

**М.М. ПЕКЛИЧ**, зам. гл. конструктора НТК ЧАО  
„АзовЭлектроСталь”, Мариуполь

## ОБЗОР КОНСТРУКТИВНЫХ ПОДХОДОВ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРОВ

*У статті наведено огляд конструкцій кисневих конвертерів. На основі аналізу конструктивних рішень визначено проблемні моменти при формуванні розрахункових схем даних об'єктів.*

*В статье приведен обзор конструкций кислородных конвертеров. На основе анализа конструктивных решений определены проблемные моменты при формировании расчетных схем данных объектов.*

*A review of oxygen converters constructions is presented in the paper. Problem moments in the calculation schemes forming are determined on the base of design solutions analysis.*

**Введение.** Конвертерный (бессемеровский) процесс был первым в истории металлургии способом массового производства жидкой стали. Возникновение конвертерного процесса имело исключительно важное значение для развития техники, поскольку существовавшие до этого малопроизводительные пудлинговый и тигельный процессы не могли удовлетворить потребности развивающегося машиностроения. Сущность процесса, предложенного и разработанного в 1856-1860 гг. в Англии Г. Бессемером, заключалась в том, что залитый в плавильный агрегат с кислой футеровкой (конвертер) чугун продували снизу воздухом. Кислород воздуха окислял примеси чугуна, в результате этого чугун превращался в сталь. Тепло, выделявшееся при реакциях окисления, обеспечивало нагрев стали до температуры 1600°C. В 1878 г. Томасом был предложен способ изготовления основной (доломитовой) футеровки конвертеров. Так возник томасовский процесс переработки высокофосфористых (1,6-2,0% P) чугунов в конвертерах с основной футеровкой. Бессемеровский и томасовский процессы получили широкое распространение, но оба процесса имели значительный недостаток – выплавляемая сталь содержала большое количество (0,01-0,025 %) азота [1].

Метод продувки жидкого чугуна кислородом сверху был впервые предложен и опробован в СССР в 1933 г. инженером Н.И. Мозговым. В дальнейшем в СССР и ряде других стран проводили исследования по разработке технологии нового процесса. В СССР эксперименты в 1936 г. проводили в АН УССР; в 1939 г. они были продолжены на заводе „Станкоконструкция”, (г. Москва) и в 1942 г. на Косогорском металлургическом заводе; в 1945-1953 гг. – в ЦНИИЧМ, на заводах „Динамо”, Мытищенском машиностроительном, Енакиевском и Ново-Тулском металлургических. В 1954-1955 гг. на Ново-Тулском металлургическом заводе в 10-тонном конвертере проведена окончательная доработка технологии выплавки стали с продувкой кислородом сверху. В промышленном масштабе кислородно-конвертерный процесс с верхней продувкой был осуществлен впервые в 1952-1953 гг. в Австрии на заводах в гг. Линце и Донавице, в свя-

зи с чем за рубежом этот процесс получил название процесса ЛД. В СССР промышленное производство стали этим способом было начато в 1956 г. на металлургическом заводе им. Петровского (г. Днепропетровск), в переоборудованных для продувки кислородом сверху 20-тонных бессемеровских конвертерах, и в 1957 г. – в 35-тонных переоборудованных бессемеровских конвертерах металлургического завода „Криворожсталь” [2].

В настоящее время кислородно-конвертерный способ получения стали, представляющий из себя процесс выплавки стали из жидкого чугуна в конвертере с основной футеровкой и продувкой кислородом сверху через водоохлаждаемую фурму, стал ведущим, вытеснив ранее господствовавший мартеновский способ, и обеспечивает выплавку большей части мирового производства стали.

**Анализ конструкций.** Кислородный конвертер (рис.1) представляет собой сосуд 3 грушевидной формы, изготовленный из стального листа и выложенный изнутри основным кирпичом 4, емкостью 130-370 тонн жидкого чугуна. В процессе работы конвертер можно поворачивать на цапфах 5 вокруг горизонтальной оси на 360° для завалки скрапа, заливки чугуна, слива стали, шлака и т. д. Во время продувки чугуна кислородом конвертер находится в вертикальном положении. Кислород в конвертер под давлением 9-14 атмосфер подают с помощью водоохлаждаемой фурмы 1, которую вводят в конвертер через его горловину 2. Фурму устанавливают строго вертикально по оси конвертера. Ее поднимают специальным механизмом, заблокированным с механизмом вращения конвертера так, что конвертер нельзя повернуть, пока из него не удалена фурма [3].

Бурное развитие кислородно-конвертерного производства во второй половине XX века было бы невозможным без создания надежной конструкции большегрузных высокопроизводительных сталеплавильных конвертеров и сопутствующего технологического оборудования. Применение кислородного дутья при выплавке стали позволило существенно интенсифицировать технологический процесс, увеличить массу плавки и, вместе с тем, поставило перед машиностроителями ряд принципиально новых технических задач: обеспечение стойкости и работоспособности тяжело нагруженных конструктивных элементов конвертеров в условиях высоких температур, компенсация значительных термических деформаций крупногабаритных конструкций, разработка компактного и надежного привода, работающего в условиях значительных и резких колебаний нагрузок.

Как отмечалось выше, в 1957 г. в СССР кислородные конвертеры емкостью 35-55 тонн, разработанные и изготовленные на Южно-Уральском машиностроительном заводе (ЮУМЗ), были установлены на Криворожском металлургическом заводе. Конструкция была выполнена аналогичной бессемеровским и томасовским конвертерам и состояла из цельносварного корпуса 3 с отъемным дни-

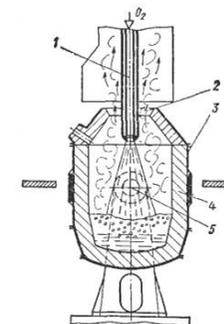


Рис. 1. Устройство кислородного конвертера

шем 9, опорного кольца 5, подшипниковых опор 6, стоек 8 и привода наклона (рис. 2). С помощью двойного ряда кронштейнов и Т-образных вставок с клиньями 4 корпус крепится на опорном кольце, выполненном составным из четырех литых секций, соединенных между собой болтами и цилиндрическими шпонками. Опорные цапфы представляют собой продолжения боковых литых элементов опорного кольца. Привод наклона конвертера содержит два электродвигателя 2, червячный редуктор 1 и две открытых зубчатых передачи 7. Эта конструкция обладала рядом существенных недостатков: ненадежная фиксация корпуса в опорном кольце, значительное трение в подшипниках скольжения, перекоп опорных цапф, неблагоприятные условия работы открытых передач.

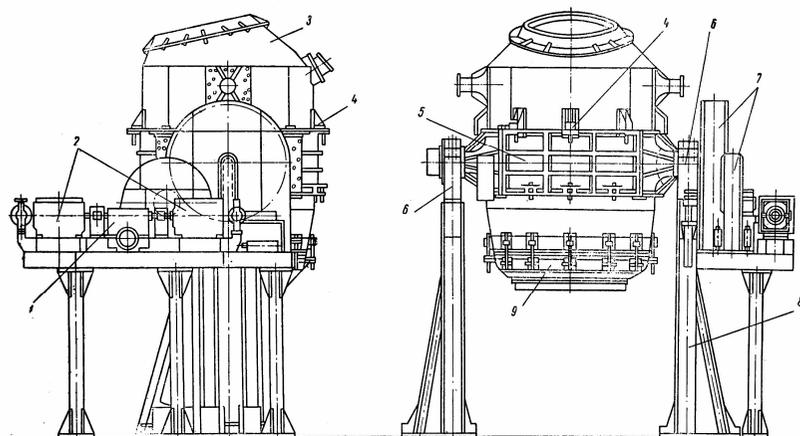


Рис. 2. Первый кислородный конвертер Криворожского металлургического завода:  
1 – редуктор, 2 – электродвигатели, 3 – корпус, 4 – клинья, 5 – опорное кольцо,  
6 – подшипниковые опоры, 7 – привод наклона, 8 – стойки, 9 – днище

Начиная с 1962 года в ЖЗТМ (ныне ПАО „Азовмаш”, г. Мариуполь) были проведены широкомасштабные работы, направленные на совершенствование конструкции конвертеров, методики их расчета, выполнены экспериментальные исследования, результатом которых стало создание в 1965 г. конвертера емкостью 100-130 тонн для МК имени Ильича в г. Мариуполе (рис. 3).

Его отличительная особенность заключалась в отсутствии опорного кольца, а корпус состоял из днища 1, нижней конической обечайки 6, шлема 5, в средней части цилиндрической обечайки 2 были предусмотрены два мощных пояса жесткости 3, между которыми вварены литые секторы с цапфами 4. В опорах цапф были применены сферические двухрядные роликоподшипники, а открытые передачи были заменены редукторами.

Однако основным недостатком конструкции такого конвертера явилось наличие жесткого пояса на корпусе, работающего в условиях высоких температур, что вызвало значительные термические напряжения и, как следствие, остаточные де-

формации корпуса и перекоп цапф [4].

С целью исключения указанных негативных явлений в „Азовмаш” в 1967 г. была разработана конструкция конвертера с корпусом, устанавливаемым с зазором в отдельном опорном кольце с креплением к нему с помощью специальных кронштейнов (рис. 4). Для этого сверху цилиндрической части кожуха приваривают кронштейны 6, с помощью которых корпус опирается на полку опорного кольца 5. Для предотвращения поворота корпуса 7 вокруг вертикальной оси под действием вращательного движения расплава к цапфенным плитам приваривают накладки-фиксаторы 4, которые входят в пазы кронштейнов корпуса. Такая система препятствует также сдвигу верхней части корпуса относительно кольца при наклоне конвертера.

В нижней части крепление корпуса в опорном кольце производят с помощью кронштейнов 6, установленных попарно как на корпусе 7, так и на опорном кольце 5. Учитывая возможность неравномерного расширения корпуса конвертера и опорного кольца, как в вертикальном, так и в радиальном направлениях, контактную поверхность этих кронштейнов выполняют под определенным углом. Величину угла определяют расчетным путем с учетом возможных приращений как высоты, так и диаметра под действием температурных расширений. В связи с различным расширением корпуса и кольца в процессе эксплуатации для ликвидации появления возможных зазоров кронштейны кольца выполнены регулируемые. Такая система крепления корпуса в опорном кольце обеспечивает достаточно точную его фиксацию и их свободную деформацию относительно друг друга. Указанное крепление корпуса в опорном кольце посредством кронштейнов было применено в конвертерах емкостью 250 тонн, изготовленных ПАО „Азовмаш” и установленных на Карагандинском металлургическом комбинате (рис. 5) [5].

Подобное техническое решение позволило значительно снизить температурные напряжения в оболочке корпуса и исключить влияние деформации корпуса на соосность цапф. Однако в процессе эксплуатации было выявлено, что в результате многократных температурных изменений размеров корпуса наблюдается интенсивный износ сопряженных деталей и появление ударов при наклоне конвертера; на оболочку корпуса действуют

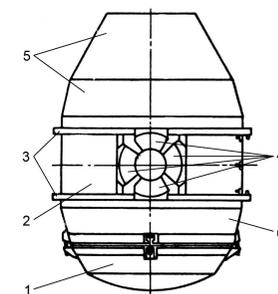


Рис. 3. Конструкция корпуса конвертера для МК им. Ильича:  
1 – днище, 2 – средняя цилиндрическая обечайка, 3 – пояс жесткости, 4 – литые сектора для крепления цапфы, 5 – шлем, 6 – коническая обечайка

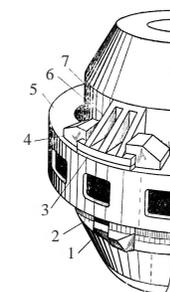


Рис. 4. Крепление корпуса конвертера к опорному кольцу посредством кронштейнов: 1, 4 – фиксаторы боковых смещений, 2 – опоры, 3 – плита, 5 – опорное кольцо, 6 – кронштейн, 7 – корпус

значительные нагрузки, вызванные трением скольжения в деталях крепления, что способствует образованию трещин в корпусе; система является статически неопределимой, что обуславливает появление не поддающихся учету местных напряжений и значительную трудоемкость при монтаже.

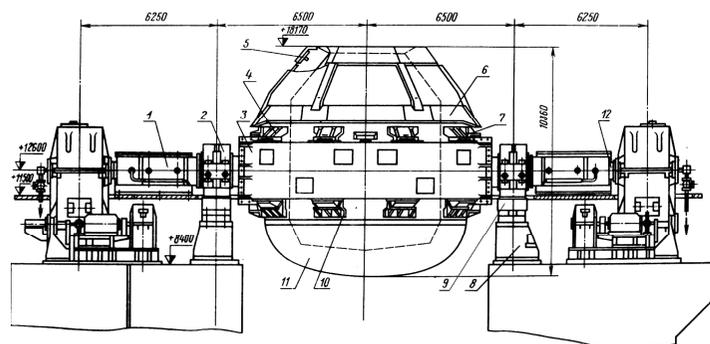


Рис. 5. Общий вид конвертера емкостью 250 тонн (Карагандинский металлургический комбинат)

- 1 – привод наклона,
- 2 – опоры,
- 3 – опорное кольцо,
- 4 – верхние кронштейны,
- 5 – шлем,
- 6 – защитный кожух,
- 7 – боковые кронштейны,
- 8 – станины,
- 9 – рама,
- 10 – нижние кронштейны,
- 11 – корпус

По результатам эксплуатации конвертеров такой конструкции была выявлена необходимость создания подвески корпуса в опорном кольце, обладающей долговечностью и надежностью при различных углах поворота корпуса, не создающей дополнительных динамических нагрузок на элементы привода. Важной задачей было обеспечение надежной работы подшипниковых узлов, работающих в тяжелых условиях и испытывающих значительные нагрузки. Другая серьезная проблема, возникающая при эксплуатации конвертеров, была связана со значительными динамическими нагрузками в элементах привода наклона вследствие значительных неуравновешенных масс, больших зазоров в шпинделях, ударов в элементах крепления корпуса и неустановившегося режима работы с резким торможением и реверсированием. При этом привод наклона, работающий в условиях высоких температур и запыленности, испытывал дополнительные нагрузки вследствие перекоса цапф и нуждался в коренной переработке. Было необходимо обеспечить требуемую точность остановки, уменьшить динамические нагрузки, свести до минимума упругие колебания и при этом существенно уменьшить габариты привода [6].

Поэтому в 1973 г. в отечественной практике появилась система крепления корпуса в опорном кольце на меридиальных тягах (рис. 6). В основу этой системы были положены новые решения, заключающиеся в следующем: учитывается наличие температурного градиента в корпусе и опорном кольце; система подвески корпуса в кольце обеспечивает его самоустановку независимо от наличия температурных и силовых деформаций; крепление исключает передачу на опорное кольцо нагрузок, возникающих при деформации корпуса; система крепления предусматривает расположение всех несущих элементов в сравнительно низко-

температурных участках корпуса конвертера 2 и кольца 3, имеющих незначительный градиент температур по ходу кампании конвертера.

Таким участком является район перехода корпуса из цилиндрической в сферическую. Этот участок кожуха усилен специальным несущим поясом 8, представляющим собой ряд горизонтальных дугообразных бандажей, охватывающих корпус конвертера по всему периметру. В несущем поясе закреплены три кронштейна 7, расположенные относительно друг друга под углом  $120^\circ$ .

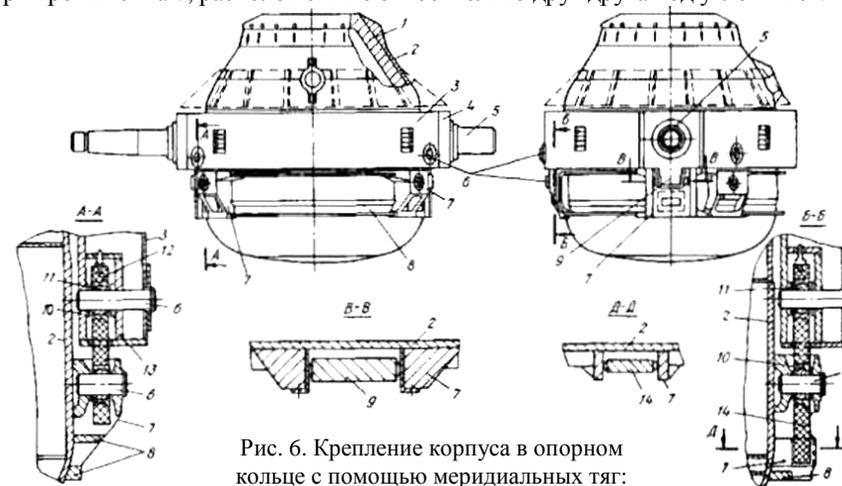


Рис. 6. Крепление корпуса в опорном кольце с помощью меридиальных тяг:

- 1 – футеровка, 2 – корпус, 3 – опорное кольцо, 4 – цапфенная плита, 5 – цапфа, 6 – пальцы,
- 7 – кронштейны несущего пояса, 8 – несущий пояс, 9 – упор цапфенной плиты, 10 – вкладыш шарнира,
- 11 – шарнир, 12 – тяга, 13 – усиление опорного кольца, 14 – фиксированная тяга

В опорном кольце (на его нижней полке) сделаны специальные усиленные участки с гнездами 13, расположенными над кронштейнами 7 несущего пояса 8. В гнездах и кронштейнах с помощью пальцев 6 и сферических шарниров 11 крепят тяги 12, получившие названия меридиальных тяг. С помощью трех таких тяг корпус конвертера подвешивают к опорному кольцу. Наличие шарнирно закрепленных меридиальных тяг позволяет конвертеру свободно самоустанавливаться в опорном кольце. Для фиксации конвертера в плоскости поворота относительно опорного кольца и передачи вращающего момента корпусу конвертера в цапфенных плитах 4 устроены специальные выступы 9, называемые упорами, которые входят в пазы кронштейнов, сваренных в несущий пояс 8.

Такая система крепления успешно эксплуатировалась на отечественных конвертерах любой емкости, обеспечивая хорошую стойкость как корпуса, так и кольца. Однако опыт эксплуатации этой системы крепления показал, что нагрузка в опорном кольце распределяется неравномерно. Нижняя полка кольца испытывает большие напряжения, чем верхняя, что приводит к повышенной его деформации, поэтому проблема крепления корпуса в опорном кольце осталась нерешенной [7].

В конце 70-х годов специалисты ОАО „Азовмаш” разработали систему крепления корпуса конвертера к опорному кольцу с помощью вертикальных шпилек [8]. В этом случае (рис. 7), корпус 1 крепится в четырех точках, равномерно распределенных по окружности. Верхний конец шпильки 7 закреплен на верхней полке опорного кольца 6, а нижний ее конец зафиксирован в несущем поясе 3 корпуса конвертера 1. Верхний и нижний узлы крепления, для компенсации температурных поводов, выполнены „плавающими” при помощи сферических вкладышей 9.

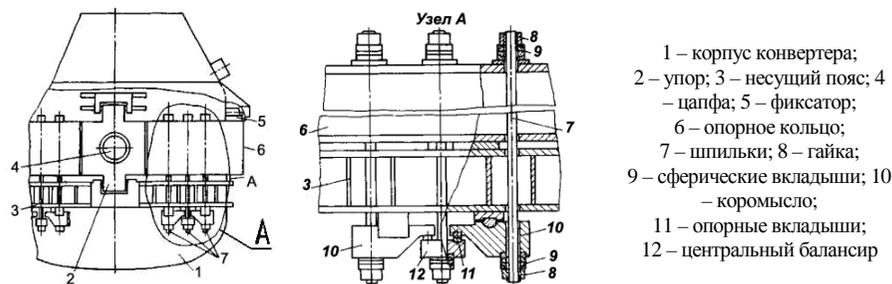


Рис.7. Крепление корпуса в опорном кольце с помощью шпилек

Большая длина шпилек также способствует компенсации различных упругих деформаций. С ростом вместимости конвертеров возрастающая нагрузка на шпильки компенсируется не увеличением их диаметра, что может привести к ослаблению несущей способности кольца, а увеличением их количества. При установке в одном узле нескольких шпилек, для их равномерной нагрузки на участке контакта шпильки с несущим поясом, устанавливается специальное балансирующее устройство 12. Оно выполнено в виде двух коромысел 10 и позволяет сравнительно равномерно распределять нагрузки на все тяги.

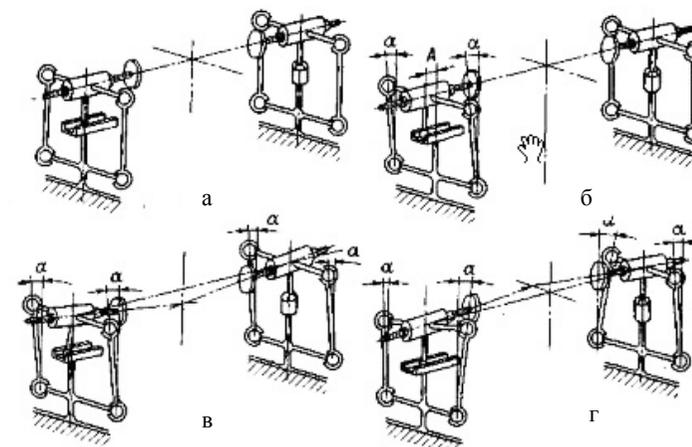
Удержание конвертера в плоскости поворота обеспечивается упорами 2, расположенными в цапфенных узлах 4. Для более равномерной нагрузки на корпус конвертера упоры 2 располагаются как на нижней, так и на верхней плоскостях цапфенных узлов, и соответственно так же расположены на корпусе конвертера кронштейны для фиксации упоров. Для предотвращения сдвига конвертера вдоль оси цапф на верхней и нижней полках опорного кольца в плоскости, перпендикулярной повороту конвертера, устанавливаются фиксаторы 5, которые входят в соответствующие пазы кронштейнов, установленных на корпусе конвертера.

Схема работы опорных узлов при подвеске корпуса в опорном кольце с помощью шпилек показана на рис. 8. Первые конвертеры такой конструкции были спроектированы, изготовлены и поставлены на ОАО „ЗапСиб” и Череповецкий МК „Северсталь” (рис. 9).

Современные кислородные конвертеры новой конструкции емкостью 5, 50, 100, 130, 160, 300, 350, 370 тонн, разработанные ПАО „Азовмаш”, представляют собой единый типоразмерный ряд, характеризующийся высоким уровнем технических решений: для поворота конвертера применен многодвигательный навесной привод поворота, обладающий высокой надежностью на всех режимах рабо-

ты конвертера [9]; конструкция привода позволяет быстро заменить отдельные узлы без простоя конвертера; специальная конструкция подшипниковых опор конвертера обеспечивает их высокую грузоподъемность и компенсирует угловые перекосы цапфы, допускает ее линейные перемещения при тепловом расширении; горловина конвертера выполнена в виде литого массивного шлема, обладающего необходимой прочностью и жесткостью, предотвращающего температурные деформации корпуса.

Рис. 8. Схема работы опорных узлов при нормальном расположении цапф (а), при тепловом расширении опорного кольца (б), при вертикальном (в) и горизонтальном (г) перекосе цапф



Наряду с вышеперечисленным перечнем преимуществ конвертеров нового поколения необходимо также отметить, что корпус конвертера и опорное кольцо имеют самый низкий ресурс эксплуатации по сравнению с другими узлами (см. таблицу).

**Заключение.** Анализ показывает, что наиболее

сложными и ответственными узлами конвертера являются его корпус и опорное кольцо. Это обусловлено тем, что в процессе эксплуатации в корпусе конвертера постоянно возникают знакопеременные напряжения, определяемые сложной комбинацией нагрузок от веса металлоконструкций, футеровки, жидкого металла и шлака, реакцией кронштейнов, теплового расширения огнеупорной кладки, а также вследствие наличия неравномерного температурного поля в самом кожухе.

Опорное кольцо работает в еще более тяжелых условиях, так как одновременно подвержено силовому воздействию от веса корпуса с шихтой, крутящих моментов на цапфах и неравномерному тепловому воздействию от излучения

Таблица

Наименование узла	Ресурс эксплуатации	
	Назначенный ресурс (мес.)	Достижимый ресурс (мес.)
Шлем	24	42
Корпус конвертера	80	125
Кольцо опорное	80	160
Система крепления	120	160
Опоры подшипниковые	120	180
Привод поворота	120	180

