

## Содержание

1 Обзор современного состояния производства станов поперечно-винтовой прокатки.....	2
1.1 Анализ действующего оборудования.....	3
1.3 Характеристика шаров.....	4
2. Технология производства.....	5
2.1 Технологический процесс производства шаров.....	5
2.2 Рабочий инструмент шаропрокатных станов и особенности его калибровки.....	6
2.3 Расчет калибровки валков.....	11
3. Дефекты шаров.....	14
3.1 Влияние химического состава на качество стали.....	18
4. Правила безопасности при прокатном производстве.....	19
5. Заключение.....	22
6. Список используемой литературы.....	24

## **Прокатка шаров**

### **1.1 Обзор современного состояния производства станов поперечно-винтовой прокатки.**

Процесс прокатки шаров на станах осуществляется из круглой прутковой заготовки с помощью двух валков, имеющих винтовые калибры. При однозаходной калибровке за каждый оборот валков прокатывается один шар. При многозаходной калибровке - число шаров, выходящих из валков за один оборот, равно числу заходов винтового калибра. При выходе из валков шары интенсивно охлаждаются в воде и закаливаются, что обеспечивает высокую износостойкость шаров в мельницах для размола руды, угля и цемента. Для повышения точности и качества валков и упрощения их изготовления разработаны специальные приспособления для нарезания на токарно-винторезном станке винтовых ручьев шаропрокатных валков, имеющих переменный шаг. Прокатка шаров в сравнении со штамповкой позволяет в 2.8 раз повысить производительность оборудования и на 10.15 % снизить расход металла. На базе шаропрокатных станов созданы технологические комплексы для изготовления высококачественных мелющих шаров, включающие печь для нагрева заготовки, шаропрокатный стан, закалочное и транспортные устройства. В странах СНГ создана конструкция ряда типоразмеров станов, на которых прокатывают шары диаметром от 25 до 125 мм. На этих же станах можно прокатывать цилиндрические изделия соответствующих размеров. Станы для прокатки шаров диаметром 40-80 и 60-125 мм изготавливаются Электростальским заводом тяжелого машиностроения. Они успешно эксплуатируются с 1959 г. на металлургических заводах "Азовсталь" (г. Жданов), Днепровском металлургическом заводе им. Дзержинского (г. Днепропетровск) и Нижне-Тагильском металлургическом комбинате им. Ленина. Шары для размольных мельниц изготавливают не только на металлургических заводах, но также и на машиностроительных предприятиях, производящих запасные части для шаровых мельниц цементных заводов и электростанций. На этих заводах не требуются станы такой высокой производительности, как на станах, устанавливаемых на металлургических заводах.

## 1.2 Анализ действующего оборудования

Разработка отечественными учеными новых технологических процессов (прокатка мелющих шаров и шариков для подшипников коротких тел вращения - штифтов и втулок, изделий с винтовой и резьбовой поверхностью, ребристых труб, коротких изделий с периодическим профилем и др.), создание на их основе специальных станов поперечно-винтовой прокатки для изготовления изделий машиностроительного назначения позволило резко расширить возможности поперечно-винтовой прокатки, увеличить сортамент выпускаемой продукции, используя при этом те же схемы прокатки, т.е. двух - или трехвалковые. Трехвалковая схема: прокатка изделий с винтовой (резьбовой) поверхностью; прокатка червячных пар; прокатка шаров и подшипников. Двухвалковая схема: прокатка шаров и шарикоподшипников; прокатка коротких тел вращения; прокатка коротких тел с периодическим профилем; прокатка изделий с винтовой (резьбовой) поверхностью; прокатка червячных пар. Широко применяемые в черной и цветной металлургии станы поперечно-винтовой прокатки конструктивно изготовлены таким образом, что каждый из двух известных схем прокатки: двухвалковая или трехвалковая. К достоинствам трехвалковым станам поперечно-винтовой прокатки относится: - меньшее скольжение металла относительно валков; - схема напряженного состояния металла заготовки более благоприятна; - меньшая вероятность вскрытия внутренней полости заготовки; - возможность получения труб периодического профиля. К недостаткам трехвалковым станом можно отнести: · большее потребление электроэнергии; · более сложная наладка оборудования; · большее количество валков и как следствие больше затрат на приобретение и замену рабочего оборудования; · высокая стоимость оборудования. К достоинствам двухвалковых станов поперечно-винтовой прокатки можно отнести следующее: · упрощенность конструкции рабочей клетки, ее привода и переналадки стана; · большая производительность стана; · меньшие нагрузки на валки. Возможность изготавливать отдельные виды продукции специального машиностроительного назначения. Существующим станам по производству шаров характерны следующие недостатки: . Исходные заготовки поступают из сортовых и заготовительных станов. Эти заготовки получены как правило из блюмов, прокатанных на блюменгах и имеют высокую стоимость, обусловленную технологическими затратами труда, - энергии и металла на предыдущих переделах. Эти заготовки подаются к шаропрокатному стану в холодном состоянии и для их нагрева как правило, используют пламенные проходные нагревательные печи со значительными энергозатратами. 2. Для термического упрочнения шаров, как правило, используют агрегаты барабанного типа, для которых характерна значительная неравномерность

охлаждения при термообработке и, как следствие, приводящая к значительному разбросу механических свойств готового шара. Это приводит к снижению качества шаров, в первую очередь к снижению твердости поверхности, что вызывает ухудшение износостойкости и устойчивости против удара при их эксплуатации в мельницах для помола руды.

### **1.3 Характеристика шаров**

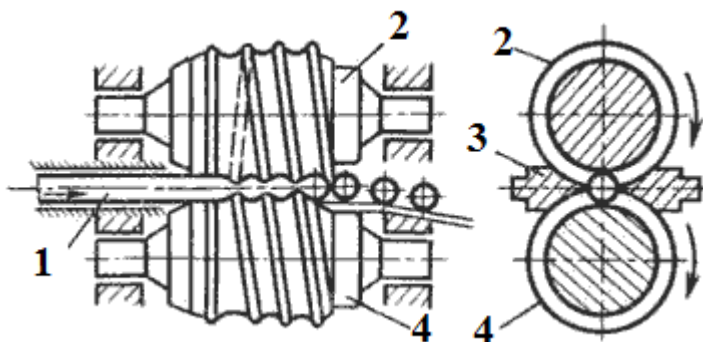
Шары стальные, катаные (в дальнейшем шары), применяемые в шаровых мельницах, предназначенных для разлома руды, различного состава, угля, клинкеров и других материалов, изготавливаются согласно техническим требованиям. Шары должны соответствовать требованиям настоящих технических условий и изготавливаться по технологической документации, утвержденной в установленном порядке: Шары по твердости подразделяются на следующие группы: 1 нормальной твердости; 2 повышенной твердости; 3 высокой твердости; 4 особо высокой твердости. Размеры, предельные отклонения по ним, расчетная масса шаров должны соответствовать таблице 1.1. Для изготовления шаров должны применяться специальные стали, марки и химический состав которых приведены в таблице 1.2: для шаров 1 группы - сталь марки Ш-1, для шаров 2 группы - сталь марки Ш-2, для шаров 3 и 4 групп - сталь марки Ш-3. прокатка шар металлопрокатный цех. В шарах допускаются отклонения по химическому составу от норм, приведенных в таблице: углерода - +0,03, кремния - +0,05, марганца - +0,1, серы - +0,005; фосфора - +0,050. Твердость шаров должна соответствовать нормам. На поверхности шаров допускаются плены, глубина залегания которых должна быть в пределах допуска на номинальный диаметр шара. Таким образом принимаем шаропрокатный стан для прокатки шаров диаметром 100 мм производства компании "Sinosteel Engineering Co., Ltd" Китайской Народной Республики. Производительностью шаров - 45 шт. /мин.



## 2. Технология производства

### 2.1 Технологический процесс производства шаров.

В цеху установлено два шаропрокатных стана для прокатки шаров диаметром 60 мм. В состав оборудования линии стана входят устройства для загрузки прутков, непрерывная проходная индукционная печь для нагрева круглых прутков, устройство для транспортировки нагретых прутков от печи к стану, шаропрокатный стан и устройство для охлаждения, а также склад прокатанных шаров. На стеллаже нагревательной печи при помощи устройства передачи и сталкивания арматуры диаметром 58 мм длиной 800 мм подаются в индукционную печь для нагрева. Когда арматура нагревается примерно до 1100°C, она передается на рольганг расположенного за печью при помощи отводящего устройства. Далее разогретая заготовка переворачивается при помощи двухстороннего кантователя на стеллаж, откуда прокатываемая заготовка подается на стеллаж приема материалов. Затем заготовка при помощи пневматического сталкивателя подается в прокатный стан. После проката шары проходят томление через винтообразный подъемник, после чего проводится термообработка на термообрабатываемой установке. После термообработки шары попадают в контейнер для сбора шаров, откуда транспортируются на склад готовой продукции. Индукционная печь. Ее основная функция - нагрев заготовки до температуры проката. К нагревательной печи относятся: загрузочный стеллаж, устройство передачи заготовок, вталкиватель и устройство для выпуска заготовок. Мощность нагревательной печи 250 кВт. Заготовка подается на загрузочный стеллаж нагревательной печи при помощи крана, лапа загрузочного стеллажа передает материал на ролик, пневматический сталкиватель выдвигает заготовку в нагревательную печь для ее нагрева, когда заготовка нагревается до 1100°C, то он ее выдвигает из печи, устройства передачи подает заготовку на рольганг прокатного стана шаров для проката.



## 2.2 Рабочий инструмент шаропрокатных станов и особенности его калибровки

Шаропрокатные двухвалковые станы предназначены для получения заготовок шаров подшипников качения диаметром 25-50 мм из высокоуглеродистых сталей типа ШХ15 и мелющих шаров диаметром 25-125 мм из среднеуглеродистых сталей для мельниц. Различные требования к шарам этих типов определяют различия технологических процессов их производства и калибровок валков. Мелющие шары прокатывают из горячекатаных круглых заготовок обычной точности. Нагрев осуществляют в газовых печах до более высоких температур (950-1050°C), что снижает износ валков. Прокатку ведут со срезом перемычек вдавливанием их остатков в тело шара. Прокатанные шары закаливают с прокатного нагрева, а извлечение их из охлаждающих устройств при температуре 200-300°C приводит к самоотпуску. При прокатке шаров из заготовок разного уровня точности, а также с сохранением или удалением перемычки в очаге деформации требуется применение валков различных калибровок. Винтовой калибр для прокатки шаров (смотреть рисунок 3.1) состоит из двух участков - формирующего и отделочного.

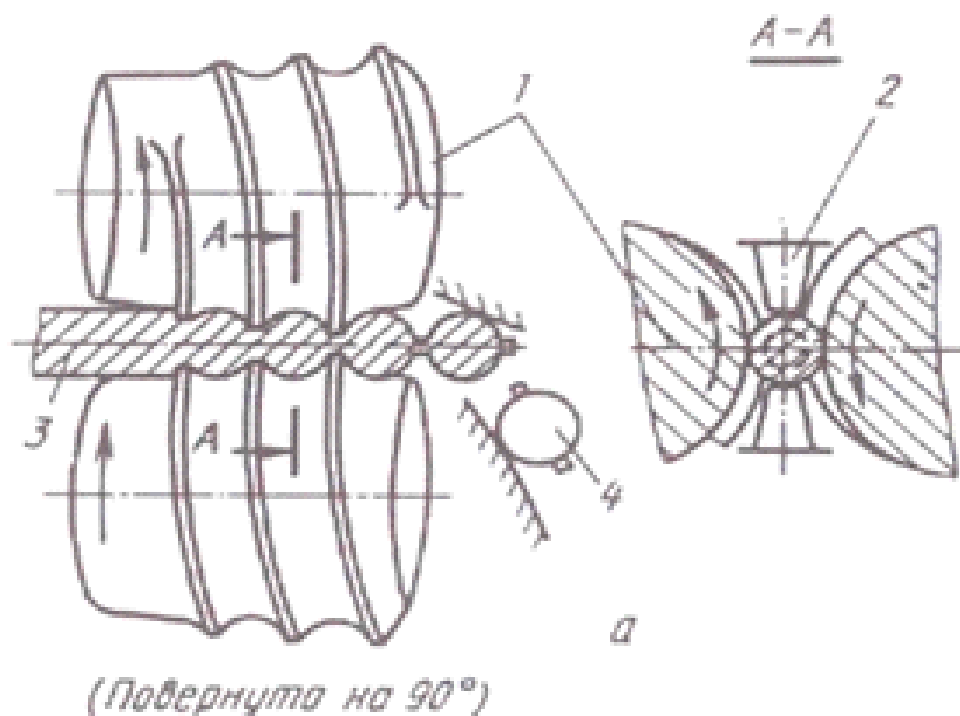


Рисунок 3.1



1 - валки, 2 - направляющие линейки, 3 - исходная заготовка, 4 - заготовка подшипника

Рисунок 3.1 - Винтовая периодическая прокатка в двухвалковом стане с винтовым калибром. На формующем участке осуществляются захват заготовки и ее постепенное обжатие в шар, соединенный перемычкой с остальной частью заготовки. Формовка производится ребордами, имеющими непрерывно нарастающую высоту, в соответствии с которой изменяется диаметр перемычки. Металл, смещаемый из перемычек в шар, приводит радиальной деформации и увеличению диаметра шара по сравнению с диаметром заготовки. В связи с этим диаметр заготовки принимается на 1-2 мм меньше диаметра шара. При несоответствии смещенного объема перемычки ( $V_1$ ) и возможного приращения объема шара ( $V_2$ ) форма шара не выполняется ( $V_1 < V_2$ ) или происходит его овализация ( $V_1 > V_2$ ). Тангенциальная раскатка овального шара приводит к образованию центрального разрушения, поэтому недопустима. Для предотвращения ее образования ширину реборды и шаг нарезки винтового калибра на формующем участке делают переменными (нарастающими). Корректировка заполнения калибра может производиться также регулированием угла подачи валков  $\alpha$ , который на шаропрокатных станах составляет  $2-4^\circ$ . Протяженность калибра (число витков) измеряют в градусах развертки винтовой линии калибра. При общей протяженности калибра  $900-1350^\circ$  формующий участок занимает  $360-540^\circ$ . На отделочном участке при прокатке шаров подшипников осуществляется только калибровка шара. Этот участок имеет постоянные шаг и профиль нарезки, соответствующий профилю прокатываемого шара, а также постоянный угол подъема нарезки, равный углу подачи валков. За один оборот валков прокатывается один шар. При прокатке мелющих шаров валок отличается наличием калибрующего участка, выравнивающего диаметры заготовок перед формовкой, и удлиненным отделочным участком (до  $810^\circ$ ). Небольшое осевое смещение валков приводит к разрыву перемычки в начале отделочного участка, а затем - к вращению шара относительно оси, перпендикулярной к оси прокатки, срезу перемычек ребордами и к закатке полюсных выступов. Для повышения производительности стана наряду с однозаходными применяют двух- и трехзаходные винтовые калибры, что позволяет получать 2-3 шара за один оборот валков. Средняя производительность станов составляет 1-6 шаров в секунду, до 50-60 млн шт. /год (10-150 тыс. т/год). Основным рабочим инструментом стана для прокатки шаров является прокатный валок, на бочке которого порезан винтовой калибр. Исходным параметром при конструировании валка является его размер по вершинам реборд. Диаметр валка выбирают из следующих условий. а) надежный захват заготовки валками; б) прочность валка и малая упругая отдача при изменении действующих нагрузок; в) отсутствие налипания металла на валках, которое возникает при большом скольжении между вершинами реборды валка и заготовкой. г)

наименьшая стоимость и минимальный износ валков. Исходя из опыта освоения гаммы станов для прокатки шаров диаметром от 40 до 125 мм, определено оптимальное соотношение между диаметром валков  $D$  и прокатываемых шаров  $d$ , которое находится в пределах 5-6., мм 30 - 40 50-60 60-80 20-100 115-125  $D$ , мм 200 300 450 550 700 Калибровка валков особенно для станов винтовой прокатки - наиболее ответственный и сложный элемент технологического процесса, так как наряду с условиями деформации металла необходимо учитывать сравнительно сложное построение геометрии винтового калибра и технологию нарезки калибра. Основным вопросом создания новых технологических процессов поперечно винтовой прокатки является разработка и освоение калибровок валков, обеспечивающих получение требуемой формы изделия, явочных размеров без плен и закатов на наружной поверхности и отсутствия разрыхления металла в осевой зоне изделия. Не менее важным является надежное отделение в валах прокатываемых изделий без повреждения поверхности их торцов и при отсутствии больших заусенцев, обеспечение максимальной долговечности валков. Винтовая калибровка имеет свои особенности для каждого вида прокатываемого изделия. Рассмотрим методику расчёта для прокатки шаров. Основной рабочий инструмент стана для прокатки шаров - прокатный валок с винтовым калибром. По характеру деформации калибр валка условно можно разделить на две части: формующий участок, на котором осуществляется захват заготовки и её постепенное обжатие в шар, соединенный перемычкой с остальной частью заготовкой и отделочный участок, где производится калибровка шара и отделение его от остальной заготовки. Формовка шаровой заготовки осуществляется ребордами, высота которых постепенно возрастает. Для упрощения расчета калибровки и изготовления валков принято, что высота реборда калибра изменяется по закону прямой линии. Для обеспечения нормального процесса прокатки профиль и размеры формующего участка калибра рассчитываются таким образом, чтобы в процессе обжатия заготовки соблюдались следующие три основных условия: . Объем металла, обжимаемой в калибре, должен оставаться постоянным в течение всего процесса формовки шара;

2. Изменение профиля и размеров реборды калибра должно соответствовать вытяжке обжимаемой заготовки; . Обжатие должно осуществляться относительно узкими участками, что бы предотвратить разрушение металла в осевой зоне заготовки. Согласно первому условию необходимо, чтобы объем некоторой части заготовки, захваченный валками, оставался неизменным по мере прохождения его через остальные участки калибра. В этом случае в любой момент прокатки в калибре не будет избытка металла. Появление избытка металла особенно нежелательно на тех участках калибра, где осевому течению препятствуют высокие реборды калибра. При появлении избытка металла искажается геометрическая форма шара, наблюдается появление пустой в



осевой зоне заготовки, так как наличие избытка металла в калибре способствует поперечной раскройке заготовки. Наличие небольшого избытка металла допустимо лишь в начале калибра, когда реборда еще сравнительно низка и не препятствует вытеснению избытка металла из калибра. Однако для вытеснения избытка металла дополнительно затрачивается работа, что приводит к росту мощности, расходуемой на деформацию металла. Чтобы обеспечить постоянство объема металла в калибре, реборды вала должны иметь по длине калибра строго определенную толщину. Согласно второму условию нормального образования формы шара вытяжка обжимного участка заготовки должна соответствовать изменению формы и размеров реборды калибра. В случае прокатки шаров длина обжимаемой перемычки ( $B\alpha$ ) должна быть равна ширине прямого участка реборды калибра ( $A\alpha$ ). Если изменение ширины реборды калибра меньше вытяжки обжимаемой заготовки ( $A\alpha < B\alpha$ ), то металл будет отходить от реборды и на поверхности заготовки будет образовываться накат, который при дальнейшем обжатии заготовки раскатается в плёнку. Если изменения ширины реборды калибра больше, чем вытяжка заготовки ( $A\alpha > B\alpha$ ), то в обжимаемой перемычке возникают осевые растягивающие напряжения, которые могут привести к разрыву перемычки. Опыт показывает, что в конус формирующего участка, когда перемычка имеет сравнительно малый диаметр (менее 10 мм), второе условие образования формы шара обычно не удается выдержать. При этом накаты и плёны на поверхности шара все же не образуются, так как металл течет преимущественно в радиальном направлении и перемычке приобретает овальную форму. В противоположность этому в начале формирующего участка, когда диаметр перемычки еще велик, реборда калибра обычно расширяется интенсивнее перемычки и вследствие этого в последней возникают осевые растягивающие напряжения. Таким образом, для выполнения как первого, так и второго условий образования формы шара реборда на различных участках калибра должна иметь строго определенную толщину. В связи с этим формирующий участок калибра имеет переменный шаг нарезки. На основании третьего положения можно констатировать, что при прокатке шаров условия, препятствующие образованию рыхлости внутри заготовки, наиболее благоприятны, так как обжатие ведется сравнительно узкими участками, сферические участки заготовок не подвергаются обжатию и сдерживают раскатку перемычек в поперечном направлении. Отделочный участок калибра имеет постоянный шаг и профиль, соответствующий профилю прокатываемого шара. Установлено, что с увеличением интенсивности обжатия склонность к разрыхлению металла уменьшается. Однако интенсивность обжатия можно увеличить лишь до определенного предела, ограниченного условиями захвата заготовки валами. При чрезмерном обжатии заготовки нарушается сцепление между валами и заготовкой и последняя начинает проскальзывать в валах. Также установлено, что для увеличения интенсивности

обжатия с целью предотвращения разрыхления металла целесообразно по возможности сокращать длину формирующего участка. При значительной ширине реборды в обжимаемой цилиндрической заготовке вскрывается полость и лишь при отношении ширины реборды к номинальному диаметру заготовки меньше единицы можно достигнуть весьма большого обжатия, близкого к полному отделению заготовки без разрыхления металла. При увеличении ширины реборды, по сравнению с расчетной величиной, определенной из условия постоянства металла обжимаемая часть заготовки будет принудительно растягиваться, и в очаге деформации возникнут осевые растягивающие напряжения. Наличие осевых растягивающих напряжений способствует вытяжке заготовки и уменьшению раскатки по диаметру, тем самым уменьшается склонность к разрыхлению металла при поперечной прокатке. Однако при прокатке в валках с узкими ребордами использовать натяжение можно лишь ограничено, так как при незначительном изменении ширины реборды натяжение резко изменяется, и может наступить преждевременный обрыв заготовки в валках. При правильном ведении технологического процесса разрыхлению металла при поперечно - винтовой прокатке шаров не наблюдается, а шары по симметрии и качеству поверхности, по структуре и механическим свойствам удовлетворяют требованиям, предъявляемым к шарам. Шары диаметром 100 и 125 мм прокатывают в валках с одним винтовым калибром. Шары других диаметров (20-90 мм) катают в валках, имеющих от одного до четырёх калибров. Возможность использования многозаходных валков позволяет значительно увеличить производительность станков и снизить удельный расход валков. Возможность использования многозаходных валков определяется мощностью привода клетки и размерами валка. Многозаходную калибровку валков для прокатки шаров рассчитывают с учетом основных требований для однозаходных калибров. Основные данные для расчета многозаходных калибровок: номинальный диаметр шара с учетом температуры прокатки, высоту реборды на захвате, диаметр перемычки, соединяющей шары в конце формовки, длину отделочного и формирующего участков винтового калибра, толщину вершины реборды в начале формирующего участка выбирают на основе тех же предпосылок, что и для однозаходных калибровок. Однако формула для определения ширины реборды, выведенные из условия постоянства объема металла в однозаходном калибре, не обеспечивает для многозаходных калибровок правильности вытяжки перемычки. Под ребордой получается недопустимый избыток металла. Для его устранения необходимо подрезать на формирующем участке не только наружную часть реборды, но и внутреннюю часть калибра. Величина внутреннего перемещения реборды должна быть одинакова на всем формирующем участке. С учетом этого уточняется толщина вершины реборды, её наружное перемещение и определяются шаги нарезки формирующего участка. Для изготовления валков

применяют материал, подвергающейся наименьшей деформации при термической обработке и образующей в термически обработанном состоянии высокой твердостью и износостойкостью. Таким требованиям удовлетворяют высокопрочные инструментальные стали.

## 2.3 Расчет калибровки валков

Диаметр прокатного валка выбирается из условия прочности осей валков и надежности захвата заготовки валками:  $D_v = 300$  мм Радиус поперечного сечения калибра следует брать с учетом объемного расширения заготовки при нагреве ее до температуры прокатки:  $R = 1,01; (3.1) R = 1.01$  где  $D_{ш}$  - диаметр прокатываемого шара;  $d_{ш} = 60$  мм. Протяженность калибра условно измеряют в градусах развертки витковой линии калибра. Общая протяженность калибра  $\alpha = 1245$ . Протяженность отделочного участка калибра:  $\alpha =$  Калибрующий участок валка принимается равным 5,3 оборота заготовки, это вполне достаточно для калибровки сформированного шара. Протяженность формующего участка:  $\alpha =$  Формующий участок валка принимается равным 8,3 оборота заготовки. Диаметр перемычек соединяющий прокатанные шары, должны быть возможно меньшими, чем тоньше перемычки, тем лучше и легче отбиваются они при галтовке шаров в барабанах. Опытным путем установили следующие размеры перемычек: Диаметр передней перемычки:  $d_{п} = 2.14$  мм;  $d_{п} = 4,28$  мм; Диаметр задней перемычки:  $d_z = 0,19R + 0.34$  мм;  $d_z = 2$  мм;  $d_z = 6.12$  мм;  $d_z = 12,24$  мм; Температура прокатки:  $T_{пр} = 1000$  С Высота реборды в начале калибра, исходя из условия надежного захвата заготовки валками, равна:  $h = 2,6$  Во избежание разрушения в центральной части заготовки ширина реборды в отделочном участке калибра должна быть как можно меньшей. Ширина реборды определяется, исходя из условия прочности реборды:  $k = 0.14R + 2.6$  мм;  $(3.3) k = 0.14 \cdot 30,44 + 2.6 = 6,8$  мм; Глубина канавок на вершине реборды выбирается так, чтобы объем образовавшегося кармана соответствовал металлу, вытесняемому ребордой при утонении перемычки. На первом полувитке калибра ( $\alpha = 180^\circ$ ) при обжатии заготовки металл свободно оттесняется назад, т.е. в сторону, противоположную направлению движения заготовки. В следствии этого ширина реборды на этом участке должна выбирается так, чтобы при обжатии заготовка не отставала от реборды калибра. Анализ условий обжатия перемычки показывает, что если для упрощения изготовления валков принять на этом участке постоянную ширину реборды, то в перемычке будут возникать осевые растягивающие напряжения, и следовательно, обжимаемая заготовка всегда будет прилегать к реборде калибра:  $k = 0.04R + 1,3$  мм;  $(3.4) k = 0.04 \cdot 30,44 + 1,3 = 2,5$  мм; На основании принятых исходных данных определяем высоты реборд  $h_{\alpha}$  через каждые  $90^\circ$  поворота оси валка. Далее, в соответствии с рисунком, ширина реборды ( $\alpha-360$ ) в любом произвольном сечении формующего участка калибра равна:  $\alpha-360 = t_0 - 2C\alpha-360 - S\alpha-360$  (3.5) где  $t_0$  -

шаг порезки отделочного участка калибра, который принято называть основным шагом нарезки:  $o = b_k + 2$  (3.6) где  $b_k$  - ширина реборды на отделочном участке;- радиус профиля калибра; $p$  - радиус передней перемычки. Калибровка трехзаходная поэтому  $T_{осн} = 202.5$  С $\alpha$ -360 - ширина сферического участка калибра (3.7)  $\alpha$ -360 - величина на которую подрезается калибр, на данном участке, для получения необходимой ширины реборды. На основании условия постоянства объёма обжимаемого металла в любом сечении калибра и принимая во внимание обозначения на рис. 3.1, можно написать такое равенство:  $общ = V_{\alpha} + V_{с\alpha} + V_{S\alpha-360} + V_{\alpha-360} + V_{C\alpha-360}$  (3.8) где  $V_{общ}$  - объём прокатываемого шара и перемычки. Объём прокатываемого шара и перемычки находим по формуле:  $общ = (4\pi R^3)/3 + (\pi d^2 \alpha)/4$ ; (3.9)  $общ = (4 \cdot 3,14 \cdot 30,443)/3 + (3,14 \cdot 2,142 \cdot 3)/4 = 118097$  мм<sup>3</sup>; Элементы объема, входящие в правую часть равенства, выражаются следующими соотношениями:  $\alpha = \pi d^2/4 \cdot a\alpha/2$ ; (3.10)  $c\alpha = \pi C\alpha (R^2 - C\alpha^2/3)$ ; (3.11)  $C\alpha =$ ; (3.12)  $\alpha-360 = (\pi d^2 \alpha-360)/4 \cdot (a\alpha-360)/2$ ; (3.13)  $\alpha-360 = \pi R^2 S\alpha-360$  (3.14) Определим  $S\alpha-360$  из равенства:  $\alpha-360 = t_o - 2C\alpha-360 - a\alpha-360$  (3.15) На основании равенств находим:  $\alpha-360 = \pi R^2 (t_o - 2C\alpha-360) - \pi R^2 \cdot a\alpha-360$  (3.16)

На рисунке 3.2 показана расчетная схема калибровки.

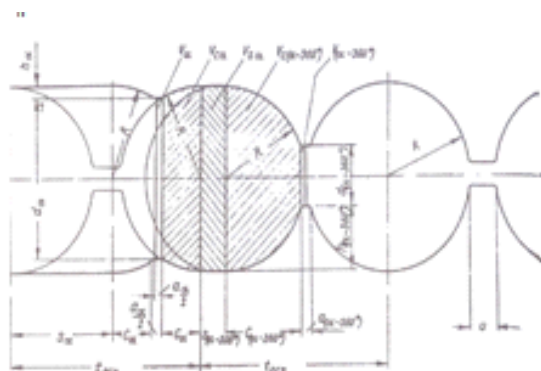


Рисунок 3.2 - Схема к выводу формулы, выражающей условие постоянства объема металла в калибре

Рисунок 3.3 показывает определение вытяжки перемычки при повороте вала на 90.

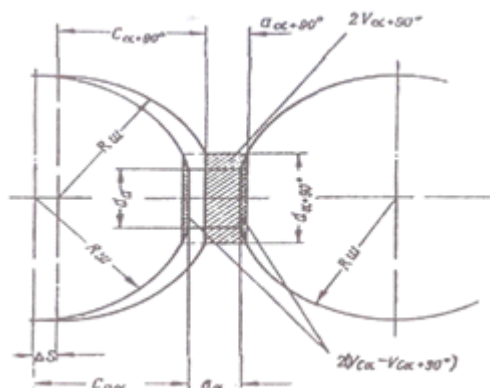


Рисунок 3.3 - Определение вытяжки перемычки при повороте валка на 90.

Согласно рисунку 3.3 на двух соседних участках калибра должно удовлетворяться равенство:  $V_{\alpha+90} = 2V_{\alpha} + 2(V_{c\alpha} - V_{c\alpha-90})$ ; (3.17)  $\alpha = \pi d^2/4 \cdot b\alpha/2$ ; (3.18) Исходя из этого, находим из равенства б $\alpha$ :  $\alpha = (2V_{\alpha+90} - 2(V_{c\alpha} - V_{c\alpha+90})) / (\pi d^2/4)$ ; (3.19)

### 3. Дефекты шаров

Поперечную прокатку в винтовых калибрах впервые начали разрабатывать применительно к производству шаров. Схема процесса представлена на рисунке 6.1. Круглый пруткок задается в непрерывно вращающиеся валки, на боковой поверхности которых нарезаны винтовые калибры, имеющие негативный профиль по отношению к прокатываемому изделию. Прокатка сплошных изделий осуществляется на двухвалковом стане. Передний конец прутка захватывается ребрами валков, начинает вращаться и, продвигаясь по оси калибра, постепенно обжимается, приобретая форму требуемого изделия. В конце калибра изделие отделяется и выбрасывается из валков. При этом реборды валков захватывают новую порцию металла и процесс осуществляется непрерывно пока не прокатается весь пруткок. Обжимаемая валками заготовка удерживается на оси прокатки в стане с помощью специальных направляющих линеек. Калибровку валков выполняют таким образом, чтобы было обеспечено постепенное внедрение реборд валков в обжимаемую заготовку. Для обеспечения требуемой формы заготовки с хорошим качеством поверхности без плени закатов необходимо, чтобы в процессе прокатки деформируемый металл непрерывно прилегал к реборде винтового калибра. В случае отставания металла от реборды калибра профиль заготовки оказывается незаполненным или на ее поверхности могут возникнуть закаты. Вторым важным условием, обеспечивающим нормальный процесс формообразования заготовки, является постоянство объема металла в калибре. Если объем металла, захваченный в начале калибра, будет больше объема, который может расположиться в последующих участках калибра, то избыток металла может привести к нарушению формы изделия, появлению плен на его поверхности и вскрытию полости внутри заготовки.

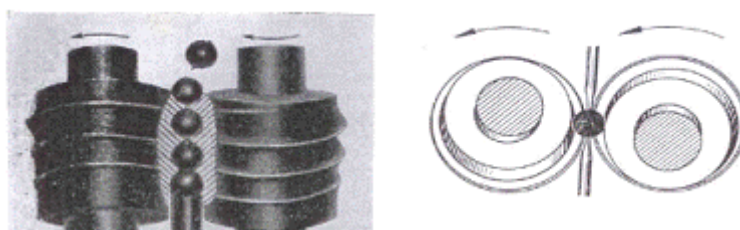


Рисунок 6.1 - Схема прокатки шаров.

В начальный момент внедрения реборды валка в заготовку обжимаемый металл вытесняется только в радиальном направлении. При этом на участках боковой поверхности, прилетающих к торцам заготовки, появляются наплывы металла. По мере уменьшения диаметра обжимаемой перемычки наступает осевое течение металла. При этом изменение ширины реборды должно соответствовать вытяжке перемычки. В противном случае заготовка будет отходить от реборды валка. Склонность к разрыхлению металла в сердцевине



заготовки при поперечной прокатке исследовали С.П. Грановский и Н В. Мехов. Они показали, что на разрыхление металла влияют следующие основные факторы поперечной прокатки в винтовых калибрах: а) величина обжатия за половину оборота заготовки; б) ширина реборды калибра; в) натяжение металла в обжимаемой части заготовки; г) температура прокатки; д) скорость вращения валков; е) затрудненность осевого течения металла и наличие избытка металла в калибре. Для предотвращения разрыхления металла в осевой зоне при поперечной прокатки сплошных изделий в винтовых калибрах, необходимо по возможности увеличивать обжатие за половину оборота заготовки; это достигается сокращением числа витков формирующего участка калибра. В зависимости от условий прокатки температура нагрева металла оказывает различное влияние на его разрыхление в осевой зоне. При наличии натяжения в перемычке склонность к разрыхлению металла уменьшается при увеличении температуры прокатки. Аналогичное явление отмечается и при его свободном осевом истечении. Иная картина наблюдается при затрудненном осевом течении металла и особенно при избытке его в винтовом калибре. В этом случае наоборот склонность к разрыхлению металла увеличивается при увеличении температуры прокатываемых заготовок. Исходным материалом мелющих шаров служат, стандартные прутки горячекатаной стали наиболее ходовых размеров по диаметру. Размеры прокатываемых мелющих шаров и диаметры пруткового металла, идущего на их производство: Номинальный диаметр шара, мм 26,3 31,5 41,4 52 62 73 Номинальный диаметр прутка, мм 25 30 40 50 60 70 Если диаметр исходной заготовки значительно отличается от номинального значения, то мелющие шары обычно прокатываются с неполным заполнением их в формы, т.е. с кольцевыми канавками на поверхности, которые практически не оказывают влияния на условия работы шаров в мельницах. Для обеспечения прокатки мелющих шаров без канавок отклонения диаметра исходных прутков в запускаемой партии должны быть в пределах 0,3-0,4 мм. Прокатка мелющих шаров без канавок возможна так же из заготовок, диаметры которых могут колебаться в значительно больших пределах. Для этого валки снабжаются специальным калибрующим устройством. Точность диаметра шара зависит от расстояния между валками и при обнаружении отклонения от заданного диаметра шара производят соответствующую регулировку механизма сближения валков. Повышенную овальность шара устраняют регулировкой угла наклона валков. Обычно угол наклона осей валков (угол подачи) приблизительно равен углу подъема реборды вблизи ее основания (по дну калибра). Изменяя угол наклона валков, можно увеличить или уменьшить осевую подачу металла в валки. При уменьшении угла сокращается подача металла в валки, заготовка может начать отставать от реборды, форма тара не заполняется и на ее поверхности появляются винтовые канавки, с увеличением

угла подачи этот дефект пропадает. При чрезмерно большом угле подачи возможно появление избытка металла в калибре, шары получают неправильную форму и имеют местные вздутия, а внутри шара вскрывается полость. При неправильной настройке стана и нарушении режимов прокатки на поверхности шара могут появиться дефекты в виде канавок (пояски недоката) по окружности или части ее, плен, лысок и вмятин. Канавки на поверхности шара возникают при задаче в валки недостаточно нагретого металла, при несоответствии диаметра прутка, а также при чрезмерном разведении валков. Плены и закаты перемычек появляются из-за нарушения осевой настройки валков. При незначительном несовпадении калибров валков по оси прокатки (0,1 - 0,2 мм) шары разворачиваются в калибре, перемычки срезаются и шары выходят из валков без перемычек. При большем осевом смещении валков шар раньше разворачивается в калибре, перемычки разрываются, еще не достигнув требуемого утонения, и закатываются в тело шара, образуя плены из его поверхности. При появлении этих дефектов необходимо отрегулировать положение валков в осевом направлении с тем, чтобы шары выходили из валков, не разворачиваясь в калибре. Плены и закаты на поверхности шара появляются также при неправильной калибровке валков, если форма и размеры реборды не следят за вытяжкой перемычки. При этом заготовка вначале отходит от реборды, а при дальнейшем продвижении по калибру в образовавшийся зазор между заготовкой и ребордой валка выдавливается металл, образуя плену. Поверхностные дефекты в виде лысок и царапин возникают при подрезании шара о проводку и вызываются чрезмерным давлением обжимаемой заготовки на проводку, а также при наличии большого зазора между валком и гранью проводки. Большое давление металла на проводку возникает при неточной нарезке калибров валков или значительной поводке их во время термической обработки, а также при большом смещении оси прокатываемой заготовки относительно плоскости, проходящего через оси валков. Уменьшение давления заготовки на проводку может быть достигнуто при настройке стана приближением ее к оси прокатки. Вмятины на поверхности шара появляются при вдавливании в заготовку металла, налипающего на валки. Налипание наблюдается вследствие чрезмерного скольжения между заготовкой и ребордой валка. При этом поверхностный слой заготовки сильно разогревается и в виде отдельных частиц металла прилипает к валкам. Как показывают опыты, склонность к налипанию металла зависит не только от величины скольжения между обжимаемой заготовкой и валком, но и от твердости валка. Чем меньше твердость калибров валков, тем интенсивнее налипает металл и тем прочнее он удерживается на ребордах валков.

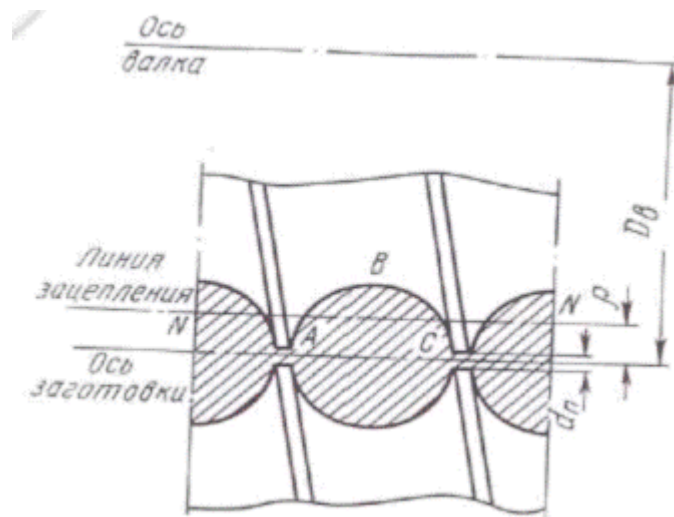


Рисунок 6.2 - Схема к определению скорости скольжения между заготовкой и валком.

Скольжение металла в калибре вызывается разницей между окружными скоростями валка и заготовки. Скорость заготовки убывает к оси шара, а скорость валка, наоборот, возрастает от основания к вершине реборды. Валок соприкасается с обжимаемой заготовкой по дуге ABC (рис.5.2). Окружные скорости валка и заготовки будут одинаковы по катающему радиусу (линия NN). Во всех остальных точках калибра окружные скорости валка и заготовки не будут совпадать, вследствие чего возникает скольжение между металлом и валком. Наибольшее скольжение будет в месте соприкосновения вершины реборды валка с обжимаемой перемычкой. В этом месте заготовка наиболее интенсивно обжимается, что приводит к значительному выделению тепла и местному перегреву металла. Таким образом, склонность к налипанию металла наблюдается на вершинах реборды волка. Первый путь сокращения числа оборотов валков неэффективный, т.к. одновременно понижается производительность стана, в то время как устранение налипания уменьшением диаметра валка не снижает производительности, кроме того, сокращает стоимость изготовления сравнительно дорогостоящих валков. Предварительный подогрев валков и смазка реборд уменьшают налипание металла па валках, но усложняют эксплуатацию стана. Поэтому эти способы не нашли практического применения. Таким образом, устранение налипания металла на валках при освоении прокатки шаров достигнуто выбором оптимальных диаметров, скорости вращения, материала и термической обработки валков. Исходя из условия прочности валков и головок универсальных шпинделей, установленных со стороны привода валков, выбирают мини-малыше их диаметры, при которых исключается налипание металла на реборды калибра.

### 3.1 Влияние химического состава на качество стали

Для предупреждения нарушения сплошности металла необходимо, чтобы вследствие усадки стали, температурных напряжений и ферростатического давления суммарные напряжения, деформационная способность и скорость деформации не превышали их критических значений, при которых наступает разрыв металла. На деформационные свойства стали в значительной степени влияет скорость развития деформации. С увеличением содержания углерода допускаемая скорость деформации увеличивается. Поэтому средне- и высокоуглеродистые стали имеют меньшую склонность к образованию трещин. Как показывают данные различных исследователей, увеличение скорости деформации уменьшает допустимую деформацию для всех марок стали. Деформация металла весьма существенно влияет также и на допустимые напряжения в затвердевающей стали. Последний показатель в значительной степени связан с наличием в стали фосфора, серы и марганца. Химический состав стали во многом определяет свойства в интервале температур кристаллизации. Так, присутствие углерода и серы оказывает заметное влияние на склонность к трещинообразованию. С повышением содержания углерода с 0,1 до 0,18 % прочность стали возрастает почти линейно. При содержании углерода 0,18 - 0,20 % сталь обладает максимальной прочностью и аномально низкими пластическими характеристиками. Собственно в этом диапазоне содержания углерода сталь по фронту затвердевания не обладает способностью к пластической деформации. При дальнейшем увеличении содержания углерода прочность стали постепенно уменьшается. Увеличение содержания серы от 0,025 % до 0,045 % уменьшает предел прочности при растяжении, причем особенно заметное снижение прочности имеет место в пределах изменения содержания серы от 0,025 до 0,030 %. Хотя максимальное значение предела прочности при растяжении и имеет место при концентрации углерода примерно 0,18 %, сталь с таким содержанием углерода особенно склонна к образованию трещин. Это позволяет предположить, что пластичность (способность к пластической деформации) оказывает большее влияние на склонность стали к трещинообразованию, чем прочность, так как при содержании углерода 0,18 - 0,20 % сталь по фронту затвердевания практически не обладает способностью к пластической деформации. Многочисленные экспериментальные исследования, рассмотренные, например, в работе, показывают, что допустимая полная деформация сильно зависит от соотношения  $Mn/S$ . Для  $Mn/S < 25$  при разрыве образцов (диапазон температур 1000-1250°C) значения относительного сужения составляют менее 10 %, при  $Mn/S = 60$  значение относительного сужения возрастают до 40 %, а при  $Mn/S = 100$  и 200 - соответственно до 60 % и 90 %. Непрерывное увеличение пластичности

стали с увеличением отношения содержания марганца к сере позволяет сделать заключение об изменяющемся составе сульфидов и о другом месте их выделения при более высокой концентрации марганца. Образование легкоплавкого сульфида железа, обогащенного марганцем, подавляется преимущественным образованием сульфида марганца, который выделяется не по границам зерен. В целом же приведенные данные позволяют говорить о возможности повышения качества внутренней структуры непрерывно литой заготовки путем повышения значения отношения  $Mn/S$ . В настоящее время большинство ведущих металлургических компаний мира рекомендуют обеспечивать отношение  $Mn/S > 60-70$  при разливке рядовых сталей на сортовую и блюмовую заготовку.

#### **4. Правила безопасности при прокатном производстве**

4.3.1 Прокатные станы (общие требования) .3.1.1 При необходимости перехода через главный соединительный вал каждой клетки прокатного стана (далее - стан) должны устанавливаться переходные мостики с ограждением. На непрерывных станах вместо отдельных мостиков через соединительные валы каждой клетки допускается устройство одного сплошного мостика вдоль всех клеток, с лестницами для спуска к каждой из клеток. .3.1.2 Производить устранение неисправностей узлов и механизмов станов во время прокатки металла запрещается. Неработающие калибры валков должны закрываться щитами. .3.1.3 Проверка калибров зазора между валками, а также положения проводок должны производиться при помощи соответствующей оснастки. Регулировка зазора между валками на вновь строящихся станах должна быть механизирована. .3.1.4 Замер профиля прокатываемого металла на ходу слана должен производиться только дистанционно с использованием соответствующих измерительных приборов. .3.1.5 В процессе прокатки необходимо следить за состоянием задаваемого конца раската на входе в клеть. При выявлении дефекта коней раската должен быть обрезан. .3.1.6 На станах "трио" при наличии системы гидравлического уравнивания среднего валка промежутки между траверсой привода и станиной клетки должны быть закрыты оградительными щитами. .3.1.7 При ручной задаче металла в валки клеши вальцовщика должны соответствовать сортаменту прокатываемого металла и быть в исправном состоянии. Для охлаждения клешей около станов должны быть установлены емкости с проточной водой, температура которой не должна превышать +45 град. .3.1.8 Конструкция подъемно - качающихся столов должна исключать возможность падения с них прокатываемого металла. Для предотвращения травмирования работающих боковые поверхности подъемно - качающихся столов должны быть обшиты листовым металлом. При верхнем положении стола обшивка не должна быть выше плитового настила рабочего места. .3.1.9 Для ремонта и



осмотров механизмов под подъемно - качающимися столами должны быть устроены прямки с наклонными лестницами. В случаях когда устройство прямков с наклонными лестницами невозможно, допускается устройство - качающихся столов колодцев с вертикальными лестницами или скобами.

.3.1.10 Во время осмотра и ремонта механизмов, распложенных пол подъемно - качающимися столами, стан должен быть остановлен, а подъемно

- качающийся стан - надежно закреплен 4.3.1.11 Промежутки между

роликами рольгангов, за исключением рабочих рольгангов у блюмингов и слябингов, должны быть перекрыты. .3.2 Сортировочные и проволочные

станы. 4.3.2.1 Непрерывные мелкосортные и проволочные станы для исключения возможности образования петель при прокатке металла должны быть оснащены приспособлениями, обеспечивающими безотказный захват заготовки (полосы) валками, правильную регулировку окружной скорости валков отдельных клетей, а также предупреждающими забуривание переднего конца полосы. .3.2.2 На последних группах клетей непрерывных

мелкосортных и проволочных станов должно устанавливаться съемное (раздвижное) зашитоое ограждение, перекрывающее все клетки сверху и с боков. Размер ячеек сеток ограждения должен быть меньше сечения прокатываемого металла, а прочность ограждения должна исключать возможность пробивания сетки при ударе передним концом полосы (проволоки) Съемное (раздвижное) ограждение должно снабжаться устройством, исключающим его случайное снятие (открытие), или устройством, блокирующим процесс прокатки. Петлевые столы станов

должны иметь ограждение высотой 0.9 м Независимо от наличия ограждения клетей и петлевых с голов на проволочных непрерывных станах вес проходы и переходные мостки в зоне расположения клетей также должны иметь защитное ограждение. На мелкосортных непрерывных станах переходные мостики через рольганги за последней чистовой клетью должны иметь сплошное защитное ограждение .3.2.3 Отводящие рольганги от последней

клетки мелкосортных станов должны быть ограждены бортами высотой не менее 0.3 м Со стороны проходов указанные борта должны иметь уклон, препятствующий выбросу движущейся полосы В тех случаях, когда при прокатке металла возможно образование петли, над рольгангами должны быть установлены съемные (раздвижные) ограждения .3.2.4 При отсутствии

между отдельными клетями непрерывных сортопрокатных станов стодал с направляющими желобами между клетями должны устанавливаться ограждения. .3.2.5 Для защиты работающих от теплового воздействия

горячего металла направляющие желоба ил непрерывных станах и на станах с последовательным расположением клетей должны иметь соответствующие ограждения (теплозащитные экраны) .3.2.7 На станах линейного типа (три

наличии длинных раскатов или петель, а также при отсутствии у стана



достаточных площадей должны быть устроены подвесные желоба или подземные карманы с достаточным расширением устья и в необходимых случаях с установкой направляющих роликов. Для исключения выброса прокатываемого металла через борт желоба устье приемного желоба должно быть закрыто с боковых сторон и сверху. Листы и плиты желобов карманов должны плотно прилегать друг к другу. Карманы, расположенные рядом, должны быть разделены стенами. 4.3.2.8 Желоба, используемые для передачи металла от одной линии клетей к другой, для предупреждения образования петель должны быть накрыты крышками. .3.3 Шаропрокатные станы. 4.3.3.1 Все работы по разгрузке, перемещению и подаче заготовки на загрузочную решетку нагревательной печи, а также работы по погрузке готовых шаров должны быть механизированы .3.3.2 На рабочих местах вальцовщиков должно быть установлено устройство аварийного отключения механизма подачи заготовки в приемный желоб в опасных случаях. .3.3.3 Приемный желоб стана должен быть оборудован устройством, предотвращающим выбрасывание заготовки из желоба .3.3.4 При прокатке укороченных заготовок для вальцовщиков должна предусматриваться специальная рабочая площадка расположенная вне зоны скатывания заготовок. Задача укороченных заготовок в валки должна производиться при помощи надставок необходимого размера .3.3.5 Смена верхней проводки стана должна выполняться при помощи приспособления, исключающего ее внезапное падение. .3.3.6 При аварийной остановке элеватора должен быть остановлен стан и перекрыта подача воды в завалочную яму Ремонт элеватора должен выполняться после охлаждения шаров в соответствии с требованиями технологической инструкции. .3.3.7 Конструкция элеватора, а также фундамента завалочной ямы должна исключать возможность зависания шаров.

## Заключение

Существует множество способов по улучшению качества литой заготовки, среди них выделяются такие как: внедрение электромагнитного перемешивания, применение современных типов кристаллизатора, применение водовоздушного охлаждения, улучшение конструкции клетки прокатного стана, что приведет к уменьшению дефектов в стали и тем самым улучшению ее качества. Сравнительный анализ валков двух производителей показал, что валки фирмы ENCE GMBH лучше почти по всем показателям, их и берем для установки. Расчеты на прочность валка показали, что данные валки имеют хорошие показатели по твердости, пределу текучести, прочности на растяжение. Валки менее подвержены износу и у них больше срок службы. После анализа научно-патентной литературы и подробного изучения технологии производства, проблем металлопрокатного завода был предложен комплекс нового оборудования для решения данных проблем. В комплекс оборудования входят: Электромагнитный перемешиватель (ЭМП), система водовоздушного охлаждения, кристаллизатор Concust, валки ENCE GMBH. ЭМП имеет целый ряд преимуществ, это новейшая технология получения высококачественных непрерывно-литых заготовок, уменьшение количества поверхностных дефектов в 2-3 раза, увеличивается зона равноосных кристаллов на 50.100%, уменьшается центральная пористость и ликвация до 0 баллов, повышается возможность увеличения скорости разливки на 20.30%, расширяется возможность литья с более высокой температурой перегрева  $T^{\circ}C$  на 10.15 $^{\circ}C$ , позволяет значительно расширить сортамент разливаемых марок сталей в том числе высокоуглеродистых и специальных (подшипниковых, нержавеющей и инструментальных). Основные технологические преимущества системы водовоздушного охлаждения заключаются в следующем: высокие скорости движения потоков непосредственно в отверстия форсунки, что существенно уменьшает вероятность его застывания, возможность формирования капель воды оптимальных размеров, что повышает эффективность охлаждения в целом, широкий диапазон изменения параметров подачи охлаждающей жидкости и воздуха, что дает возможность использовать один типоразмер форсунок для различных марок сталей и скоростей литья, однородность распыления воды вдоль поверхности широких граней слэбов за счет использования нескольких форсунок по ширине (с перекрытием), что снижает вероятность локального переохлаждения (перегрева) поверхности слитка. Кристаллизатор данной конструкции улучшает условия теплоотвода через стенки кристаллизатора, что оказывает влияние не только на качество заготовки, но и способствует более высокой производительности. Валки компании ENCE GMBH

отличаются высокой износоустойчивостью, твердостью, пределом прочности на растяжение и текучести. Замена валков позволяет улучшить качество проката и уменьшить количество продукции с дефектами. После изучения технологии производства, были выявлены следующие недостатки: производительность цеха не соответствует плановой, большое количество дефектов литых заготовок, устаревшее оборудование, постоянно забиваются форсунки, что приводит к неравномерному теплообмену. Данный комплекс мер позволяет решить эти проблемы. Новое оборудование несет в себе вредные и опасные факторы, поэтому требуется внедрение дополнительных мер по технике безопасности, в частности при работе с ЭМП и системой водовоздушного охлаждения. В данной работе предлагается провести меры по защите от электромагнитных лучей, а так же соблюдать технику безопасности при работе с форсунками, так как воздух выходит из них под высоким давлением. В сфере экологии была рассмотрена проблема запыленности металлопрокатного завода. Решением этой проблемы стала установка фильтра марки ФРМ1-6. Проведенные расчеты показывают, что после его установки ПДК запыленности станет в норме. Внедряемое оборудование позволяет уменьшить на 60% количество заготовок с дефектами. Качество заготовок при этом улучшается, а себестоимость уменьшается. Все это положительно влияет на увеличение дохода. Рентабельность увеличится и составит 25%. Срок окупаемости составит 0,79 года. В целом применение нового оборудования будет экономически целесообразным. Предложенный комплекс мер способствует улучшению качества стали, избавлению от многих видов дефектов, помимо этого улучшается производительность, можно повышать сортамент выпускаемой стали, что дает необходимые условия для дальнейшего пути развития металлопрокатного завода.

## Список используемой литературы

1. А.К. Торговец, Ю.И. Шишкин, И.А. Пикалова. "Оборудование и проектирование металлургических цехов". Учебное пособие. - Алматы: НИЦ "Галым", 2007, 187 с.
2. Технологический паспорт на МНЛЗ.  
Рахимов З.Р. Методические указания к экономической части дипломной работы для студентов специальности 050709 - "Металлургия" всех форм обучения. - Рудный: РИИ, 2007. - 25 с.  
СНиП II-89-90 "Генеральные планы. Нормы проектирования";  
СНиП II-92-76 "Вспомогательные здания и помещения промышленных предприятий";  
Кудрин В.А. Теория и технология производства стали: учебник для вузов. - М.: "Мир", ООО "Издательство АСТ", 2003. - 528 с.  
СНиП II-4-79 "Естественное и искусственное освещение";  
Ахлюстин В.К. Электрификация ОФ. - М.: Недра, 1973.  
Сперанский Б.С., Туманский Б.Ф. Охрана окружающей среды в литейном производстве. - Киев; Донецк: Вища шк. Головное изд-во, 1985. - 80 с.  
Гринин А.С., Новиков В.Н. Промышленные и бытовые отходы: хранение, утилизация, переработка. - М.: ФАИР-ПРЕСС, 2002. - 336с.  
Воскобойников В. Г, Кудрин В.А., А. М. Якушев. "Общая металлургия". М.: ИКЦ "Академкнига". 2002г.