

**В.А. БЕЛЕВИТИН**

**ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ  
ПРОИЗВОДСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ  
МАРОК СТАЛЕЙ**



*В. А. Белевитин*

**ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ  
ПРОИЗВОДСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ  
МАРОК СТАЛЕЙ**

Учебное пособие

Челябинск  
2017

ББК 30.3я73  
УДК 620.1 (021)  
Б 43

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

ISBN 978-5-91283-904-7

В учебном пособии приведены сведения о физико-химических основах производства стали, рассматриваются основные способы выплавки стали в современной металлургии: в кислородных конвертерах и в мартеновских печах, а также пути повышения качества стали применением способов внеагрегатной (ковшовой) обработки жидкой стали – синтетическими шлаками или шлаковыми смесями, вакуумом, инертными газами в сочетании с микролегирующими порошками или без них.

Учебное пособие будет полезно для студентов, обучающихся по специальности «Профессиональное обучение (автомобили и автомобильное хозяйство)» получить информацию о части получения сведений о многообразии технологических процессов в металлургии стали.

**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 ЮУрГТК

ISBN 978-5-91283-904-7

© Белевитин В.А., 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. ВЫПЛАВКА УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ МАРОК СТАЛИ.....	5
1.1. Процессы получения стали .....	5
1.2. Конвертирование передельного чугуна при производстве конструкционных марок стали .....	8
1.3. Мартеновский способ получения стали.....	13
Контрольные вопросы по главе 1.....	19
Глава 2. РАФИНИРОВАНИЕ И ДОВОДКА СТАЛИ.....	21
2.1. Внепечная обработка стали в сталеразливочном ковше.....	21
2.1.1. Общие принципы внепечной обработки стали.....	21
2.1.2. Раскисление стали .....	25
2.1.3. Десульфурация стали.....	31
2.1.4. Комбинированные методы внепечной обработки стали и сплавов.....	34
2.1.5. Внепечная обработка стали и сплавов в установке "печь - ковш".....	39
Контрольные вопросы по главе 2.....	46
БИБЛИОГРАФИЯ.....	47

## ВВЕДЕНИЕ

Сталь – это один из самых востребованных и важных конструкционных материалов. Он используется при конструировании транспорта, авиации, в строительстве и других отраслях. Ежегодный спрос на данный материал будет постоянно увеличиваться. Страны с развитой инфраструктурой выступают главными покупателями из-за необходимости урбанизации и индустриализации.

Сегодня производство стали – самого распространенного сплава в промышленности развито достаточно хорошо. Эта отрасль металлургии считается одной из самых сложных и трудоемких.

Производство стали – второй этап двухстадийной схемы извлечения железа из руд путем передела чугуна и металлоотходов в сталь, сочетающей в себе химические и технологические принципы, целый перечень специализированных операций, которые используются для получения качественного металла.

Современный этап развития сталеплавильного производства имеет следующие особенности: внедрение в широкое использование кислородно-конвертерного процесса, широкое использование в целях повышения качества стали способов внеагрегатной (ковшовой) обработки жидкой стали – синтетическими шлаками или шлаковыми смесями, вакуумом, инертными газами в сочетании с микролегирующими порошками или без них. Разработаны и осваиваются также бездоменные процессы получения стали или железа непосредственно из руд и металлоотходов.

## Глава 1

# ВЫПЛАВКА УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ МАРОК СТАЛИ

---

Производство стали – второй этап двухстадиальной схемы извлечения железа из руд путем пирометаллургического передела в сталь чугуна и металлоотходов, последний из которых составляет 2/5 доли железорудного сырья. Разработаны и осваиваются также бездоменные процессы получения стали или железа непосредственно из руд и металлоотходов. Основу пирометаллургического передела чугуна и металлоотходов составляет выплавка углеродистых и легированных марок сталей.

### 1.1. Процессы получения стали

Различия в составе чугуна и стали следующие:

– чугун:

Fe + C (больше 2,14 %) + примеси (S, Si, P, Mn и другие);

– сталь:

Fe + C (меньше 2,14 %) + легирующие добавки (Cr, Ni, V и другие).

При этом примеси в чугуне – это случайные элементы, попадающие в него при доменной плавке. Их состав (в основном это кремний, марганец, фосфор и сера) и количество определяются составом перерабатываемой железосодержащей руды. Для превращения чугуна в сталь необходимо уменьшить в нем содержание углерода, удалить примеси и добавить необходимое количество легирующих

элементов. Легирующие добавки в стали – это строго определенные элементы, добавляемые в заданном количестве в обеспечение необходимых физико-механических, эксплуатационных и др. свойств.

В целом пирометаллургические процессы получения стали из чугуна и металлоотходов включают следующие технологические операции:

1. Окисление углерода и примесей (кремния, марганца, фосфора, серы и др.). Окислителем является кислород, источником которого могут быть: воздух или технический кислород, оксиды железа, кислород, растворенный в металле. Таким же способом окисляются и примеси. Реакции окисления углерода и примесей сильно экзотермичны, и их выделяющегося тепла с избытком хватает для проведения процесса получения стали.

2. Ошлакование окислившихся примесей. Оксиды примесей вступают во взаимодействие с другими оксидами (шлакующими) и образуют состоящий из легкоплавких соединений шлак, который скапливается на поверхности расплавленного металла. Источником шлакующих оксидов являются футеровка агрегата и добавляемые флюсы. Образующийся шлак по мере накопления удаляют с поверхности металла.

3. Раскисление стали. В результате окисления металл насыщается избыточным кислородом и для его удаления (раскисления) в металл после удаления шлака добавляют кремний или алюминий (обычно в виде сплава с железом). Поскольку эти элементы имеют большое сродство к кис-

лоруду, они взаимодействуют с ним, образуют оксиды и шлакуются.

4. Легирование стали. В очищенный металл вводят необходимые легирующие добавки в требуемом количестве. Легирование стали осуществляется введением ферросплавов или чистых металлов в необходимом количестве в расплав. Легирующие элементы, сродство к кислороду которых меньше, чем у железа (Ni, Co, Mo, Si), подаются в печь в любое время, т.к. при плавке и разливке эти элементы практически не окисляются. Легирующие элементы, у которых сродство к кислороду больше, чем у железа (Si, Mn, Al, Cr, V, Ti и др.), вводят в металл в конце плавки после или одновременно с раскислителем, а иногда непосредственно в сталеразливочный ковш.

Все эти процессы обязательны независимо от способа получения стали.

*Продукты сталеплавильного производства:* сталь, шлаки, отходящие газы и пыль.

Основными способами получения стали в России являются: 1) конвертерный (~60 %); 2) мартеновский (~20 %); 3) электропечной (~20 %), каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Конструкционную сталь производят преимущественно конвертерным и мартеновским способами, а инструментальную сталь – электропечным. Сырьем для получения конструкционной стали в конвертерном способе служат передельный чугуны – основной продукт доменного производства, а также металлоотходы. Передельный чугуны подразделяют на три вида:

- Передельный коксовый (марки М1, М2, М3, Б1, Б2).



- Передельный коксовый фосфористый (МФ1, МФ2, МФ3).

- Передельный коксовый высококачественный (ПВК1, ПВК2, ПВК3).

Сырьем для получения конструкционной стали в мартеновском способе служат металлоотходы (скрап, металлолом и пр. металлоотходы).

## **1.2. Конвертирование передельного чугуна при производстве конструкционных марок стали**

Сущность способа конвертирования передельного чугуна состоит в том, что через расплавленный чугун продувают воздух (томазовский и бессемеровский процессы) или технический кислород (кислородно-конвертерный процесс) в обеспечение уменьшения в нем содержания углерода и удаления примесей.

В настоящее время наибольшее распространение получил кислородно-конвертерный способ конвертирования передельного чугуна при производстве конструкционных марок стали, как наиболее прогрессивный, технически более совершенный и экономически более эффективный, имеющий целый ряд преимуществ перед другими способами.

Базовым агрегатом кислородно-конвертерного способа конвертирования передельного чугуна является кислородный конвертер верхнего дутья, представляющий собой грушевидный сосуд – стальную реторту (с открытой верхней горловиной), футерованную огнеупорным кир-

пичом (рис. 1.1). Конвертер имеет цилиндрическую часть, легко заменяемое днище и конусообразную горловину. Рабочее пространство – цилиндрическая часть конвертера крепится в литом, стальном кольце с двумя цапфами. В процессе работы конвертер может проворачиваться на цапфах вокруг горизонтальной оси на  $360^\circ$  при помощи приводных механизмов (спецпривода) для завалки скрапа, заливки чугуна, слива стали и шлака. В районе горловины имеется летка для слива шлака и выпуска стали.

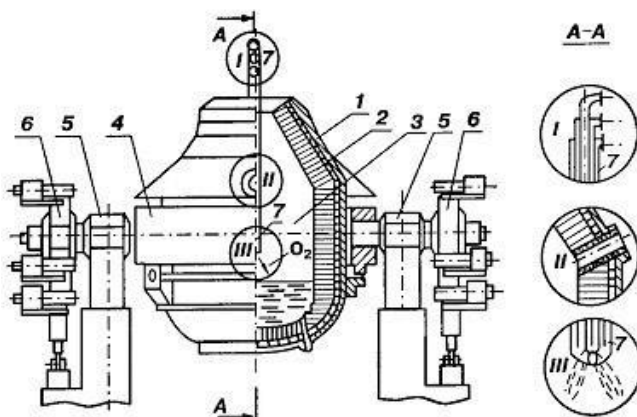


Рис. 1.1. Устройство кислородного конвертера верхнего дутья:

- 1 – корпус; 2 – футеровка; 3 – рабочее пространство конвертера; 4 – опорное кольцо с цапфами и системой крепления в нем корпуса; 5 – опорные узлы и станины; 6 – механизм поворота; 7 – кислородная фурма с системой крепления и перемещения

Кислородно-конвертерный процесс осуществляется в конвертере с основной смолодоломитовой (доломит, смешанный со смолой) футеровкой и с глухим дном.

*Шихтовыми материалами* кислородно-конвертерного процесса являются жидкий перерудельный чугун, сталь-

ной лом (не более 30%), известь для наведения шлака, железная руда, боксит  $Al_2O_3$  и флюсовый шпат  $CaF_2$ , применяемые для разжижения шлака.

Перед плавкой конвертер наклоняют, через горловину с помощью завалочных машин загружают скрап (рис. 1.2, а) и заливают чугун (рис. 1.2, б) при температуре 1250–1400°С.

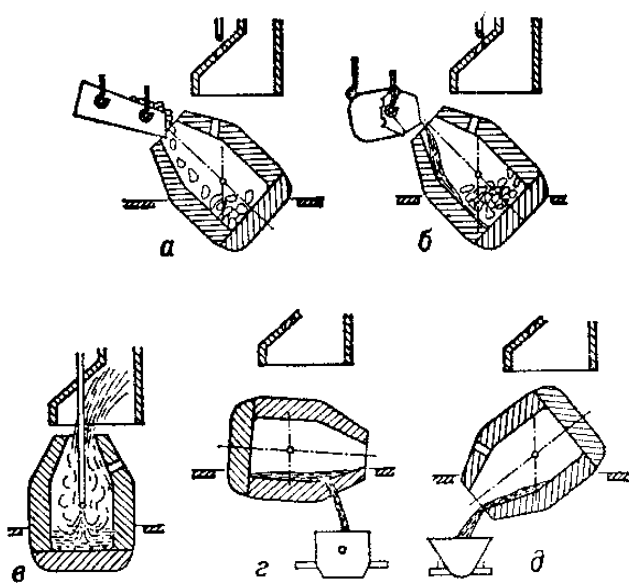


Рис. 1.2. Схема производства стали в кислородном конвертере:  
а - загрузка металлолома; б - заливка чугуна; в - продувка;  
г - выпуск стали; д - слив шлака

Подачу и заливку жидкого чугуна в конвертер производят двумя способами, определяющимися типом применяемых миксеров - стационарных или передвижных.

Металлолом загружают магнитогрейферными кранами в совки, которые взвешивают и устанавливают на скраповоз, подающий их на рабочую площадку или в загрузочный пролет. Металлолом из совков заваливают в конвертер загрузочной машиной.

После завалки металлолома и заливки жидкого чугуна конвертер поворачивают в вертикальное рабочее положение. Внутри его через горловину вводят водоохлаждаемую фурму и через нее подают технический чистый кислород под давлением 0,9–1,4 МПа. Одновременно с началом продувки в конвертер загружают известь (с целью образования основного шлака, связывающего фосфор), боксит, железную руду.

Струи кислорода проникают в металл, вызывает его циркуляцию в конвертере и перемешивание со шлаком. Благодаря интенсивному окислению примесей чугуна при взаимодействии с кислородом в зоне под фурмой развивается температура до 2500 °С. Под воздействием дутья примеси чугуна (кремний, марганец, углерод и др.) окисляются, выделяя значительное количество тепла, в результате чего одновременно снижается содержание примесей в металле и повышается температура, поддерживая его в жидком состоянии.

Течение кислородно-конвертерного процесса (последовательность реакций окисления примесей чугуна) обуславливается его температурным режимом и регулируется изменением количества дутья или введением в конвертер «охладителей» (скрапа, железной руды, известняка). Когда содержание углерода достигает требуемого

значения (количество углерода определяется по времени от начала продувки и по количеству израсходованного кислорода), продувку прекращают и фурму извлекают из конвертера. После этого конвертер поворачивают и выпускают сталь в сталеразливочный ковш, а затем из конвертера сливают шлак. Плавка в конвертерах заканчивается через 25–50 мин.

Полученная сталь содержит в своем составе избыток кислорода, поэтому заключительная стадия плавки – раскисление металла, которое производят в сталеразливочном ковше осаждающим методом.

Кислородно-конвертерный процесс получения стали характеризуется очень высокой интенсивностью (400–500 т/ч стали). Благодаря высокой производительности и малой металлоемкости кислородно-конвертерный способ становится основным способом производства стали.

Применение при конвертировании кислородного дутья вместо воздушного позволило получать сталь с низким содержанием азота (0,002–0,006%). Высокая температура кислородно-конвертерного процесса ведёт к интенсивному окислению углерода, поэтому содержание кислорода, растворенного в металле, снижается до 0,005–0,01%. Расход кислорода на 1 т чугуна при кислородно-конвертерном процессе составляет  $\approx 53 \text{ м}^3$ . При одном и том же качестве стали кислородно-конвертерный процесс по сравнению с мартеновским даёт экономию по капиталовложениям на 20–25%, снижение себестоимости стали на 2–4% и увеличение производительности труда на 25–30%.

Рост производства конвертерной стали сопровождается ростом ёмкости конвертеров. С технологической точки зрения увеличение емкости конвертера не создает каких-либо дополнительных трудностей ведения плавки. Поэтому даже в крупных конвертерах выплавляют не только рядовую низкоуглеродистую сталь, но и среднеуглеродистую, высокоуглеродистую, низколегированную и легированную стали.

Недостатком кислородно-конвертерного способа получения стали является большое пылеобразование, обусловленное обильным окислением и испарением железа. В настоящее время разработаны методы и алгоритмы конвертерного процесса, позволяющие контролировать и регулировать ход плавки.

В кислородных конвертерах выплавляют конструкционные стали с различным содержанием углерода, кипящие и спокойные. Можно выплавлять низколегированные (до 2–3% легирующих элементов) стали, при этом легирующие элементы вводят в сталеразливочный ковш. Сортамент стали, получаемой этим способом, непрерывно расширяется, по качеству кислородно-конвертерная легированная сталь не уступает мартеновской стали и электростали соответствующих марок.

### **1.3. Мартеновский способ получения стали**

Сущность мартеновского способа состоит в том, что чугуны перерабатывают в сталь на поду пламенной отражательной печи. В обычной печи невозможно достигнуть температур, необходимых для получения стали. П. Мартен в

1864 г. во Франции предложил подавать в печь топливо и воздух, предварительно подогретые до  $1100^{\circ}\text{C}$ , используя для подогрева тепло отходящих газов (принцип регенерации тепла отходящих печных газов). Это позволяет поднимать температуру в печи до  $1800^{\circ}\text{C}$ .

Мартеновская печь – это емкость прямоугольной формы, подина, стенки и свод которой футерованы огнеупором (рис. 1.3).

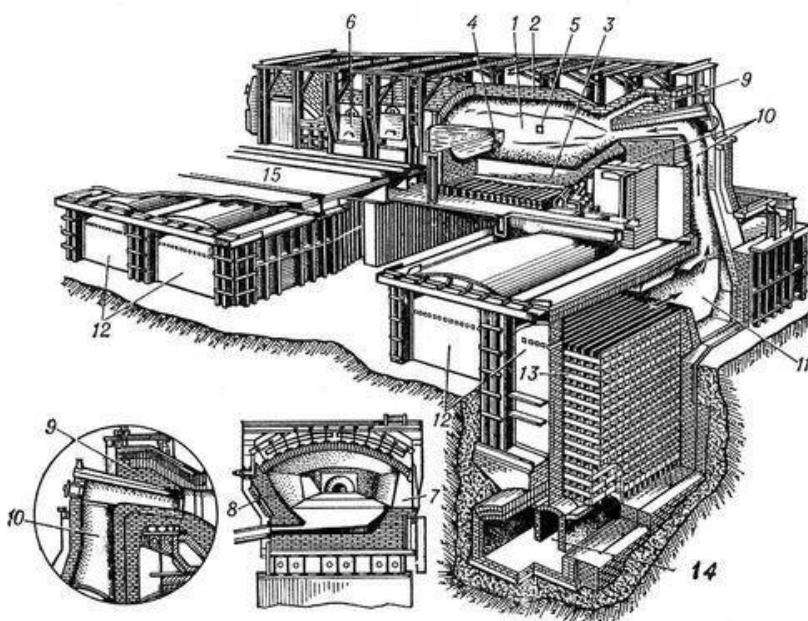


Рис. 1.3. Устройство мартеновской печи:

1 – рабочее пространство; 2 – свод; 3 – подина; 4 – сталевыпускное отверстие; 5 – отверстие для спуска шлака; 6 – завалочные окна; 7 – передняя стенка; 8 – задняя стенка; 9 – головки; 10 – вертикальные каналы; 11 – шлаковик; 12 – регенераторы; 13 – насадка регенераторов; 14 – борова; 15 – рабочая площадка

Современные мартеновские печи отапливают обычно смесью доменного и коксовального (иногда природного или мазута) газов и оборудуют четырьмя регенераторами с насадками. Продукты горения из рабочего пространства печи направляются в одну пару регенерата и нагревают их садку, затем впускаются в дымовую трубу. В это время газовое топливо и воздух подают в печь через вторую пару регенераторов, насадка которых была нагрета раньше. Через некоторое время с помощью автоматически переключающихся клапанов меняется направление входа печных газов и подачи топлива.

Мартеновские печи бывают разной вместимости (10–500 т). Мартеновская печь имеет рабочее пространство, ограниченное снизу подиной, сверху – сводом, а с боков – передней и задней стенками. Загружают в печь твердые материалы через завалочные окна.

Мартеновские печи бывают двух типов – стационарные и качающиеся. Большинство мартеновских печей стационарные. Качающиеся мартеновские печи обычно применяются для переработки фосфористых чугунов, так как при этом требуется несколько раз «скачивать» богатый фосфором шлак, что легче осуществлять на качающихся печах.

Мартеновские печи могут отапливаться жидким (мазутом) или газообразным (природный, смешанный, генераторный газы) топливом. Смешанный газ (коксовый и доменный) и генераторный газ, обладающие недостаточной теплотой сгорания, перед поступлением в рабочее пространство подогреваются в регенераторах примерно



до 1150°С. Природный газ и мазут используются без подогрева. Кислород, служащий для интенсификации горения топлива, вводится через фурмы, помещенные в головках печи, а подаваемый для продувки ванны – через фурмы, опускаемые в отверстия в своде. Некоторое количество топлива может поступать вместе с кислородом в рабочее пространство печи с помощью топливо-кислородных горелок, также опускаемых через свод. Печи, отапливаемые низкокалорийными видами газообразного топлива, имеют две пары шлаковиков и две пары регенераторов (для подогрева газа и подогрева воздуха), располагаемых попарно соответственно под каждой головкой печи; отапливаемые мазутом или природным газом имеют под каждой головкой по одному шлаковику и одному регенератору – только для подогрева воздуха. Несмотря на наличие регенераторов, отходящие газы перед дымовой трубой имеют температуру 400–800 °С. Для утилизации этого тепла за мартеновской печью устанавливают котлы-утилизаторы. Печи оборудованы контрольно-измерительной аппаратурой, позволяющей не только контролировать их работу, но и автоматически поддерживать заданный тепловой режим в различные периоды плавки.

Газ подают в печь по центральному каналу, воздух по двум боковым. Сходясь в рабочем пространстве печи, эти каналы образуют так называемую головку печи, формирующую газовое пламя. Образовавшийся факел направлен на шихту. Факел имеет температуру 1750–1800 °С и нагревают рабочее пространство печи и шихту, в результате чего происходит окисление примесей шихты при

плавке. Для окисления примесей чугуна необходим кислород и, хотя атмосфера в мартеновской печи окислительная, кислорода печных газов недостаточно для ведения процесса окисления. Поэтому необходимым условием мартеновской плавки является присутствие в исходных продуктах железного лома (скрапа), кислород оксидов которого и является окислителем примесей чугуна, если его не хватает, то в шихту добавляют железную руду.

Отходящие газы, имеющие температуру 1500–1600 °С, проходят очистные устройства и направляются в регенератор, где нагревают футеровку (насадку) до 1250–1280 °С. Когда футеровка достаточно нагрета, направление потоков через печь меняется на обратное. Поступающие воздух и газ воспринимают тепло от кирпичей насадки, а отходящие газы нагревают вторую камеру. Таким образом, достигается экономия топлива и повышается рабочая температура.

Использование кислорода для интенсификации работы мартеновских печей приводит к постепенному уменьшению роли регенераторов. В связи с этим в 60-х годах XX века на ряде металлургических заводов были пущены в эксплуатацию так называемые двухванные печи (рис. 1.4), вообще не имеющие регенераторов.

Выпуск стали и шлака из мартеновской печи после завершения плавки проводят через летку в задней продольной стенке печи. На время плавки летку заделывают магнезитовым порошком и огнеупорной глиной.

Мартеновская печь – крупное сооружение и процесс выплавки стали занимает в среднем 12–14 часов. На загруз-

ку печи рудой, металлоломом и чугуном уходит ~ 5 часов, на расплавление – 4 часа и на рафинирование и корректировку окончательного состава стали – еще 3–4 часа.

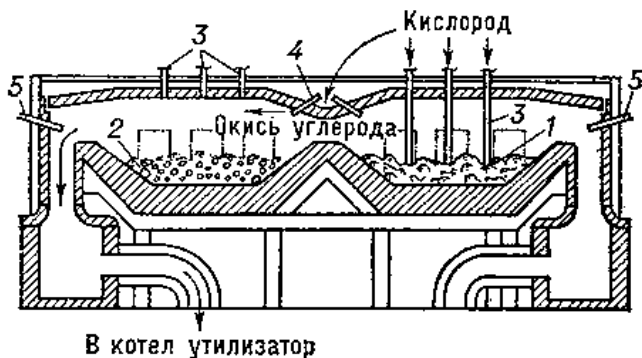


Рис. 1.4. Двухванная сталеплавильная печь:

1 – жидкий металл; 2 – твёрдая шихта; 3 – продувочная фурма; 4 – дожигающая фурма; 5 – резервная топливная горелка

Несмотря на резкое сокращение доли мартеновского металла в общем объеме производства стали, роль мартеновского процесса в черной металлургии многих стран еще достаточно высока. Использование кислорода, природного газа, огнеупоров высокого качества позволяет значительно интенсифицировать мартеновский процесс. Вместе с тем строительство новых мартеновских печей повсеместно прекращено.

Мартеновским способом в основном выплавляют высококачественную углеродистую и низколегированную сталь.

Мартеновский способ получил широкое применение благодаря возможности использования различного сырья и разнообразного топлива. Различают следующие разновидности мартеновского производства в зависимости от используемого сырья: *скрап-процесс* и *скрап-рудный процесс*. При *скрап-процессе*

шихта состоит из 60–70% стального лома и 30–40% твердого чушкового чугуна, эта разновидность процесса применяется на заводах, не имеющих доменного производства. При *скрап-рудном* процессе применяют шихту, состоящую из 20–50% скрапа и 50–80% жидкого чугуна, хранящегося после выпуска из доменных печей в миксерах. Название этого процесса объясняется тем, что для ускорения окисления примесей чугуна в печь загружают красный железняк ~ 15–30% от массы металлической части шихты. Скрап-рудным процессом выплавляется основная масса мартеновской стали, которая идет на изготовление проката.

В современном сталеплавильном производстве для кладки стен и пода печей применяются как кислые, так и основные огнеупоры, этим отличается устройство *основных* и *кислых мартеновских печей*. В *основных мартеновских печах* выплавляют углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества, низко- и среднелегированные. *Кислым мартеновским способом* выплавляют более качественные стали. Стали, выплавляемые в кислых мартеновских печах, содержат меньше водорода и кислорода, неметаллических включений, чем выплавленные в основной печи.

Мартеновский способ получения стали – трудоемкий, длительный процесс (одна плавка занимает 7–14 часов), поэтому в настоящее время вытесняется более прогрессивными конвертерным способом.

### ***Контрольные вопросы по главе 1***

1. В чем сущность процесса передела чугуна в сталь?
2. Перечислите материалы необходимые для производства стали?

3. Что такое стальной скрап? С какой целью его используют при выплавке стали?
4. С какой целью в сталеплавильном производстве используют железную руду?
5. Для чего при выплавке стали используют ферросплавы?
6. Что такое раскисления стали?
7. Назовите три основных процесса происходящих при выплавке стали?
8. Что такое легирующие элементы?
9. Чем отличается кипящая сталь от спокойной?
10. Как нужно осуществлять раскиснение, чтобы выплавить спокойную сталь?
11. Как нужно осуществлять раскиснение, чтобы выплавить кипящую сталь?
12. Перечислите основные способы производства стали?
13. К какому типу печей относится мартеновская печь? Для чего ее используют?
14. Что собой представляет кислородный конвертер?
15. Чем отличается мартеновский способ выплавки стали от кислородно-конверторного?

## Глава 2

### РАФИНИРОВАНИЕ И ДОВОДКА СТАЛИ

---

#### 2.1. Внепечная обработка стали в сталеразливочном ковше

##### 2.1.1. *Общие принципы внепечной обработки стали*

Ограниченные возможности регулирования физических и физико-химических условий протекания процессов плавки стали в сталеплавильных агрегатах, повышение требований к качеству стали, а также необходимость разработки технологии и производства стали принципиально нового качества привели к созданию новых сталеплавильных процессов, соответствующих современному уровню развития техники. Одним из элементов таких технологий является внепечная обработка стали.

Внепечная обработка стали – промежуточный раздел между выплавкой стали и её разливкой. Она позволяет вынести часть процессов рафинирования из сталеплавильного агрегата в сталеразливочный ковш (рис. 2.1), существенно улучшить качество стали (механические свойства, коррозионную стойкость, электротехнические показатели и др.) и получить сталь с принципиально новыми свойствами [1-52].

Повышение качества стали приводит к росту работоспособности машин и конструкций при уменьшении их массы. Важным фактором, обеспечившим этот результат, явилась также возможность гарантированно получать

сталь с узкими пределами содержания элементов, высокой однородностью, низким содержанием включений. Это позволило уменьшить коэффициент запаса прочности, учитываемый при проектировании узлов и агрегатов автомобилей, в частности, с обычных 1,5-3,0 до 1,2-1,4.

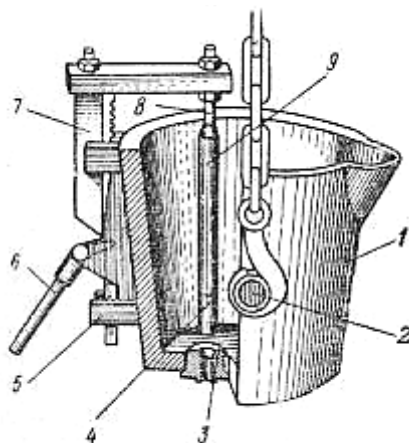


Рис. 2.1. Сталеразливочный ковш

Методы внепечной обработки стали могут быть условно разделены на простые (обработка одним способом) и комбинированные (обработка несколькими способами одновременно). К простым методам внепечной обработки стали относятся: обработка металла вакуумом; продувка инертным газом; обработка стали синтетическим шлаком в ковше; введение реагентов вглубь металла; продувка порошкообразными материалами. Основными недостатками перечисленных простых способов обработки стали являются: необходимость перегрева жидкого металла в плавленном агрегате для компенсации снижения температу-

ры металла при обработке в ковше; ограниченность воздействия на сталь.

Наилучшие результаты воздействия на качество стали достигаются при использовании комбинированных способов внепечной обработки стали, когда в одном или нескольких, последовательно расположенных агрегатах, осуществляется ряд операций. Для их осуществления оказывается необходимым усложнять конструкцию ковша и использовать более сложное оборудование. При решении вопроса о выборе необходимого оборудования определяющим является выбор технологии обработки металла. Несмотря на многоплановость задач, стоящих при решении проблемы повышения качества стали (а значит и повышение качества металлопроката, металлоконструкций) методами вторичной металлургии, используемые при этом технологические приемы немногочисленны и по существу сводятся к интенсификации следующих процессов:

1. Взаимодействия металла с жидким шлаком или твердыми шлакообразующими материалами (интенсивное перемешивание (рис. 2.2), продувкой газом, вдуванием твердых шлакообразующих материалов непосредственно в массу металла, электромагнитное перемешивание и т.п.).

2. Газовыделения (обработка вакуумом или продувка инертным газом, рис. 2.3).

3. Взаимодействия с вводимыми в ковш материалами для раскисления и легирования (подбор комплексных раскислителей оптимального состава; введение реагентов в глубь металла в виде порошков, блоков, специальной проволоки; с использованием патронов, выстреливаемых в



глубь металла; искусственное перемешивание для улучшения условий удаления продуктов раскисления и т.д.; интенсификация процессов массопереноса – обязательное условие эффективности процесса).

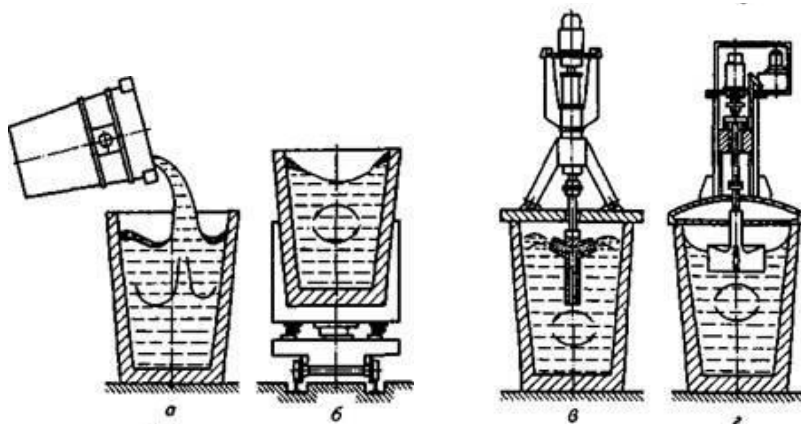


Рис. 2.2. Виды механического перемешивания металла:  
*а* – падающей струей; *б* – вибрационным воздействием;  
*в, г* – с использованием мешалок

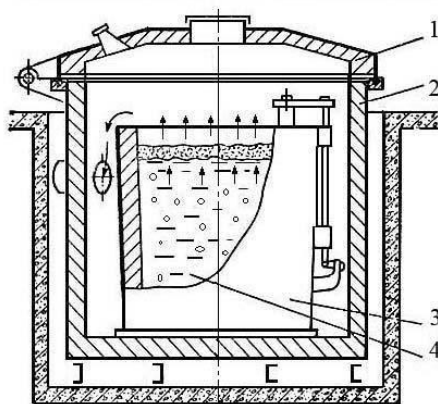


Рис. 2.3. Схема вакуумной дегазации стали  
 в сталеразливочном ковше

### 2.1.2. Раскисление стали

Полученный металл после выпуска из мартеновской печи или конвертера в сталеразливочный ковш содержит растворённый в нём кислород.

Одной из функций, которую выполняет сталеразливочный ковш, это то, что он является агрегатом, в котором осуществляют ряд металлургических процессов (раскисление, легирование, обработка вакуумом, продувка инертным газом, обработка жидкими синтетическими шлаками или твердыми шлаковыми смесями и т.п.).

Раскисление стали в сталеразливочном ковше обусловлено необходимостью снижения активности кислорода. Окислительные условия ведения плавки в сталеплавильных агрегатах, наличие окислительных шлаков, а также взаимодействие металла с атмосферой при выпуске и разливке является предпосылкой к тому, что кислород, растворенный в стали, к моменту ее выпуска из агрегата имеет часто повышенную активность. Технологическую операцию снижения активности кислорода до необходимых пределов называют *раскислением*, а сталь, прошедшую такую обработку, *раскисленной*.

Раскисление – процесс удаления из расплавленных металлов (главным образом стали и других сплавов на основе Fe) растворённого в нём кислорода, который является вредной примесью, ухудшающей механические свойства стали. Для раскисления металла применяют элементы (или их сплавы – ферросплавы), характеризующиеся большим сродством к кислороду, чем основной металл. Так, сталь раскисляют алюминием, который образует

весьма прочный окисел  $Al_2O_3$ , выделяющийся в жидком металле в виде отдельной твёрдой фазы. Для эффективного раскисления металла необходимо, чтобы продукты раскисления не оставались в стали в виде неметаллических включений, представляющих собой главным образом химические соединения металлов с кислородом, серой, азотом и др. неизбежными неметаллическими примесями, присутствующими в виде обособленной фазы. Неметаллические включения ухудшают качество металла, скорость их всплывания на поверхность жидкой ванны зависит от температуры и вязкости металла, плотности включений, интенсивности потоков внутри расплава. Удалению включений благоприятствует присутствие жидкого шлака, ассимилирующего окислы.

Если раскисленная сталь при затвердевании в изложницах ведет себя спокойно, то есть из нее почти не выделяются газы, то такую сталь называют *спокойной*.

Если раскисление не проводить, то в стали при ее постепенном охлаждении в изложнице будет протекать реакция между растворенным кислородом и углеродом металла:



Образующиеся при этом пузыри монооксида углерода  $CO_{г.}$ , выделяясь из кристаллизующегося слитка, приводят к тому, что металл в изложнице интенсивно перемешивается, поверхность его бурлит. Такую сталь называют *кипящей*.

Иногда при раскислении из стали удаляют не весь кислород. Оставшийся растворенный кислород вызывает

кратковременное кипение металла. Такую сталь называют *полуспокойной*.

Достигнутый при раскислении уровень активности (концентрации) кислорода называют *степенью раскисленности*, от которой зависит структура стального слитка (рис. 2.4).

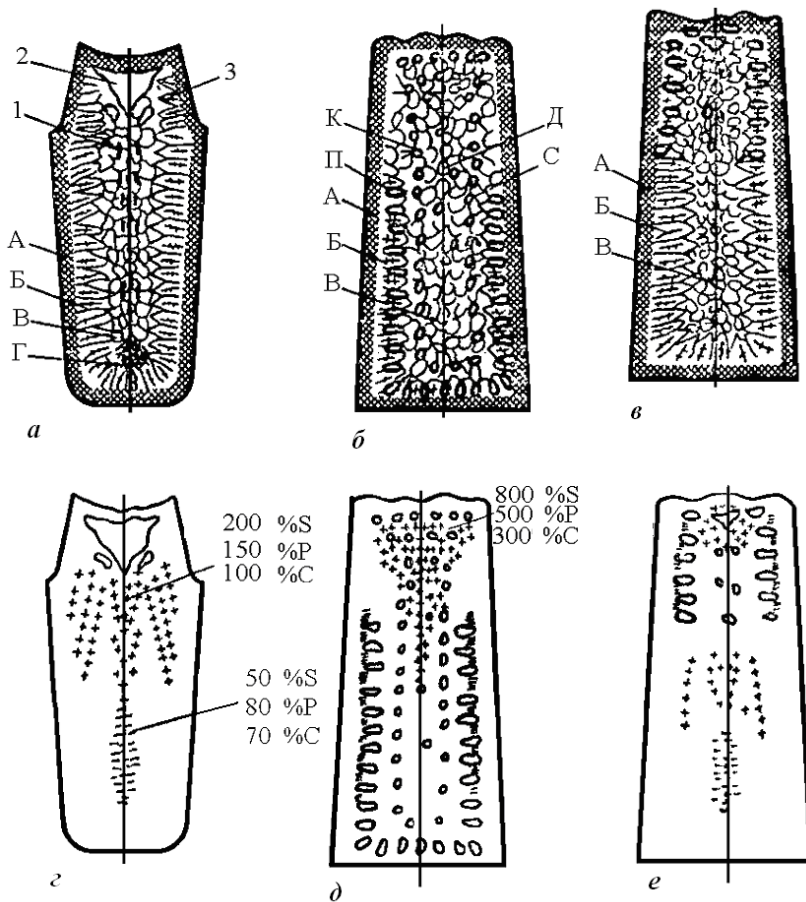


Рис. 2.4. Схематическая структура слитков

Спокойная сталь (рис. 2.4, *a, z*) содержит мало кислорода (рис. 2.5, *a*) и затвердевает без выделения газов, в верхней части слитка образуется усадочная раковина 1, а в средней – усадочная осевая рыхлость. При раскислении спокойной стали уровень окисленности металла существенно ниже равновесного с углеродом. Таким образом, практически всю выплавляемую сталь подвергают раскислению в той или иной степени; при этом активность растворенного в металле  $O_2$  снижается до требуемых пределов. В слитках кипящей стали (рис. 2.4, *б, д*) кислорода в десятки раз больше (рис. 2.5, *z, д*), чем в слитках спокойной стали, усадочная раковина не образуется: усадка кипящей стали рассредоточена по полостям газовых пузырей, возникающих при кипении стали в изложнице. Полуспокойная сталь (рис. 2.4, *в, e*) частично раскисляется в печи и ковше, а частично – в изложнице. Слиток полуспокойной стали имеет в нижней части структуру спокойной стали, в верхней – кипящей, а кислорода у него больше лишь в несколько раз (рис. 2.5, *б, в*), чем в слитках спокойной стали (рис. 2.5, *a*). При раскислении полуспокойной стали обеспечивается снижение окисленности металла до уровня, примерно соответствующего равновесному с углеродом. Чаще всего это обеспечивается введением помимо марганца также определенного количества Si.

Раскисление стали чаще всего обеспечивается введением некоторого количества элементов-раскислителей – марганца в виде ферромарганца, иногда в металл вводят также небольшие количества кремния в виде ферросилиция и др.), так как марганец – сравнительно слабый рас-

кислитель и не обеспечивает снижения окисленности металла до требуемых пределов.

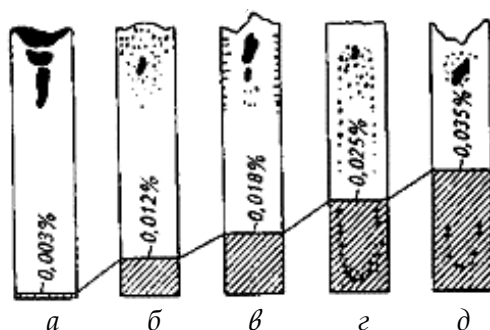


Рис. 2.5. Концентрация в стали слитков:

- 1 - спокойного; 2 - полуспокойного;  
3 - задутого и 4, 5 - кипящего

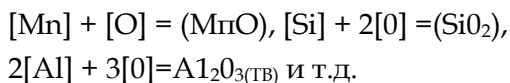
Большее или меньшее количество марганца вводится в металл при раскислении стали многих марок, что объясняется рядом достоинств марганца: 1) положительная роль в борьбе с вредным действием серы; 2) положительное влияние на прокаливаемость стали и ее прочность; 3) малое значение межфазного натяжения на границе «металлообразующее включение  $MnO$ », в результате чего облегчаются условия выделения включений и возрастает скорость раскисления.

Уменьшение активности кислорода в металле может осуществляться либо уменьшением содержания кислорода, либо его связыванием в прочные соединения. Существуют следующие способы раскисления стали: 1) глубинное или осаждающее; 2) диффузионное; 3) обработкой

синтетическими шлаками; 4) обработкой вакуумом; 5) электрохимическое.

Раскисление стали в сталеразливочном ковше с использованием глубинного или осаждающего способа, получившего широкое распространение как наиболее простого и дешевого, заключается в переводе растворенного в стали кислорода в нерастворимый оксид путем введения в металл определенного элемента-раскислителя. Элемент-раскислитель должен иметь большее химическое сродство к кислороду, чем железо. В результате реакции образуется малорастворимый в металле оксид, плотность которого меньше плотности стали. Полученный таким образом «осадок» всплывает в шлак (отсюда название метода «осаждающий»). Этот метод раскисления часто также называют «глубинным», так как раскислители вводят в глубину металла. В качестве раскислителей обычно применяют марганец (в виде ферромарганца), кремний (в виде ферросилиция), алюминий, сплавы редкоземельных металлов (цезия, лантана и др.) и щелочноземельных металлов.

Раскисление стали осуществляется по следующим реакциям:



Все эти реакции идут с выделением тепла. Равновесие реакции осаждающего раскисления сдвигается влево при повышении и вправо при понижении температуры. Практически это означает, что по мере понижения температуры стали (при ее кристаллизации в изложнице, литейной форме) реакции раскисления продолжают идти и

образуются все новые и новые количества оксидов, которые не успевают всплыть и удалиться из металла. В связи с этим при данном методе раскисления невозможно получить сталь, совершенно чистую от неметаллических включений, что является его недостатком.

### 2.1.3. Десульфурация стали

Не менее важной задачей доводки стали перед разливкой является организация такого процесса её рафинирования, как десульфурация – перевода серы (вредной примеси), обладающей неограниченной растворимостью в жидком железе, в соединения, не растворимые в металле и хорошо растворимые в шлаке. Таким соединением является  $\text{CaS}$ .

Процесс десульфурации стали является самой «медленной» технологической операцией внепечной обработки стали, так как он протекает в диффузионной области, скорость взаимодействия ограничена массопередачей веществ в объеме металла или шлака. Железо и сульфид железа образуют низкоплавкую эвтектику (температура плавления  $988\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), которая в присутствии кислорода из-за образования окисульфидов плавится при еще более низких температурах. Межзеренные прослойки (обычно на микрошлифе они имеют вид нитей) фазы, богатой серой, при нагревании металла перед прокаткой или ковкой размягчаются и сталь теряет свои свойства, происходит разрушение металла (*красноломкость*).

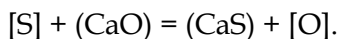


Десульфурацию в сталеразливочном ковше можно проводить двумя способами:

- твердыми шлакообразующими смесями (ТШС) на основе  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Al}$  (например смеси из 10–30% плавикового шпата и извести, а также смеси извести с плавиковым шпатам и глиноземом);

- жидкими синтетическими шлаками (известково-глиноземистым шлаком, например: 52–55%  $\text{CaO}$ ; 40–46%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 3,5%  $\text{SiO}_2$ ; 0,5%  $\text{FeO}$ ; 3%  $\text{MgO}$ ).

Химическая сущность этих способов одна, различие заключается в температуре и расходе материалов. Процесс десульфурации металла в сталеразливочном ковше можно представить уравнением реакции:



Для выплавки синтетических шлаков требуется наличие электродуговой печи, а также наличие в цехе площади для нее и дополнительные расходы на электроэнергию и другие. В тоже время синтетический шлак имеет свои преимущества: кратковременность операции десульфурации во время выпуска стали из печи; стабильность и эффективность получаемых результатов.

Преимущество ТШС – простота и доступность, а недостатки ТШС – нестабильность результатов; снижение температуры металла.

На выбор способа десульфурации влияют организационные и технические возможности в зоне выпуска и в сталеразливочном пролете, где осуществляется десульфурация стали.

Использование ТШС в процессе выпуска в комплексе с донной продувкой инертным газом позволяет достичь наиболее быстрого расплавления и перемешивания образующегося шлака в стали, соответственно и наибольшей степени десульфурации.

Существенное влияние на степень десульфурации оказывает эффективность отсечки печного шлака на сталевыпускных желобах. При отсечке шлака на выпуске металла из печи при помощи специальных выпускных желобов (рис. 2.6) степень десульфурации в 1,75 раза превышает степень десульфурации металла, выпускаемого из печи в сталеразливочный ковш без отсечки.

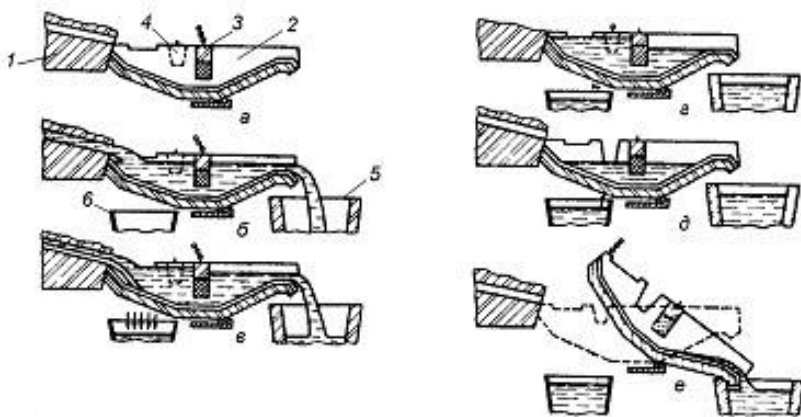


Рис. 2.6. Схема отделения шлака от металла на выпуске из мартеновской печи при помощи качающегося желоба:

- 1 – желоб мартеновской печи; 2 – качающийся желоб;
- 3 – огнеупорная перегородка; 4 – огнеупорная заслонка;
- 5 – сталеразливочный ковш; 6 – шлаковая чаша

Для снижения потерь температуры металла в сталеразливочном ковше, при обработке ТШС, рекомендуется иметь их фракцию не более 30–50 мм.

Одним из эффективных способов уменьшения вредного влияния серы является изменение состава сульфидных неметаллических включений модифицированием при помощи элементов, образующих с серой тугоплавкие соединения, не растворимые в жидком железе. В первую очередь к таким элементам относятся щелочноземельные и редкоземельные металлы.

В настоящее время имеется большой набор научно обоснованных способов десульфурации металла, позволяющих получать практически любое остаточное содержание серы в стали, включая и ультранизкое ( $< 0,005\%$ ). Но использование многих из этих способов, как правило, вызывает чрезмерное повышение себестоимости стали.

#### **2.1.4. Комбинированные методы внепечной обработки стали и сплавов**

Внепечная обработка стали и сплавов комбинированными методами может производиться: в обычном сталеразливочном ковше с футеровкой из шамота и с вертикальным стопором; в сталеразливочном ковше с футеровкой из основных высокоогнеупорных материалов и стопором шибберного типа; в сталеразливочном ковше, снабженном крышкой; в сталеразливочном ковше, оборудованном для вдувания газа или газопорошковой струи снизу, через смонтированные в днище устройства; в агрегате-ковше с крышкой (сводом), через которую опущены электроды,

нагревающие металл в процессе его обработки; в агрегате типа конвертера, с продувкой стали кислородом, аргоном, паром; в агрегате типа конвертера, снабженном оборудованием для вакуумирования расплава (рис. 2.7) и т.д.

Учитывая непрерывно повышающиеся требования к чистоте стали по неметаллическим включениям, содержанию серы и газов, а также однородности крупного слитка все современные цехи оснащены вакуумной техникой-вакууматорами и вакуумными камерами для разливки.

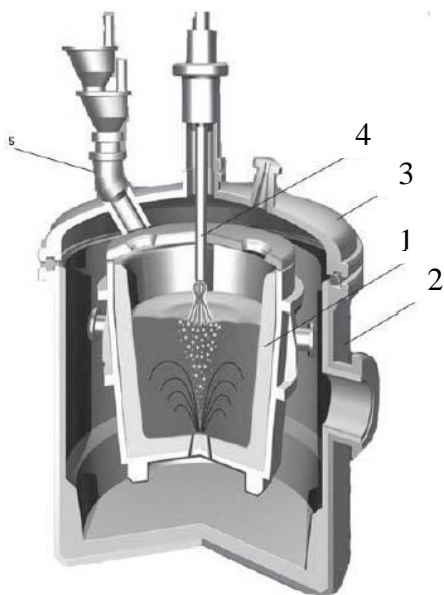


Рис. 2.7. Общая схема камерного вакууматора VD/VOD:

- 1 – сталеразливочный ковш;
- 2 – вакуумная камера;
- 3 – крышка вакуумной камеры;
- 4 – кислородная фурма;
- 5 – устройство для подачи сыпучих под вакуум

Снижение содержания водорода в сталеразливочном ковше – основная цель вакуумирования стали, она является результатом следующих процессов:

1) всплывания гидридных неметаллических включений (в сплавах при содержании в них гидридообразующих элементов);

2) выделения пузырей водорода, зарождающихся вследствие создания условий, необходимых для преодоления сил поверхностного натяжения и ферростатического давления;

3) десорбции газа с открытой (или открывающейся при перемешивании) поверхности зеркала металла, к которой атомы газа перемещаются в результате диффузии или конвекции;

4) десорбции водорода с поверхности пузырей СО внутри их и выноса из жидкого металла в пузырьках СО (в случае образования СО при вакуумировании);

5) десорбции водорода с поверхности пузырей инертного газа внутри и выноса из жидкого металла в случае его продувки инертным газом.

Снижение содержания азота в сталеразливочном ковше при вакуумировании является результатом следующих процессов:

1) всплывания нитридных неметаллических включений в сталях и сплавах, содержащих нитридообразующие элементы;

2) выделения пузырей азота, зарождающихся вследствие создания условий, необходимых для преодоления сил

поверхностного натяжения и ферростатического давления;

3) десорбции газа с открытой (или открывающейся при перемешивании) поверхности зеркала металла, к которой атомы газа перемещаются в результате диффузии или конвекции;

4) десорбции азота с поверхности пузырьей СО внутрь и выноса из жидкого металла вместе с этими пузырями;

5) десорбции азота с поверхности пузырьей инертного газа внутрь и выноса из жидкого металла в случае его продувки инертным газом.

Интенсивное перемешивание металла пузырями выделяющихся при вакуумировании газов, а также продувка инертным газом (азот, аргон) (рис. 2.8) – самым простейшим видом внепечной обработки стали, обеспечивает также удаление в результате флотации части неметаллических включений, «прилипших» к пузырям газа и уносимых вверх, в шлак.

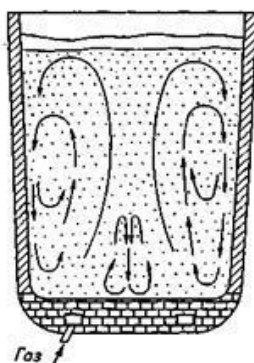


Рис. 2.8. Схема движения газометаллических потоков в ковше при продувке металла через пористые швы днища

Для того чтобы прилипание неметаллических включений к поднимающимся пузырям газа совершилось, необходимо, чтобы смачиваемость газового пузыря неметаллическим включением была лучше (то есть малая величина  $\sigma_{\text{вкл.г}}$ ), чем смачиваемость этим же неметаллическим включением металла (то есть большое значение  $\sigma_{\text{вкл.м}}$ ). В большинстве случаев имеет место именно такое соотношение:  $\sigma_{\text{вкл.г}} < \sigma_{\text{вкл.м}}$ , и газовые пузыри при этом как бы промывают металл, очищая его от неметаллических включений. В результате выделения большого количества газовых пузырей в процессе обработки вакуумом металл перемешивается, становится более однородным, выравниваются его состав и температура. В тех случаях, когда металл содержит повышенные концентрации примесей цветных металлов (свинец, сурьма, олово, цинк и др.), определенная часть их при обработке вакуумом испаряется.

Вакуумной обработке подвергают как нераскисленную, так и раскисленную сталь. Для повышения эффективности вакуумирования применяют перемешивание расплава инертным газом через донные продувочные пробки сталеразливочного ковша, поскольку пузырьки аргона, барботирующие расплав, в значительной мере способствуют ускорению хода реакций обезуглероживания и дегазации. Кроме того, пневматическое перемешивание обеспечивает усиление взаимодействия высокоосновного рафинировочного шлака с металлом, что благоприятствует десульфурации стали и удалению азота. Таким образом, конечный результат в камерном вакууматоре достигается в ходе одной технологической стадии.

### 2.1.5. Внепечная обработка стали и сплавов в установке "печь - ковш"

Внепечная обработка стали и сплавов в установке "печь - ковш" (рис. 2.9) позволяет предотвратить восстановление фосфора из шлака в металл, снизить содержание кислорода (на 40–50 %) и неметаллических включений в металле, уменьшить содержание серы, усреднить (гомогенизировать) металл по химическому составу и температуре, произвести доводку по химическому составу и температуре стали.

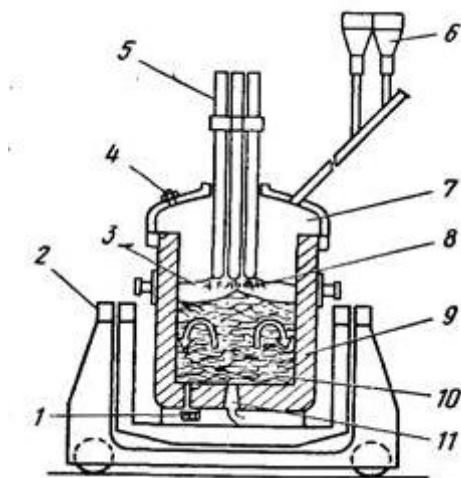


Рис. 2.9. Схема типичная конструкция установки

LF ("печь-ковш"):

1 - шибберный затвор; 2 - тележка; 3 - основной шлак; 4 - смотровое окно; 5- электроды; 6 - бункеры для хранения легирующих добавок; 7 - инертная атмосфера внутри печи; 8 - нагрев погруженной дугой; 9 - жидкая сталь; 10 - перемешивание инертным газом; 11 - пористая пробка



На рисунке 2.10 показан вариант установки типа "печь-ковш", предусматривающий возможность перемешивания металла аргоном под слоем синтетического шлака, вдувание порошкообразных реагентов и подогрев расплава одновременно.

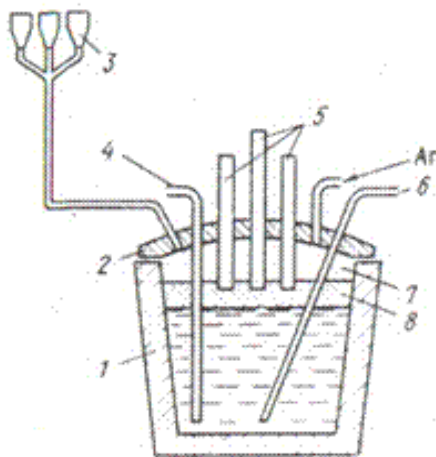


Рис. 2.10. Схема установки AP (Arc-Process):

1 - ковш; 2 - крышка-свод; 3 - бункера для ферросплавов и флюсов; 4 - фурма для подачи в металл аргона или азота; 5 - электроды; 6 - подача аргона; 7 - фурма для вдувания порошка силикокальция в струе аргона; 8 - безокислительная атмосфера; 9 - шлак ( $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ )

Примером комбинированного процесса с обработкой металла вакуумом, продувкой аргоном и синтетическими шлаковыми смесями может служить VAD-процесс. Схема установки представлена на рисунке 2.11. VAD-агрегат состоит из камеры, установленной на самодвижу-

щейся тележке, и вакуумного трубопровода в стационарном своде (а не в корпусе камеры).

Технология проведения операции обработки металла следующая:

1) помещение ковша в VAD-камеру и продувка аргоном в течение 3 мин (без вакуума);

2) отбор пробы металла на химический анализ и перемещение камеры с ковшом на участок скачивания шлака (содержащего  $\text{FeO}$  и  $\text{P}_2\text{O}_5$ ); перемещение камеры с ковшом к VAD-устройству, накрывание сводом и вакуумирование с подогревом (или без подогрева); подогрев осуществляется при помощи электродов, опускаемых через свод;

3) одновременно с вакуумированием наводится присадкой  $\text{CaO}$ ,  $\text{CaF}_2$  и алюминия новый шлак и продолжается продувка аргоном;

4) после 20-25 мин такой обработки под вакуумом производится корректировка химического состава и температуры (электроподогревом);

5) после получения требуемых результатов вакуумирование прекращается, и камера с ковшом транспортируется на разливочную площадку.

Помимо установок LF (см. рис. 2.9) с дуговым подогревом разработаны установки с использованием методов индукционного нагрева (и перемешивания).

Все современные установки типа "печь-ковш" снабжены системой АСУ ТП.

Разработанные и освоенные технологии внепечной обработки в агрегатах типа "печь-ковш" позволяет произ-

водить весь спектр металлургических операций в ковшах различной вместимости:

- скачивание шлака с помощью специальной машины,
- электродуговой подогрев металла трехфазным переменным током со скоростью нагрева до 5 град/мин,
- вакуумирование металла при остаточном давлении до 0,5 ГПа и продувку кислородом в вакууме,
- перемешивание металла в ковше с помощью электромагнитного индуктора и продувку аргоном через дно ковша,
- введение добавок с помощью специальной системы.

Возможность нагрева металла в ковше позволяет: снизить перегрев металла в сталеплавильном агрегате; провести раскисление – легирование с повышенным расходом материалов; обеспечить глубокую десульфурацию металла путем наводки высокоосновного восстановительного шлака. Кроме этого, на такой установке высокоэффективно используется продувка металла аргоном. Эта продувка обеспечивает не только дегазацию металла, но и перемешивание его, благодаря чему ускоряется расплавление присаживаемых в ковш ферросплавов и гомогенизация расплава по химическому составу и температуре, существенно улучшается взаимодействие металла и шлака, т.е. десульфурация металла.

Разработанные методы и устройства контроля окисленности шлака, позволяющие экспрессно определять и регулировать содержание окислов железа непосредственно в шлаковой ванне, определять количество вводимых в

шлак раскислителей с учетом особенностей каждой плавки.

Разработанные технологии обеспечивает возможность получения высококачественного металла, и в т.ч. сверхчистой хромистой стали для современных роторов газовых турбин, которые должны надежно работать при температурах от - 40 °С при пуске до + 500 °С в рабочем режиме и обладать высокой стойкостью против термического старения.

Повышению эффективности использования установки способствуют многие усовершенствования конструкции, особенно в части электронагрева, в том числе обслуживание двух стендов одним трансформатором и одним комплектом электродов с поворотными электроподдержателями (двухпозиционная установка). В части регулирования химического состава металла предусмотрены: продувка металла аргоном через два пористых блока в дне ковша и через погружную фурму; подача в ковш всех материалов, необходимых для наведения шлака, раскисления - легирования и науглероживания металла.

Наиболее важные положения технологии доводки стали на установке "печь-ковш" сводятся к следующему.

Доводка металла на установке начинается с продувки его в течение 1-2 минуты, после чего производится измерение температуры и окисленности металла. С учетом содержания кислорода в металле вводят в него с помощью трайб-аппарата расчетное количество алюминиевой кантики (проволоки), чтобы осуществить предварительное раскисление металла. После этого приступают к наводке

восстановительного шлака, присаживая известь и плавиновый шпат порциями не более 150 кг (общий расход до 10 кг/т). После получения жидкого шлака его раскисляют алюминием, расходуя 0,2-0,3 кг на тонну металла. Наводка шлака продолжается примерно 5 минут.

По окончании наводки шлака через 3 минуты продувки отбирают пробы металла и шлака, измеряют температуру. После получения результатов химического анализа металла производят основную корректировку его химического состава присадкой необходимого количества раскисляющих и легирующих присадок из расчета получения среднего содержания элементов. Затем металл перемешивают не менее 5 минут. После этого снова отбирают пробу металла, по результату ее анализа, если надо, осуществляют дополнительную корректировку химического состава и температуры стали. Высокоактивные элементы в виде порошковой проволоки вводят только после окончания последнего цикла нагрева металла.

Использование данного агрегата для внепечной обработки стали позволяет достичь таких технико-экономических показателей: рост производительности на 20-30%; снижение расхода легирующих и раскислителей в количестве 5-25 кг/т, электродов - 5-6 кг/т, электроэнергии - 5-10%, брака - 50-70%; улучшение экологической обстановки и повышение социальной привлекательности работы в сталеплавильных цехах.

Способы внепечной обработки жидкой стали вакуумом в сочетании с методами внепечного рафинирования представлены на рисунке 2.11.

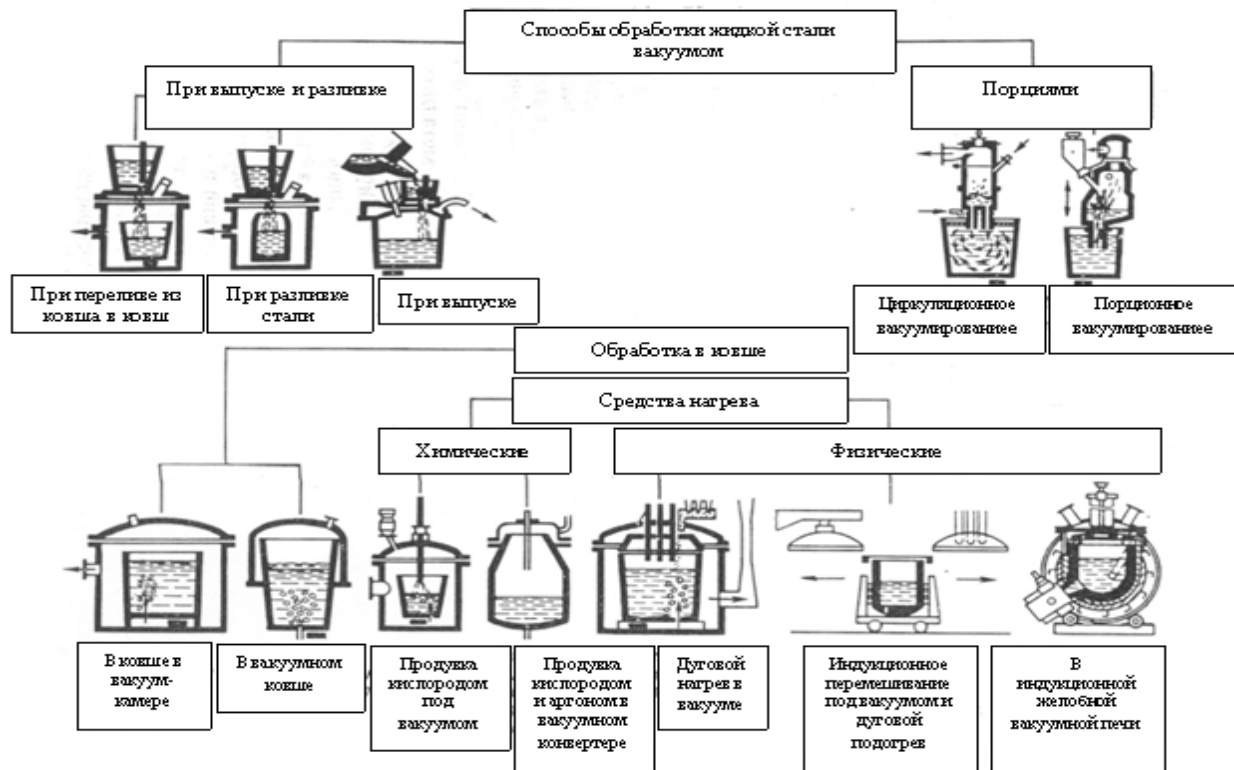


Рис. 2.11. Способы внепечной обработки жидкой стали вакуумом

## Контрольные вопросы по главе 2

1. Основные задачи выпечной обработки расплавов. Методы их решения.
2. Подготовка плавки к выпечной обработке.
3. Продувка стали в ковше инертным газом. Назначение способа.
4. Технология продувки стали инертным газом и применяемое оборудование.
5. Влияние продувки инертным газом на качество стали.
6. Вакуумная обработка стали. Назначение и способы вакуумирования.
7. Удаление неметаллических включений при вакуумировании.
8. Механизм и кинетика углеродного раскисления стали.
9. Вакуумирование в ковше.
10. Вакуумирование стали в ковше с дополнительным подогревом. Процесс VAD.
11. Процесс раскисления стали.
12. Процесс десульфурации стали.
13. Обработка стали порошкообразными материалами.
14. Обработка металла синтетическими шлаками.
15. Технологические схемы комбинированных способов выпечной обработки.
16. Тенденции развития выпечной обработки.

## 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. Гнатышина, Е.А. 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 ВРЕМЯИМПУЛЬСНЫЙ 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. Скляр, 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 NEV 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. – Т 50. – №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 //Издаваемые 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 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 Челяб. 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. Корчемкина, ОН. Шварцкоп // European Social Science Journal. 2017. – № 6. – С. 194–200.
42. К РЕШЕНИЮ ОБЪЕМНОЙ ЗАДАЧИ СТАЦИОНАРНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА МЕТОДОМ КООР-

ДИНАТНОЙ 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. и др. 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 и др.

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 и др.

50. Минаев, А.А. Исследование полей деформации при прокатке овальных заготовок с неравномерным распределением температуры по сечению/ А.А.Минаев, В.А Беле-

витин, 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. Чёрная 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 высших учебных заведений. Чёрная металлургия. – 1993. – № 6. – С. 34–37.

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

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

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

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

Учебное издание

Белевитин Владимир Анатольевич

**ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ  
ПРОИЗВОДСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ  
МАРОК СТАЛЕЙ**

Учебное пособие

Компьютерная верстка В.А.Белевитин

ISBN 978-5-91283-904-7

Подписано в печать 11.12.2017

Формат 60x84/16

Заказ № 867

Объем 3,44 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз.

Издательство ЗАО «ЦИЦЕРО»  
454080, г. Челябинск, Свердловский пр-т., 60

Отпечатано с готового оригинал-макета  
в типографии ЮУрГГПУ  
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69