

**Раздел 6. Теория и технология разливки стали.**  
**6.1. Разливка стали в изложницы**

**Лекция 147-148**

**Тема: Оборудование для разливки стали:**

**План лекции:**

Оборудование для разливки стали:

- а) сталеразливочные ковши, их ёмкость и типы футеровки;
- б) сталеразливочные дозирующие устройства, их конструкции.
- в) сталеразливочные стаканы, их типы.
- г) изложницы, стойкость и удельный расход изложниц

Сталеразливочный ковш служит для слива в него из сталеплавильного агрегата металла и части шлака, выдержки, транспортировки и разливки металла в слитки или на МНЛЗ, после чего шлак должен быть скантован в шлаковую чашу. Как правило, в ковше производят раскисление, легирование и внеагрегатную обработку стали. В связи с этим ковш должен быть оборудован надёжными устройствами, обеспечивающими его устойчивость на стенде, транспортировку, дозированную разливку стали с заданной скоростью и последующий слив шлака. Ковш может быть оборудован устройствами для обработки стали инертным газом и порошкообразными реагентами.

В сталеплавильных цехах повсеместно применяются ковши с нижней разливкой через стаканы перекрываемые шиберным затвором или стопором. Ковши чайникового типа с верхней разливкой распространения не получили. Основным параметром ковша является вместимость, под которой понимают массу жидкой стали, которую вмещает ковш при заполнении его металлом и шлаком до уровня нижней кромки сливного носка. При этом количество шлака в ковше составляет 3-10% от массы металла. Для сокращения потерь тепла через зеркало металла в ковше необходимое количество шлака с уменьшением вместимости ковша увеличивают. При отсечке шлака используемые утепляющие засыпки имеют меньшую массу, чем шлак.

В соответствии с типовой вместимостью сталеплавильных агрегатов ГОСТ 7358-78 предусматривает ряд номинальных вместимостей сталеразливочных ковшей по массе жидкой стали, кратную 50 т за исключением 130, 160, 180, 430 и 480 т. При вакуумировании стали в ковшах необходимо иметь запас ёмкости или применять надставку, чтобы при подъёме уровня металла он не выплёскивался через борт ковша.

Для выбора соответствующей грузоподъёмности сталеразливочного крана необходимо учитывать массу металлоконструкций и футеровки ковша, составляющие соответственно 11-15 и 13-20% от вместимости ковша для сварных конструкций и алюмосиликатных огнеупоров. Футеровка из основных огнеупоров тяжелее алюмосиликатной на 28-42%. Масса кожуха ковша и футеровки существенно изменяется в зависимости от соотношения высоты  $H$  и диаметра ковша  $D$ . Для заданного объёма ковша  $V$  суммарная площадь днища и боковых стен ковша составляет:

$$F = \frac{\pi D^2}{4} + \pi D H = \frac{\pi D^2}{4} + \frac{4V}{D} \quad (8.1)$$

Приравнивая производную  $F=0$

получим, что минимальной суммарной площади кожуха ковша и футеровки соответствует соотношение:

$$F' = \frac{\pi D}{2} - \frac{4V}{D^2} = 0 \quad (8.2)$$

$$D = 2H \quad (8.3)$$

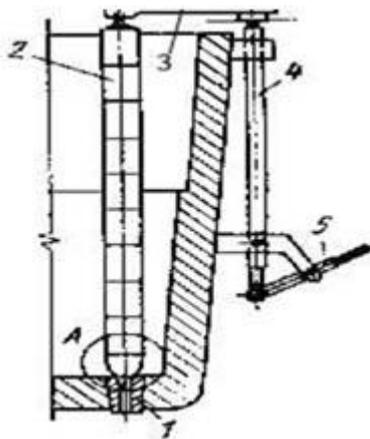
Если бы масса металлоконструкций и футеровки ковша была пропорциональной  $F$ , то при  $D = 2H$  потребовалось бы минимальное количество металла и футеровки на изготовление ковша. Наименьшими были бы и потери тепла металлом через футеровку. Этим и оправдывалась "блюдевидная" форма сталеразливочных ковшей при освоении кислородно-конвертерного процесса на Ново-Липецком металлургическом комбинате, когда металл в ковш сливали через горловину конвертера вместе со шлаком и потери тепла излучением через открытую поверхность были минимальными.

В настоящее время ковши изготавливаются с отношением  $D/H$  ниже 1.0, таблице 1. Это связано с уменьшением при этом потерь тепла через зеркало металла меньших размеров в ковше при длительном выпуске плавов и отсутствии в это время теплоизолирующего шлака. Кроме того, уменьшаются размеры днища ковша, в котором толще кожух и футеровка по сравнению со стенками. Определённая экономия достигается в результате снижения массы металла на изготовление цапфенного пояса и рёбер жёсткости. Однако, в существующих ковшах с увеличенной высотой ухудшаются условия для всплывания неметаллических включений, значительно различается скорость разливки по мере опорожнения ковша, из-за большего гидростатического давления ухудшается качество слитков и снижается стойкость футеровки ковшей. Поэтому, особенно при обработке металла в ковше синтетическими шлаками, когда снижаются потери тепла излучением, целесообразно было бы использовать ковши с повышенным отношением  $D/H$ .

Таблица - Основные размеры сталеразливочных ковшей

местимость ковша, т	Основные размеры ковша, мм		
	Высота	Диаметр	
		Вверху	Внизу
50	2860	2620	2340
90	3250	3220	2850
100	3360	3400	2950
150	4370	3700	3170
200	4380	4000	3420
250	4400	4350	3570
300	4790	4500	3780
350	5000	4700	4000
430	5250	5050	3780
480	5400	5340	4615

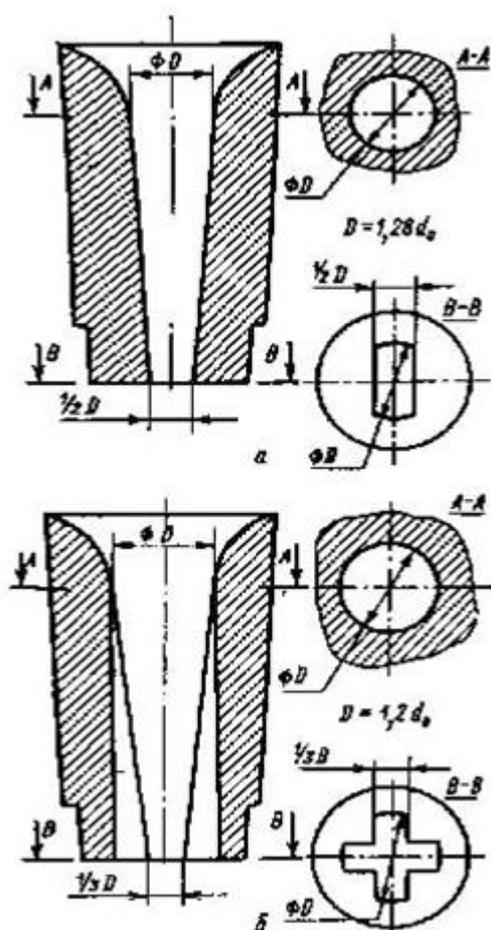
Дозирующие устройства сталеразливочных ковшей обеспечивают донную разливку с полным или регулируемым перекрытием отверстия стакана. До 1964 года повсеместно использовались стопорные дозирующие устройства, а с расширением объёмов непрерывной разливки и внепечной обработки их потеснили более надёжные шибберные затворы. От надёжной работы дозирующих устройств в значительной мере зависит компактность струи, качество слитков и заготовок, сокращение потерь металла, стойкость изложниц и безопасность труда разливщиков. При выборе типа дозирующего устройства учитывается также возможность механизации работ при их подготовке, монтаже и демонтаже.



Стопорный дозатор (рис.8.6) состоит из стакана 1, стопора 2, траверсы 3, которая соединяет стопор с ползуном 4, перемещающемся вверх и вниз с помощью рычага 5 внутри наружной направляющей трубы, закреплённой на кожухе ковша. Стопор закрепляется на траверсе гайкой, навинчиваемой на верхнюю нарезную часть стержня. Другой конец траверсы крепится на ползуне.

Рисунок 8.6 – Схема стопорного дозатора

Хорошие результаты при испытаниях в производственных условиях на ряде заводов при скоростной разливке крупных листовых слитков кипящей стали и сортовых слитков спокойной стали дал конфузорный щелевой стакан, а при обычной разливке спокойного металла - конфузорный крестовидный стакан (рис). При использовании этих стаканов устраняется приваривание слитков к поддонам и значительно снижается брак по пленам, расслою и поперечным трещинам, увеличивается выход годного. Но по мере износа канал становится круглого сечения.



Стабилизации струи разливаемого металла способствует применение стаканов с внутренней или внешней теплоизоляцией, обеспечивающих хорошую жидкотекучесть стали.

**Рисунок** – Форма разливочных конфузорных стаканов

Предложены конструкции стаканов, наружная поверхность которых уплотняется силикатом натрия, а через пористый цирконосиликатный огнеупор по периметру канала стакана подаётся аргон. При этом на поверхности канала стакана образуется защитная плёнка аргона, обеспечивающая истечение

металла без трения у стенок. Использование таких стаканов обеспечивает разливку жёсткой организованной струёй даже при недостаточной температуре металла и раскислении его большим количеством алюминия, цирконием и редкоземельными элементами.

Подачей регулируемого количества инертного газа в полость канала стакана можно реализовать и плавное изменение скорости разливки хорошо организованной струёй, а также нивелировать влияние на скорость разливки изменение напора металла по мере опорожнения сталеразливочного ковша.

В процессе разливки сечение разливочного стакана изменяется. Опасным является случай так называемого зарастания стакана. Такое явление наблюдается, в частности, при разливке стали, раскисленной алюминием. Образующиеся при раскислении частицы корунда  $Al_2O_3$  оседают на внутренних стенках стакана, образуя тугоплавкую и прочную настыль, внутренний диаметр стакана начинает уменьшаться и, если не принять необходимых мер, разливка может вообще прекратиться. Для предотвращения таких явлений, а также случаев застывания металла (особенно первых его порций) в полости стакана за время от выпуска плавки до начала разливки в разливочный стакан подают (с небольшой интенсивностью) инертный газ.

Падение струи стали из ковша в изложницу или в кристаллизатор сопровождается рядом явлений, отрицательно влияющих на качество металла. Большой напор металла, вытекающего из крупного ковша, вызывает интенсивное разбрызгивание струи при ударе о дно изложницы или о поверхность жидкого металла. Расчеты и результаты моделирования показывают, что при разливке из ковшей большой вместимости критерий Рейнольдса для струи может достигать значений  $\geq 10^6$ , что свидетельствует о высокой степени турбулентности струи. Истечение таких турбулентных потоков сопровождается захватом атмосферного воздуха, а также развитием кавитационных явлений, что в свою очередь приводит к резким местным колебаниям давления металла в слитке. При большом напоре металла струя перестает быть непрерывной, что приводит к эжектированию окружающего воздуха, интенсивному развитию вторичного окисления стали, увеличению содержания азота и т. д. Диаметры разливочных стаканов могут быть различными (от 50 до 120 мм), но все они достаточно велики.

При истечении металла через отверстие в днище ковша создается положение, при котором основное перемещение жидкого металла происходит по оси стакана. Получается, что столб металла, располагающийся над отверстием стакана, как бы непрерывно проваливается, а объемы металла, находящиеся вблизи стенок ковша, не перемещаются и поступают на разливку в последнюю очередь. Температура и свойства этих объемов металла отли-

чаются от температуры и свойств внутренних слоев, что приводит к нестабильности качества слитков, отлитых в различные периоды времени по ходу разливки. При входе жидкого металла в стакан происходит сжатие (сужение) струи, которое продолжается до определенной глубины, после чего поток снова расширяется, заполняя все поперечное сечение стакана. Отрыв потока от стен канала и связанное с ним вихреобразование создают в стакане зону пониженного статического давления и являются основной причиной увеличения сопротивления движению жидкости в струе, а также захвата струей воздуха. Дополнительная трудность при решении проблемы организации истечения струи металла из ковша заключается в том, что по мере опорожнения ковша изменяется напор металла (высота металла в ковше). Может оказаться, что удовлетворительный характер истечения струи в начале разливки (небольшое отношение диаметра струи к высоте столба металла в ковше) сменяется не удовлетворительным в конце разливки (при неизменном диаметре струи напор металла резко уменьшился). На характер движения металла в ковше и стакане влияет также расположение стакана относительно стен ковша. На практике для организации нормальной разливки используют ряд приемов.

Сечение, размеры и форму разливочного стакана и его расположение в ковше выбирают по результатам предварительного моделирования с учетом размеров ковша, состава стали и необходимой скорости разливки. Горизонтальное сечение стаканов может быть круглым, эллиптическим, крестообразным и т.д. По высоте стаканы могут быть цилиндрическими, цилиндрическими с закруглением углов на входе струи, формы диффузора, конфузора, в форме диффузора с переходом в цилиндр и др.

Для непрерывной разливки широкое применение находят удлиненные погружные стаканы, предотвращающие контакт струи с воздухом и регулирующие направление потоков в кристаллизаторе, сокращая неблагоприятное тепловое воздействие на затвердевающую корку непрерывной заготовки и обеспечивающие лучшие условия для всплывания неметаллических включений.

Диаметры (приведенные диаметры) каналов разливочных стаканов в зависимости от вместимости ковша и необходимой скорости разливки могут быть от 30 до 140 мм. Длина канала составляет 120-440 мм. В соответствии с ГОСТ 5500-75 стаканы изготавливают шамотные, высокоглинозёмистые, магнезитовые, магнезитохромитовые, графитовые, цирконовые и комбинированные.

Шамотные стаканы имеют низкую износостойкость и значительно размываются струей в процессе разливки, при этом увеличивается опасность загрязнения стали неметаллическими включениями особенно сильно

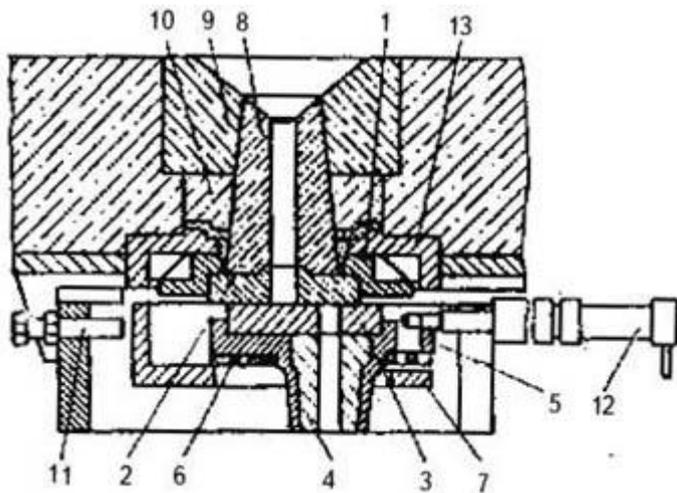
увеличивается сечение канала шамотного стакана при разливке кипящих и марганцовистых сталей. Перегрев кипящей стали вызывает повышенное размывание канала стакана, а при значительном перегреве такой стали разливка может быть аварийной. При размывании настывлей в канале стакана кислородом его диаметр также заметно увеличивается.

Спокойные углеродистые стали, раскисленные ферросилицием, значительно меньше разрушают шамотный стакан, а разливка сталей раскисленных большим количеством алюминия может вызвать зарастание канала образующейся настывью.

Наибольшее распространение получили стаканы из магнезита. Они практически не размываются, но, обладая высокой теплопроводностью, часто затягиваются особенно при разливке с небольшой скоростью легированных и высоколегированных марок стали. При этом приходится периодически промывать канал кислородом. Положительные результаты получают при покрытии магнезитовых стаканов низко теплопроводной шамотной обмазкой. Еще лучше шамотные стаканы с цирконовой или магнезитовой втулкой.

Выбор материала стакана для ковшей со стопором обуславливается ещё и тем, что сталеразливочный стакан и пробка стопора составляют единый комплект. Для надёжного и плотного перекрытия канала стакана поверхность одного из элементов комплекта в момент разливки должна находиться в пластическом состоянии при полном жёстком состоянии другого. Это достигается при различной огнеупорности и температуре начала деформации под нагрузкой. В комплекте из шамотной пробки и шамотного стакана возможно приваривание пробки к седловине стакана. При сочетании шамотной пробки и магнезитового стакана или вкладыша соединение получается наиболее удачным.

В настоящее время стопорные дозаторы применяются в основном в промежуточных ковшах, в которых условия работы стопора более благоприятны, чем в основных сталеразливочных ковшах. Из-за большой трудоёмкости футеровки, сушки и установки одноразовых стопоров, а также недостаточной надёжности для больших ковшей применяются в основном шиберные затворы.



В зависимости от вариантов перекрытия канала стакана, прижатия плит, крепления затвора на плите и др. признаков существует большое разнообразие конструкций шиберных затворов. На рис.2 приведена схема типовой конструкции шиберного затвора.

**Рисунок 2** – Установка шиберного затвора на сталеразливочном ковше: 1 – верхняя обойма; 2, 3 – верхняя и нижняя огнеупорные плиты; 4 – стакан-коллектор; 5 – металлическая обойма шибера; 6 – промежуточная плита; 7 – корпус блока; 8 – сталеразливочный стакан; 9, 10 – верхний и нижний гнездовой кирпич; 11 – установочный болт; 12 – гидроцилиндр; 13 – фланец сталеразливочного ковша

Верхняя неподвижная огнеупорная плита, находящаяся в металлической обойме, своим выступом входит в паз сталеразливочного стакана. Нижняя огнеупорная плита с коллектором, организующим и направляющим струю, вставлена в подвижную обойму, которая с помощью штока соединена с гидроцилиндром. Плиты тщательно шлифованы одна к другой, а для облегчения скольжения рабочие поверхности покрывают графито-масляной смазкой или карбонитридом бора. Подвижная плита прижимается к неподвижной четырьмя нажимными болтами или пружинами чтобы предотвратить затекание в зазор между ними металла, так как малые количества затекающего металла быстро застывают и, затрудняя перемещение подвижной плиты, нарушают нормальную работу шибера. Перемещаясь с помощью гидравлического, электрического или пневматического механизмов, подвижная плита открывает, дросселирует и перекрывает канал затвора. Оптимальное усилие прижатия плит достигает до 100000Н (10т) при давлении в гидросистеме до 15МПа.

Шиберные затворы собирают, сушат, настраивают и подготавливают к плавке на специальных стендах и вместе с приклеенным стаканом с помощью

манипулятора устанавливают снизу к днищу ковша, закрепляя двумя клиньями. Изнутри ковша гнездо вокруг ковшевого стакана затрамбовывают высокоглинозёмистой массой. К подвижной плите присоединяют гидроцилиндр и проверяют работу затвора. Канал затвора прочищают, затем перекрывают и заполняют засыпкой, предупреждающей затекание металла и облегчающей открывание затвора первый раз. В качестве засыпки используют в зависимости от наличия ставролит, дистенсилиманитовый концентрат, зольно-графитовую смесь, молотый кокс, песок в смеси с графитом, шамотный порошок, хромистую руду, магнезитовый порошок и др. Материал засыпки должен быть совершенно сухим и по возможности более тяжёлым. Чтобы материал засыпки не загрязнял разливаемую сталь, затвор открывают над резервной ёмкостью, а при сифонной разливке на лейку устанавливают конусный экран из картона, прожигаемый первыми порциями металла. Стойкость шибберных затворов в первую очередь зависит от качества огнеупорных плит. По условиям службы огнеупорные плиты должны обладать высокой механической прочностью, термостойкостью, устойчивостью против физико-химического воздействия жидких расплавов и высокой сопротивляемостью износу при трении поверхностей. Успешная разливка нескольких плавов возможна лишь при использовании дефицитных высококачественных огнеупорных плит, тщательной сборке и установке затвора, в котором деформация корпуса от термических напряжений конструктивно сведена до минимума. Указанным требованиям в большей мере отвечают плиты из плавленого периклаза и корундовые, пропитанные бакелитом. Успешно используют плиты с цирконовыми вставками, контактирующими непосредственно со струёй металла и шлака, которые служат до 17 плавов.

Широкое применение шибберных затворов в сталеплавильных цехах обусловлено значительными их преимуществами перед стопорными дозаторами. К ним относятся высокая надёжность работы и регулирования скорости разливки, быстрота установки, механизация и сокращение трудоёмкого процесса, облегчение условий труда при подготовке ковша и разливке плавки. Расположение затвора снаружи ковша и контактирование плит со струёй металла только в момент разливки позволяет разогревать футеровку ковша перед приёмом плавки вплоть до 1400°C, сокращать потери тепла металлом, увеличивать продолжительность пребывания металла в ковше во время внепечной обработки и разливки. Сокращение периода подготовки ковша в 2-3 раза увеличивает оборот ковшей в цехе, уменьшает их общее количество, повышает стойкость футеровки из-за снижения термических напряжений, снижает расход огнеупоров. Дополнительно сокращается расход сталеразливочного припаса с соответствующим уменьшением затрат на транспортировку и складирование, особенно при многократном использовании

шиберных плит. Через шибер практикуется вдувание аргона и рафинирующих порошкообразных материалов.

К недостаткам скользящих шиберных затворов относятся:

- продолжительность перекрытия отверстия во время разливки не должна превышать более 30 с, так как отверстие стакана перекрывается не сверху, а снизу и в нём застывает металл;
- выше потери напора металла на трение струи и местные сопротивления, затрудняющие получение компактной струи в процессе регулирования скорости разливки;
- недостаточно надёжно предотвращается затекание металла между плитами даже при весьма больших усилиях прижатия плит, усложняющих конструкцию шиберов;
- дефицитность и невысокая стойкость огнеупорных плит, служба которых усугубляется термическими напряжениями, а также короблением огнеупоров и металлоконструкций;
- затрудняется разливка стали через малые диаметры стаканов.

В связи с этим продолжается поиск новых конструктивных решений по дозирующим устройствам.

### **Изложницы**

Согласно ТУ 14—12—14—84 изложницы классифицируются следующим образом. По массе:

- а) особо мелкие — до 3 т;
- б) мелкие — от 3 до 8 т;
- в) средние — от 8 до 15 т;
- г) крупные — от 15 до 25 т;
- д) особо крупные-свыше 25 т.

По назначению: а) для слябинговых и листовых слитков;

б) для блюминговых и сортовых слитков;

в) для трубных, колесных слитков и для расходоуемых электродов

.По конструкции:

а) сквозные уширенные книзу (рис. 98, а);

б) сквозные уширенные сверху (рис. 98, б); в) бутылочные (рис. 98, в);

г) глуходонные с отверстием в дне для разливки стали сифоном (рис. 99, а);

д) глуходонные с отверстием в дне для металлической пробки при разливке стали сверху (рис. 99, б).

По агрегату выплавки чугуна: а) из доменного чугуна; б) из ваграночного чугуна.

По химическому составу и структуре:

а) из серого чугуна с пластинчатым графитом;

б) из серого низколегированного и модифицированного чугуна с пластинчатым графитом;

г) из серого модифицированного чугуна с шаровидным графитом.

По способу утепления верха слитка:

а) без утепления;

б) с утепленным низу изложниц верхом, составляющим одно целое с изложницей;

в) со съемными прибыльными надставками

Уширенные низу изложницы применяют для отливки слитков из кипящих, полуспокойных и некоторых спокойных сталей (с углеродом не более 0,35 %).

Уширенные кверху изложницы служат для получения слитков из спокойных сталей. Конусность уширенных составляет 0,5—2,5 %, а уширенных кверху допускается до 4 %.

Внутреннюю поверхность изложниц для крупных слитков часто выполняют волнистой. В верхней части изложниц предусматриваются специальные транспортные приспособления для захвата их краном при перемещении: уши, цапфы, дужки, приливы с отверстием, скобы (рис. 100). На изложницах, уширенных кверху, кроме того, в нижней части делают уши или цапфы для захвата изложниц на напольном стриппере при удалении застрявших слитков. Иногда в боковой плоскости изложниц заливают скобу для облегчения укладки изложниц в штабель, особенно при частой замене изложниц одного типа другим.

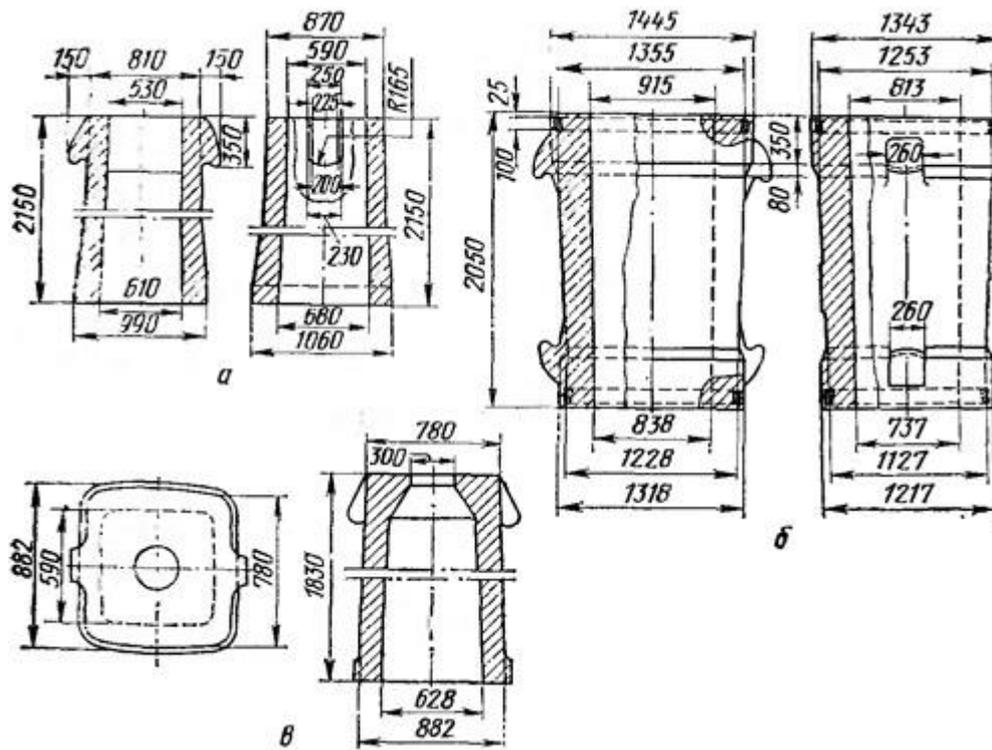


Рис. 98. Сквозные изложницы:  
 а — уширенная книзу; б — уширенная кверху; в — бутылочная

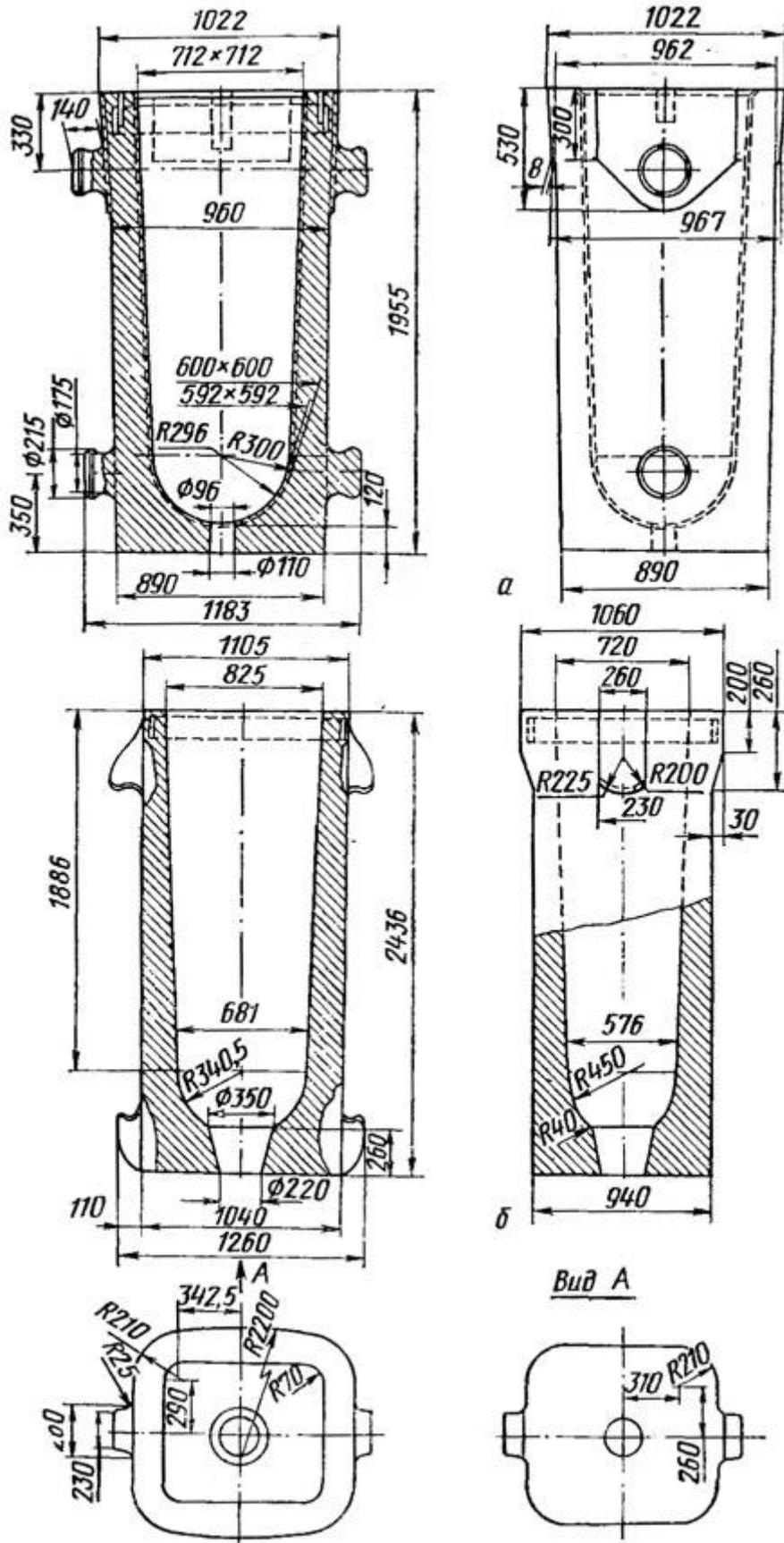


Рис. 99. Изложницы с дном для разливки стали: а — сифоном; б — сверху

Причиной преждевременной отбраковки изложниц также является обрыв «ушей» во время освобождения изложниц от слитков.

Стойкость изложниц можно повысить за счет правильного их размещения на тележках (на достаточном расстоянии друг от друга) и хороших условий эксплуатации (выдерживание заданных температур разливки и выдержки слитка в изложнице; хорошее центрирование струи при разливке сверху; нормальная оборачиваемость, обеспечивающая охлаждение изложниц на воздухе до заданных температур без применения душирования).

Удельный расход изложниц составляет (на 1 т стали) : 6—10 кг мелких из магниевого чугуна, 12—14 кг средних сквозных уширенных книзу для сортовых слитков; 14—16 кг крупных сквозных уширенных книзу для листовых слитков; 14 кг средних глухдонных сортовых для разливки сифоном; 21—23 кг средних глухдонных сортовых для разливки сверху; 30—32 кг крупных глухдонных листовых для разливки сверху; 35—40 кг при разливке высоколегированных сталей.

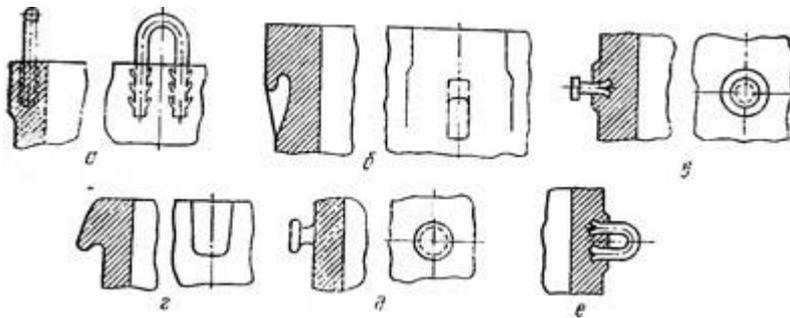


Рис. 100. Конструктивные элементы для захвата изложниц при транспортировке: а — дужка; б — прилив с углублением; в — стальная цапфа; г — ухо; д — литая цапфа; е — скоба

### Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите оборудование для разливки стали?
2. Характеристика сталеразливочного ковша
3. Какие емкости и типы футеровок сталеразливочного ковша, известны вам?
4. Назначение сталеразливочных дозирующих устройств, их конструкции?
5. Назначение сталеразливочных стаканов, их типы.
6. Назначение изложницы
7. Какая стойкость и удельный расход изложниц?
8. Какие чугуны вам известны?
9. Где выплавляют чугун?
10. Назначение «ушей» в изложнице?

### Используемая литература:

Г.А. Соколов «Производство стали» 426 – 428