

А.А.ПАВЛОВА, канд. техн. наук, Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков

ПРОБЛЕМЫ УНИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НАГРЕВА

Розглянута можливість уніфікації проектування процесів складання з нагрівом на основі типових технологічних циклів складання при використуванні нагріву і уніфікованих (групових) складальних операцій.

Possibility of unification of planning of assembling processes with heating on the basis of model technological cycles of assembling at the use of heating and compatible (group) assembling operations is considered.

Введение. Одной из основных задач современного машиностроительного производства является совершенствование технологии сборки с максимальной автоматизацией как самих процессов, так и их проектирования. Успешному ее решению в значительной степени способствует разработка групповых технологических процессов сборки (ГТПС). ГТПС – процесс, характеризующийся общностью технологии сборки. Отсутствие соответствующих технологических классификаторов соединений при многообразии их конструкций не дает возможности разрабатывать ГТПС. Поскольку основным этапом сборки является соединение деталей теми или иными технологическими методами, разработка ГТПС должна быть построена на группировании отдельных видов соединений, т.е. путем их унификации.

1. Унификация сборочных циклов. Унификация ТП – это комплекс работ, включающий: систематизацию и анализ возможных технологических решений при изготовлении изделий каждой классификационной группы; проектирование оптимального для данных производственных условий процесса изготовления изделий каждой классификационной группы с решением одновременно всего комплекса технологических задач.

Основным методом унификации ТП следует считать метод технологической последовательности, в основе которого лежит общность элементов технологических процессов (операций, переходов), определяющих рациональные условия организации производства [1].

Разработка типовых и групповых ТП должна базироваться на использовании научно-технических достижений и рационального использования материальных и трудовых ресурсов производства с учетом конкретных производственных условий.

Порядок образования соединения и степень дифференциации процесса определяют возможные структуры ТПС. Высокая дифференциация позволяет увеличить количество одновременно нагреваемых деталей, выполнять

подборку составных соединений, тем самым сокращая сборочный цикл. Но это связано с большим числом нагревателей, транспортных средств, сборочной оснастки, увеличением производственных площадей и количества рабочих.

ТПС любой сборочной единицы в зависимости от ее сложности и конкретных производственных условий может состоять из одной или нескольких операций нагрева деталей, их подачи и сборки в соединение. При групповом ТПС эти операции являются унифицированными и в совокупности составляют групповой технологический процесс.

Унифицированная операция нагрева представляет собой группу переходов по установке детали в нагреватель, ее закреплению, нагреву, раскреплению и съему. Унифицированные операции сборки могут различаться в зависимости от того, какая из деталей является базовой, в каком положении она базируется, одновременно или последовательно устанавливаются на охватываемую деталь охватывающие. С учетом этих технологических особенностей можно классифицировать групповые технологические процессы по следующим трем основным отличительным признакам:

- базирование деталей (базовой деталью является вал или втулка);
- положение основной оси деталей при осуществлении сопряжения (горизонтальное или вертикальное);
- последовательность сборки (односторонняя насадка втулки на вал, одновременная установка втулок на вал с двух сторон или последовательная установка с соответствующей кантовкой вала, установка вала во втулку);
- направление присоединения подвижной детали (при вертикальной сборке: сверху или снизу).

Указанные признаки охватывают сборку всех соединений с натягом, поскольку многоэлементные соединения можно представить как совокупность двух- и трехэлементных.

Такт выпуска изделия определяется самой длительной группой переходов, производимых либо на позиции термовоздействия, либо на позиции сборки. Обозначим время ориентации, установки и нагрева (или охлаждения) деталей, совершаемых на позиции термовоздействия, через $\Sigma\tau'$, а суммарное время, затрачиваемое на установку, ориентацию деталей, их сборку, крепление и съем собранного узла, через $\Sigma\tau$. Тогда, очевидно, следует соблюдать соотношение

$$\tau_{\text{тк}} \geq \Sigma\tau \geq \Sigma\tau'. \quad (1)$$

Длительность операции термовоздействия и перехода по креплению изделия часто больше длительности машинных операций и переходов, вместе взятых. Ее можно сократить, выбрав рациональные конструкции нагревательных и охлаждающих устройств, используя несколько устройств для термовоздействия одновременно, а также применив принудительное

охлаждение (или прогрев) собранного соединения.

Для двухэлементного соединения цикл сборки

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_{\text{т}} + \tau_{\text{тр}} + \tau_{\text{с}}, \quad (2)$$

где $\tau_{\text{т}}$ – время установки в устройство для термовоздействия, нагрев (охлаждение) и съем детали (длительность загруженности позиции термовоздействия); $\tau_{\text{тр}}$ – время транспортирования детали, подвергнутой термовоздействию (загруженность транспортного средства); $\tau_{\text{с}}$ – время ориентирования, скрепления соединения, а также съема его со сборочной позиции (загруженность позиции сборки).

Для многоэлементного соединения, собираемого с нагревом, когда на охватываемую деталь устанавливается несколько охватывающих, в свою очередь являющихся соединениями (обандаженное колесо рельсового транспорта, шестерня с зубчатым венцом и др.), существенным является последовательность выполнения операций и переходов, а также количество единиц нагревательного, сборочного оборудования и транспортных средств.

Если многоэлементное соединение простое (нет охватывающих вал соединений), то ТПС расчленяется на ряд последовательных сборок охватываемой детали с одной или одновременно несколькими одинаковыми охватывающими – одновременная насадка двух колес на ось, фланцев на вал и т.д. Цикл сборки каждого соединения рассчитывается по формуле. Например, зубчатое колесо, посаженное на вал, отдает ему тепло, вследствие чего вал расширяется, и устанавливаемые далее на него подшипники и фланцы должны иметь избыточную температуру, компенсирующую это увеличение размеров.

Если используется один нагреватель, одно транспортное средство и одно сборочное устройство, то, в зависимости от соотношения между собой длительности времени $\tau_{\text{т}}$, $\tau_{\text{тр}}$, $\tau_{\text{с}}$, цикл будет определяться следующим образом.

При выполнении для каждой двухэлементной сборки многоэлементного соединения соотношения $\tau_{\text{т}} > [\tau_{\text{тр}}, \tau_{\text{с}}]$ цикл будет равен

$$\tau_{\text{ц}} = \Sigma \tau_{\text{т}} + \tau_{\text{трj}} + \tau_{\text{сj}}, \quad (3)$$

где $\Sigma \tau_{\text{т}}$ – суммарное время загрузки нагревателя; $\tau_{\text{трj}}$, $\tau_{\text{сj}}$ – время транспортирования и нахождения на сборочной позиции последней j-й детали. Наименьшее $\tau_{\text{ц}}$ будет, если сборку вести последовательно от крупных охватывающих деталей к мелким.

При выполнении условия

$$\tau_{\text{с}} \geq [\tau_{\text{тр}}, \tau_{\text{т}}]$$

получаем:

$$\tau_{\text{ц}} = \Sigma \tau_{\text{с}} + \tau_{\text{трj}} + \tau_{\text{тj}}, \quad (4)$$

где $\Sigma \tau_{\text{с}}$ – суммарное время загрузки сборочного устройства; $\tau_{\text{трj}}$, $\tau_{\text{тj}}$ – время

транспортирования и нахождения на нагревательной позиции j -й детали. Сборку вести, начиная с мелких деталей и заканчивая крупными.

При выполнении условия

$$\tau_{\text{тр}} \geq [\tau_{\text{с}}, \tau_{\text{т}}]$$

получаем:

$$\tau_{\text{ц}} = j\tau_{\text{тр}} + \tau_{\text{тj}} + \tau_{\text{сj}}, \quad (5)$$

где j – количество охватывающих деталей.

Наименьшее $\tau_{\text{ц}}$ будет, если в начале и в конце цикла устанавливать малые детали.

Здесь также должен выдерживаться принцип совмещения времени установки охватываемой детали с нагревом охватывающей детали.

При последовательной установке нагретых деталей на базовую, если используется несколько сборочных устройств, одно транспортное средство и один нагреватель (что обычно стремятся делать на предприятии), то для исключения потерь тепла нагретой деталью цикл должен строиться в соответствии с зависимостью (3).

При одновременной установке двух нагретых деталей на базовую с помощью сборочного устройства и использованием одного транспортного средства и двух нагревателей цикл рассчитывается по зависимости

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_{\text{т1,2}} + \tau_{\text{тр1}} + \tau_{\text{тр2}} + \tau_{\text{с}}, \quad (6)$$

где $\tau_{\text{т1,2}}$ – продолжительность одновременного нагрева обеих деталей;

$\tau_{\text{тр1}}, \tau_{\text{тр2}}$ – время подачи нагретых деталей 1 и 2 и их установка на позиции сборки.

Нужно отметить, что при такой схеме сборки существуют потери тепла нагретых деталей за счет последовательности их транспортирования на сборочную позицию. Различные варианты схем сборки с уравнениями циклов приведены в табл.1.

При сборке с термовоздействием изменяется длительность цикла сборки каждого из соединений, входящих в многоэлементное соединение и в зависимости от общей последовательности их выполнения. Связано это с тем, что каждая из охватывающих деталей не только скрепляется с охватываемой с различной длительностью, но и в различной степени меняет уровень ее теплосодержания. Следовательно, величина избыточного нагрева под сборку каждой последующей охватывающей детали должна учитывать изменения теплосодержания от конкретных предыдущих деталей. Например, если вначале на вал устанавливается небольшая втулка, нагретая до невысокой температуры, то следующую за ней деталь необходимо будет нагреть до меньшей температуры и, значит, в течение меньшего времени, чем если вначале установить крупную с высокой температурой втулку, которая быстрее и значительно прогрее вал. Длительность скрепления также будет изменяться.

Таблица 1

Варианты схем сборки с уравнениями циклов

Кол-во нагреваемых деталей	Условия	Уравнение цикла, $\tau_{\text{ц}}$
п	$\tau_{\text{н} i} > \tau_{\text{сб} i}$	$\Sigma \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{сб} i} + \Sigma \tau_{\text{тр}}$
	$\tau_{\text{н} i} < \tau_{\text{сб} i}$	$\tau_{\text{н} 1} + \Sigma \tau_{\text{сб}} + \Sigma \tau_{\text{тр}}$
3	$\tau_{\text{н} 2} > \tau_{\text{сб} 1}; \tau_{\text{н} 3} < \tau_{\text{сб} 2}$	$\tau_{\text{н} 1} + \tau_{\text{н} 2} + \tau_{\text{сб} 2} + \tau_{\text{сб} 3} + \Sigma \tau_{\text{тр}}$
	$\tau_{\text{н} 2} < \tau_{\text{сб} 1}; \tau_{\text{н} 3} > \tau_{\text{сб} 2}$	$\tau_{\text{н} 1} + \tau_{\text{н} 3} + \tau_{\text{сб} 2} + \tau_{\text{сб} 3} + \Sigma \tau_{\text{тр}}$
4	$\tau_{\text{н} 2} > \tau_{\text{сб} 1}; \tau_{\text{н} 3} > \tau_{\text{сб} 2}; \tau_{\text{н} 4} < \tau_{\text{сб} 3}$	$\tau_{\text{н} 1} + \tau_{\text{н} 2} + \tau_{\text{н} 3} + \tau_{\text{сб} 3} + \tau_{\text{сб} 4} + \Sigma \tau_{\text{тр}}$
	$\tau_{\text{н} 2} > \tau_{\text{сб} 1}; \tau_{\text{н} 3} < \tau_{\text{сб} 2}; \tau_{\text{н} 4} > \tau_{\text{сб} 3}$	$\tau_{\text{н} 1} + \tau_{\text{н} 2} + \tau_{\text{н} 4} + \tau_{\text{сб} 2} + \tau_{\text{сб} 4} + \Sigma \tau_{\text{тр}}$
	$\tau_{\text{н} 2} > \tau_{\text{сб} 1}; \tau_{\text{н} 3} < \tau_{\text{сб} 2}; \tau_{\text{н} 4} < \tau_{\text{сб} 3}$	$\tau_{\text{н} 1} + \tau_{\text{н} 2} + \tau_{\text{сб} 2} + \tau_{\text{сб} 3} + \tau_{\text{сб} 4} + \Sigma \tau_{\text{тр}}$
	$\tau_{\text{н} 2} < \tau_{\text{сб} 1}; \tau_{\text{н} 3} > \tau_{\text{сб} 2}; \tau_{\text{н} 4} < \tau_{\text{сб} 3}$	$\tau_{\text{н} 1} + \tau_{\text{н} 3} + \tau_{\text{сб} 1} + \tau_{\text{сб} 3} + \tau_{\text{сб} 4} + \Sigma \tau_{\text{тр}}$
	$\tau_{\text{н} 2} < \tau_{\text{сб} 1}; \tau_{\text{н} 3} < \tau_{\text{сб} 2}; \tau_{\text{н} 4} > \tau_{\text{сб} 3}$	$\tau_{\text{н} 1} + \tau_{\text{н} 4} + \tau_{\text{сб} 1} + \tau_{\text{сб} 2} + \tau_{\text{сб} 4} + \Sigma \tau_{\text{тр}}$
	$\tau_{\text{н} 2} < \tau_{\text{сб} 1}; \tau_{\text{н} 3} > \tau_{\text{сб} 2}; \tau_{\text{н} 4} > \tau_{\text{сб} 3}$	$\tau_{\text{н} 1} + \tau_{\text{н} 3} + \tau_{\text{н} 4} + \tau_{\text{сб} 1} + \tau_{\text{сб} 4} + \Sigma \tau_{\text{тр}}$

Уменьшить и практически стабилизировать цикл можно, если выполнять сборку по фактическому натягу в каждом соединении. Для этого необходимо осуществлять замеры посадочных поверхностей деталей и по величине натяга выполнять нагрев до температуры, обеспечивающей минимальный сборочный зазор. Величины $\tau_{\text{т}}'$ и $\tau_{\text{с}}'$ станут для каждого соединения наименьшими.

При большом количестве охватывающих деталей (бандажные кольца на прокатном валке, зубчатые колеса, подшипники и фланцы на валу редуктора и т.п.), во избежание перегрева деталей, устанавливаемых на вал (ось) в последнюю очередь, интервал времени между сборками должен определяться только временами $\tau_{\text{с}}'$. То есть сборочное устройство должно работать без простоев. Это значит, что длительность $\tau_{\text{т}}'$ каждой последующей детали не должна быть больше длительности $\tau_{\text{с}}'$ предыдущей. Часто при массивных нагреваемых деталях требование работы сборочного устройства без выстоев можно выполнить, только введя параллельный нагрев, т.е. используя несколько нагревателей. Параллельный нагрев двух деталей необходим также и при одновременной их посадке на вал или ось. Длительность цикла сборки для данных вариантов ТПС будет определяться формулой.

Пусть имеется п различных операций цикла сборки соединений с нагревом, каждая из которых обладает характеристиками $A_1, A_2, \dots, A_n$. Например, операция нагрева детали - A_1 , операция сборки соединения - A_2 , транспортные операции - A_3 и A_4 . При этом, в одно и то же время τ нагрева (A_1) могут как осуществляться другие операции цикла, так и не осуществляться. Кроме того, операции могут выполняться последовательно или несколько одновременно. Исключение составляют транспортные операции, которые между собой не перекрываются.

Обозначим через $\tau(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n)$ время общего цикла сборки. Тогда,

используя формулу числа элементов суммы множеств [2] имеем:

$$\begin{aligned} \tau(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) = & \tau(A_1) + \tau(A_2) + \dots + \tau(A_n) - \{\tau(A_1 A_2) + \\ & + \tau(A_1 A_3) + \dots + \tau(A_{n-1} A_n)\} + \{\tau(A_1 A_2 A_3) + \tau(A_1 A_2 A_4) + \\ & + \dots + \tau(A_{n-2} A_{n-1} A_n)\} - \dots + (-1)^{n-1} \tau(A_1 A_2 \dots A_n), \end{aligned} \quad (7)$$

где $\tau(A_i A_j)$ – совместное время выполнения операций A_i и A_j ;

$\tau(A_1 A_2 \dots A_n)$ – совместное время выполнения всех n операций.

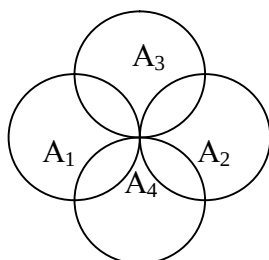


Рис.1. Пересечение множеств

Здесь алгебраическая сумма распространена на все комбинации характеристик сборки $A_1, A_2, \dots, A_n$ (без учета их порядка), причем знак “-” ставится, если число характеристик четно, и знак “+”, если это число нечетное. Поскольку пересечение $A_1 \cup A_2 = \emptyset$ и $A_3 \cup A_4 = \emptyset$ (рис. 1), т.е. пустое множество, то

$$\begin{aligned} \tau(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4) = & \tau(A_1) + \\ & + \tau(A_2) + \tau(A_3) + \tau(A_4) - \tau(A_1 A_3) - \\ & - \tau(A_1 A_4) - \tau(A_2 A_3) - \tau(A_2 A_4) \end{aligned} \quad (8)$$

Формула (8) является общей для расчета цикла сборки с нагревом деталей (с заданными ограничениями), а формула (7) – общая для любого случая сборки (не обязательно с нагревом).

2. Унификация схем сборки. Если многоэлементное соединение составное (включает соединения, охватывающие вал), то структурно ТП может быть построен по одному из двух вариантов:

- 1) на вал (ось) устанавливается последовательно охватываемая часть двухэлементного соединения (центр), а на нее – охватывающая (бандаж);
- 2) выполняется сборка двухэлементного соединения, а потом оно устанавливается на вал (ось).

В первом варианте требуется избыточный нагрев бандажа для сборки с центром и в случае, когда насадка бандажа практически сразу следует за скреплением центра с осью, и если бандаж устанавливается на центр после его остывания. Если сборка выполняется сразу, то расход энергии наибольший: температура бандажа должна быть такой, чтобы компенсировать натяг, температурное расширение центра, который остыл не полностью, и обеспечивался сборочный зазор. Это составляет обычно значительную величину – свыше 400°C даже для соединений с небольшими натягами.

Для обеспечения производительной и экономичной двухэлементной сборки, когда на вал (ось) насаживается нагретая втулка, или во втулку устанавливается вал (ось), основными являются требования к точности температуры нагрева, минимизации времени ее достижения и времени транспортирования нагретой детали. Для простой многоэлементной сборки, кроме указанных требований, существенным является последовательность выполнения операций и переходов, поскольку это влияет на длительность

общего цикла сборки. Для сложной многоэлементной сборки, (обандаженное колесо рельсового транспорта, шестерня с зубчатым венцом и др. устанавливается на ось), существенным является последовательность выполнения операций и переходов, а также количество единиц нагревательного, сборочного оборудования и транспортных средств [3].

Если сборочная единица не имеет составных деталей, то ТП можно расчленить на ряд операций по сопряжению охватываемой детали с одной или одновременно несколькими одинаковыми охватывающими (одновременная насадка двух колес на ось, фланцев на вал и т.д.). Однако температура нагрева каждой детали, следующей за первой, должна быть несколько больше, что обусловлено разогревом охватываемой детали ранее установленными охватывающими. Например, зубчатое колесо, посаженное на ось, отдает ей тепло, вследствие чего ось расширяется и устанавливаемые далее на нее подшипники и колеса должны иметь избыточную температуру, компенсирующую это увеличение размеров.

Если сборочная единица (включает составную деталь), то структурно ТП может быть построен по одному из двух вариантов:

1) на вал (ось) устанавливается последовательно охватываемая часть двухэлементного соединения (центр колеса), а на нее – охватывающая (бандаж);

2) выполняется сборка двухэлементного соединения (колесо), а потом оно устанавливается на вал (ось).

В первом варианте требуется избыточный нагрев бандажа для сборки с центром и в случае, когда насадка бандажа практически сразу следует за скреплением центра с осью, и если бандаж устанавливается на центр после его остывания. Если сборка выполняется сразу, то расход энергии наибольший: температура бандажа должна быть такой, чтобы не только компенсировать натяг, но и температурное расширение центра, который остыл не полностью, и обеспечивался сборочный зазор. Это составляет обычно значительную величину – свыше 450°C даже для соединений даже с небольшими натягами. Во втором варианте, наоборот, можно сэкономить тепловую энергию, если собирать бандаж с центром, выдерживать соединение до полного прогрева центра, а потом догревать для сборки с валом [4].

Таким образом, групповых ТП сборки соединений с натягом будет достаточно много вследствие различия в конструкции (двух- или многоэлементные), различного сочетания таких характеристик процесса, как тип базирования (базовой является охватывающая или охватываемая деталь), положение оси сопряжения (горизонтально или вертикально), использование силы или использование веса присоединяемой детали для сборки, а также для многоэлементных – последовательность сборки. Поэтому их можно сгруппировать в несколько схем. Как отмечалось, многоэлементные соединения можно представить как совокупность двух- и трехэлементных, поэтому для сборки этих соединений и представим примеры схем с использованием для деталей понятий “вал” и “штулка”.

Схема 1. Двухэлементная сборочная единица. Установка втулки в нагреватель (базирование или базирование и закрепление); нагрев втулки; установка вала на позицию сборки (базирование или базирование и закрепление); съем втулки с нагревателя, передача на позицию сборки (базирование или базирование и закрепление); сборка втулки с валом (установка втулки на вал или вала во втулку); скрепление деталей в сборочную единицу; удаление сборочной единицы с позиции сборки; остывание сборочной единицы; контроль качества соединения.

Схема охватывает групповые ТП при базовой детали вал (вал базируется и закрепляется, а втулка только базируется) и базовой втулке (втулка базируется и закрепляется, а вал только базируется). Последний вариант может предусматривать сборку прямо в нагревателе (если он индукционный). Тогда переходы по съему втулки с нагревателя и передачи на позицию сборки отсутствуют, а в нагреватель втулка устанавливается с закреплением. Сборка может быть горизонтальной, вертикальной, с использованием силы или без нее.

Схема 2. Трехэлементная сборочная единица. Сборка последовательная. Схема может быть в двух вариантах:

- 1) сборка втулки №1 с валом, а потом втулки №2 с валом, как двухэлементных соединений по схеме 1;
- 2) сочетание сборок втулок по схеме 1 с кантовкой вала между сборками.

Для оформления в дальнейшем данного унифицированного ТП необходимо, как известно, назначить режимы сборки и нормы времени на операции.

При большом количестве охватывающих деталей (зубчатые колеса, подшипники и фланцы на валу редуктора и т.п.), во избежание перегрева деталей, устанавливаемых в последнюю очередь на охватываемую, интервал времени между операциями должен определяться только временем скрепления. Следовательно, и длительность нагрева каждой последующей детали должна соответствовать длительности скрепления предыдущей плюс время ее транспортирования на сборочную позицию.

Вывод. Предложенные принципы проектирования позволяют разрабатывать групповые ТП для различных соединений с термовоздействием, следует только стандартизировать методы расчета, что позволит снизить время проектирования и повысить его качество, а также явится основой для создания САПР ТП сборки.

Список литературы: 1. Арпентьев Б.М., Зильбер А.Г. Типизация технологических процессов сборки с термовоздействием на основе технологического классификатора соединений // Стандарты и качество. - 1988. - № 11. - С.33-34. 2. Гилл Ф., Мюррей У. Численные методы условий оптимизации. - М.: Мир, 1977. - 290 с. 3. Андреев Г.Я. Тепловая сборка колесных пар. - Харьков: ХГУ, 1965. - 227 с. 4. Андреев А.Г., Куцын А.Н., Щепкин А.В. К вопросу оптимизации технологических нагревов при сборке и разборке соединений с натягом // Динамика и прочность машин. - 1998. - №5. - С.162-167.

**М.М. ПЕКЛИЧ, Ю.Д. СЕРДЮК, В.И. АПОСТОЛОВ,
С.Н. ГОЛИНКА, А.В. ЛИТВИНЕНКО,** ОАО “Головной
специализированный конструкторско-технологический институт”,
г. Мариуполь

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БЕСКОНУСНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ С ЛОТКОВЫМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕМ ШИХТЫ ПРОИЗВОДСТВА ОАО “АЗОВМАШ”

Розглянута конструкція розробленого та впроваджененого у виробництво безконусного завантажувального пристрою (БЗП). Наведений порівняльний аналіз конструктивних особливостей БЗП виробництва ВАТ “Азовмаш” у порівнянні з закордонними аналогами.

The construction of developed and applied in industry bell-less top charging system (BTCS) is considered. The comparative analysis of design philosophy of BTCS manufactured by OJSC “Azovmash” is produced in comparison with the foreign analogues.

В последние несколько лет украинские и российские металлургические предприятия последовательно наращивали объёмы производства чугуна. В то же время наблюдается критический износ печного фонда, воздухонагревателей, загрузочных устройств и других жизненно важных объектов доменных печей. Поэтому модернизация действующих доменных печей представляет собой важную задачу для предприятий металлургической отрасли.

Эффективность работы доменной печи напрямую связана с организацией её загрузки шихтовыми материалами. Рациональное распределение материалов и газовых потоков в печи достигается за счёт применения различного типа загрузочных устройств, позволяющих осуществлять выбор оптимальных режимов загрузки и параметров дутья, обеспечивающих необходимое дозирование и формирование порций шихтовых материалов на колошнике доменной печи. Наиболее распространёнными загрузочными устройствами в практике доменного производства являются конусные и бесконусные загрузочные устройства доменных печей [1].

Опыт эксплуатации доменных печей большого объёма свидетельствует, что конусные загрузочные устройства не удовлетворяют в полной мере требованиям технологии, их функциональные возможности ограничены. Кроме того, диаметры больших конусов (до 7000 мм) достигли практически предельных величин, при которых невозможна качественная механическая обработка их контактных поверхностей и обеспечение герметичности загрузочного аппарата. Поэтому основные тенденции развития в этой

области связаны в настоящее время с созданием и использованием бесконусных загрузочных устройств (БЗУ) лоткового типа, которые существенно расширяют технологические возможности загрузки шихтовых материалов в доменную печь [2].

Основным достоинством такого устройства является то, что конструкция БЗУ предусматривает разделение функций герметизации и распределения шихты между соответствующими узлами устройства, имеет возможность вести управляемое, эффективное распределение шихтовых материалов на колошнике доменной печи, что в конечном итоге позволяет повысить производительность и снизить энергозатраты на 1 тонну выплавленного чугуна.

К настоящему времени в мировой практике доменного производства наибольшее распространение на доменных печах получили БЗУ с лотковым распределителем шихты конструкции люксембургской фирмы “Поль Вюрт” [3].

В ОАО “Азовмаш” при участии ОАО “Гипромез” (г. Москва) и ОАО МК “Азовсталь” (г. Мариуполь) разработана собственная конструкция БЗУ, которая имеет ряд оригинальных технических решений по основным узлам и механизмам устройства, в том числе по конструкции механизма вращения и наклона лотка распределителя шихты, отличающегося от существующих аналогов повышенной надёжностью и ремонтпригодностью [4, 5].

БЗУ конструкции ОАО “Азовмаш” работает в автоматическом режиме в соответствии с заданной программой загрузки шихтовых материалов на колошник доменной печи. Шихтовый тракт БЗУ имеет износостойкую защиту, которая конструктивно оформлена в виде литых самофутерующихся (ячеистых) или гладких плит из комплексного легированного износостойкого чугуна (КЛИЧ). Стойкость шихтового тракта составляет минимум 10 лет. БЗУ имеет высокую степень ремонтпригодности и комплектуется специальными монтажными и ремонтными механизмами и приспособлениями, кроме того, конструкция БЗУ позволяет вести агрегатный метод замены узлов устройства. Оснащение шихтового тракта устройством для герметичного отделения от печного пространства обеспечивает возможность ремонта и замены узлов БЗУ без полной остановки доменной печи, что создаёт большие удобства в эксплуатации.

На рис. 1 представлена принципиальная схема БЗУ с лотковым распределителем шихты конструкции ОАО “Азовмаш”, где основные узлы устройства (газоуплотнительные клапана, бункера, блок шихтовых затворов, распределитель шихты, привод распределителя шихты) разработаны на основе восьми отечественных изобретений.

В отличие от газоуплотнительных элементов БЗУ фирмы “Поль Вюрт” (уплотняющие кольца из силиконовой резины), газоуплотнительные клапана конструкции ОАО “Азовмаш” разработаны в двух исполнениях – с резиновыми уплотняющими кольцами и с металлическими контактными поверхностями седла и тарели. Это обусловлено тем, что украинские и российские металлургические предприятия работают на “горячем” агломерате, при котором ресурс клапанов с резиновыми уплотнениями не

превышает 3 месяцев, тогда как при использовании металлических контактных поверхностей тарели и седла ресурс клапанов повышается до 1,5 – 2 лет.

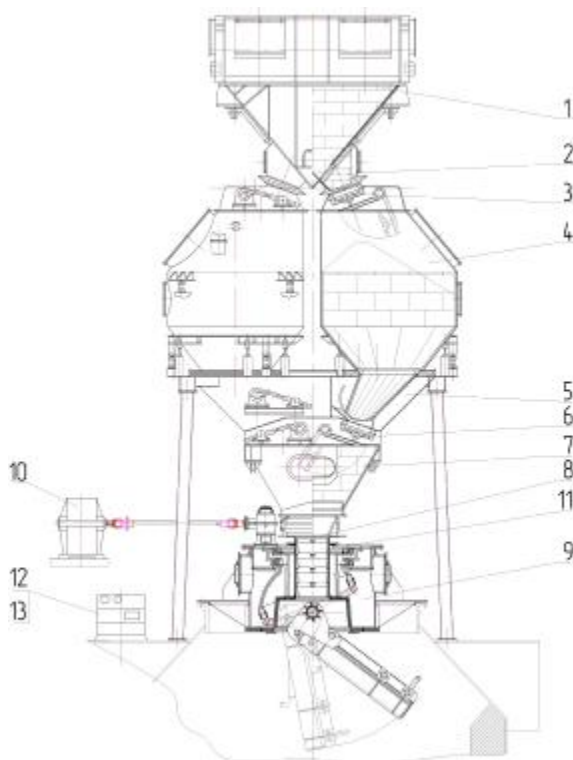


Рис.1. Бесконусное загрузочное устройство доменной печи с лотковым распределителем шихты конструкции ОАО “Азовмаш”:

- 1 –воронка приёмная; 2 – затвор шихтовый; 3 – клапан газоплотнительный верхний;
- 4 – бункер накопительный; 5 – блок нижних шихтовых затворов;
- 6 – блок нижних газоплотнительных клапанов; 7 – воронка сборная;
- 8 – задвижка отсечная; 9 – распределитель лотковый; 10 – привод распределителя;
- 11 – система смазки; 12 – гидропривод; 13 – электрическая часть

При работе с “горячим” агломератом контактные поверхности тарели и седла газоплотнительного клапана наплавляются порошковой лентой ПЛ-АН 111 или композитными материалами (сплав релит+мельхиор). В конструкции клапанов также предусмотрен обдув азотом (либо очищенным доменным газом) контактной поверхности тарели. Одним из конструктивных преимуществ разработанного ОАО “Азовмаш” газоплотнительного клапана является плотное прилегание тарели к седлу, что обеспечивается при помощи крепления тарели к поворотному рычагу, конструктивно выполненного в виде шарового шарнира, сферических контактных поверхностей тарели и седла, и

разработанной технологии притирки контактных поверхностей тарели и седла. Все вышеперечисленные факторы обеспечивают самоустановку тарели в седле и их плотное прилегание по контактным поверхностям, при этом важным геометрическим параметром является радиус сферы R , по которому выполняется контактная поверхность тарели (рис.2).

Радиус R определяется из соотношения [3]:

$$R = \frac{1}{2 \cdot \sin a_p} \cdot \sqrt{D_k + \frac{H^2}{\sin^2 a_p} + \frac{2 \cdot D_k \cdot H}{\operatorname{tg} a_p}},$$

где D_k – диаметр клапана; H – высота контактных поверхностей, которая равна $H = 0,0455 D_k$, a_p – расчётный угол наклона, зависящий от формы контактных поверхностей тарели и седла.

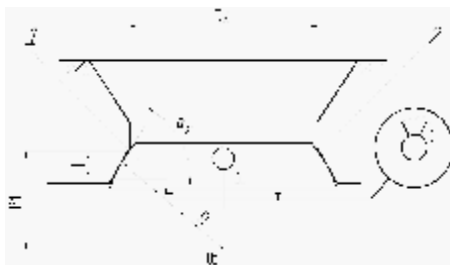


Рис.2. Схема обозначений расчетных величин газоплотнительного клапана:

1 – седло газоплотнительного клапана;
2 – тарель газоплотнительного клапана;
 R – радиус контактной поверхности тарели;
 D_k – диаметр клапана;
 H – высота контактных поверхностей;
 a_p – расчетный угол наклона;
 O_c – центр сферы, по которой обрабатывается контактная поверхность тарели;
 B_1 – расстояние от центра сферы O_c до верхней кромки контактной поверхности седла;
 O – ось вращения поворотного рычага

В свою очередь диаметр клапана D_k определяется по требуемому расходу шихтовых материалов

$$D_k = 1,15 \cdot \frac{V_{ш}}{t^2 \cdot K_k^2 \cdot g},$$

где $V_{ш}$ – объём шихтового материала в бункере, m^3 ; $K_k = 0,55-0,6$ – коэффициент истечения кокса; t – время истечения шихтового материала, с; g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

Важным геометрическим параметром клапана также является расстояние B_1 от центра сферы O_c до верхней кромки контактной поверхностей седла, которое находится [3]:

$$B_1 = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{D_k}{\operatorname{tg} a_p} + \frac{H}{\sin^2 a_p} \right).$$

Бункера БЗУ спроектированы так, что полезная ёмкость каждого бункера составляет объём двух скипов, т.е. одну порцию шихты. Бункера опираются на тензометрические датчики, которые позволяют с помощью специально разработанных программ АСУ следить за процессом загрузки шихтовых материалов и контролировать их дозирование, то есть регулировать подачу

шихты по массе. Для уменьшения погрешностей при взвешивании шихтовых материалов, бункера опираются на тензодатчики, а в конструкции крепления бункеров с жёстко установленными узлами используются сильфонные компенсаторы. Для предотвращения смещения в горизонтальной плоскости бункера закрепляются при помощи шарнирных тяг.

Блок нижних шихтовых затворов включает в себя два грузовых регулирующих шиберных затвора, заключённых в единый корпус. Грузовой регулирующий шиберный затвор состоит из укрепленной на поворотном рычаге заслонки секторного типа, перекрывающей выпускное отверстие переменного сечения. Шиберный затвор предназначен для удержания шихты в бункерах и регулирования величины потока выгружаемых из бункера шихтовых материалов. Особенность шиберного затвора конструкции ОАО “Азовмаш” (рис. 3), заключается в исключении возможности его заклинивания при открывании. Этого удалось добиться путём смещения оси вращения шиберной заслонки относительно центральной оси выпускного отверстия на расстояние A в сторону открывания заслонки. При этом переменная величина зазора δ между подвижным шибером и стационарно установленным носком зависит от степени открытия шиберной заслонки и определяется из следующего соотношения:

$$\delta(\varphi) = R - A \cdot \cos(\pi - \varphi) - \sqrt{R^2 - A^2 \cdot \sin^2(\pi - \varphi)}.$$

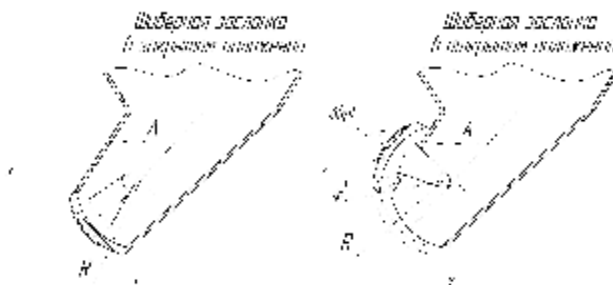


Рис.3. Схема обозначений расчетных величин шиберного затвора:

A – расстояние смещения оси вращения шиберной заслонки относительно центральной оси выпускного отверстия; $\delta(\varphi)$ – зазор между подвижным шибером и стационарно установленным носком;

R – радиус шиберной заслонки; φ – угол открытия шиберного затвора $0 < \varphi < 90^\circ$

Оригинален и прост в работе разработанный лотковый вращающийся распределитель шихты – “сердце” машины. Принципиальная схема распределителя представлена на рис.4. Распределитель шихты предназначен для распределения шихты по сечению колошника доменной печи по определенным режимам.

Распределитель шихты состоит из корпуса с механизмами вращения и изменения угла наклона распределительного лотка, собственно

распределительного лотка и привода. Хотелось бы обратить внимание на то, что особенностью конструкции БЗУ фирмы “Поль Вюрт” является расположение в куполе печи сложного планетарного редуктора, что требует для его охлаждения и защиты от воздействия запылённых горячих газов постоянной подачи охлаждённого и очищенного азота с давлением несколько большим, чем давление колошниковых газов. Особенностью же распределителя конструкции ОАО “Азовмаш”, является то, что его привод находится вне печного пространства. В подкупольной части печи находится лишь механизм зубчатого зацепления, включающий в себя две шестерни и два опорных подшипника. Механизмы распределителя защищены от теплового воздействия колошниковых газов теплозащитными экранами. Кольцевые зазоры между неподвижными и вращающимися элементами распределителя со стороны печного пространства герметизированы за счёт лабиринтных уплотнений, которые позволили значительно сократить подачу в корпус охлаждающего азота или газа под давлением, превышающим давление газа на колошнике доменной печи, или вовсе обходиться без него.

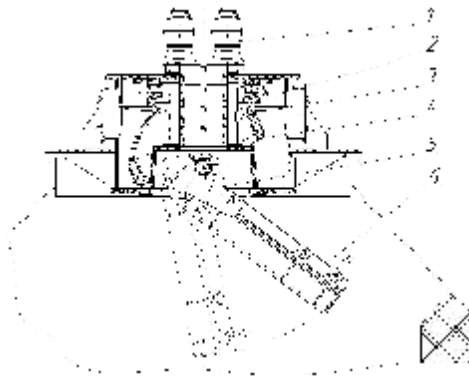


Рис.4. Механизм вращения и изменения угла наклона лотка распределителя шихты конструкции ОАО “Азовмаш”:

- 1 –редуктор угловой; 2 – подшипник опорный; 3 – копир; 4 – коромысло с роликами; 5 – подвеска лотка; 6 – лоток распределительный

Суть конструкции вращающегося распределителя заключается в том, что изменение угла наклона распределительного лотка производится при помощи коромысла, которое соединено с лотком, на котором установлены ролики, постоянно контактирующие с вращающимся копиром кулачкового типа.

Лоток имеет возможность изменять свой наклон относительно вертикальной оси и одновременно вращаться в горизонтальной плоскости. Это достигается за счёт оригинального привода наклона и вращения лотка, кинематическая схема которого представлена на рис.5, включающего в себя дифференциальный редуктор, позволяющий регулировать вращение и угол

наклона независимо друг от друга.

Как видно из кинематической схемы, два двигателя 1 через промежуточный редуктор 3 приводят во вращение один из входных валов дифференциального редуктора 8, на выходе которого через дифференциальный механизм синхронно вращаются два выходных вала. Эти валы через шарниры Гука (карданные валы) 9 и угловые редуктора 10 передают вращение на шестерённые пары, расположенные в пространстве печи. Большие шестерни 11 в этих парах представляют собой шариковые упорно-радиальные подшипники с зубчатым венцом по наружному кольцу. К верхнему подшипнику металлоконструкцией центральной проходной воронки присоединён лоток 14, получающий вращение вокруг оси печи. К нижнему подшипнику крепится копир 12, по образующей которого может перемещаться опорный ролик лотка, при этом угол наклона лотка относительно вертикальной оси будет меняться.

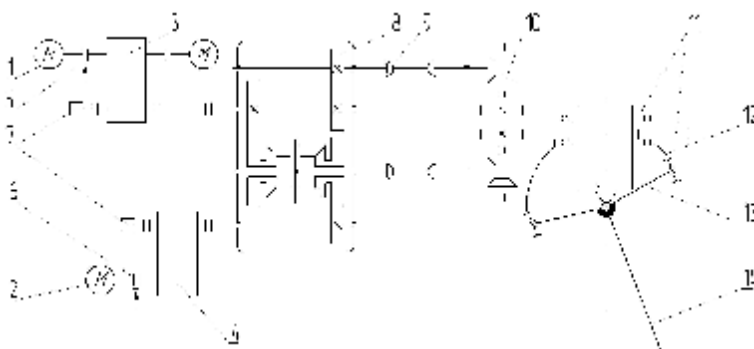


Рис.5. Кинематическая схема механизма вращения и наклона распределительного лотка:

- 1 – двигатели механизма вращения лотка; 2 – двигатель механизма наклона лотка;
- 3,4 – редукторы промежуточные; 5,6 – тормоза; 7 – датчики кодовые;
- 8 – редуктор дифференциальный; 9 –вал карданный; 10 –редуктор угловой;
- 11 – подшипники упорно-радиальные; 12 – копир; 13 – коромысло с роликами;
- 14 – лоток распределительный

Если выходные валы дифференциального редуктора вращаются с одинаковой скоростью, то положение ролика на образующей копира не меняется и не меняется угол наклона лотка. При необходимости изменить угол наклона лотка включается двигатель 2, скорости выходных валов рассогласовываются и ролик лотка переместится по образующей копира, угол наклона лотка изменится. Торцевая поверхность копира выполнена в виде специальной кривой, позволяющей производить наклон лотка пропорционально изменению угла поворота коромысла с роликом.

Данная конструкция распределителя обеспечивает возможность подачи шихтовых материалов в любую точку доменной печи, при этом загрузка может производиться по различным режимам, таким как кольцевой, “в

точку”, секторный, по спирали, комбинированный (по кольцу и по спирали).

В процессе изготовления БЗУ на ОАО “Азовмаш” все его узлы проходят поузловую контрольную сборку с полным комплексом испытаний и проверкой работоспособности, что обеспечивает впоследствии высокую надёжность и долговечность работы БЗУ в целом в процессе эксплуатации.

БЗУ производства ОАО “Азовмаш” оборудованы две доменные печи (ДП № 3 и ДП № 4) металлургического комбината “Азовсталь”, в настоящее время изготовлены два новых комплекта БЗУ, которые должны быть установлены в 2006 году на металлургическом комбинате “Запорожсталь” и на Алчевском металлургическом комбинате.

Опыт промышленной эксплуатации БЗУ лоткового типа конструкции ОАО “Азовмаш” в условиях ОАО МК “Азовсталь” показал [6], что новое загрузочное устройство обеспечивает:

- экономии кокса на 3 – 5% (20-40 кг/т чугуна);
- повышение производительности доменной печи на 2-4%;
- снижение времени простоев доменной печи по вине загрузочного устройства до 65% (в сравнении с традиционными конусными загрузочными устройствами);
- экономии общих затрат на обслуживание и ремонт до 50%.

В общем итоге технико-экономическая целесообразность применения БЗУ конструкции ОАО “Азовмаш” определяется следующими факторами: повышением долговечности оборудования и уменьшением затрат на его ремонты; гибкостью и эффективностью управления распределением шихты; возможностью реализации автоматического контроля и управления распределением шихты и газового потока в печи; меньшей стоимостью БЗУ по сравнению с аналогами.

Выводы. На ОАО “Азовмаш” создано отечественное бесконусное загрузочное устройство, отвечающее современным техническим требованиям и обеспечивающее широкие технологические возможности загрузки доменных печей. Благодаря примененным конструктивным решениям, по своим основным технико-экономическим параметрам БЗУ производства ОАО “Азовмаш” не уступает БЗУ фирмы “Поль Вюрт”, превосходя его по стойкости шихтового тракта, стоимости ЗИПов и комплекта БЗУ в частности.

Список литературы. 1. *Большаков В.И.* Теория и практика загрузки доменных печей. – М.: Металлургия, 1990. – 256 с. 2. *Большаков В.И.* Научное обоснование стратегии управления распределением шихты при использовании БЗУ // *Сталь*. – 2004. – № 4. – С.37-42 3. *Авдеев В.А., Шайнович О.И., Ясаков Е.И., Марченко А.В.* Современные загрузочные устройства доменных печей. – М.: Металлургия, 1994. – 64 с. 4. *Распределитель шихты загрузочного устройства доменной печи.* Патент №1527273 С21 В 7/20. 5. *Загрузочное устройство доменной печи.* Патент № 18028118 С 21 В 7/20. 6. *Бачинин А.А., Рыбцов А.В., Лозовой В.П., Поляничко С.В., Четыркин Е.И.* Промышленная эксплуатация лоткового загрузочного устройства доменной печи // *Сталь*. – 1992. – № 5. – С.13-18.

Поступила в редколлегию 20.04.06