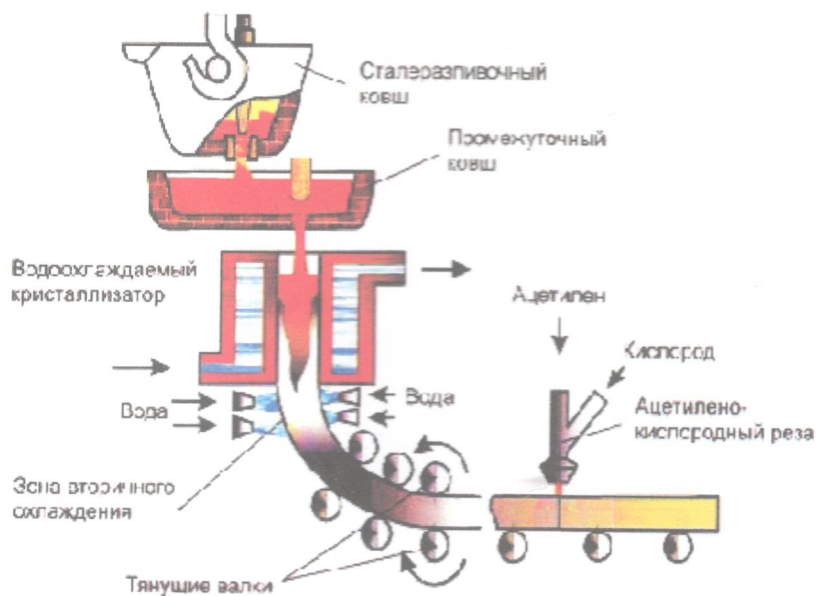


В.А. БЕЛЕВИТИН

ДИСКРЕТНАЯ И НЕПРЕРЫВНАЯ РАЗЛИВКА СТАЛИ



В. А. Белевитин

**ДИСКРЕТНАЯ И НЕПРЕРЫВНАЯ
РАЗЛИВКА СТАЛИ**

Учебное пособие

Челябинск

2017

ББК 30.3я73
УДК 620.1 (021)
Б 43

Белевитин В.А. Дискретная и непрерывная разливка стали: учебное пособие / В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во "ЦИЦЕРО", 2017. – 50 с.: с ил.

ISBN 978-5-91283-905-4

В учебном пособии приведены сведения о разливке жидкой стали дискретным (в изложницы) и непрерывным способами, рассмотрены основы процессов вторичного окисления металла и способы защиты металла от вторичного окисления. Представлен материал по оборудованию и способам дискретной разливки стали в изложницы сверху и снизу. Отмечены преимущества и недостатки дискретной и непрерывной разливки стали.

Учебное пособие будет полезно для студентов, обучающихся по специальности «Профессиональное обучение (автомобили и автомобильное хозяйство)».

Рецензенты:

Г.А. Орлов, докт. техн. наук, проф., Уральский
федеральный университет им. Первого
президента России Б.Н. Ельцина;
К.Н. Семендяев, канд. техн. наук, зам. дир-ра ЮУГТК

ISBN 978-5-91283-905-4

© Белевитин В.А., 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. ЗАЩИТА МЕТАЛЛА ОТ ВТОРИЧНОГО ОКИСЛЕНИЯ.....	5
1.1. Процессы вторичного окисления металла.....	5
1.2. Способы защиты металла от вторичного окисления.....	7
Контрольные вопросы к главе 1.....	16
Глава 2. ДИСКРЕТНАЯ РАЗЛИВКА СТАЛИ В ИЗЛОЖНИЦЫ.....	17
2.1. Оборудование для дискретной разливки стали в изложницы.....	17
2.2. Способы дискретной разливки стали в изложницы.....	25
2.3. Способы непрерывной разливки стали.....	30
Контрольные вопросы по главе 2.....	41
БИБЛИОГРАФИЯ.....	42

ВВЕДЕНИЕ

Разливка стали является важным и весьма ответственной etapом сталеплавильного производства. Технология и организация разливки часто определяют качество готового металла и количество отходов при дальнейшем переделе стальных слитков. Выплавленную качественную сталь можно испортить неправильно организованной разливкой. Технология и организация разливки стали часто определяют качество готового металла и количество отходов при дальнейшем переделе стальных слитков, то есть являются основными факторами энерго- и ресурсосбережения, как базовых компонентов материалоёмкости национального продукта.

Ряд нежелательных последствий, ухудшающих качество стали и даже порой приводящих к браку вызывает вторичное окисление струи жидкой стали воздухом при её разливке. Следствием такого окисления является не только повышение общего содержания кислорода в стали в результате увеличения содержания в ней оксидных включений, но появление ряда дефектов у слитков и непрерывнолитых заготовок, что негативно сказывается на коэффициенте выхода годных изделий и полуфабрикатов, а, следовательно, и на снижении эффективности их производства, надёжности и работоспособности, как важных составляющих безопасности использования годных изделий в узлах и агрегатах технических устройств.

Глава 1

ЗАЩИТА МЕТАЛЛА ОТ ВТОРИЧНОГО ОКИСЛЕНИЯ

1.3. Процессы вторичного окисления металла

Для обеспечения свойств металла, удовлетворяющих современным требованиям, необходимо получать высокую чистоту металла по оксидным неметаллическим включениям, что, в свою очередь, достигается применением глубокого раскисления металла и удержанием необходимого уровня окисленности металла на всех последующих этапах передела и разливки. Последнее условие достигается исключением возможности вторичного окисления за счет максимального уменьшения окислительного потенциала контактирующих с металлом фаз.

Вторичное окисление струи металла воздухом при разливке вызывает ряд нежелательных последствий, ухудшающих качество стали и даже порой приводящих к браку. Следствием такого окисления является не только повышение общего содержания кислорода в стали в результате увеличения содержания в ней оксидных включений, но и повышение ряда дефектов у слитков и непрерывнолитых заготовок.

Процессы вторичного окисления получают развитие по ходу процесса, а именно [53]:

1. Металл с окисленным печным шлаком – после введения раскислителей в плавильную печь.

2. Струя металла с атмосферой – при выпуске металла в сталеразливочный ковш.

3. Металл, выпущенный из конвертера или мартеновской печи, взаимодействует с окисленным шлаком, попавшим вместе с металлом в сталеразливочный ковш.

4. Струя металла с атмосферой – при переливе металла из сталеразливочного ковша в промежуточное разливочное устройство (промежуточный ковш).

5. Поверхность металла в промежуточном ковше взаимодействует с атмосферой.

6. Струя металла с воздухом, захваченным (эжектированным) струей металла при разливке по изложницам или в кристаллизатор установки непрерывной разливки.

7. Поверхность металла в изложнице или кристаллизаторе контактирует с атмосферой.

8. Металл, раскисленный сильными раскислителями (кальцием, магнием, редкоземельными металлами) с оксидами футеровки сталеразливочного ковша.

Отрицательные последствия вторичного окисления воздухом требуют применений специальных мер для его предотвращения. Разработке этих мер для улучшения качества слитков и непрерывнолитых заготовок в металлургии уделяется большое внимание.

При контакте жидкого металла с атмосферой, помимо окисления, протекают реакции взаимодействия с атмосферной влагой и азотом воздуха. Огромное (почти десять порядков) различие окислительного потенциала воздуха и раскисленного металла определяет трудность защиты металла от вторичного окисления.

Сложность защиты струи металла при выпуске и разливке от азота и влаги воздуха объясняется парадоксальным фактом: чем чище от примесей металл (в результате внепечной обработки), чем меньше в нем таких, например, поверхностно-активных примесей, как сера, «блокирующих» поверхность, тем больший вред качеству может нанести контакт с атмосферой. Поэтому предотвращение такого контакта струи металла, подвергнутого внепечной обработке, является обязательным.

1.4. Способы защиты металла от вторичного окисления

Из существующих многочисленных способов защиты металла чаще всего используют следующие:

1. Отсечку окислительного конечного шлака и наведение в ковше шлака, не содержащего оксидов железа.

2. Защиту струи жидкого металла инертным (или восстановительным) газом.

3. Организацию уплотнения между сталеразливочным и промежуточными ковшами.

4. Введение при помощи удлиненных разливочных стаканов струи металла вглубь (так называемая «разливка под уровень»).

5. Использование для изготовления футеровки ковшей огнеупоров из материалов (например, MgO), слабовзаимодействующих даже с сильными раскислителями.

6. Наведение на поверхности металла в промежуточном ковше, в кристаллизаторе и в изложнице шлака, слой которого препятствует контакту металла с атмосферой. Шлак, наведенный в кристаллизаторе или изложнице

це, препятствует также интенсивному охлаждению верхних слоев металла и привариванию образующейся корочки к холодной поверхности изложницы или кристаллизатора (предотвращение заворотов корочки).

При разливке стали в изложницы принято использовать порошкообразные смеси. При соприкосновении порошков с разливаемым металлом формируется шлак, изолирующий при дальнейшем подъеме уровня металла его от атмосферы и стенок изложницы.

При использовании методов внепечной обработки роль таких участков технологической цепи, как "ковш-изложница, ковшцентровая, сталеразливочный ковш-промежуточный ковш, промежуточный ковш-кристаллизатор", защита металла от вторичного окисления становится намного значительнее, чем в случае работы по традиционной технологии, так как после внепечной обработки металл оказывается более чистым, а отрицательный результат вторичного окисления более существенным.

В течение многих десятилетий разработка мер по улучшению качества слитков в части предотвращения или минимизации вторичного окисления подвергаемого разливке жидкого металла сводилась, в основном, к созданию в изложнице восстановительной или нейтральной атмосферы. Применяли, например, обезвоженный петролатум (продукт переработки нефти), который в количестве 0,3–0,5 кг/т забрасывали на дно изложниц до разливки или в ее начале. При его разложении и частичном сгорании в изложнице создается восстановительная или слабоокислительная атмосфера, что предупреждает или ослабляет воз-

возможность вторичного окисления. Использовали деревянные рамки, которые помещали на зеркало поднимающегося металла, которые при сгорании коптят, уменьшая окислительный потенциал атмосферы в изложнице. Применяли и применяют жидкий синтетический шлак или легкоплавкие шлакообразующие брикеты и смеси разного состава. При наведении на зеркале металла в изложнице шлака он защищает сталь от окисления кислородом воздуха и снижает тепловые потери и образует между слитком и изложницей шлаковый слой толщиной 0,5–3 мм, выполняющий роль смазки. На некоторых металлургических заводах Японии получил распространение такой прием, как загрузка на дно ковша перед выпуском плавки сухого льда. Обильное испарение льда создает газовую завесу, предотвращающую переход в металл азота из атмосферы.

Отмеченные способы защиты стали от вторичного окисления при разливке в изложницы дают незначительный эффект, так как защита эта в определенной мере происходит лишь на участке прохождения струи металла в изложнице или даже только на поверхности поднимающегося металла. Непрерывная разливка, при которой, как отмечалось выше, степень вторичного окисления металла больше, чем при разливке в изложницы, и применение внепечной обработки, позволяющей получать сталь с очень низким содержанием общего кислорода, т.е. весьма мало загрязненную оксидными включениями, вызвали необходимость разработки и использования более эффективных способов защиты металла от вторичного окисления воздухом. Схематично способы защиты струи металла

от вторичного окисления воздухом на участке сталеразливочный - промежуточный ковши показаны на рис. 1.1.

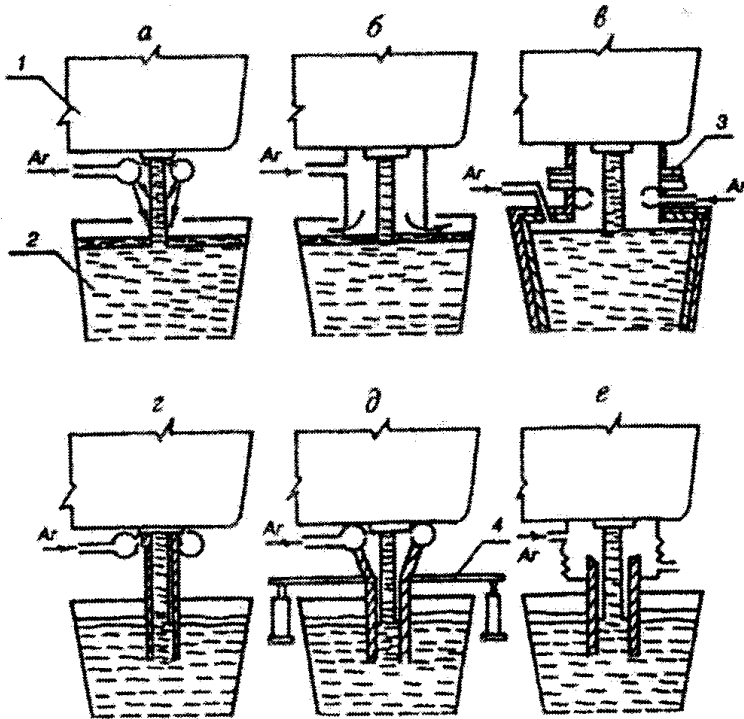


Рис. 1.1. Способы защиты струи металла (а-в) между сталеразливочным (1) и промежуточным (2) ковшами, 3 - уплотнение, 4 система пневматического поджима (остальные пояснения в тексте) [53]

Простейшим способом защиты струи является обдув ее инертным газом (обычно аргоном), подаваемым из кольцевого трубопровода с отверстиями по окружности (рис. 1.1, а). Отверстия эти расположены так, что газ охватывает струю металла по всей ее длине от устья стакана сталеразливочного ковша до поверхности расплава в про-

межзвонковом ковше. Однако этот метод малоэффективен вследствие того, что подаваемый аргон разбавляется окружающим воздухом, который он частично инжектирует. Этому способствует движение воздуха в цехе, особенно во время его усиления при ветре, сквозняке и т.н. Для устранения этих недостатков обдув струи аргоном осуществляют, помещая ее в защитный металлический кожух. Этот кожух верхней частью примыкает к сталеразливочному ковшу, а из-под нижней части у поверхности расплава выдувается аргон (рис. 1.1, б). Избыточное по сравнению с внешней атмосферой давление аргона препятствует засасыванию воздуха в пространство под кожухом. Это требует значительного расхода аргона, что является недостатком способа. Еще в большей степени этот недостаток проявляется в используемом на некоторых заводах случае, когда аргон в равной мере свободно выдувается и у поверхности сталеразливочного ковша (вокруг разливочного стакана), и у поверхности расплава в промежуточном ковше.

Меньший расход аргона и лучшую защиту струи от вторичного окисления воздухом обеспечивает устройство, в нижней части которого находится промежуточный ковш; верхняя часть этого устройства присоединена к сталеразливочному ковшу (рис. 1.1, в). Для плотного соединения этих частей между ними помещается уплотняющая прокладка, обычно изготовленная из фибры. При таком соединении двух практически герметичных частей потери аргона происходят лишь при продувке во время их соединения для вытеснения воздуха. Отсутствие подсосов воздуха во время разливки обеспечивает надежную защиту от

вторичного окисления. В промежуточном ковше при таком методе защиты почти нет шлака. (На остальных схемах рис. 1.1 виден слой шлака на поверхности металла.) Однако этот метод защиты весьма сложен как в конструктивном исполнении, так и в эксплуатации.

С учетом конструктивных особенностей и надежности защиты струи металла от вторичного окисления оптимальным является использование погружаемых в металл огнеупорных труб – погружных стаканов, проходя через которые струя не взаимодействует с воздухом. Применение таких стаканов решает вопрос защиты струи внутри трубы и на ее выходе: струя выходит на некоторой глубине под поверхностью жидкой стали и взаимодействовать с воздухом не может. Трудность вызывает верхняя часть погружного стакана, где он соединяется с шиберным затвором сталеразливочного ковша. В этом месте действуют два фактора, создающих условия для поступления воздуха в струю металла. Первый из них – разрежение у выхода струи из шиберного затвора и поступления ее в стакан. Это разрежение вызывает инжекцию воздуха в протекающую в стакане струю жидкой стали. Поэтому большое значение имеет надежная стыковка погружного стакана с коллектором шиберного затвора. Эта задача не простая, так как при регулировании расхода металла выпускной коллектор двухплитного шиберного затвора перемещается, а погружной стакан должен все время располагаться по оси струи. Плотность соединения стакана с затвором можно увеличить поджатием, но во избежание разрушения огнеупорного стакана усилие такого поджатия должно

быть < 30–70 кг. Так как герметическую стыковку выполнить все же не представляется возможным, применяют: подачу инертного газа в место стыка погружного стакана и коллектора шиберного затвора. Разработан ряд устройств для защиты струи с применением погружных стаканов и подачи инертного газа в место их стыковки с шиберными затворами (рис. 1.1, *г - е*).

Наиболее распространено устройство с непосредственной стыковкой погружного стакана с шиберным затвором и обдувом места стыковки аргоном (рис. 1.1, *г*). Для более плотной стыковки применяют устройства, прижимающие стакан к шиберному затвору. Пример такого устройства, разработанного на НЛМК, приведен на рис. 1.2. Простота конструкции обеспечивает ему высокую надежность в работе, позволяя по мере надобности легко производить стыковку и расстыковку огнеупорного стакана с шиберным затвором. Другое устройство с поджимом приведено из рис. 1, *д*. В нем производится пневматический поджим кольцевого дистрибутора инертного газа огнеупорным погружным стаканом. Это обеспечивает довольно мягкий прижим и вместе с тем достаточную плотность. Разрежение, возникающее в верхней части стакана при разливке, компенсируется подаваемым через дистрибутор аргоном.

Применяют также устройства без поджима огнеупорного погружного стакана. В них погружной стакан своей верхней частью находится в гибком кожухе (рис. 1.1, *е*). Продувкой аргоном в этом кожухе создается инертная атмосфера. Однако такие устройства сложны в изготовлении и эксплуатации.

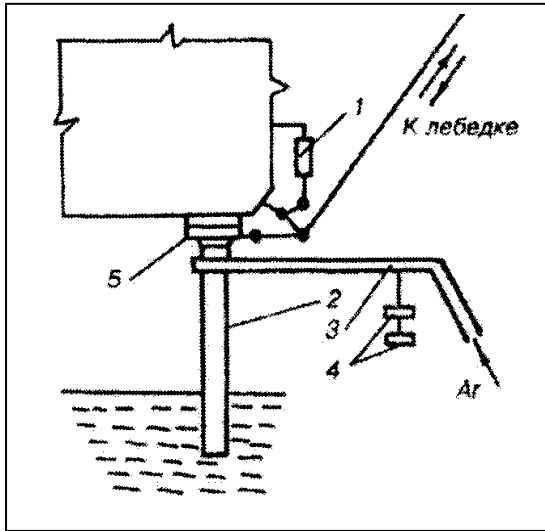


Рис. 1.2. Устройство для поджатия и центровки погружных стаканов:

1 - тяга шибберного затвора; 2 - погружной стакан;
 3 - манипулятор; 4 - контргрузы, 5 - шибберный затвор

Таким же образом, но проще решается вопрос защиты струи металла от вторичного окисления воздухом на последнем участке движения стали при разливке: промежуточный ковш – кристаллизатор. Здесь также применяют погружные стаканы, нижняя часть которых находится в жидкой металлической ванне кристаллизатора, а верхняя примыкает к шибберному затвору или ковшевому стакану (при использовании стопора).

Защита струи металла на разливке с применением погружных стаканов (рис. 1.3) и надежной изоляцией стыков их с шибберными затворами инертным газом позволяет практически устранить вторичное окисление стали: общее содержание кислорода в 1,5–2,0 раза ниже, чем при обыч-

ной разливке; прирост содержания азота в стали очень небольшой. Защита струи является совершенно необходимой операцией после внепечной обработки стали с целью понижения содержания в ней оксидных включений и регулирования их природы. Схемы подобных устройств представлены и перечислены в работе [54].

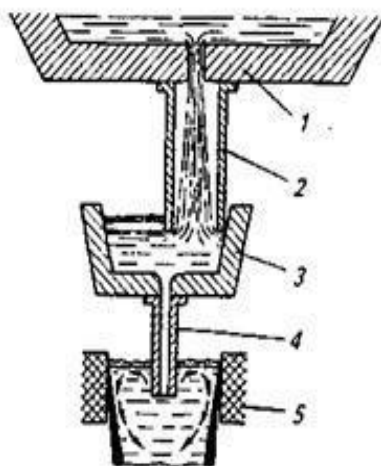


Рис. 1.3. Схема организации предохранения металла от воздействия атмосферы:

1 – разливочный ковш; 2 – защитная труба; 3 – промежуточный ковш; 4 – погружной разливочный стакан; 5 – кристаллизатор; 6 – защитное устройство, раздвигающееся при качании кристаллизатора

Развитие способов изоляции струи металла явилось импульсом для появления способов дозированного и контролируемого воздействия на струю, её непрерывного и поточного вакуумирования в проточной вакуум-камере, расположенной между сталеразливочным и промежуточным ковшом [59].

Контрольные вопросы к главе 1

1. Какое вредное влияние повышенного содержания кислорода в стали?
2. Что является следствием вторичного окисления кроме повышения общего содержания кислорода в стали?
3. Назовите процессы вторичного окисления стали.
4. Чем определяется трудность защиты металла от вторичного окисления?
5. Каким парадоксальным фактом объясняется сложность защиты струи металла при выпуске и разливке стали?
6. Назовите основные способы защиты металла от вторичного окисления.
7. Какие способы защиты стали от вторичного окисления при разливке в изложницы дают незначительный эффект?
8. Назовите способы защиты струи металла от вторичного окисления воздухом.
9. В чем заключаются преимущества использования погружных стаканов для защиты стали от вторичного окисления при её разливке?
10. Насколько эффективнее использования погружных стаканов для защиты стали от вторичного окисления при её разливке, чем при обычной разливке?
11. В чем проявляются преимущества способов дозированного и контролируемого воздействия на струю, её непрерывного и поточного вакуумирования?

Глава 2

ДИСКРЕТНАЯ РАЗЛИВКА СТАЛИ В ИЗЛОЖНИЦЫ

2.1. Оборудование для дискретной разливки стали в изложницы

К оборудованию для дискретной разливки стали, кроме сталеразливочного ковша, разливочного стакана, стопора или шиберного затвора, промежуточных воронок и ковшей, относят: изложницы, поддоны, прибыльные надставки, литниковую систему и др.

Изложницы, в которые заливается сталь, отливаются главным образом из ваграночного чугуна следующего состава: %: 3,3–4,0 С; 0,9–2,2 Si; 0,4–1,0 Mn; <0,20 P и <0,12 S. Размеры изложниц зависят от массы и размеров слитка. Масса слитков, отливаемых для прокатки на станах, изменяется в пределах от 200 кг до 30 т: для прокатки на блюмингах отливают слитки массой до 13 т, а для прокатки на слябингах – до 30 т. Масса слитков для поковок доходит до 350 т. Более экономична разливка стали в крупные слитки, так как при этом уменьшается ее продолжительность, сокращаются затраты труда, расход огнеупоров и разливочного оборудования, уменьшаются потери металла в виде скрапа и литников, возрастает производительность прокатки. С ростом массы слитка заметно усиливается зональная химическая неоднородность, поэтому для качественных сталей массу слитка ограничивают.

Конфигурация изложниц, характеризуемая формой поперечного и продольного сечений, определяется сортаментом стали и дальнейшим переделом слитка. Попереч-

ное сечение изложниц может быть квадратным, прямоугольным, круглым, многогранным (рис. 2.1).

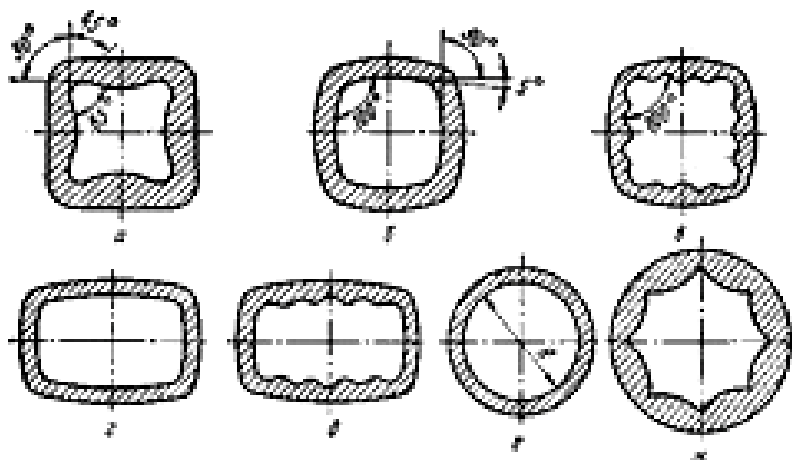


Рис. 2.1. Формы поперечного сечения изложниц

Слитки квадратного сечения идут на сортовой прокат прямоугольного сечения при отношении их ширины b к толщине h менее 1,5 – для получения как листа, так и сортового проката, плоские слитки при отношении b/h в пределах от 1,5 до 3,0 – для прокатки на лист. Слитки круглого сечения используют для изготовления труб, бандажей, колес. В многогранные изложницы отливают слитки для кузнечных поковок.

По форме продольного сечения изложницы бывают двух типов: с уширением кверху для разливки спокойной стали (рис. 2.2, *а*) и с уширением книзу для разливки кипящей и полуспокойной стали (рис. 2.2, *б*). Для разливки кипящей и полуспокойной стали иногда применяют изложницы бутылочной формы (рис. 2.2, *в*), верхнее

отверстие которых после наполнения изложницы сталью закрывают пробкой или крышкой. Быстрое застывание металла в сужающейся части бутылочной изложницы обеспечивает снижение химической неоднородности стали по сравнению с разливкой в обычные сквозные изложницы.

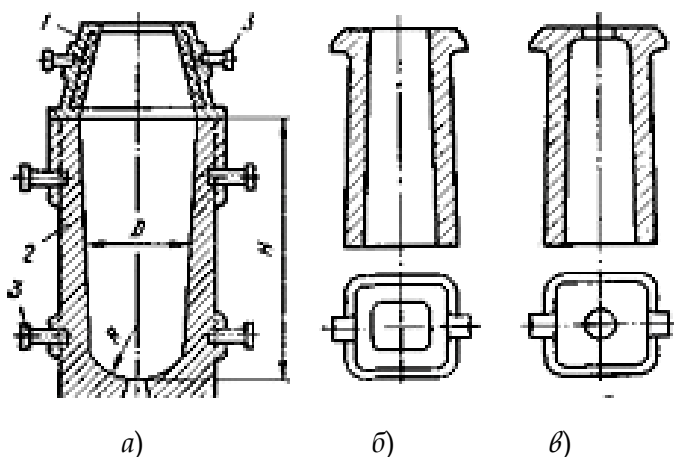


Рис. 2.2. Формы продольного сечения изложниц

Изложницы, расширяющиеся книзу, делают сквозными (без дна), а изложницы, расширяющиеся вверх – чаще всего с дном. В дне изложниц находится отверстие. При разливке сифоном в него вставляют шамотный стаканчик, через который сталь поступает в изложницу, а при разливке сверху – стальной вкладыш (пробку), предохраняющий дно изложницы от размывания струей металла.

Внутреннюю поверхность изложниц иногда делают волнистой. При этом увеличивается поверхность сопри-

косновения слитка с изложницей, быстрее нарастает толщина затвердевшей корочки в начальный момент кристаллизации и снижается пораженность слитков снаружи продольными трещинами.

Важной характеристикой слитка и изложницы является величина отношения высоты H изложницы (слитка) к ее среднему внутреннему диаметру D . Увеличение значения H/D позволяет увеличивать производительность прокатных станов, а также сократить длительность затвердевания слитка, что способствует уменьшению ликвации. Однако увеличение этого отношения вызывает увеличение осевой рыхлости и повышает склонность к образованию продольных трещин вследствие возрастания ферростатического давления на корочку кристаллизующегося слитка. Оптимальная величина отношения H/D составляет для слитков спокойной углеродистой стали 3,0–3,5, а для легированной и качественной углеродистой стали 2,5–3,3. Вместе с тем, для слитков, сердцевина которых удаляется при последующем переделе, а также для слитков, прокатываемых на мелкие профили (диаметром < 100 мм), то есть при повышенных степенях обжатия, применяют изложницы, у которых отношение $H/D > 3,5$. В этом случае для повышения плотности сердцевины слитка увеличивают конусность стенок изложницы.

В изложницах для крупных слитков кипящей, а также полуспокойной стали величина отношения H/D должна составлять 3,0–3,5; для мелких слитков (< 1 т) она достигает 5–7. Увеличение отношения H/D по сравнению со слитками спокойной стали допустимо в связи с тем, что в

слитках кипящей и полуспокойной стали не образуется осевой рыхлости. В то же время для кипящей стали важно ограничивать абсолютную величину высоты слитка и изложницы. Слишком большая высота ведет к увеличению ферростатического давления в нижней части затвердевающего слитка, что затрудняет кипение металла и способствует уменьшению толщины здоровой корочки.

Большое влияние на плотность макроструктуры и развитие осевой рыхлости в слитках спокойной стали оказывает конусность стенок изложниц. Чем больше конусность стенок изложницы и конусность слитка, тем выше плотность его структуры и тем меньше развита осевая рыхлость. Однако увеличение конусности вызывает неравномерные нагрузки на валки прокатного стана, что существенно затрудняет прокатку слитков. Поэтому конусность стенок изложниц для спокойной стали выбирают в пределах 2–4% на сторону. Для слитков, идущих на ковку, конусность стенок изложниц увеличивают до 3–6%. В листовых изложницах для спокойной стали конусность широких сторон принимают равной 3–3,5%, а конусность узких граней во избежание трапецевидности листов уменьшают вдвое.

В связи с отсутствием в слитках кипящей и полуспокойной стали осевой усадочной рыхлости конусность стенок расширяющихся книзу изложниц меньше, чем у изложниц для спокойной стали. Она составляет 0,9–1,3%, что обеспечивает свободное снятие изложницы со слитка.

Толщину стенок изложниц выбирают исходя из условий обеспечения механической прочности изложницы

и ее обычно принимают равной $\sim 20\%$ от величины поперечного размера слитка. Стойкость изложниц составляет 20–60 плавов (разливок), расход изложниц (чугуна) равен 1,0–3,5% от массы разливаемой стали.

Прибыльные надставки устанавливают на расширяющиеся кверху изложницы при разливке спокойной стали; они могут быть стационарными (рис. 2.3, а, б) и плавающими (рис. 2.3, в).

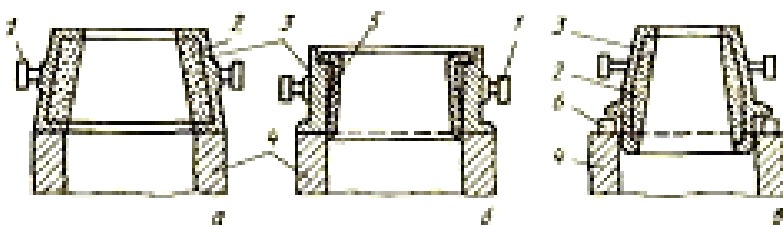


Рис. 2.3. Прибыльные надставки:

а, б – стационарные; в – плавающая; 1 – цапфа; 2 – футеровка надставки; 3 – каркас надставки; 4 – изложница; 5 – теплоизоляционный вкладыш; 6 – деревянная подставка

Футеровка или теплоизоляционные вкладыши надставок замедляют охлаждение верха слитка, что способствует выводу сюда усадочной раковины. Футеровка прибыльной надставки выполняется из шамотного кирпича или из массы на основе шамотного порошка с огнеупорной глиной.

Для уменьшения теплоотдающей поверхности, облегчения снятия надставки со слитка уменьшения расхода металла надставку сужают кверху (конусность стенок составляет 10–18%). Масса прибыльной части и соответственно величина головной обрезки крупных слитков рядо-

вой стали составляет при использовании таких надставок 12–16% общей массы слитка. Теплоизоляционные вкладыши изготавливают из песка с добавкой бумажных отходов, глины и связующих, из асбестита со связующими и других материалов. В связи с низкой теплопроводностью вкладышей надставки со вкладышами по сравнению с футерованными имеют меньшую высоту и объем и при их использовании величина головной обрезки слитков снижается на 2–5%.

При отливке крупных слитков применяют плавающие надставки (рис. 2.3, *в*). Нижнее основание такой надставки входит в изложницу; до начала разливки надставку удерживают на изложнице с помощью деревянных прокладок, которые после наполнения изложницы металлом удаляют. Достоинство этих надставок заключается в возможности их перемещения в изложнице вместе со слитком при его усадке, что исключает подвешивание слитка и образование поперечных трещин.

Поддоны служат для установки сквозных изложниц при разливке сверху и изложниц с центральной при сифонной разливке. Поддон представляет собой литую чугунную плиту толщиной 100–200 мм. Верхняя рабочая поверхность поддона должна быть гладкой; это обеспечивает плотное прилегание изложницы к поддону и предотвращает прорыв жидкого металла под изложницу.

В поддонах для сифонной разливки (рис. 2.4) делают углубление в центре и расходящиеся от него открытые сверху каналы прямоугольного сечения для укладки сифонного кирпича. Если при разливке сверху применяют

изложницы без дна, то в поддоне делают выемку, в которую укладывают сменный вкладыш из стали и иногда из огнеупорного кирпича, предотвращающий размывание поддона струей металла.

При разливке сверху применяют поддоны, размер которых позволяет установить одну или две изложницы; при сифонной разливке двух-, четырех- и многоместные поддоны. Расход поддонов составляет 0,1–1% от массы разливаемой стали.

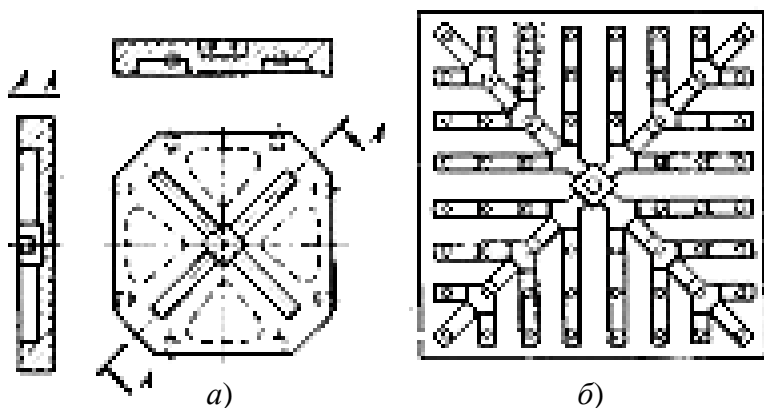


Рис. 2.4. Поддоны для сифонной разливки стали:
а – 4-местный; *б* – 60-местный

Сифонный кирпич предотвращает размывание поддона, центровой и дна изложниц жидкой сталью при разливке. Для обеспечения плотности сочленения сифонные кирпичи делают замковыми (выступ каждого последующего кирпича должен входить в паз предыдущего). Величина диаметра отверстия в сифонных кирпичах, укладываемых в поддон, обычно составляет 30–50 мм; диаметр

отверстия центровых труб равен 70–100 мм. После разливки каждой плавки сифонный кирпич заменяют.

2.2. Способы дискретной разливки стали в изложницы

Применяют два основных способа разливки стали: дискретную разливку в изложницы и непрерывную разливку. Разливку в изложницы подразделяют на разливку сверху (рис. 2.5) и сифоном (греч. siphon – трубка, насос) снизу (рис. 2.6).

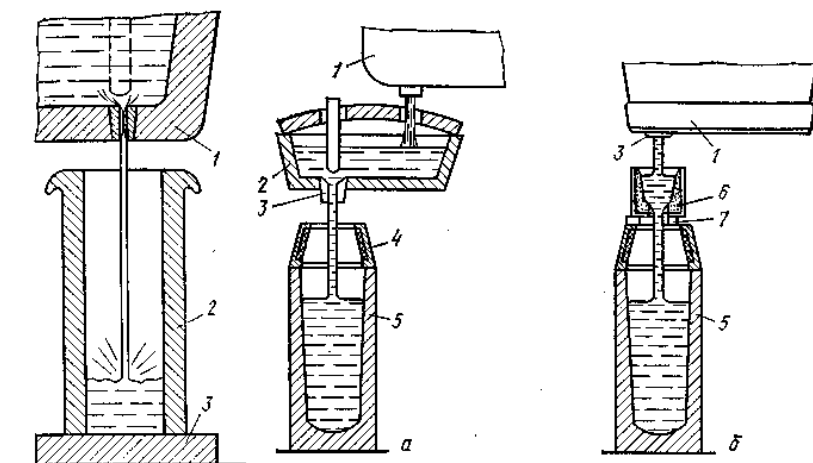


Рис. 2.5. Схема разливки стали сверху, через промежуточный ковш (а) и промежуточную воронку (б)

При разливке сверху после заполнения каждой изложницы стопор или шиберный затвор ковша закрывают, ковш транспортируют к следующей изложнице, вновь открывают стопор (шиберный затвор) и после заполнения сталью новой изложницы цикл повторяют. Иногда при разливке сверху применяют двухстопорные ковши; это

позволяет одновременно заполнять две изложницы и сократить длительность разливки. С целью уменьшения напора струи и разбрызгивания металла на стенки изложниц разливку сверху часто ведут с использованием промежуточного ковша (рис 2.5, а) или – промежуточной воронки (рис. 2.5, б).

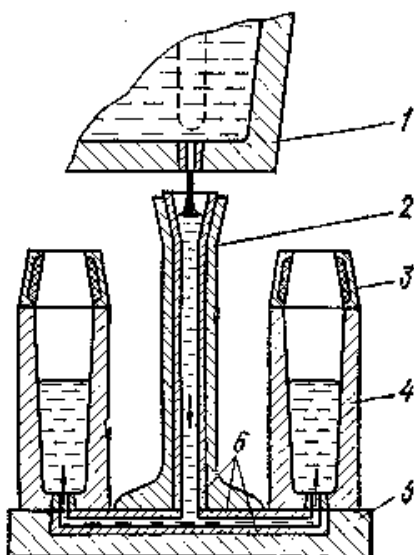


Рис. 2.6. Схема разливки стали сифоном:

- 1 – разливочный ковш; 2 – центральный литник; 3 – надставка; 4 – изложница; 5 – чугунный поддон; 6 – огнеупорная масса

Разливку сверху обычно используют для изготовления слитков большой массы, при этом поверхность слитков вследствие попадания брызг жидкого металла на стенки изложницы может быть загрязнена *корольками* (каплями затвердевшего металла) и пленками оксидов.

При разливке *сифоном* сталь из ковша 1 поступает в центровой литник 2 (рис. 2.6), протекает по каналам и снизу поступает в изложницы 4, установленные на чугунном поддоне 5. В этом случае сталь поступает в изложницы 4 снизу, что обеспечивает плавное, без разбрызгивания, их заполнение. Поверхность слитка получается чистой, сокращается время разливки.

При сифонной разливке, основанной на принципе сообщающихся сосудов, сталью одновременно заполняют несколько (от двух до шестидесяти) изложниц. Металл из ковша поступает в изложницу, лишь пройдя систему каналов, футерованных огнеупорным кирпичом. После наполнения всех установленных на поддоне изложниц стопор (шиберный затвор) закрывают, и ковш транспортируют к следующему поддону и т.п.

Оба способа разливки обладают рядом преимуществ и недостатков.

Сифонная разливка имеет следующие *преимущества* перед разливкой сверху:

- одновременная отливка нескольких слитков сокращает длительность разливки плавки и позволяет разливать в мелкие слитки плавки большой массы;
- удобно применять защиту зеркала металла в изложнице шлаковыми смесями или жидким шлаком;
- поверхность слитка получается чистой, так как металл в изложницах поднимается спокойно без разбрызгивания;
- повышается стойкость футеровки ковша и улучшаются условия работы стопора и шиберного затвора вслед-

ствие меньшей длительности разливки и уменьшения числа открываний и закрываний стопора или затвора;

- во время разливки можно следить за поведением поднимающегося металла в изложнице и в соответствии с этим регулировать скорость разливки.

Недостатки сифонной разливки:

- сложность и повышенная стоимость разливки, обусловленные расходом сифонного кирпича, установкой дополнительного оборудования и значительными затратами труда на сборку поддонов и центровых;

- дополнительные потери металла в виде литников (0,7-2,5% от массы разливаемой стали) и возможность потерь при прорывах металла через сифонные кирпичи;

- необходимость нагрева металла в печи до более высокой температуры, чем при разливке сверху, так как он дополнительно охлаждается в каналах сифонного кирпича;

- опасность загрязнения стали неметаллическими включениями в результате размывания сифонного кирпича.

Преимущества разливки сверху:

- более простая подготовка оборудования к разливке и меньшая стоимость разливки;

- меньше опасность загрязнения стали неметаллическими включениями;

- отсутствие расхода металла на литники;

- температура металла перед разливкой может быть ниже, чем при сифонной разливке.

Вместе с тем разливке сверху присущи следующие недостатки:

– образование плен на поверхности нижней части слитков, что является следствием разбрызгивания металла при ударе струи о дно изложницы. Застывшие на стенках изложницы и окисленные с поверхности брызги металла не растворяются в поднимающейся жидкой стали, образуя дефект поверхности – плены, которые не свариваются с металлом при прокатке, благодаря чему поверхность прокатанных заготовок приходится подвергать зачистке;

– большая длительность разливки, из-за чего снижается стойкость футеровки ковша и в связи с большим числом открываний и закрываний ухудшаются условия работы стопора или шиберного затвора.

Оба способа дискретной разливки широко применяют. Как правило, сифонным способом отливают слитки небольшой массы. Вопрос о том, какой из них является лучшим, до сих пор не решен. Благодаря простоте и отсутствию потерь металла с литниками часто предпочитают разливку сверху. Несмотря на необходимость дополнительной зачистки поверхности проката, разливка сверху для рядовых марок является более экономичной, чем разливка сифоном. В то же время высококачественные в легированные стали, когда стремятся снизить потери дорогостоящего металла на зачистку и получить чистую поверхность слитка, разливают главным образом сифоном. Сифонной разливкой, как правило, получают также слитки массой менее 2,5 т. Потери металла при разливке сифоном и сверху в виде скрапа и недоливов составляют 0,6–1,9%; при разливке сифоном дополнительно теряется 0,7–2,5% разливаемой стали в виде литников.

2.3. Способы непрерывной разливки стали

Прогрессивным на сегодняшнее время способом является непрерывная разливка стали. Агрегаты для разливки стали этим методом называют машинами непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) или установками непрерывной разливки стали (УНРС).

Металл из ковша 7 (рис. 2.7) заливается непрерывной струей в промежуточное устройство 8, а из него поступает в охлаждаемые водой кристаллизаторы 6, в которые предварительно закладываются стальные заготовки (называемые затравками), образующие дно. При соприкосновении жидкого металла с этими заготовками (затравками) и стенками кристаллизаторов начинается быстрое его затвердевание. После частичного затвердевания металла затравка начинает опускаться вниз и слиток непрерывно вытягивается из кристаллизатора роликами, действующими от специального механизма, к тележкам газорезок 9. При этом кристаллизатор непрерывно пополняется жидким металлом сверху из промежуточного устройства 8. Вторичное охлаждение кристаллизующегося слитка происходит при его проходе через зону 5. Затвердевшая заготовка разрезается газорезками 9 на куски, которые кантователями 4 укладываются на наклонный конвейер 3, с которого передаточной тележкой 2 доставляется на *приемный стол* 1 для дальнейшей обработки – передачи в прокатный или кузнечно-прессовый цех. Применение способа непрерывной разливки стали позволяет сократить отходы металла с 15–20% при обычной разливке до 3–5%.

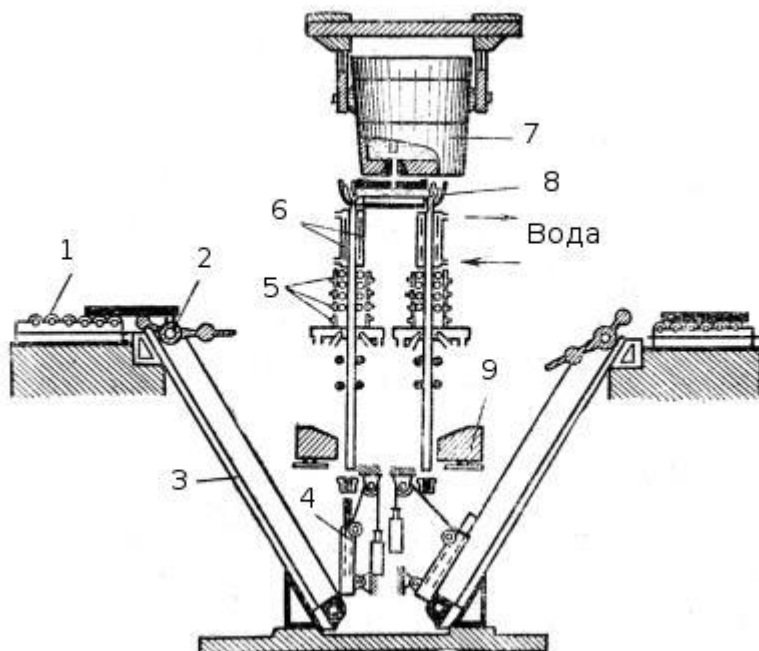


Рис. 2.7. Принципиальная схема и установка непрерывной разливки стали с двумя машинами:

1 - приемный стол; 2 - передаточная тележка; 3 - наклонный конвейер; 4 - кантователь; 5 - вторичное охлаждение и сглаживающие ролики; 6 - кристаллизатор; 7 - разливочный ковш; 8 - разливочное устройство; 9 - тележка газорезки

В непрерывноотливаемом слитке можно выделить два участка активного охлаждения - кристаллизатор и зону вторичного охлаждения (ЗВО). Примерный тепловой баланс непрерывнолитого слитка представлен на рис. 2.8, где I - кристаллизатор; II - ЗВО; III - охлаждение на воздухе.

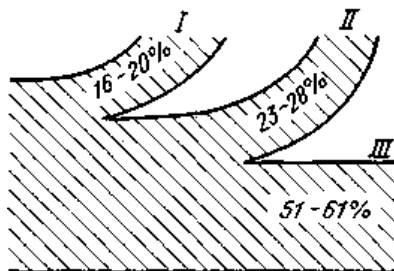


Рис. 2.8. Примерный тепловой баланс непрерывнолитого слитка

Металл, заливаемый в кристаллизатор – медную, полную изнутри, водоохлаждаемая емкость определенной геометрической формы без днища, предназначенную для приема жидкого металла, попадающего в него из промежуточного ковша, а также перевода жидкой стали в твердое состояние посредством интенсивного отвода тепла охлаждающей водой при контакте с его медными водоохлаждаемыми стенками переохлаждается и затвердевает, образуя корку слитка требуемой конфигурации. На расстоянии 200–600 мм от верха кристаллизатора находится зона непосредственного контакта с коркой слитка, где теплоотвод максимальный (1,4–2,3 МВт/м²); ниже, вследствие усадки корки, между ней и стенками кристаллизатора возникает газовый зазор, резко снижающий теплоотвод (до 0,3–0,6 МВт/м²). В этой зоне вследствие возможной деформации непрочной корки и стенок кристаллизатора могут появляться участки плотного и неплотного контакта, в которых из-за различия в теплоотводе температура и толщина затвердевающей корки будут различаться. Эта неоднородность способствует возникновению дефектов – в местах уменьшенной толщины корки вследствие термических напряжений могут возникать продольные наружные тре-

щины, а в переохлажденных участках плотного контакта – паукообразные или сетчатые поверхностные трещины.

Толщина корки на выходе из кристаллизатора должна быть достаточной, чтобы выдержать усилие вытягивания и давление жидкой стали. Эта толщина тем больше, чем больше время пребывания корки кристаллизаторе и обычно составляет 10–25 мм, а температура поверхности слитка на выходе из кристаллизатора 900–1250 °С.

В зоне вторичного охлаждения на поверхность движущегося слитка подают распыленную воду и устанавливают опорные устройства – ролики 4 (рис. 2.9), предотвращающие возможное выпучивание корки слитка под воздействием давления столба жидкой стали. Выбор способа охлаждения в этой зоне базировался на опыте, который показал, что при слишком интенсивной подаче охладителя (например, подаче воды струями) из-за переохлаждения поверхности слитка и возникающих при этом термических напряжений в слитке образуются внутренние и сетчатые поверхностные трещины. Поэтому применяют распыленную воду («мягкое охлаждение»). Расход воды уменьшается по мере отдаления от кристаллизатора; его рассчитывают так, чтобы отводилось тепло, выделяющееся при кристаллизации стали, а температура корки во избежание образования трещин снижалась бы от исходной (900–1250 °С в начале зоны) не более, чем до 800–1000 °С в конце, причем в тем меньшей степени, чем выше склонность стали к трещинообразованию.

В зоне вторичного охлаждения отводится основная часть тепла кристаллизации. В зоне вторичного охлажде-

ния теплоотдача от слитка происходит как на излучение, так и на нагрев и испарение воды. На втором участке зоны вторичного охлаждения, где вода непосредственно на слиток не подается, теплоотдача осуществляется на воздухе главным образом путем излучения, а также конвекцией. Длина зоны вторичного охлаждения составляет 80–100% глубины лунки жидкого металла в слитке.

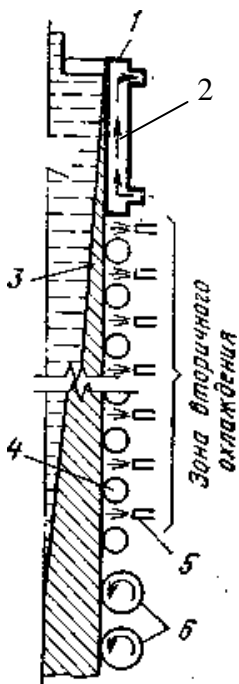


Рис. 2.9. Схема участков активного охлаждения:

1 - кристаллизатор; 2 - лунка жидкого металла кристаллизующейся непрерывной заготовки; 3 - образующаяся корочка; 4 - опорные ролики; 5 - отводы; 6 - тянущие ролики

Разливка стали в слитки на машинах непрерывной разливки, кроме значительной экономии по сравнению с

разливкой в изложницы, так как практически устраняется расход металла на прибыльную часть, дает возможность варьировать профиль непрерывного слитка, что, в частности, позволяет производить его прокатку минуя блюминг или слябинг, т.е. установки непрерывной разливки стали избавляют предприятие от необходимости содержать блюминги и слябинги и дают возможность существенно экономить на потерях металла. Благодаря непрерывному питанию и направленному затвердеванию в слитках, полученных на машинах непрерывной разливки стали, отсутствуют усадочные раковины, вследствие чего выход годных заготовок может достигать 96–98% массы разливаемой стали, поверхность получаемых слитков отличается хорошим качеством, а металл слитка – плотным и однородным строением. Большая степень химической однородности заготовок обеспечивает стабильные механические свойства и повышает надежность работы метал-лоизделий.

На установках непрерывной разливки стали (УНРС) отливают заготовки квадратного сечения (размерами от 50х50 мм до 300х300 мм), плоские слябы (толщиной от 50 мм до 300 мм и шириной от 300 мм до 2000 мм), круглые заготовки (диаметром от 100 мм до 550 мм), из которых получают трубы, сортовой и листовой прокат, поковки.

В среднем в мире > 75% всей производимой стали разливается на УНРС, причем в таких странах, как Япония, Франция, Италия, Испания, США, Великобритания, Южная Корея, непрерывным способом производится более 90% стали. В то же время в Китае этот показатель < 50%, в России – чуть более 40%, в Украине и Польше 13–13,5%.

Существенным недостатком вертикальных УНРС (см. рис. 2.7) является их большая высота – до 45 метров. Поэтому в последние годы все более широко применяют установки радиального типа (рис. 2.10). Общая высота таких установок, как правило, не превышает 12 метров.

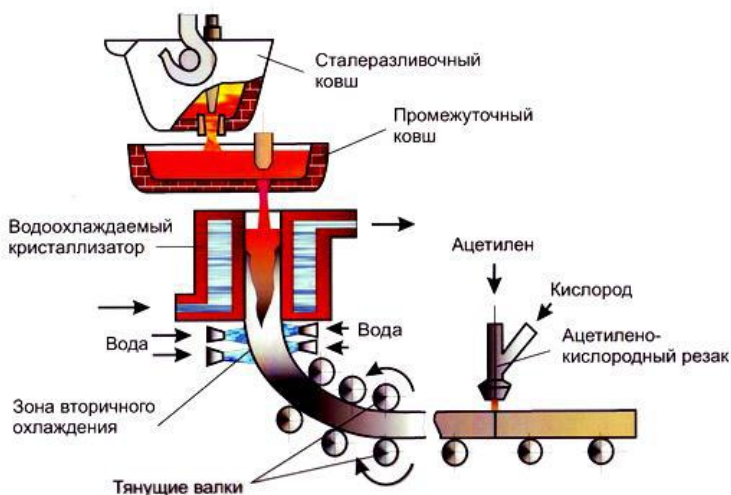


Рис. 2.10. УНРС радиального типа

Конструктивной особенностью УНРС радиального типа является наличие кристаллизатора определенного радиуса, что обеспечивает получение радиальной технологической линии. После затвердевания заготовки осуществляется ее разгиб в горизонтальной плоскости. Следовательно, выдача готовой заготовки на холодильник осуществляется в горизонтальной плоскости.

Преимущества УНРС радиального типа перед вертикальными следующие: меньшая высота машины, высокая скорость разлива, что увеличивает производительность, горизонтальная выдача заготовки на холодильник и

пр. Недостатки таких УНРС относятся, главным образом, к качеству заготовки, которое несколько ниже, чем у вертикальнолитой, что объясняется всплытием неметаллических включений в кристаллизаторе к стенке большего радиуса и возможным появлением внутренних трещин, возникающих при разгибе заготовки. Последнее устраняется путем применения системы многоточечного разгиба. В настоящее время радиальные УНРС используются преимущественно для получения сортовой и блюмовой заготовки.

На рубеже тысячелетий в сталелитейной практике появились первые промышленные УНРС для прямого получения листа, в которых удается исключить из технологической схемы цикл горячей прокатки заготовки. В агрегатах прямой отливки тонкого листа кристаллизатор состоит из двух валков, расположенных непосредственно под пром-ковшом и вращающихся в противоположных направлениях (рис. 2.11). Жидкая сталь при разливке поступает в пространство между валками и при контакте с поверхностью валков кристаллизуется, образуя корочки, которые движутся вместе с поверхностью и выходят из валков в форме листа, толщина которого определяется расстоянием между валками, а ширина – боковыми стенками кристаллизатора. Для отвода выделяющегося тепла валки, изготовленные, как правило, из сплава меди с хромом, охлаждаются водой. В качестве покрытия валков используют различные материалы на основе никеля, хрома или керамики.

Технологическая схема получения тонкого листа с применением двухвалковых УНРС имеет огромный потенциал в части экономии энергетических ресурсов (в 8-10 раз), снижения потерь с окалиной (в 40-50 раз), повышения производительности работы персонала (в 5-10 раз), снижения выбросов парникового газа (в 10-20 раз) при существенном снижении затрат на капитальное строительство, что обеспечивает экономическую мотивацию в части его дальнейшего развития и совершенствования.

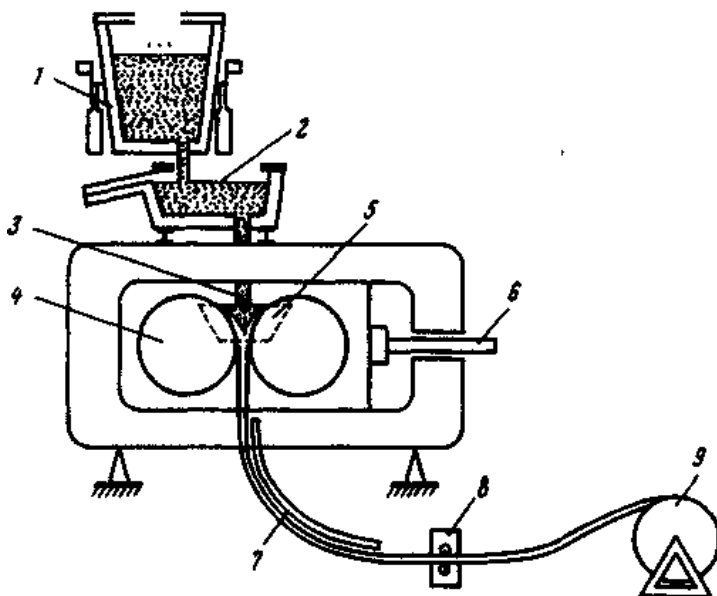


Рис. 2.11. Схема двухвалковой УНРС
прямого получения листа:

1 - ковш; 2 - разливочный узел; 3 - погружной стакан; 4 - валки; 5 - уплотнение; 6 - регулятор нагрузки; 7 - направляющий желоб; 8 - приемные валки; 9 - сматыватель

В металлургической практике уже известны также МНЛЗ, технологическая линия которых расположена горизонтально или наклонена под углом 15–20° к горизонтали (рис. 2.12).

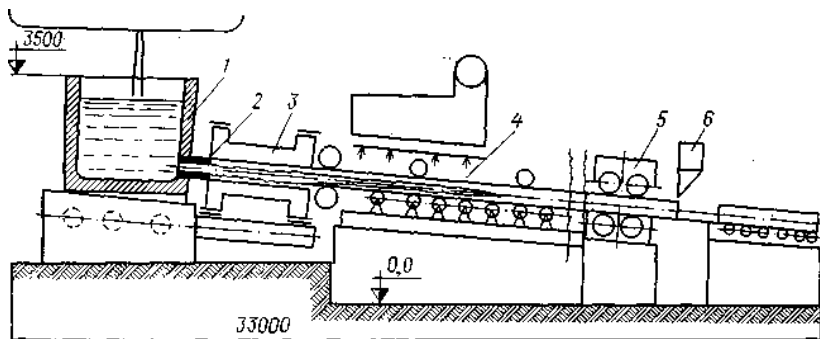


Рис. 2.12. Схема горизонтальной УНРС

Горизонтальная УНРС имеет следующие основные технологические узлы: металлоприемник 1 – емкость, футерованную огнеупорным кирпичом; металлопровод 2 – узел, подающий металл в кристаллизатор, состоящий из металлического корпуса и огнеупорного стакана из нитрида бора, карбида кремния и т. п.; кристаллизатор 3 – медный или комбинированный (медь-графит) холодильник, охлаждаемый водой; зону вторичного охлаждения 4 в виде рольгангов; тянущее устройство 5, обеспечивающее периодическое вытягивание слитка; устройство для резки слитка 6.

Зона вторичного охлаждения представляет собой рольганг с системой водяных форсунок. Далее расположен механизм периодического вытягивания слитка. Механизм перемещает слиток вперед на 20–50 мм, затем воз-

вращается назад, после чего цикл повторяется; во время обратного движения механизма слиток остается неподвижным, либо несколько осаживается назад. Число циклов изменяется от 20 до 100 в минуту. Периодическое вытягивание слитка заменяет качание кристаллизатора, используемое на вертикальных и криволинейных машинах для предотвращения зависания и разрывов корки слитка в кристаллизаторе. За механизмом вытягивания расположена газорезка и рольганг с приводными роликами. Горизонтальные МНЛЗ применяют для отливки сортовых слитков небольшого сечения толщиной менее 150–200 мм; скорость разливки достигает 4 м/мин.

Основные преимущества горизонтальных машин – малая высота, меньшее количество и масса оборудования и, следовательно, меньшая стоимость их строительства.

Горизонтальные УНРС представляются весьма перспективными в части снижения затрат на строительство машины. Они компактны и их удобно размещать в действующих цехах. При этом нет необходимости увеличивать высоту здания или формировать глубокий колодец. Обслуживание такой машины, ремонт и замена основных узлов весьма удобны и просты. Отсутствие деформации заготовки в процессе затвердевания даёт возможность лить горизонтальным способом хрупкие и трещиностойкие стали и сплавы, которые не выдерживают деформации в процессе литья.

Достаточно очевидным представляется и тот факт, что качество заготовки при этом будет значительно ниже вследствие того, что неметаллические включения и пу-

зырьки газа будут всплывать к верхней грани. Такая физическая неоднородность существенно снижает кондиции продукции из заготовки. Кроме того, до настоящего времени на практике не решены полностью вопросы успешного совмещения работы металлоприемника и кристаллизатора (для условий разливки стали). Поэтому в черной металлургии такие УНРС практически не используются. Широкое распространение горизонтальные УНРС получили при разливке цветных металлов и сплавов.

Контрольные вопросы по главе 2.

1. Назовите основные способы разливки стали.
2. В чем заключаются преимущества и недостатки разливки стали сверху в изложницы, сифонной и непрерывной разливки стали?
3. В чем заключаются преимущества и недостатки вертикальных установок непрерывной разливки стали?
4. В чем заключаются преимущества и недостатки горизонтальных и радиальных УНРС?
5. Для каких заготовок применяются радикальные УНРС?
6. В чем заключаются преимущества установок для прямой отливки листа?
7. Опишите основное оборудование для разливки стали сверху в изложницы.
8. Опишите основное оборудование сифонной разливки стали.
9. Почему в черной металлургии практически не используются горизонтальные установки непрерывной разливки стали?

БИБЛИОГРАФИЯ

1. ON THE PROBLEM OF THE THREE-DIMENSIONAL FLOW OF METAL UPON OPEN FORGING / V.A. Belevitin, V.F. Obesnyuk, E.R. Logunova // Russian metallurgy (Metally). 2003. – № 1. – С. 21–25.
2. О ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ ДИАМЕТРОВ ВАЛКОВ И ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ / Р.М. Голубчик, В.К. Воронцов, В.А. Белевитин // Сталь. 1982. – № 8. – С. 64–66.
3. К ПОСТАНОВКЕ И РЕШЕНИЮ ОБЪЕМНОЙ ЗАДАЧИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТОДАМИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МЕХАНИКИ / В.К. Воронцов, П.И. Полухин, В.А. Белевитин, В.В. Бринза // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1976. – № 4. – С. 75–80.
4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКОЙ КАДРОВ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ / С.А. Богатенков, Е.А. Гнатышина, В.А. Белевитин. – Челябинск, Изд-во: Южно-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2017. – 155 с.
5. Белевитин, В.А. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ: учеб. - метод. пособие / В.А. Белевитин, Е.А. Гнатышина, И.Г. Черновол. Челябинск, Изд-во: Южно-Урал. гос. гуман. - пед. ун-та, 2017. – 122 с.
6. МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ: РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ И ЗАЩИТЕ: учеб.-методич. пособие / В.А. Белевитин, Е.А. Гнатышина, И.Г. Черновол. Челябинск, Изд-во: Южно-Урал. гос. гуман.- пед. ун-та, 2016. – 158 с.
7. ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ НА РУБЕЖЕ ВЕКОВ: колл. монография / Е.А. Гнатышина,

- Г.А. Герцог, А.В. Савченков, Л.П. Алексеева, Н.В. Уварина, Е.В. Гнатышина, Н.Ю. Корнеева, В.А. Белевитин. Челябинск, Изд-во: Южно-Урал. гос. пед. ун-та, 2014. – 304 с.
8. Белевитин, В.А. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ: учеб. пособие / В.А. Белевитин / Челябинск, Изд-во: Южно-Урал. гос. пед. ун-та, 2012. – 236 с.
9. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПЛАСТИЧЕСКОГО ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК / А.А. Минаев, В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1990. – № 12. – С. 26–28.
10. БЕСКОНТАКТНЫЙ ОДНОКАНАЛЬНЫЙ ВРЕЯИМ-ПУЛЬСНЫЙ РАСХОДОМЕР ЖИДКОСТИ / А.И. Бражников, В.А. Белевитин, Е.В. Бражникова, Е.Л. Иванов // Метрология. 2004. – № 11. – С. 16.
11. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КОВАННЫХ ВАЛОВ / В.А. Белевитин, Н.И. Бражников // Сталь. 2000. – № 4. – С. 47–48.
12. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ ПОВЫШЕННОЙ ТВЕРДОСТИ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ / А.И. Серов, Е.Н. Смирнов, В.А. Скляр, В.А. Белевитин // Обогащение руд. 2017. – № 3 (369). – С. 15–20.
13. СКВОЗНАЯ ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУПРОДУКТА И ПРЕССОВАННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОФИЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ТИПОВОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОИЗВОДИТЕЛЯ ООО «АЛТЕК» / Е.Н. Смирнов, В.А. Скляр, М.В. Митрофанов, О.Е. Смирнов, В.А. Белевитин, А.Н. Смирнов // Металлург. 2017. – № 10. – С. 49–53.
14. Смирнов, Е.Н. Развитие подходов к исследованию на физических моделях механизмов «залечивания» дефектов

- сплошности осевой зоны непрерывно-литой заготовки / Е.Н. Смирнов, В.А. Склиар, В.А. Белевитин, Р.А. Шмыгля, О.Е. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2016. – Т. 59. – № 5. – С. 322–327.
15. Smyrnov, Y.N. Physical and Computer modeling of new soft reduction Process of continuously cast blooms / Y.N. Smyrnov, V.A. Belevitin и др. // Journal of Chemical Tecnology and Metallurgy, 2015. – 50. – № 6. – P. 12–17.
16. AN ULTRASOUND METHOD FOR CONTROLLING THE QUALITY OF SHAPED FORGINGS / I.P. Belevitina, N.I. Brazhnikov, V.A. Belevitin // Metallurgist. 1996. – Т. 39. – № 10. – С. 198.
19. DEFECT HEALING IN THE AXIAL ZONE OF CONTINUOUS-CAST BILLET / Y.N. Smyrnov, V.A. Skliar, V.A. Belevitin, R.A. Shmyglya, O.Y. Smyrnov // Steel in Translation. 2016. – Т. 46. – № 5. – С. 325–328.
20. PHYSICAL AND COMPUTER MODELING OF NEW SOFT REDUCTION PROCESS OF CONTINUOUSLY CAST BLOOMS / Y.N. Smyrnov, V.A. Belevitin, V.A. Skliar и др. // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2015. – Т50. – №6. – С. 12.
21. Belevitin, V.A. SIMULATION OF THE MACROSTRUCTURE INFLUENCE OF FORGING INGOTS ON THE POTENTIAL CAPABILITIES OF OBTAINING HIGH-QUALITY FORGINGS / V.A. Belevitin, Y.N. Smyrnov, S.Y. Kovalenko, A.V. Suvorov // Metallurgical and Mining Industry. 2016. – № 7. – С. 18–23.
22. CHEMICAL COMPOSITION OF THE CONDITIONED AND NONCONDITIONED NIGNEUVELYSKAYAS CLAY CHELYABINSK REGION / A.A. Sherbakov, M.S. Klepikov, N.F. Solodkii, A.S. Serikov, V.V. Rukavishnikov, V.M.

Zhestkov, Belevitin V.A. // Башкирский химический журнал. 2011. – Т. 18. – № 4. – С. 236–239.

23. Белевитин, В.А. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ: учеб. пособие / В.А. Белевитин. Челябинск, Челяб. гос. пед. ун-т. 2012.

24. Белевитин, В.А. ОПЕРАЦИОННО-ЗАЧЕТНЫЕ РАБОТЫ ПО ОБЩЕСЛЕСАРНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКЕ: сб-к лаб. работ / В.А. Белевитин, А.В. Суворов, Е.П. Меркулов. Челябинск, Челяб. гос. пед. ун-т. 2015.

26. Воронцов, В.К. К ПОСТАНОВКЕ И РЕШЕНИЮ ОБЪЕМНОЙ ЗАДАЧИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТОДАМИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МЕХАНИКИ / В.К. Воронцов, П.И. Полухин, В.А. Белевитин, В.В. Бринза // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1976. – № 4. – С. 75–80.

27. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОЛИТА Н.И. БРАЖНИКОВА / А.И. Бражников, В.А. Белевитин, Ф.И. Бражников и др. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2005. – № 3. – С. 54–56.

28. О МОДЕЛИРОВАНИИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ РАСКАТОВ С НЕРАВНОМЕРНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО СЕЧЕНИЮ НА ПЛАСТИЛИНОВЫХ МОДЕЛЯХ / А.А. Минаев, Е.Н. Смирнов, В.А. Белевитин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1992. – № 4. – С. 57–59.

29. АКУСТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СВОЙСТВ УПРУГИХ И ТВЕРДЫХ СРЕД В ТЕХНИКЕ: монография / Н.И. Бражников, В.А. Белевитин, Е.В. Бражникова. Челябинск, Челяб. гос. пед. ун-т. 2012.

30. Воронцов, В.К. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ПРОКАТЕ КВАДРАТНОЙ ПОЛОСЫ В

ОВАЛЬНОМ КАЛИБРЕ / В.К. Воронцов, Ю.С. Атеф, В.В. Бринза, В.А. Белевитин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1977. – № 5. – С. 101-105.

31. ULTRASONIC CONTROL OF THE FLUID-FLOW VELOCITY WITHOUT N. I. BRAZHNIKOV'S UNDOCKING OF A PIPELINE / A.I. Brazhnikov, V.A. Belevitin, F.I. Brazhnikov, E.L. Ivanov // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2006. – Т. 79. – № 2. – С. 345-353.

32. Belevitin, V.A. PRESSURE TREATMENT OF METALS MONITORING THE THICKNESS OF SUPERTHIN STEEL BY MEANS OF UD2-12 DEFECTOSCOPES / V.A. Belevitin, A.I. Brazhnikov, E.L. Ivanov, A.K. Tarelkin // Steel in Translation. 2006. – Т. 36. – № 1. – С. 40-42.

33. Belevitin, V.A. CONTRIBUTION OF URAL METAL INDUSTRY TO ECONOMICS OF RUSSIA / V.A. Belevitin // Сталь. 2001. – № 9. – С. 125-128.

34. Автомобильные эксплуатационные материалы: сб-к лабор. работ / А.Г. Карпенко, К.В. Глемба, В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во : Челяб. гос. пед. ун-та, 2014. – 104 с.

35. Белевитин, В.А. Материаловедение: неметаллические материалы: учеб. пособие / В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2017. – 109 с.

36. Руднев, В.В. Моделирование ресурсов повышения экологической безопасности крупных городов [Текст]: монография / В.В. Руднев, М.Л. Хасанова, В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2017. – 88 с.: ил.

37. Технология конструкционных материалов: обработка металлов давлением: учеб пособие / В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов. – Челябинск: Изд-во Челябин. гос. пед. ун-та, 2015. – 184 с.: ил.

38. Самойлик, В.Г. Специальные и комбинированные методы обогащения полезных ископаемых: учеб. пособие / В.Г. Самойлик. Донецк: Изд-во ООО «Східний видавничий дім», 2015. – 165 с.
39. Казармщиков, И.Т. Производство металлических конструкционных материалов: учеб. пособие [Текст] / И.Т. Казармщиков. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 247 с.
40. Gafarova, E.A. Modeling educational process optimization in the development of individual creativity by extending modality skills of the learners / E.A. Gafarova, V.A. Belevitin, Y.N. Smyrnov // Mechanics and Advanced Technologies, 2017, № 2 (80). P. 25–30.
41. Белевитин, В.А. Влияние тернарности представления учебной информации на повышение креативности обучающихся / В.А. Белевитин, Е.А. Гафарова, Ю.В. Корчешкина, ОН. Шварцкоп // European Social Science Journal. 2017. – № 6. – С. 194–200.
42. К РЕШЕНИЮ ОБЪЕМНОЙ ЗАДАЧИ СТАЦИОНАРНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА МЕТОДОМ КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ / В.К. Воронцов, П.И. Полухин, В.А. Белевитин, В.В. Бринза // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1976. – № 9. – С. 77–80.
43. MAGNETIC METHOD NONDESTRUCTIVE EXPRESS INSPECTION OF MECHANICAL PROPERTIES / V.A. Belevitin, A.L. Mazurovskij, N.I. Brazhnikov, I.P. Belevitina // Металлург. 1996. – № 11. – С. 34.
44. Белевитин, В.А. Технология конструкционных материалов: производство горячекатаных блюмов и сортовых заготовок: учеб. пособие / Е.Н. Смирнов, В.А. Белевитин, В.А. Скляр, В.В. Кисиль. Челябинск: Изд-во ЧГПУ. 2016. – 188 с.

45. Патент на изобретение РФ №2558701 Слиток для деформирования / В.А. Белевитин, С.Ю. Коваленко, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов.
46. Патент на полезную модель РФ № 156309 Слиток для деформирования / В.А. Белевитин, С.Ю. Коваленко, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов.
47. Патент на изобретение РФ № 2570564 Способ изготовления модельного образца для определения деформаций / В.А. Белевитин, С.Ю. Коваленко, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов.
48. Патент на полезную модель РФ № 163039 Слиток для деформирования / В.А. Белевитин, С.Ю. Коваленко, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов.
49. Патент на изобретение РФ № 2616671 Способ изготовления модельного образца для определения деформаций / В.А. Белевитин, С.Ю. Коваленко, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов.
50. Минаев, А.А. Исследование полей деформации при прокатке овальных заготовок с неравномерным распределением температуры по сечению / А.А.Минаев, В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов, О.С. Савицкий // Известия вузов. Черная металлургия. – 1992. – №6. – С.20–24.
51. Минаев, А. А. Скорость течения металла при прокатке овальных заготовок с неравномерным распределением температуры по сечению / А.А. Минаев, В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1993. – № 11-12. – С. 22-25.
52. Минаев, А. А. Демонотонность пластического формоизменения при прокатке овальных заготовок с неравномерным распределением температуры по сечению / А. А. Минаев, Е. Н. Смирнов, В. А. Белевитин // Известия выс-

ших учебных заведений. Чёрная металлургия. – 1993. – № 6. – С. 34–37.

53. Предотвращение вторичного окисления металла в металлургии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://emchezgia.ru/vakuumnaya/13_predotvrashchenie_okisleniya_metalla.php.

54. Ромашкин, А.Н. Защита металла от вторичного окисления / А.Н. Ромашкин. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://steelcast.ru/shroud>.

55. Белевитин В.А. Строение и свойства конструкционных материалов: учебное пособие / В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во «ЦИЦЕРО», 2017. – 69 с.: с ил.

56. Белевитин В.А. Железородная подготовка производства конструкционных материалов: учебное пособие / В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во «ЦИЦЕРО», 2017. – 61 с.

57. Белевитин В.А. Технология, материалы и продукция доменной плавки: учебное пособие / В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во «ЦИЦЕРО», 2017. – 43 с.: с ил.

58. Белевитин В.А. Технологии и оборудование производства конструкционных марок сталей: учебное пособие / В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во «ЦИЦЕРО», 2017. – 55 с.

59. Валуев, Д.В. Внепечные и ковшовые процессы обработки стали в металлургии: учебное пособие / Д.В. Валуев. – Томск: Изд-во «Томского политехн. ун-та», 2000. – 202 с.

Учебное издание

Белевитин Владимир Анатольевич

**ДИСКРЕТНАЯ И НЕПРЕРЫВНАЯ
РАЗЛИВКА СТАЛИ**

Учебное пособие

Компьютерная верстка В.А.Белевитин

ISBN 978-5-91283-905-4

Подписано в печать 14.12.2017

Формат 60x84/16

Объем 3,10 уч.-изд. л.

Заказ № 866

Тираж 100 экз.

Издательство ЗАО «ЦИЦЕРО»

454080, г. Челябинск, Свердловский пр-т., 60

Отпечатано с готового оригинал-макета

в типографии ЮУрГППУ

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69