	≤ 0,4	≤ 0,03	≤ 0,03	-
6X3BM5Φ-III	0,60-0,66	н.б.0,40	н.б.0,40	2,80-3,20	4,50-5,0	0,70-1,0	1,10-1,40	0,40	0,010	0,015	0,30
4X5BM3ΦC-III	0,40-0,45	н.б.0,40	0,70-1,0	5,30-4,90	3,20-3,70	0,60-0,90	0,70-1,0	0,40	0,010	0,025	0,30
W 303 ISOBLOC	0,35-0,4	0,3-0,6	0,3-0,5	4,7-5,2	2,7-3,3	0,4-0,7	-	-	≤ 0,035	≤ 0,035	-

Таблица 4 - Структура и механические свойства (в соответствие с ГОСТ и ТУ)

НД	Твердость в сост. поставки, НВ не более	Неметаллические включения				Макроструктура						Твердость после закалки и отпуска, HRC не менее	ВЗА, не крупнее номера
		Оксиды	Сульфиды	Нитриды	Силикаты	Подусадочная ликвация	Ликвационный квадрат	Пористость	Центральная ликвация	Пятнистая ликвация	Точечная неоднородность		
ТУ 14-1-335-72	241	4	3	3,5	4	1	1	2	2	3	47	6	
ГОСТ 5950-2000	241	-				1	3	2	-	3	53	8	

Таблица 5 - Структура и механические свойства (в соответствии с ТТМ 2.17.1037-2006)

Марка стали	Твердость в сост. поставки, HB не более	Микро-структура в сост. поставки, рис. шкалы SEP 1615	Микро-гомогенность в сост. поставки, рис. шкалы SEP 1615	Неметаллические включения								Макро-структура	Твердость после закалки и отпуска, HRC не менее	ВЗА, не крупнее номера
				Сульфиды		Алюминаты		Силикаты		Сферические оксиды				
				тонкие	грубые	тонкие	грубые	тонкие	грубые	тонкие	грубые			
4X5MΦC	229	Приложение Д	Приложение Е	2	1,5	2,5	1,5	2	1,5	2	1,5	11-41/51, 12-32/42, 13-33/43, 14-34/44, 15-35/45, 17-27/37	52	8
W 303 ISOBLOC												17 – 37/47	53	

## 2.2. Оборудование и методики выполнения работы

Работа проводилась на образцах и на серийной штамповой оснастке, изготовленных из легированных инструментальных сталей 4Х5МФС, 4Х5ВМЗФС-Ш, 6Х3ВМ5Ф-Ш и W 303 ISOBLOC.

Сравнительный анализ металлургического качества исследуемых марок сталей и соответствие его нормам Технических требований на поставку осуществляли на образцах и по методикам ГОСТ 5950 «Прутки и полосы из инструментальной легированной стали» [28] с использованием следующих профилей кованого и горячекатаного сорта из сталей:

4Х5ВМЗФС-Ш, Ø35мм;

6Х3ВМ5Ф-Ш, Ø35мм.

W 303 ISOBLOC

Для сравнения были использованы образцы и оснастка из стали марок 4Х5МФС применяемых серийно на ОАО «АВТОВАЗ».

Твердость в состоянии поставки определяли на отожженных образцах по ГОСТ 9012 «Метод измерения твердости по Бринелю» [29] технические требования согласно п.2.2 Требования на поставку, методы испытаний – п.5.8 ГОСТ 5950.

Макроструктуру оценивали по ГОСТ 10243 «Методы испытаний и оценки макроструктуры» [30] после горячего травления отожженных образцов в 50% водном растворе соляной кислоты, технические требования согласно п.2.3 Требования на поставку, методы испытаний – п.5.7 ГОСТ 5950.

Неметаллические включения оценивали на отожженных образцах согласно ГОСТ 1778 «Металлографические методы определения неметаллических включений» [31] технические требования согласно п.2.10 Требования на поставку.



Микроструктуру сталей в состоянии поставки оценивали на соответствие требованиям ТТМ 2.17.1037-2006 по шкалам SEP 1614 путем сравнения с фотографиями шкалы [Приложение Д, Е] [32].

Остальные параметры контроля – глубина обезуглероженного слоя, карбидная неоднородность, размер аустенитного зерна, твердость после закалки и после полного цикла термической обработки, теплостойкость определяли на термообработанных образцах.

Закалку образцов поплавочного контроля проводили в соляной ванне «Дегусса» ц.51-4 ООО «ЛИН» и в камерной электропечи «Набер» ТО УЛИР, отпуск после закалки – в лабораторных муфельных электропечах. Отпуск на теплостойкость образцов поплавочного контроля проводили в лабораторных муфельных электропечах (в стружке) и соляной ванне «Дегусса».

Термическую обработку образцов на мех. испытания и оснастки проводили в соляной ванне «Дегусса» и в вакуумных печах фирмы «Хейс» согласно данным поплавочного контроля.

Качество термической обработки образцов и оснастки оценивали после электролитического полирования и травления на установке «Лектропол», аустенитное зерно – непосредственно после закалки, размер мартенситной иглы – после полного цикла термической обработки.

Величину зерна аустенита контролировали согласно ГОСТ 5639 «Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна» [33] технические требования согласно п.2.6 Требований на поставку, методы испытаний – п.5.6 ГОСТ 5950.

Твердость образцов после закалки и после полного цикла термообработки, а также после дополнительного 2-х часового отпуска в интервале температур 600-700 °С на теплостойкость проверяли по ГОСТ 9013 «Метод измерения твердости по Роквеллу» [34] технические требования согласно п.2.5 Требований на поставку, методы испытаний – п.5.9 ГОСТ 5950.

Карбидную неоднородность образцов оценивали по шкале №3 ГОСТ 5950, технические требования согласно п.2.4 Требований на поставку, методы испытаний – п.5.11 ГОСТ 5950.

Испытания оснастки полугорячего и горячего деформирования осуществляли в цехе 14/4 МтП на прессе «Шуллер 630» при штамповке серийных детали деталей 2108-2215080-71 «обойма внутреннего шарнира».

### **2.2.1. Методика проведения производственных испытаний опытной оснастки**

Сравнительные производственные испытания опытной оснастки проводили с серийно применяемой на ВАЗе сталью 4Х5МФС.

Работоспособность дорнов оценивали по их стойкости, выраженной в количестве полученных при штамповке годных деталей.

Опытную и серийную оснастку испытывали в одинаковых условиях на втором переходе прессы «Шуллер 630 т.с.» в цехе 14/4 МтП при штамповке деталей 2108-2215080-71 «обойма внутреннего шарнира» (Рисунок 9). Причина снятия дорнов с эксплуатации – износ рабочего радиуса R1.3 мм.



Рисунок 9 - пресса «Шулер 630 т.с.»

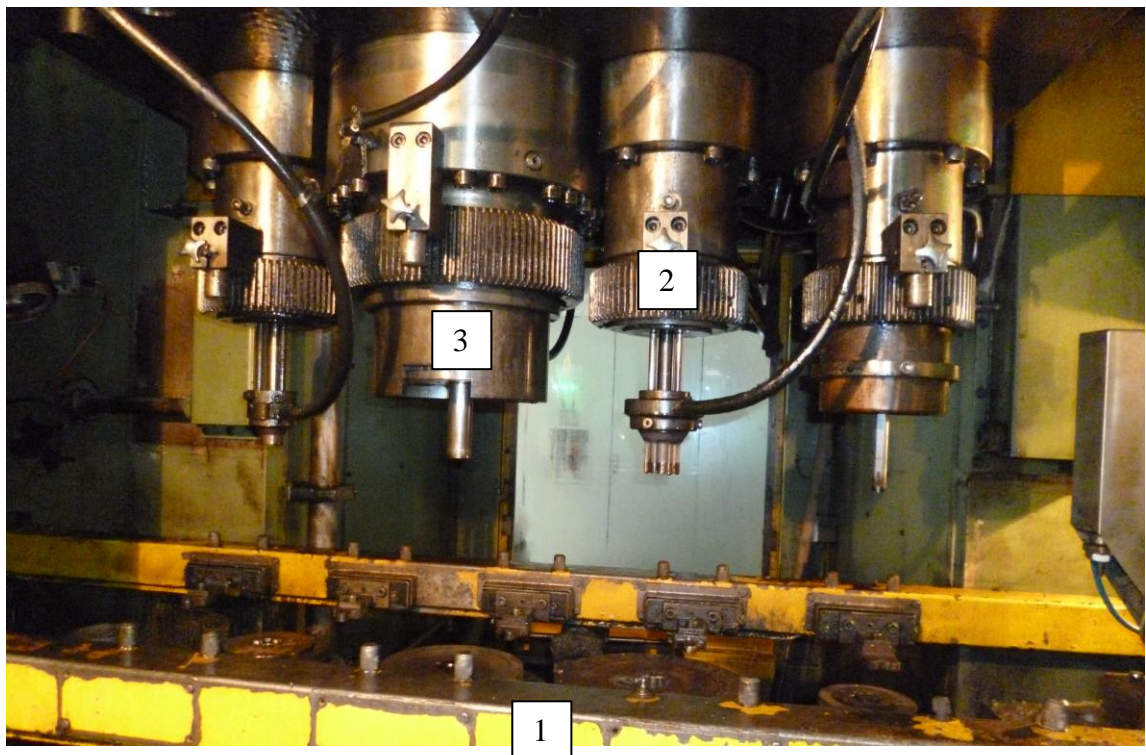


Рисунок 10 - Комплект оснастки, состоящий из: 1 - Вставка, 2 – Пуансон, 3 - Дорн

В 2014 году была изготовлена и испытана опытная партия дорнов: из стали 4X5BM3ФС-Ш в количестве 3 штук, из стали 6X3BM5Ф-Ш в количестве 3 штуки и из стали W 303 ISOBLOC фирмы «BOHLER» (Австрия) в количестве 3 штуки.

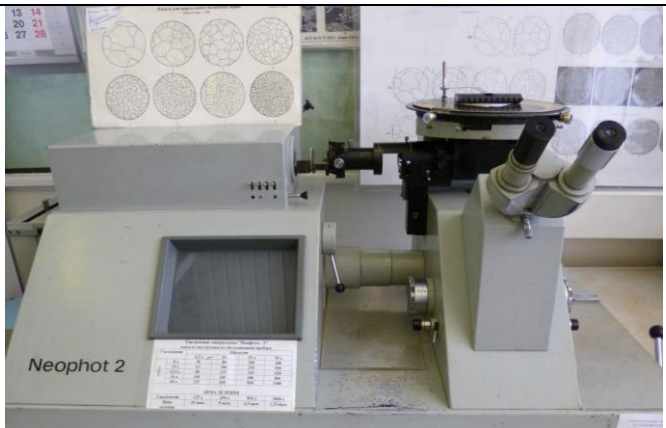
При изготовлении дорнов были использованы разные режимы термообработки и поверхностного упрочнения. На основе уже проведенных ранее работ были выбраны оптимальные режимы ТО для кремлевских сталей 4X5BM3ФС-Ш и 6X3BM5Ф-Ш.

Поверхностное упрочнение - карбонитрирование было проведено на всех дорнах. На опытных дорнах слой карбонитрирования был увеличен по сравнению с серийными с  $h=0,05-0,01$  мм до  $h=0,2-0,3$  мм.

### 2.2.2. Оборудование для исследования структуры

Оборудование, использованное при проведении исследований структуры, указано в Таблицеб.



Таблица 6 - Оборудование для исследований структуры



№ п/п	Исследуемый параметр	Название	фото
1	Микроструктура	Neophot - 2	
2	Микроструктура	Металлюкс	

### 2.2.3. Оборудование для исследования свойств

Оборудование, использованное при проведении исследований свойств, указано в Таблице 7.

Таблица 7 - Оборудование для испытаний свойств


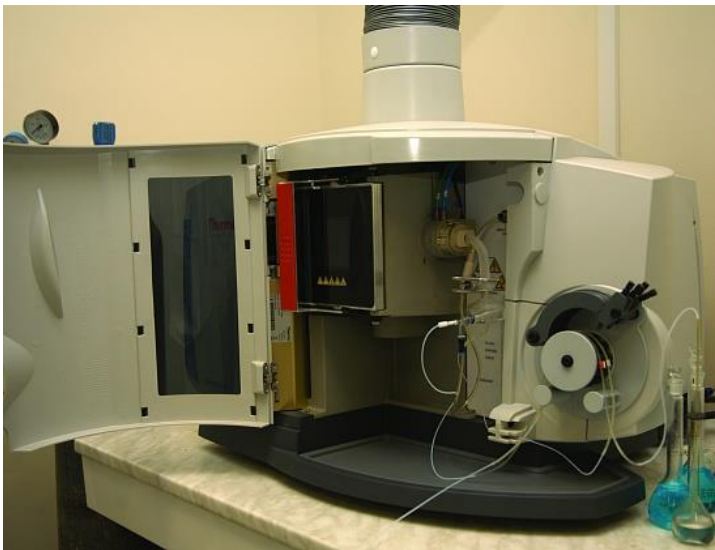
№ п/п	Исследуемый параметр	Название	фото
1	Твердость по Бринеллю	Тип ТШ2	
2	Твердость по Роквеллу	Тип ТК-3-1	

3	Микротвердость по Вickersу	Leitz Durimet	 <p>A photograph of a Leitz Durimet microhardness tester. It is a large, industrial-grade machine with a complex optical system, including a microscope head with multiple lenses and a large objective lens. The machine is mounted on a heavy base and is used for measuring the microhardness of materials.</p>
4	Микротвердость по Кноппу	Leitz Miniload-2	 <p>A photograph of a Leitz Miniload-2 microhardness tester. This is a smaller, desktop-sized machine with a microscope head and a digital readout (DRO) system. The DRO system includes a control panel with a keypad and a small display screen. The machine is used for precise microhardness measurements.</p>




## 2.2.4. Вспомогательное оборудование




Вспомогательное оборудование, использованное при проведении исследований и испытаний, указано в Таблице 8.

Таблица 8 - Вспомогательное оборудование для исследований



№ п/п	Оборудование	Название	фото
1	Штамповочный пресс	«Шулер 630 т.с.»	
2	Атомно-эмиссионный спектрометр	"Spectrol ab-M5"	



3	Печь	Naber	
4	Муфельная электропечь	M10 и M10-1	
5	Печи в цеху D 514 ООО «ЛИН»	Degussa GKU-D	

	Шлифовальный станок	Buehler	
	Шлифовальный станок	Metasinx	
	Полировальный станок	DP-10	

	<p>Пресс для заливки образцов</p>	<p>Престоп ресс</p>	
	<p>Пресс для заливки образцов</p>	<p>Пневмопресс</p>	

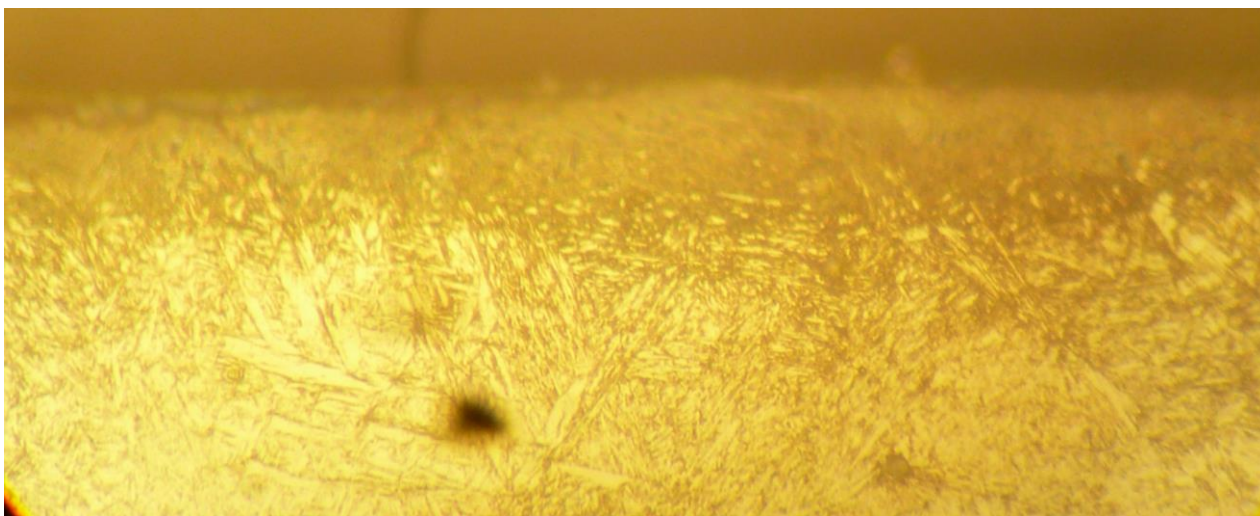
	<p>Отрезной станок</p>	<p>Discotom</p>	
	<p>Установка для электро-полировки и травления</p>	<p>Lectropol</p>	

### Глава 3. Исследование влияния химико-термической обработки

Дорнование – прогрессивный процесс обработки отверстий заготовок локальным пластическим деформированием, при котором рабочий инструмент – дорн, перемещаясь вдоль образующей отверстия, обеспечивает за счет натяга упрочнение металла, сглаживание исходных шероховатостей, изменение формы поперечного сечения отверстия путем существенного изменения размеров, как отверстия, так и наружной поверхности заготовки [6].

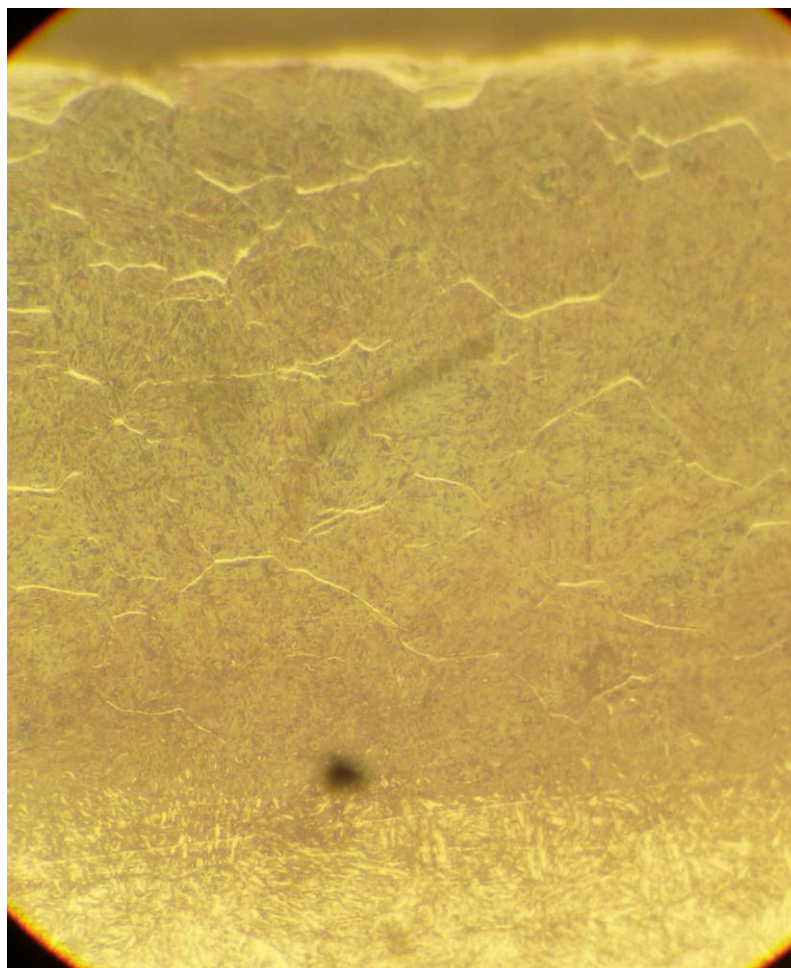
#### 3.1. Влияние ХТО на структуру стали

Для оценки влияния режима химико-термической обработки на стойкость оснастки дорна исследовалось увеличение глубины азотированного слоя с 0,05-0,1 мм до 0,2-0,3 мм (Рисунок 11 и 12)



X500

Рисунок 11 – Азотированный слой глубиной 0,05-0,1 мм



X500

Рисунок 12 - Азотированный слой глубиной 0,2-0,3 мм

Вместе со специалистами МтП были разработаны новые технологии на изготовление опытных партий дорнов ХХХ-1314-4018.028 с измененный режимом ХТО и с заменой марки стали [Приложение В].

В цехе 1F32 производства технического оборудования (ПТО) была изготовлена первая опытная партия дорнов ХХХ-1314-4018.028 в количестве 3 шт. Далее они были направлены в ц. D514 ООО «ЛИН» для дальнейшего прохождения термической и химико-термической обработки по режиму:

- Закалка в вакуумной печи ф. «Хейс по режиму:  $T_{\text{зак}}=1060\text{ }^{\circ}\text{C}$ , охлаждение в азоте, двукратный отпуск с выдержкой по 2 часа  $T_{\text{отп}}=540\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- ХТО по режиму:  $T=550\text{ }^{\circ}\text{C}$ , выдержка 18 часа.

По завершению всех предварительных операций опытная партия дорнов была отправлена в цех 14/4 МтП для проведения производственных испытаний на второй переход прессы «Шулер 630 т.с.» при штамповке деталей 2108-2215080-71 «обойма внутреннего шарнира».

### **3.2. Влияние ХТО на стойкость дорнов**

После окончания проведения всех производственных испытаний были зафиксированы следующие результаты:

– «дорн» 856-1314-4018-028 серийный из 4Х5МФС с поверхностным упрочнённым слоем азотирования на глубину 0,05-0,1 мм – показал стойкость 2000...4000 ударов.

– «дорн» ХХХ-1314-4018-028 опытный из 4Х5МФС с поверхностным упрочнённым слоем азотирования на глубину 0,2-0,3 мм – стойкость увеличилась до 6000 ударов.

Таким образом, производственные испытания серийных дорнов и опытных дорнов (с изменением режима химико-термической обработки) позволили зафиксировать увеличение стойкости опытных дорнов по сравнению с серийными в 1,5 – 3 раза (Рисунок 13).

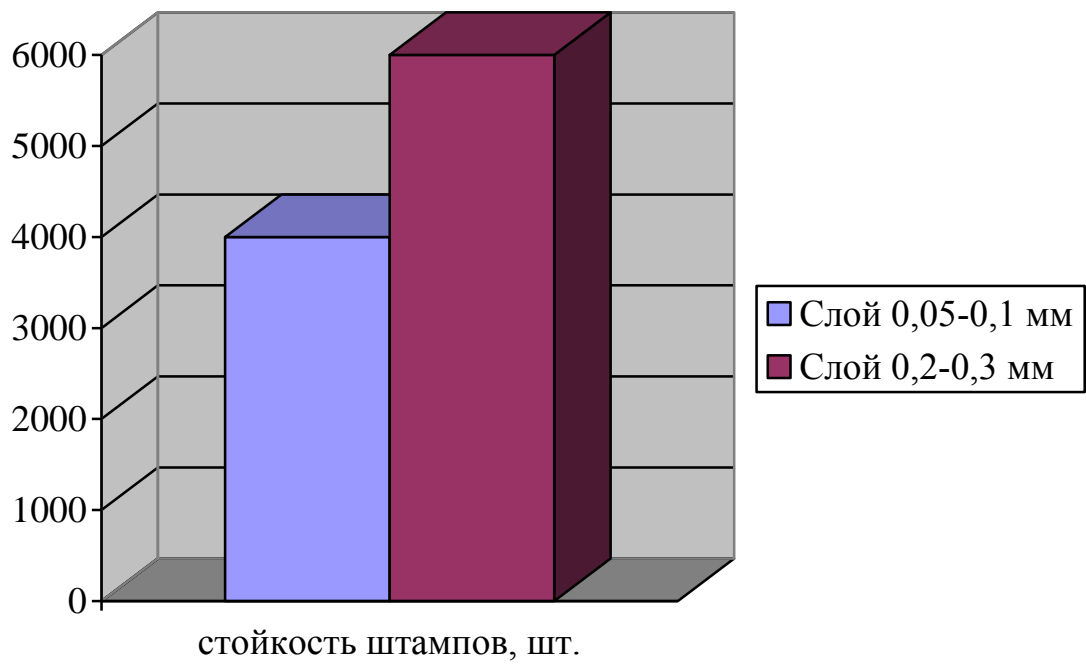


Рисунок 13 - Диаграмма показателей стойкости штамповой оснастки до и после увеличения азотированного слоя



## Глава 4. Исследование влияния микроструктуры стали на стойкость штамповой оснастки дорн

Сравнительный анализ металлографических характеристик исследуемых марок стали и оценку на соответствие их техническим требованиям ГОСТа 5950, ТТМ 2.17.1037, ТУ 14-1-335 и проспектам ф. «Bohler» проводили на образцах и по методикам указанных НД.

### 4.1. Результаты химического анализа

Таблица 9 – Химический анализ

Марка стали, плавка	Содержание элементов, %								
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	V	W
4X5BM3ФС-Ш	0,471	0,258	0,636	0,00225	0,0005	4,92	3,52	0,608	0,836
6X3BM5Ф-Ш	0,6	0,27	0,10	0,007	0,007	3,15	4,74	0,83	1,23
4X5MФС	0,4	0,244	1,0	0,0158	0,00052	4,74	1,35	0,364	0,0138
W 303 ISOBLOC	0,36	0,37	0,42	0,017	0,015	5,05	2,75	0,50	-

Допускаются отклонения по химическому составу, указанные в Таблице 10.

Таблица 10 – Допускаемые отклонения по химическому составу

Хим. элемент	Массовая доля, %	Допустимые отклонения, %
C	До 1,0	$\pm 0,01$
Cr	Св.1,0	$\pm 0,05$
Mo	Св.1,0	$\pm 0,05$
V	До 2,0	$\pm 0,02$
W	До 1,0	$\pm 0,02$
Si	До 1,0	$\pm 0,02$

## **4.2. Определение параметров микроструктуры и механических свойств**

### **4.2.1. Результаты определения параметров входного поплавочного контроля**

Результаты входного контроля и металлографических исследований, использованных в работе сталей, представлены в Таблице 11-13.

Из показанных в таблице данных видно, что в макроструктуре образцов всех сталей при контроле на протравленных темплетах - подусадочной рыхлости, пузырей, включений, раковин, флоконов и трещин не обнаружено. Остальные параметры макроструктуры (пятнистая ликвация, центральная пористость, подусадочная ликвация, ликвационный квадрат, точечная неоднородность) удовлетворяют требованиям ГОСТ 5950, ТУ 14-1-335, ТТМ 2.17.1037, DIN 17350, техническим требованиям ОАО «АВТОВАЗ» от 9.02.2004 г [35, 36].

Контроль твердости в состоянии поставки – это оценка качества проведенного отжига заводом-поставщиком. Твердость в состоянии поставки всех контролируемых сталей отвечает Техническим требованиям на поставку.

Микроструктура стали в состоянии поставки характеризует точность выполнения технологии на всех стадиях производства.

Из данных таблице видно, что твердость и микроструктура стали в поставленных заготовках соответствует требованиям стандартов.

С целью более глубокого изучения, сравнительного анализа свойств и выбора оптимального режима термообработки для деталей штамповой оснастки были проведены подробные исследования зависимости твердости после закалки, закалки и отпуска от режимов термообработки в широком интервале температур закалки и отпуска. Максимальное упрочнение сталей достигается после отпуска при 500-550 °С. При температурах выше 550 °С происходит снижение твердости, связанное с коагуляцией карбидов и дальнейшим разупрочнением матрицы за счет выделения из ее состава углерода и легирующих элементов.

Следует отметить, что контролируемые образцы опытной штамповой стали 6Х3ВМ5Ф-Ш имеет после закалки и после полного цикла термообработки высокие показатели твердости, теплостойкости и достаточно мелкое зерно аустенита.

Увеличением температуры нагрева по закалку до 1060 °С, происходит повышение твердости стали W 303 ISOBLOC, связанное с насыщением углеродом легирующими элементами (Cr, V, Mo) твердого раствора аустенита и, следовательно мартенсита при последующем охлаждении. При дальнейшем повышении температуры происходит падение твердости в связи с преобладающим влиянием процесса стабилизации аустенита и увеличения его процентного содержания в структуре стали, также наблюдается значительный рост аустенитного зерна.

Для стали 4Х5М3ВФС максимально значение твердости достигается при температуре закалки 1140-1160 °С, величина зерна аустенита при данной температуре 9-8 балл.

Допускаемые температурны длительного разогрева в эксплуатации для стали 4Х5ВМ3ФС-Ш не должно превышать 660-670 °С, для стали

W 303 ISOBLOC – 630-640°C, для стали 4X5MФC – 600-610 °C. Более высокие температуры длительного разогрева без снижения работоспособности допускает сталь 6X3BM5Ф-Ш – 690-700 °C

На основании полученных результатов можно определить интервал оптимальных закалочных температур опытной оснастки:

W 303 ISOBLOC – 1030 °C –1080 °C;

6X3BM5Ф-Ш – 1140 °C –1160 °C;

4X5BM3ФC-Ш – 1140 °C –1160 °C

После такой закалки структура исследуемых сталей характеризуется зерном 10-8 балла.

Проведенные сравнительные исследования теплостойкости и скорости разупрочнения при высоком отпуске показали, что допускаемые температуры длительного разогрева в эксплуатации штамповой оснастки не должно превышать для стали:

6X3BM5Ф-Ш – 700 °C,

4X5BM3ФC-Ш – 670 °C,

W 303 ISOBLOC – 630 °C,

4X5MФC – 600 °C.

Таблица 11 – Данные по входному поплавочному контролю стали марок 4X5BM3ФС-Ш и 6X3BM5Ф-Ш

Марка стали	Профиль, мм	Твердость в сост. поставки, НВ	Микроструктура в сост. поставки, рис. шкалы SEP 1615	Макроструктура				Параметры закалки		Твердость после отпуска, HRC			Теплост ойкость HRC40 °C	Карби дная неодно род, бал
				ТПН	ЦП	ПЛ	Рис. шкалы 1А	T <sub>зак</sub> °C (сол. ванна)	ВЗА, балл	560°	600°	620°		
4X5BM3Ф С-Ш	Ø35	192	рис. GE4	0	0	0	рис.12	1040	11	56	53	49	645	1
								1060	11-10	56,5	53,5	49,5	655	
								1100	10(11)	59	57	54	660	
								1120	10	60	58	54,5	660	
								1160	9(8,10)	61	59	54,5	670	
6X3BM5Ф- Ш	Ø35	207	рис. GA2 + карбиды	0	0	0	рис.12	1040	12	57,5	55,5	53	660	4
								1060	12-11	58	56,5	53,5	665	
								1100	11(12)	60,5	58,5	56,5	680	
								1120	11(10)	61,5	59	57	685	
								1160	9-10	63	61	58	700	

Таблица 12 - Данные по входному поплавочному контролю для стали 4X5МФС по ТУ 14-1-335 и ТТМ 2.17.1037

Марка стали	Профиль, мм	Твердость в сост. поставки, НВ	Микроструктур в сост. поставки, рис. шкалы SEP 1615	Макроструктура					Параметры заковки			Твердость после отпуска 510 °С, HRC
				Подсадочная ликвация	Центральная пористость	Ликвационный квадрат	Точечная неоднородность	Рис. шкалы 1А	T <sub>зак.</sub> °С (сол. ванна)	ВЗА, балл	Mrt	
4X5МФС	Ø120	207	GD1	0	0	0	1	Рис. 22	1020	9	6-7	55,5
									1030	9-8	7-6	54,5
									1040	8	6	54

Таблица 13 - Данные по входному поплавочному контролю для стали W 303 ISOBLOC по ТТМ 2.17.1037

Марка стали	Профиль, мм	Твердость в сост. поставки, НВ	Микроструктур в сост. поставки, рис. шкалы SEP 1615	Макроструктура				Параметры закалки		Твердость после отпуска 560 °С, HRC
				Подусадочная ликвация	Центральная пористость	Ликвационный квадрат	Точечная неоднородность	T <sub>зак.</sub> °С (сол. ванна)	ВЗА, балл	
W 303 ISOBLOC	Ø45,8	196	GA3	0	0	0	0	1030	10	55
								1040	10-9	59
								1050	9(10)	58
								1060	9	60
								1080	9-8	59

#### 4.2.2. Результаты определения параметров технологического контроля после термической и химико-термической обработки

Таблица 14 – Режимы термообработки сталей



№ п/п	Марка стали	Режим термообработки	Твердость после ТО	Режим химико-термической обработки
1	4X5MΦC	T <sub>зак.</sub> = 1040 °C, охл. - азот T <sub>отп</sub> = 510 °C	48 HRC	Азотирование на глубину h=0,05-0,1 мм T = 550 °C; T <sub>выдержки</sub> = 3 часа.
2	4X5MΦC	T <sub>зак.</sub> = 1040 °C, охл. - азот T <sub>отп</sub> = 510 °C	48 HRC	Азотирование на глубину h=0,2-0,3 мм T = 550 °C; T <sub>выдержки</sub> = 18 часов.
3	6X3BM5Φ-Ш	T <sub>зак.</sub> = 1160 °C, охл. - соль T <sub>отп</sub> = 560 °C	56 HRC	Азотирование на глубину h=0,2-0,3 мм T = 550 °C; T <sub>выдержки</sub> = 18 часов.
4	4X5BM3ΦC-Ш	T <sub>зак.</sub> = 1160 °C, охл. - соль T <sub>отп</sub> = 560 °C	55 HRC	Азотирование на глубину h=0,2-0,3 мм T = 550 °C; T <sub>выдержки</sub> = 18 часов.



5	W 303 ISOBLOC	$T_{\text{зак.}} = 1060 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , охл. - соль $T_{\text{отп}} = 560 \text{ }^{\circ}\text{C}$	55 HRC	Азотирование на глубину $h=0,2-0,3 \text{ мм}$ $T = 550 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $T_{\text{выдержки}} = 18 \text{ часов}$ .
---	---------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### 4.2.3. Результаты определения параметров на рекламации

Таблица 15 - Внешняя характеристика

Марка стали	Глубина азотированного слоя	Фотография	Описание
4X5MФС	0,05-0,1 мм		<p>Представлены дорны, бывшие в эксплуатации с <b>износом</b> на радиусном переходе R 1,3 цилиндрической рабочей поверхности <math>\varnothing 20,4 \pm 0,05</math>.</p> <p>Дорны имеют темный цвет поверхности (азотирование).</p>
4X5MФС	0,2-0,3 мм		<p>Представлены три дорна, бывшие в эксплуатации. С износом на радиусном переходе R 1,3 цилиндрической рабочей поверхности <math>\varnothing 20,4 \pm 0,05</math>.</p> <p>Дорны имеют темный цвет поверхности (азотирование).</p>

<p>6X3BM5Ф- Ш</p>	<p>0,2-0,3 мм</p>		<p>Представлены три дорна, бывшие в эксплуатации. С износом на радиусном переходе R 1,3 цилиндрической рабочей поверхности <math>\varnothing 20,4 \pm 0,05</math>.</p> <p>Дорны имеют темный цвет поверхности (азотирование).</p>
<p>4X5BM3ФС- Ш</p>	<p>0,2-0,3 мм</p>		<p>Представлены три дорна, бывшие в эксплуатации. С износом на радиусном переходе R 1,3 цилиндрической рабочей поверхности <math>\varnothing 20,4 \pm 0,05</math>.</p> <p>Дорны имеют темный цвет поверхности (азотирование).</p>

<p>W 303 ISOBLOC</p>	<p>0,2-0,3 мм</p>		<p>Представлены три дорна, бывшие в эксплуатации. С износом на радиусном переходе R 1,3 цилиндрической рабочей поверхности <math>\varnothing 20,4 \pm 0,05</math>.</p> <p>Дорны имеют темный цвет поверхности (азотирование).</p>
--------------------------	-------------------	------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Таблица 16 – результаты рекламационного анализа

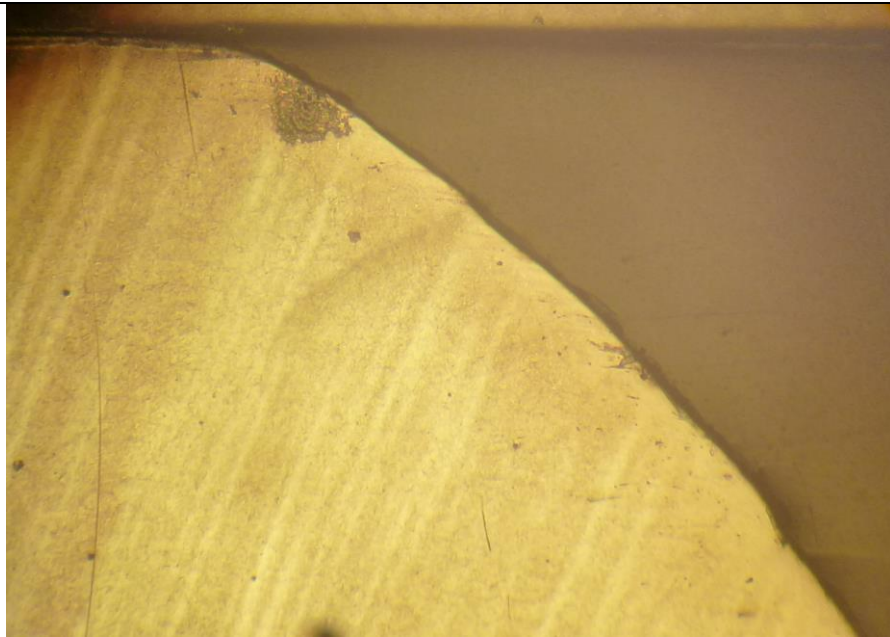
Марка стали	Твердость сердцевины	Микроструктура стали	Толщина упрочненного слоя	отклонения
4X5МФС	50 HRC	зерна аустенита G <sub>8</sub> (90%), G <sub>7</sub> (10%); Мартенсит отпуска (размер мартенситной иглы 7-8 балл);	0,1 мм	по радиусной поверхности R1,3 и Ø20,4±0,05 выявлена зона эксплуатационного разогрева металла толщиной ~ до 0,266 мм, с износом упрочненного слоя и пластической деформацией металла, разгарные трещины глубиной ~ до 0,19 мм и выкрашивание глубиной до 0,04 мм заполненные окалиной и смазкой, что свидетельствует о неудовлетворительных условиях эксплуатации – повышенном разогреве поверхности дорна.
4X5МФС	48 HRC	зерна аустенита G <sub>8</sub> (70%), G <sub>9</sub> (30%); Мартенсит отпуска (размер мартенситной	0,24 мм	по радиусной поверхности R1,3 и Ø20,4±0,05 выявлена зона эксплуатационного разогрева металла толщиной ~ до 0,36 мм, с понижением микротвердости на ~ 11 ед.HRC относительно твердости сердцевины с износом упрочненного слоя

		иглы 6-5 балл);		и пластической деформацией металла, разгарные трещины глубиной ~ до 0,3 мм и выкрашивание глубиной до 0,1 мм заполненные окалиной и смазкой, что свидетельствует о неудовлетворительных условиях эксплуатации – повышенном разогреве поверхности дорна.
W 303 ISOBLOC	54 HRC	зерна аустенита G <sub>9</sub> , G <sub>10</sub> Мартенсит отпуска (размер мартенситной иглы 4-5 балл);	0,25 мм	по радиусной поверхности R1,3 и Ø20,4±0,05 выявлена зона эксплуатационного разогрева металла толщиной ~ до 0,23 мм, с понижением микротвердости на ~ 6 ед.HRC относительно твердости сердцевины с износом упрочненного слоя и пластической деформацией металла, разгарные трещины глубиной ~ до 0,2 мм и выкрашивание глубиной до 0,06 мм заполненные окалиной и смазкой, что свидетельствует о неудовлетворительных условиях эксплуатации – повышенном разогреве поверхности дорна.

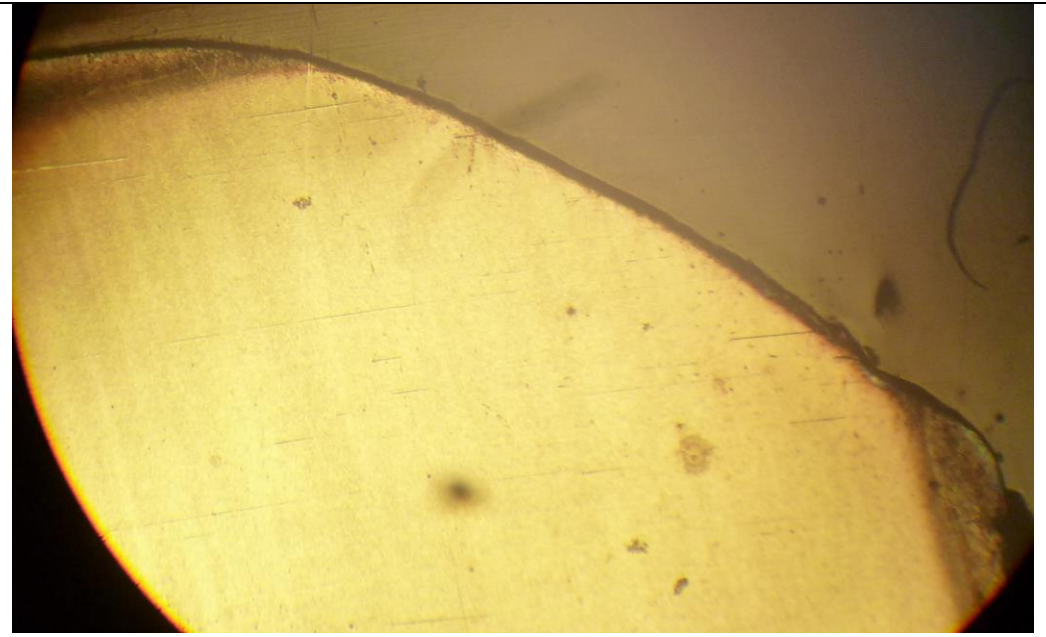
4X5BM3ФС-Ш	55 HRC	зерна аустенита G <sub>8</sub> (90%), G <sub>9</sub> (10%); Мартенсит отпуска (размер мартенситной иглы 7(8) балл);	0,22 мм	по радиусной поверхности R1,3 и Ø20,4±0,05 выявлена зона эксплуатационного разогрева металла толщиной ~ до 1,95 мм, с понижением микротвердости на ~ 14 HRC относительно твердости сердцевины с износом упрочненного слоя и пластической деформацией металла, разгарные трещины глубиной ~ до 0,7 мм, что свидетельствует о неудовлетворительных условиях эксплуатации – повышенном разогреве поверхности дорна
6X3BM5Ф-Ш	57 HRC	зерна аустенита G <sub>9</sub> – G <sub>10</sub> ; Мартенсит отпуска (размер мартенситной иглы 4-5 балл);	0,23 мм	по радиусной поверхности R1,3 и Ø20,4±0,05 выявлена зона эксплуатационного разогрева металла толщиной ~ до 2,2 мм, с понижением микротвердости на ~ 16 HRC относительно твердости сердцевины с износом упрочненного слоя и пластической деформацией металла, разгарные трещины глубиной ~ до 0,9 мм, что свидетельствует о неудовлетворительных условиях эксплуатации – повышенном разогреве поверхности дорна

Износ R 1,3 при увеличении представляет собой частичное или полное отсутствие на рабочей части дорна упрочняющего покрытия (азотирования) (Рисунок 14 а, б)

80



X50



X50

а) Слой азотирования глубиной 0,05-0,1 мм

б) Слой азотирования глубиной 0,2-0,3 мм

Рисунок 14 – Износ азотированного слоя на радиусном переходе R 1,3 цилиндрической рабочей поверхности  $\varnothing 20,4 \pm 0,05$ .



#### 4.2.4. Контроль стойкости инструмента

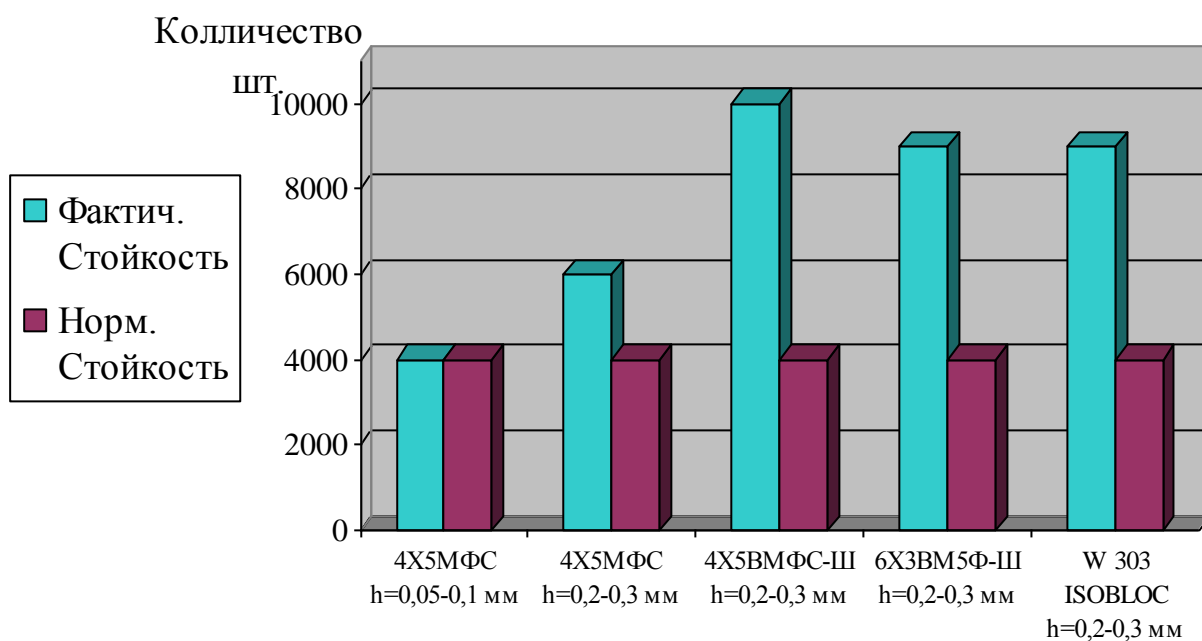
Контроль стойкости инструмента выполнен в сравнении фактического количества обработанных деталей до износа с нормативным периодом стойкости инструментов.

Низкая стойкость инструмента, помимо повышения расходов на его закупку и увеличение трудоемкости по замене, вызывает снижение размерной стабильности обработанных деталей. Результаты контроля приведены в Таблице 17.

Таблица 17 - Результаты контроля стойкости дорнов 856-1314-4018-028

Марка стали	Операция ХТО	Фактическое количество обработанных деталей, шт.	Нормативная Стойкость, шт.
4X5MΦC	Азотирование h=0,05-0,1мм	2000...4000	4000
4X5MΦC	Азотирование h=0,2-0,3мм	6000	4000
4X5BM3ΦC-III	Азотирование h=0,2-0,3мм	10000	4000
6X3BM5Φ-III	Азотирование h=0,2-0,3мм	9000	4000
W 303 ISOBLOC	Азотирование h=0,2-0,3мм	9000	4000

### Стойкость дорнов 856-1314-4018-028



### Марка стали и глубина азотирования

Рисунок 15 – Сравнительная диаграмма показателей стойкости опытных партий штамповой оснастки с изменённой маркой стали и ХТО

Проведенные исследования химического состава, металлографических параметров по результатам входного контроля свидетельствуют о том, что все марки стали соответствуют по всем показателям Техническим требованиям на поставку.

## Выводы

1. Проведен литературный анализ и установлены основные факторы, влияющие на стойкость штамповой оснастки дорн.

2. Исследовано влияние химико-термической обработки (ХТО) на микроструктуру и свойства стали применяемой для изготовления дорнов и влияние ХТО на стойкость:

Получены положительные результаты производственных испытаний штамповой оснастки, после изменения режима ХТО, с более существенным увеличением стойкости по сравнению с серийной оснасткой из стали 4Х5МФС на дорнах полугорячего деформирования 856-1314-4018-028 на деталь 2108-2215080-71 «обойма внутреннего шарнира»:

- 4Х5МФС слой азотирования  $h=0,2-0,3$  мм – увеличение стойкости в 1,5 раз;

3. Получены положительные результаты производственных испытаний штамповой оснастки, после замены марки стали, с более существенным увеличением стойкости по сравнению с серийной оснасткой из стали 4Х5МФС на дорнах полугорячего деформирования 856-1314-4018-028 на деталь 2108-2215080-71 «обойма внутреннего шарнира»:

- из стали 4Х5ВМЗФС-Ш – увеличение стойкости в 2,5 раз;
- из стали 6ХЗВМ5Ф-Ш – увеличение стойкости в 2,25 раз;
- из стали W 303 ISOBLOC – увеличение стойкости в 2,25 раз.

4. Проведенные исследования химического состава, металлографических параметров по результатам входного контроля свидетельствуют о то, что все марки стали соответствуют по всем показателям Техническим требованиям на поставку.

5. Все полученные высокие результаты лабораторных и производственных испытаний, положительный опыт внедрения на отдельных позициях штамповой оснастки показывает перспективность широкого внедрения в производство ОАО «АВТОВАЗ» высококачественных

инструментальных сталей отечественного и зарубежного производства, в том числе в виде точных заготовок, с целью снижения затрат и повышения эффективности производства.

6. В результате лабораторных испытаний и испытаний подтверждены более высокие основные свойства высококачественные сталей, изготовленных отечественным и зарубежным производителем по сравнению с серийно применяемой на ОАО «АВТОВАЗ» сталью 4Х5МФС.

## Список литературы

1. Проскуряков Ю. Г. Технология упрочняюще-калибрующей и формообразующей обработки металлов. М.: Машиностроение, 1971. 208 с.
2. Кнорозов Б.В., Усова Л.Ф., Третьяков А.В., Арутюнова И.А., Шабашов С.П., Ефремов В.К. Технология металлов. М.: Металлургия, 1978. 904 с.
3. Тылкин М.А. Штампы для горячего деформирования металлов. М.: Высшая школа, 1977. 496 с.
4. Биллигман И. Высадка и другие методы объемной штамповки. М.: Металлургия, 1980. 233 с.
5. Трахтенберг Б.Ф. Стойкость штампов и пути ее повышения: уч.изд. К.: Куйбышевское книжное издательство, 1964. 280 с.
6. Никонова Т.Ю., Бийжанов С.К. Вибродорнование – высокотехнологичный метод обработки внутренних отверстий гидроцилиндров горно - шахтного оборудования // Современные тенденции развития науки и производства: сборник материалов Международной научно-практической конференции (23-24 октября 2014 года) – в 4-х томах, 2014. Т 1. 196 с.
7. Шаталов В. К., Гаврилин В. А. Дорнование : методические указания. М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. 24 с.
8. Пат. 2249052 РФ, МПК<sup>8</sup> C21D8/10, B21H1/18, B21B25/00. способ изготовления дорнов пилигримовых станов / Сафьянов А.В., Фёдоров А.А., Игнатъев В.В., Дукмасов В.Г., Лапин Л.И., Романцов И.А., Ненахов С.В., Никитин К.Н., Андрюнин С.А., Панов С.А., Логовиков В.А. (RU), заявитель и патентообладатель ОАО "Челябинский трубопрокатный завод" - № 2003103644/02, заявл. 06.02.2003, опубл. 27.03.2005, , Бюл. № 9
9. Барановский М.А. В помощь кузнецу-штамповщику. Минск: Беларусь, 1976. 207 с.

10. «Рекомендации по выбору марок стали и технологии упрочнения инструмента для полугорячего выдавливания стальных заготовок», ЭНИКМАШ, Воронеж, 1980г.
11. В.В. Малахов, Л.А. Иванова, Т.А. Буянская, НИР 12034-91-09, Этап I, ВАЗ, УЛИР, 1992г.
12. В.В. Малахов, Т.А. Буянская, НИР 12034-95-15, Этап I, ВАЗ, УЛИР, 1995г.
13. Шумакова Л.С., Андреевская Ю.С. Проектирование заготовительно-штамповочной оснастки: учеб. Пособие. М.: МАТИ, 2008. 80с.
14. Позняк Л.А., Скрынченко Ю.М., Тишаев С.И. Инструментальные стали: справочник. М.: Metallurgy, 1977. 168с.
15. Позняк Л.А., Скрынченко Ю.М., Тишаев С.И. Штамповые стали. М.: Metallurgy, 1980. 244с.
16. Харт Э.У. Структура металлов и свойства. Пер. с англ. М.: Metallurgy, 1957. 242 с.
17. Скрынченко Ю.М., Позняк Л.А., Куимова О.М., Жалыбина В.Д., Исследование особенностей разупрочнения теплостойких штамповых сталей типа 45ХЗВЗМФС и 4ХЗВ2М2Ф2 для горячего деформирования, Сб. «Инструментальные и подшипниковые стали», № 2, М: Metallurgy, 1975г. 134 с.
18. Тылкин М.А. Штампы для горячего деформирования металлов. М.: Высшая школа, 1977. 496 с.
19. Биллигман И. Высадка и другие методы объемной штамповки. М.: Metallurgy, 1980. 233 с.
20. В.В. Малахов, С.П. Цветвока, НИР 12034-02-24, Этап II, ВАЗ, УЛИР, 2007г.
21. Владимиров В.М. Изготовление штампов, пресс-форм и приспособлений. М.: Высшая школа, 1974. - 431 с.

22. Околович Г.А., Меркулов А.Н., Ларещева О.С. Химико – термическая обработка штампов / Ползуновский альманах №4 2003. 187с.
23. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990. 528 с.
24. Новиков И.И. «Теория термической обработки металлов» Учебник. 3-е изд., испр. и доп. М.: Metallurgia, 1978. 392 с.
25. Кнорозов Б.В., Усова Л.Ф., Третьяков А.В, Арутюнова И.А., Шабашов С.П., Ефремов В.К. Технология металлов. М: Metallurgia, 1978. 904 с.
26. [www.bohler-edelstahl.at](http://www.bohler-edelstahl.at)
27. И1200.37.101.0405-2013 «Контроль качества инструментальных сталей применяемых для изготовления металлургической оснастки»
28. ГОСТ 5950-2000. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия. Введ. 2002-01-01. М.: Стандартинформ, 2002. 35 с.
29. ГОСТ 9012-59. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю. Введ. 1960-01-01. М.: Стандартинформ, 1960. 40 с.
30. ГОСТ 10243-75. Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры. Введ. 1978-01-01. М.: Стандартинформ, 1978. 41 с.
31. ГОСТ 1778-70. Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений. Введ. 1972-01-01. М.: Стандартинформ, 1972. 32 с.
32. ТТМ 2.17.1037-2006 Прудки, полосы и коковки из инструментальной стали для пресс-форм литья под давлением алюминиевых сплавов, штампов горячего деформирования и холодной штамповки, 2006. 11 с.
33. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. Введ. 1983-01-01. М.: Стандартинформ, 1983. 21 с.

34. ГОСТ 9013-59. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу. Введ. 1960-01-01. М.: Стандартиформ, 1960. 9 с.
35. DIN 1.2367
36. ТУ 14-1-335-72 Прудки и полосы из инструментальной стали для штампов горячего деформирования металла, Введ. 03.02.1973.13 с.
37. Фетисов Г.П., Гарифуллин Ф.А. - Материаловедение и технология материалов: Учебник. – М.:ИНФРА-М, 2014. – 397с. - (Высшее образование. Бакалавриат).
38. Проскуряков Ю. Г. Технология упрочняюще-калибрующей и формообразующей обработки металлов. — М.: Машиностроение, 1971. — 208 с.
39. Зубцов М.Е., Корсаков В.Д, Л., «Машиностроение», 1971г., 200 с.
40. Артигнер И. «Инструментальные стали и их термообработка» - Пер. с венгр. М., «Металлургия» 1982. – 312с.
41. Богданова Т.А, Перебоева А.А., Третьякова Л.П., Окладникова Н.В. Исследование структуры и свойств штамповых инструментальных сталей // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. 2008. Т. 19. № 2. С. 156-159.
42. Богданова Т.А., Третьякова Л.П., Биронт В.С. [и др.] / Разработка технологии получения поковок из инструментальных сталей для прессовых матриц // Вестник СибГАУ. Вып. 2 (19). Красноярск, 2008. С. 156–159.
43. Шумакова, Л.С. Андреевская Ю.С. Проектирование заготовительно-штамповочной оснастки: учеб. Пособие. М.: МАТИ, 2008. 80 с.
44. Зайцев Д.Е., Дель Г.Д. Напряженное состояние при дорновании//Станки и инструмент, 1972. № 1. - С. 36 - 37.
45. Проскуряков Ю.Г. и др. Дорнование отверстий тонкостенных деталей в обоймах/ Акименко Ю.А., Суханов Э.С. и др.//Вестник машиностроения. 1971-№ 12.-С. 37-41.
46. Исаев А.Н. Автореферат диссертационной работы: Исследование



процесса дорнования отверстий в неравностенных деталях со сложным наружным контуром. Ростов-на-Дону, 1973. - 26 с.

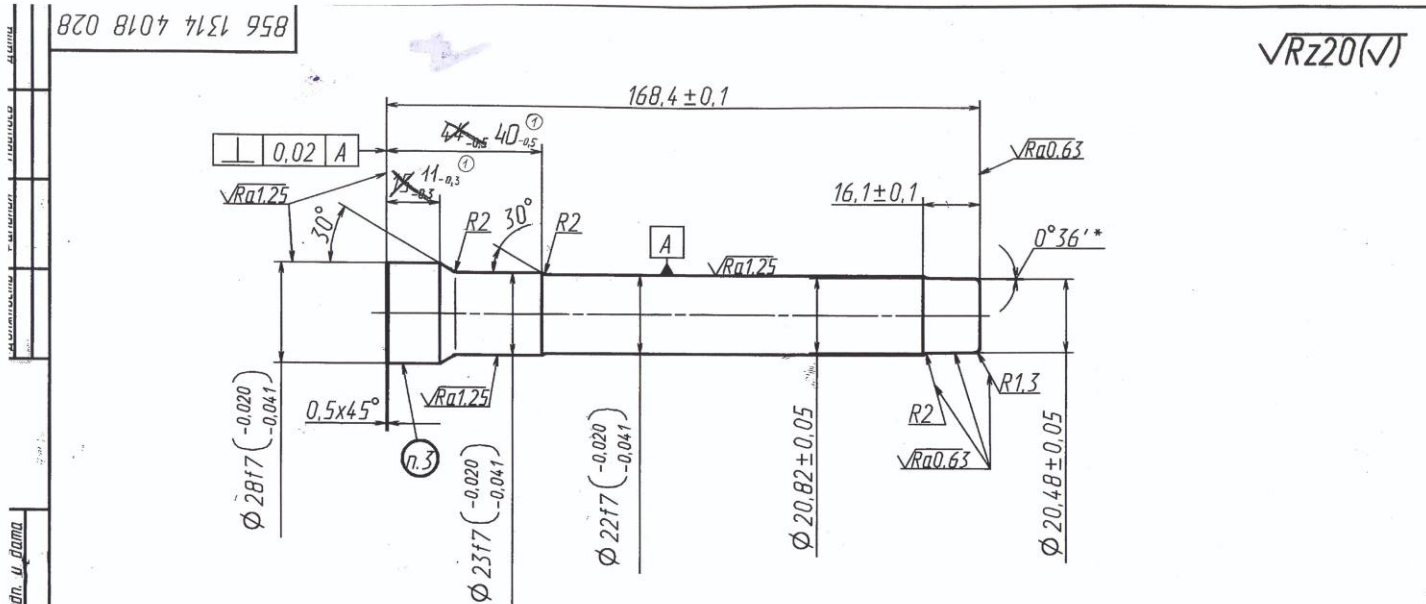
47. Проскуряков Ю.Г., Романов В.Н. К терминологии процессов дорнования отверстий. //Упрочняюще-калибрующая и формообразующая обработка металлов. -Барнаул: Алт. кн. изд-во, 1978. вып. 8. - С. 120 - 126.

48. Монченко В.П. Дорнование отверстий с большими натягами. М.: ЦНИИ-ТЭИТРАКТОРОСЕЛЬМАШ, 1971. - 72 с.

49. Методы механических и технологических испытаний/ Сборник стандартов М.: Из-во комитета станд., мер и измер. приб., 1970, 303 с.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Чертеж детали 856-1314-4018-028 «дорна»



1. 53...55 HRC. Карбонитривать  $h0,05...0,1$  мм.
2. \*Размеры для справок.
3. Маркировать обозначение.
4. Допускается материал сталь 4Х4ВМФС (ДИ-22) ГОСТ 5950-73.

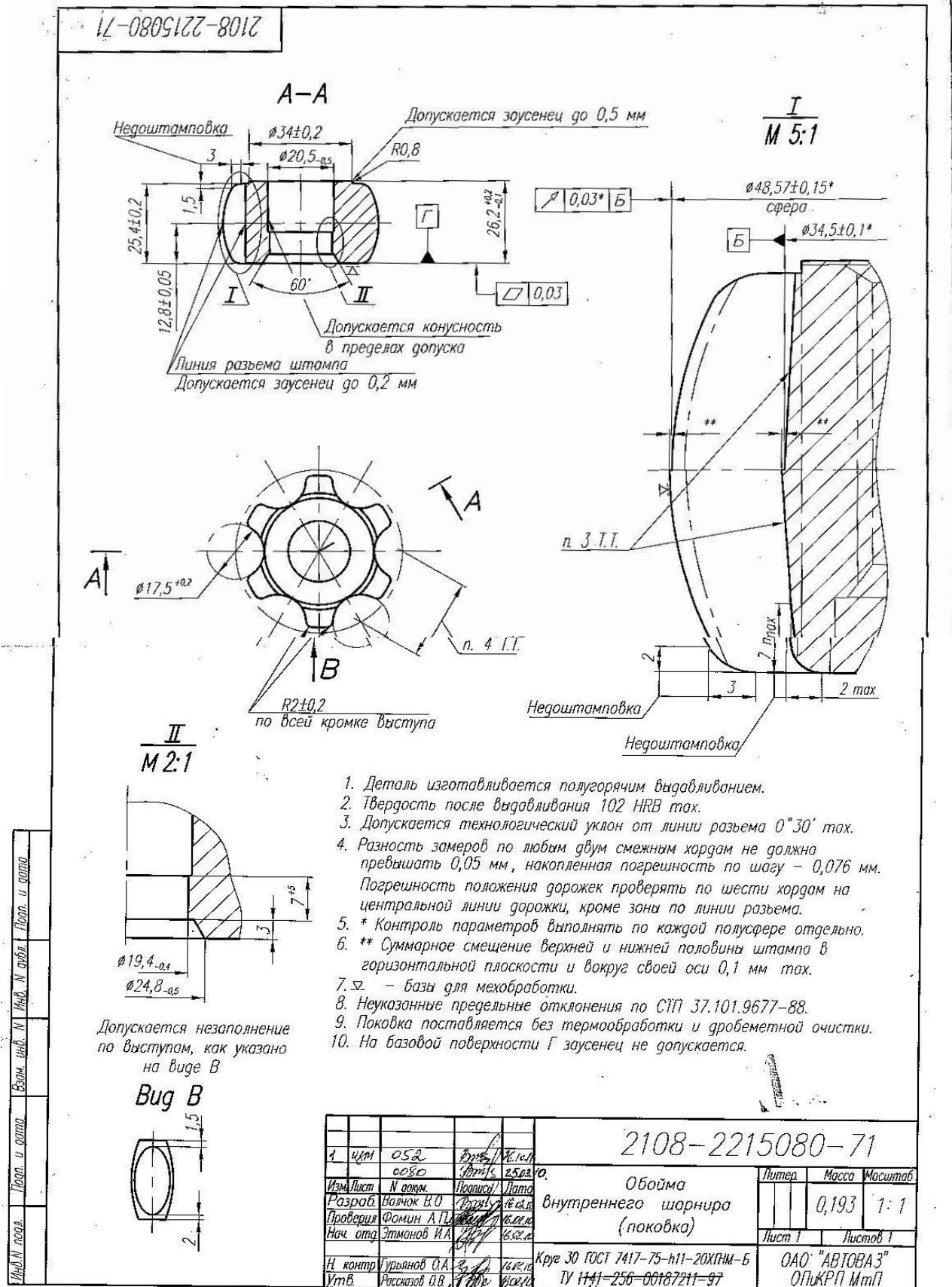
2108-2215080-71		856-1314-4018-028.36.0182-09 пр1	
Пресс ММК2-630 Шцлер		Цех 14/4	
<b>856-1314-4018-028</b>			
<b>Дорн</b>		Лит.	Масса
		0,54	1,1
Сталь 4Х5МФС ТЧ 14-1-335-72		Лист	Вместо
		ВА3 МмП	КТП ГАИМ

1	35.0132-09	Власенко	24.6.9
Изм.	Лист	Н. в. аким	Подп.
Разраб.	Кузнецов	Власенко	10.6.02
Проб.	Власенко	Власенко	10.6.02
У. контр.	Терехов	Власенко	10.6.02
Нач. КБ	Кожин	Власенко	10.6.02
Н. контр.	Кожин	Власенко	10.6.02
Умб	Г. Власенко	Власенко	10.6.02

ИНС.Н. ПОСЛА. ПЛОП. И. ПОПЕ. ВЗОР.ИНС.Н. ИНС.Н. ОЦФА. ПЛОП. И. ПОПЕ.

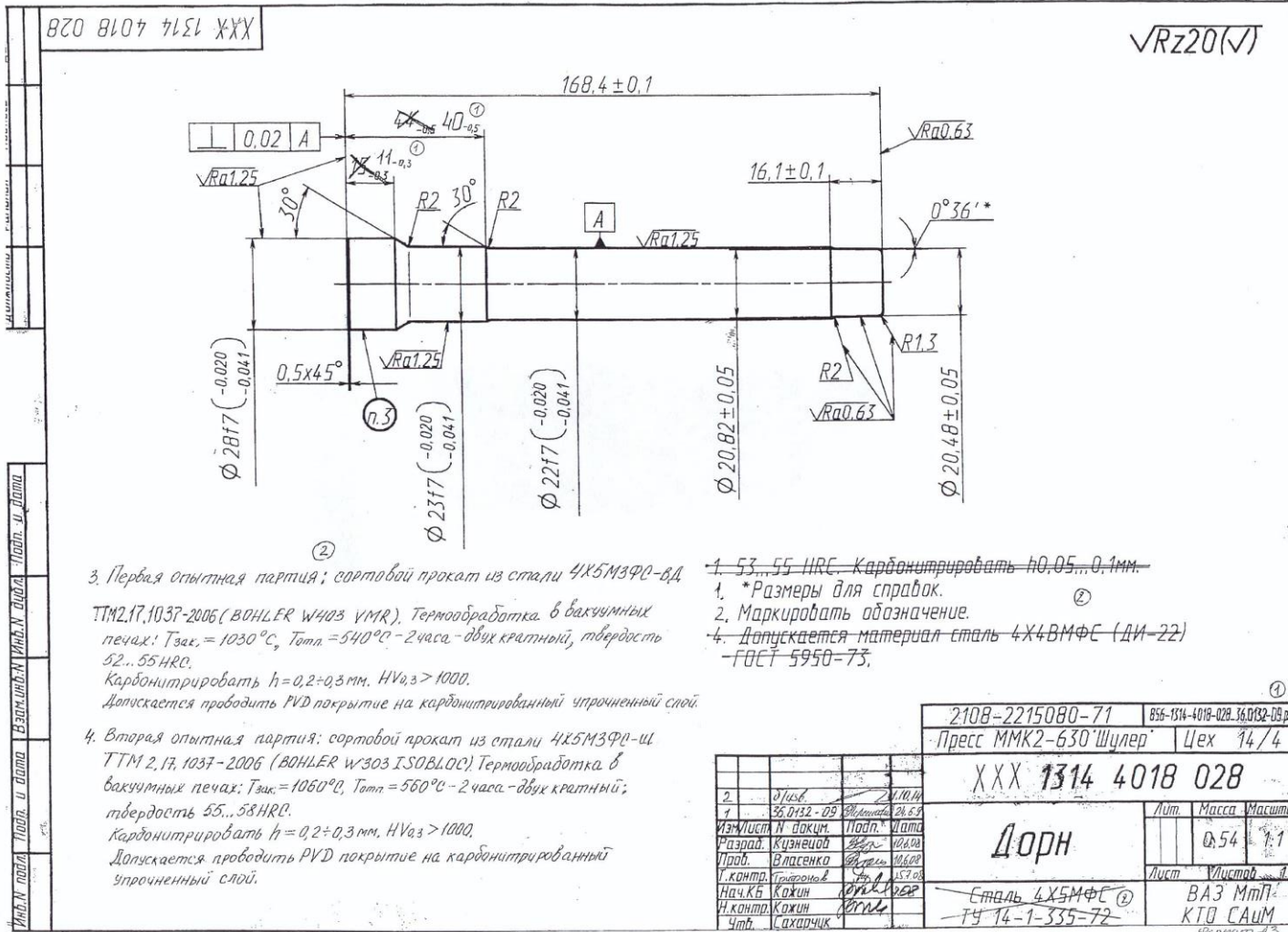
# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Чертеж детали 2108-2215080-71 «обойма внутреннего шарнира»



# ПРИЛОЖЕНИЕ В

## Новый чертеж детали 856-1314-4018-028 «дорна»



## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Схема вырезки образцов

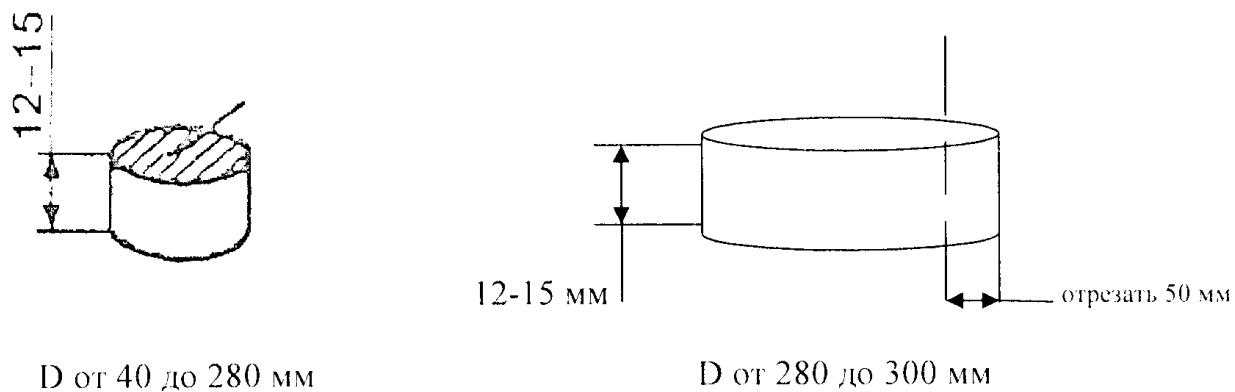


Рисунок В.1 Для диаметра от 40 до 300 мм

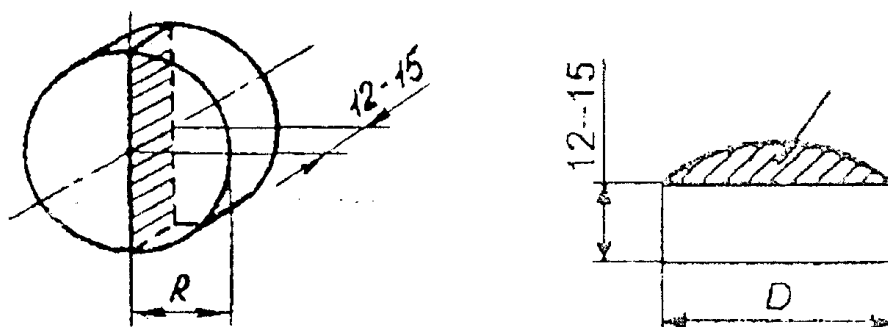


Рисунок В.2 Для диаметра до 40 мм

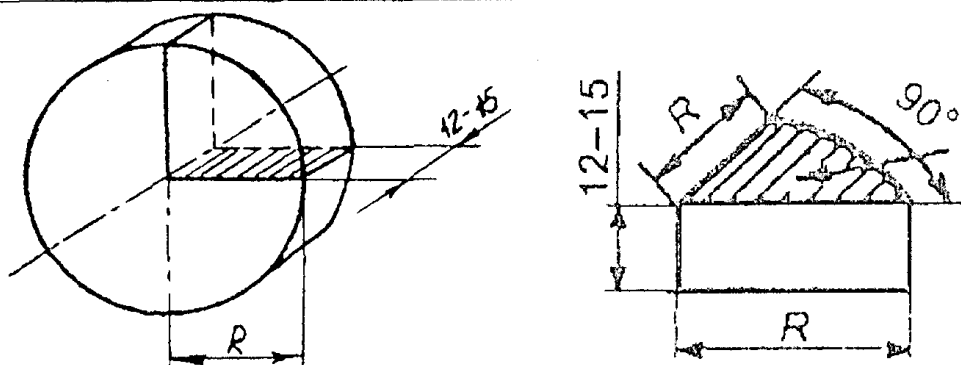


Рисунок В.3 Для диаметра от 41 до 90 мм

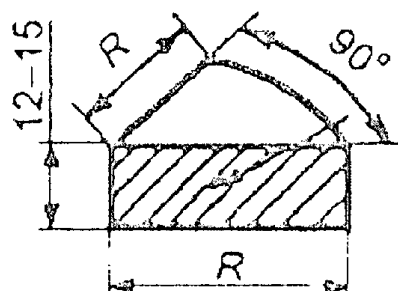
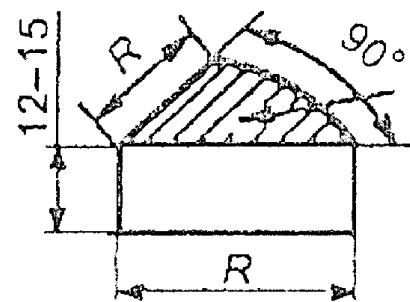
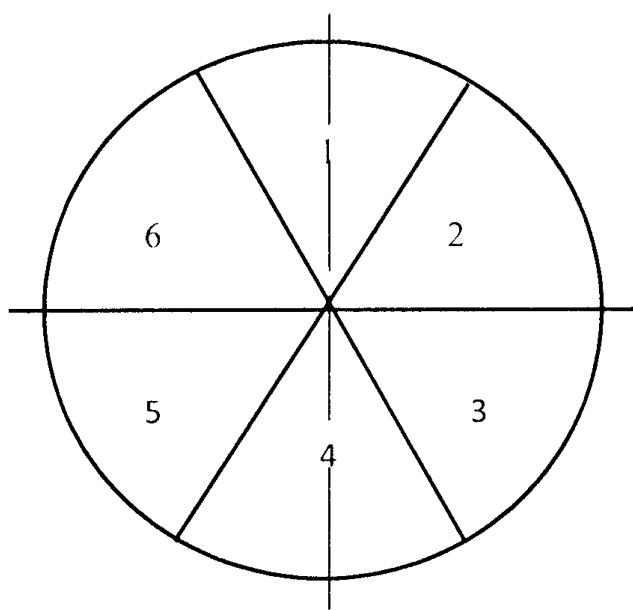


Рисунок В.4 Для диаметра от 91 до 120 мм

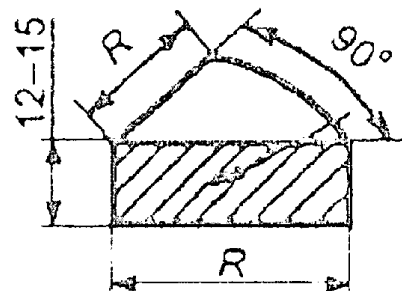
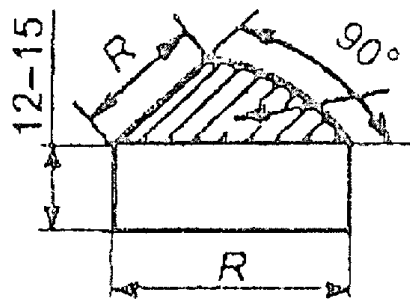
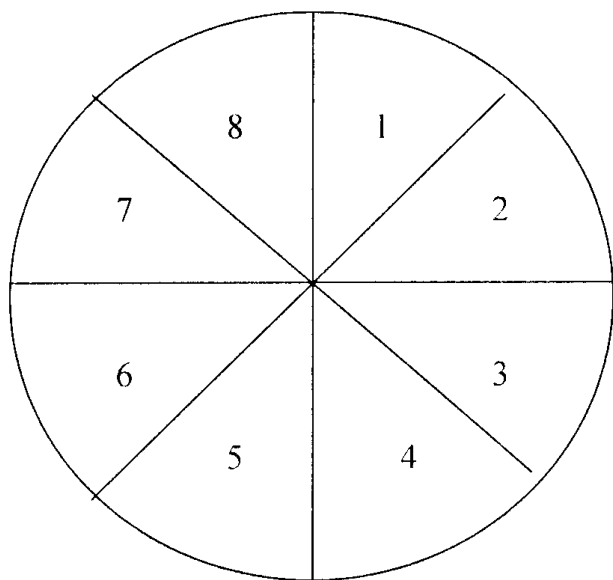
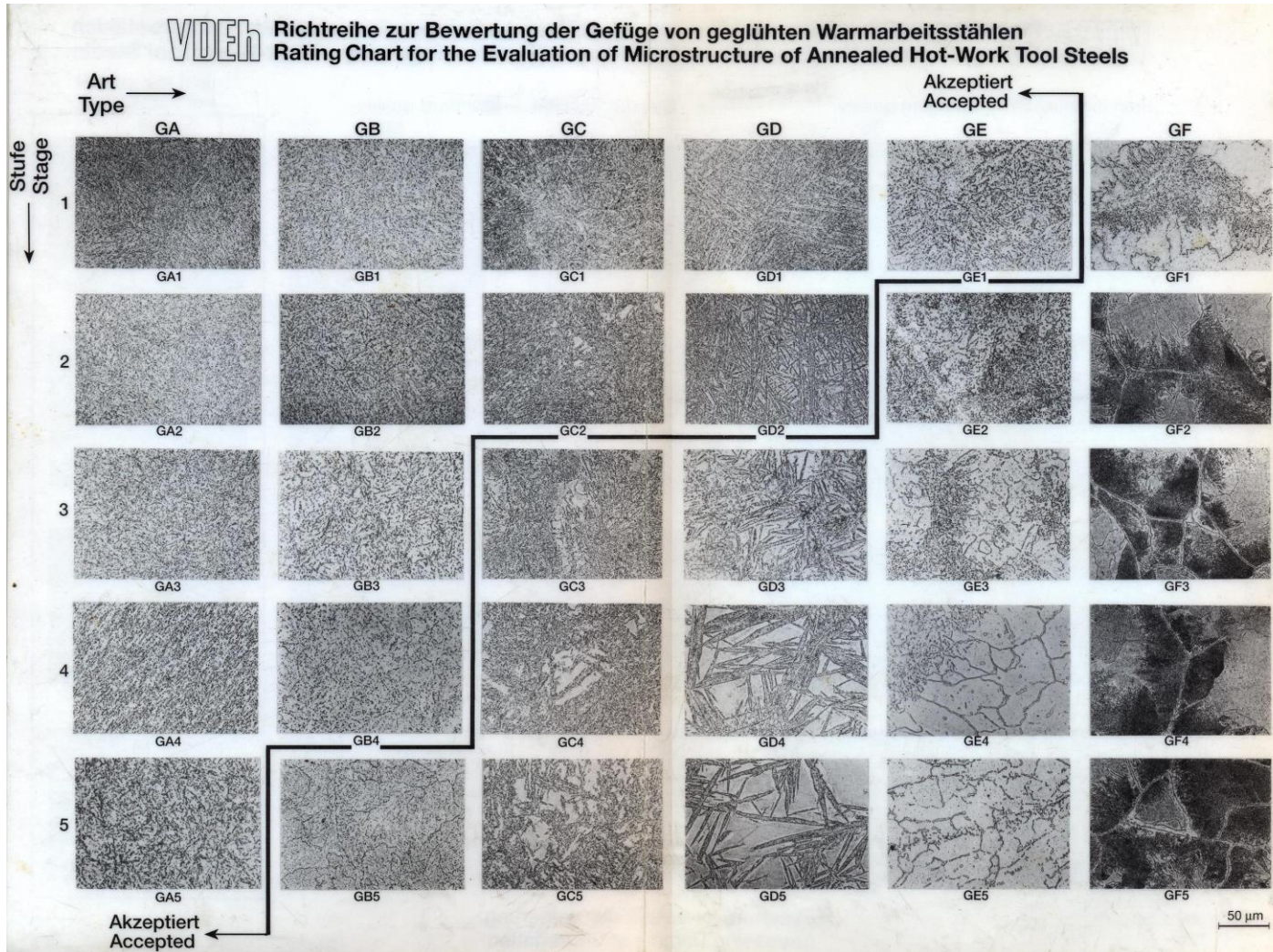


Рисунок В.5 Для диаметра от 121 до 300 мм

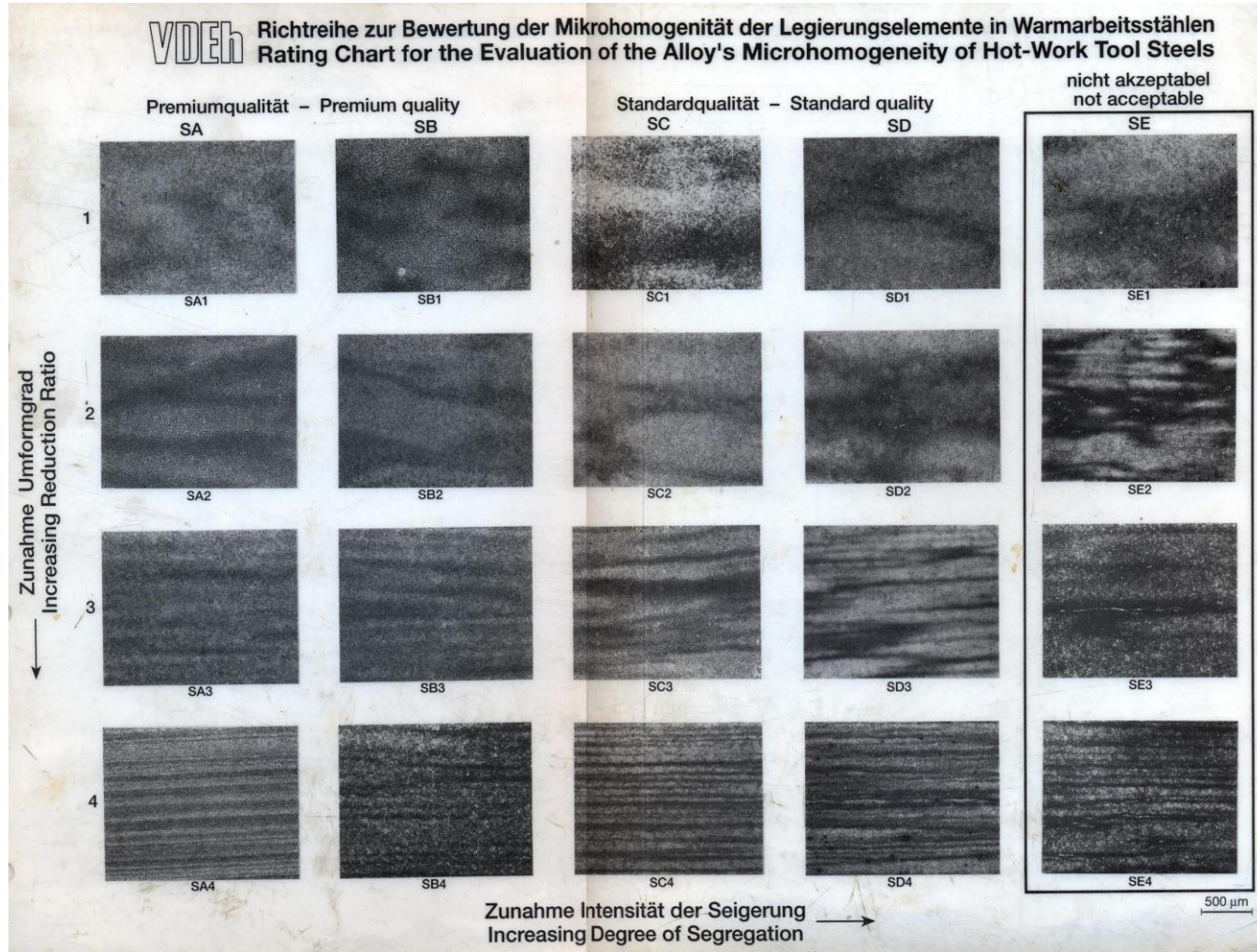
# ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Микроструктура по действующему стандарту STAHL-EISEN-Prufblatt SEP1614



# ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Микрогомогенность по действующему стандарту STAHL-EISEN-Prufblatt SEP1614





**Министерство образования и науки Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тольяттинский государственный университет»**

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

**Исследование возможности повышения стойкости  
штамповой оснастки дорнов**

**Магистрант**

**А.С.Онук**