



The effective method of thermal processing of cast-iron chips, which provides high speed of the process and lowering of specific power inputs, is developed.

Л. Е. РОВИН, О. М. ВАЛИЦКАЯ, ГГТУ им. П.О. Сухого

УДК 621.745

ТЕПЛОВАЯ ОБРАБОТКА ЧУГУННОЙ СТРУЖКИ

Применение вторичных металлосодержащих отходов, имеющих низкую стоимость, взамен первичных является одним из основных направлений энерго- и материалосбережения в литейно-металлургическом переделе. Отходы не служат целевым продуктом производства, поэтому энергоемкость их получения включает только затраты на сбор, подготовку, очистку и транспортировку, что на порядок меньше энергоемкости получения других видов сырья.

Актуальность решения проблемы утилизации чугунной стружки в последнее время возрастает в связи с переходом литейных цехов к серийному малотоннажному производству. Предварительный подогрев стружки до температур 500–600 °С перед завалкой ее в электростале-плавильный агрегат способствует выгоранию примесей с поверхности стружки и снижает расход электроэнергии на ее дальнейшую переработку. Однако осуществить равномерный порционный подогрев стружки с высокой производительностью достаточно проблематично. Использование существующего оборудования большой мощности и непрерывного действия становится нерентабельным, а применение «простых» установок типа камерных печей приводит к потерям топлива до 90% и более.

В ГГТУ им. П.О.Сухого, на кафедре «Машины и технология литейного производства» разработан эффективный способ тепловой обработки чугунной стружки: стружку нагревают в специальной вращающейся печи до температуры 500–600 °С и затем отправляют на загрузку в индукционные тигельные печи. Предлагаемый способ обеспечивает высокую скорость процесса и снижение удельных энергозатрат. Выполнена технологическая компоновка участка переработки небрикети-рованной чугунной стружки.

Чугунная стружка – это полидисперсный материал, эффективность и равномерность нагрева которого зависят от многих факторов. В первую очередь надо создать условия интенсивного теплообмена как можно большего числа частиц материала с теплоносителем.

По содержанию постоянных примесей, обусловленных технологией обработки металлов, различают выход стружки со смазывающе-охлаждающей жидкостью при токарных, сверлильных и других работах; с абразивной пылью при заточке резцов; с охлаждающей жидкостью и абразивной пылью при мокром шлифовании. Чугунную стружку в зависимости от объемной массы, ее вида и способа образования можно разделить на две группы (табл. 1, рис. 1, 2).

Таблица 1.

Материал стружки	Вид стружки	Группа стружки	Объемная масса, т/м ³	Тип станков, дающих стружку
Чугун	Элементная	1	1,0–1,3	Фрезерные, зубообрабатывающие, сверлильные, строгальные, долбежные и дисковые пилы
		2	1,5–1,6	Все виды металлорежущих станков

Известно, что при длительном хранении стружка слеживается, подвергается коррозии. Насыпная масса увеличивается до 1,7–1,9 т/м³.

Фракционный состав стружки обеих групп приведен в табл. 2.

Стружка имеет широкий диапазон размеров частиц. Большую часть массы стружки 1-й группы составляет стружка размером от <7 до 3 мм (40%). Более крупная – 23%. Мелкие частички от 3 мм и до пылинок – 37%.

В стружке 2-й группы наибольшая часть по массе – это мелкие частицы размером менее 2 мм, они составляют примерно 60%.

По фракционному составу был определен средний размер частиц чугунной стружки:

$$d_{\text{ср}} = 1 / \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{d_i},$$

где n – число фракций, m_i – содержание i -й фракции (массовая доля); d_i – средний ситовый



Рис. 1. Чугунная стружка 1-й группы

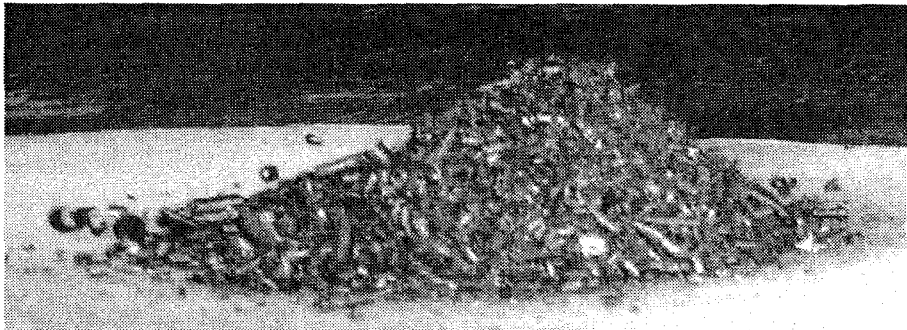


Рис. 2. Чугунная стружка 2-й группы

Таблица 2.

Чугунная стружка 1-й группы		Чугунная стружка 2-й группы	
размер сита, мм	масса, г	размер сита, мм	масса, г
10	12,6	10	—
7	10,3	7	—
3	40,1	3	12,1
2	19,6	2	28,1
тазик	17,0	тазик	59,2
потери	0,4	потери	0,6
всего	100	всего	100

размер i -й фракции, м; $d_{cp}=2,83$ мм (для 1-й группы); $d_{cp}=1,29$ мм (для 2-й группы).

При проектировании рабочей камеры печи (выборе материала поверхности) необходимо учитывать угол внешнего трения загружаемой в камеру стружки. Критическое значение угла поворота камеры ($\alpha_{кр}$) (когда теряется контакт частиц с внутренней поверхностью камеры и слой материала разрушается) имеет следующие значения: для нефутерованной поверхности камеры $\alpha_{кр}=20^\circ$ для 1-й группы, $\alpha_{кр}=25^\circ$ для 2-й группы; для футерованной соответственно $\alpha_{кр}=40$ и 41° .

Полученные характеристики материала необходимы для определения геометрических размеров и конфигурации рабочей камеры печи, оптимального угла поворота камеры, скорости вращения камеры, характера движения и величины скорости потока теплоносителя.

Между вращающейся поверхностью камеры и материалом возникает взаимодействие. На слой, расположенный в непосредственной близости с поверхностью камеры, действуют центробежная сила, сила трения и сила тяжести. Критическая скорость вращения камеры, т.е. скорость, при

которой материал «прилипает» к внутренней поверхности камеры, определяется из условия равенства центробежной силы, силы трения и радиального вектора веса. С учетом степени наполнения и состава материала рекомендуемое критическое значение числа оборотов камеры составляет $n \approx 7-19$ об/мин.

Для интенсивного и равномерного нагрева всего материала во вращающейся камере после отрыва материала от поверхности печи поток теплоносителя должен обеспечить разрушение слоя материала на отдельные частицы.

По известному критерию Фруда, можно определить скорость потока теплоносителя, обеспечивающую разрушение слоя.

Различают три режима гравитационного движения слоя, состоящего из твердых частиц и газа. Первый режим характерен связанным движением сплошного потока частиц и наличием пульсаций, сглаживаемых с увеличением скорости слоя. Второй, переходный режим характерен неустойчивостью движения, появлением локальных разрывов плотного слоя по длине и периметру канала. Скорость, при которой возникает разрыв, называ-

ется предельной $v_{пр}$. Третий режим наступает при увеличении скорости сверх предельной величины. Он характерен полным распадом плотного слоя на отдельные потоки, «струйки», в которых отсутствуют связанное движение и плотный контакт всех соседних частиц.

Известно критическое значение критерия Фруда, определяющего границу перехода одного режима движения слоя в другой:

$$Fr_{кр} = gD/v_{пр}^2 = 1,5-5, \quad v_{пр} = (1,4-2,6) \sqrt{D},$$

где $Fr_{кр}$ – число Фруда, определяющее соотношение сил инерции и гравитации, действующих на частицы материала; g – ускорение свободного падения; D – характерный размер падающего слоя; $v_{пр}$ – скорость сыпучей среды, она может значительно превышать скорость потока теплоносителя. Условие $Fr > 5$ характеризует режим движения плотного слоя, $1,5 < Fr < 5$ – переходный режим, режим кризиса плотной структуры слоя, $Fr < 1,5$ – режим движения неплотного слоя, падающей взвеси, при котором достигается максимальная теплоотдача слоя.

Для предлагаемой конструкции камеры режим, когда происходит разрушение слоя на отдельно движущиеся частицы обрабатываемого материала, выполняется при $Fr = 0,0006-0,003$. При этом скорость потока должна составлять 30–40 м/с.

В то же время не должно быть уноса мельчайших частиц стружки из камеры, т.е. скорость потока ограничивается скоростью витания частиц. Унос наиболее мелких частиц (от 3 мм и меньше) может наблюдаться уже при скоростях потока примерно 2,5 м/с.

Следовательно, осевая скорость потока должна быть не более 2,5 м/с, а радиальная – не менее 30–40 м/с.

Реализация названных выше условий обеспечивается конструкцией ротационной установки,

которая представляет собой вращающуюся коническую камеру, в которую подается через завихритель газовый поток, движущийся с большой скоростью по или против вектора скорости камеры (рис. 3). Скорость потока раскладывается на две составляющие: поступательную и вращательную. Поступательная не превышает 2 м/с, вращательная достигает 40 м/с. Вращение теплоносителя позволяет, кроме того, обеспечить значительно большее время теплообмена материала с агентом по сравнению с известными барабанными установками, где газовый поток поступательно перемещается внутри камеры. Установки с рабочей камерой в виде сопряженных большими основаниями диффузора и конфузора (между которыми возможна цилиндрическая часть) позволяют решить задачу отделения на выходе из камеры теплоносителя от частиц. Теплоноситель удаляется из камеры через конфузор, в котором вращательное движение теплоносителя ускоряется пропорционально углу сходимости конфузора. Соответственно пропорционально увеличиваются центробежные силы, которые прижимают мельчайшие частички материала к стенкам камеры, где они осаждаются и удерживаются под действием сил трения. Процесс аналогичен работе циклонных пылеуловителей.

По сравнению с барабанными печами при одинаковой производительности в 2,0–2,5 раза уменьшается длина камеры.

Тепломассообмен в предлагаемой конструкции печи осуществляется во вращающемся потоке теплоносителя.

Поток теплоносителя в камере участвует не только в тепло-, но и в массообмене. Большие скорости потока (30–40 м/с) и перекрестное движение с пересыпающимися частицами разби-

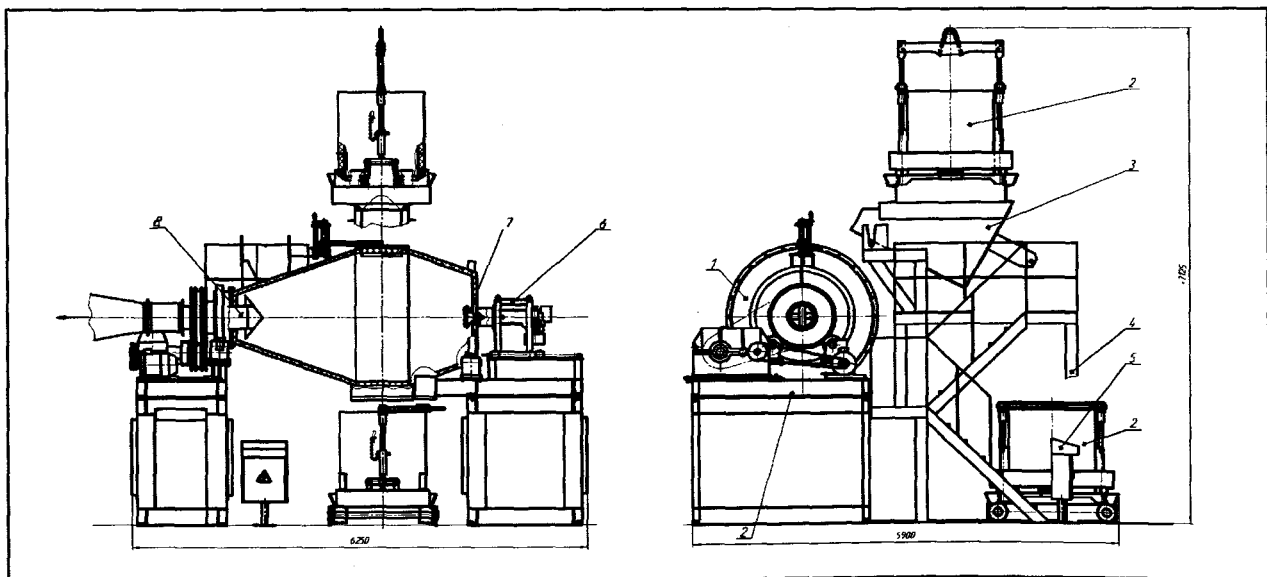


Рис. 3. Установка для тепловой обработки чугунной стружки: 1 – ротационная печь; 2 – бадья для загрузки (выгрузки) стружки; 3 – бункер; 4 – площадка обслуживания; 5 – электрооборудование; 6 – горелка; 7 – завихритель; 8 – устройство отвода дымовых газов

вает слой на отдельные движущиеся комки. Материал во вращающейся камере благодаря адгезии с поверхностью и когезии поднимается на определенную высоту. Достигнув критической высоты, слой разрушается, падает вниз в виде комков, которые в свою очередь разрушаются газовым потоком на несвязанные частицы. Процесс повторяется с каждым новым оборотом печи, что быстро приводит к всестороннему перемешиванию материала по всей массе. В теплообмене участвуют практически все частицы перемешиваемого материала. Градиент температур в слое наблюдается только на начальной стадии нагрева, а затем резко уменьшается. Теплообмен в таких условиях аналогичен нагреву тонкой пластины с

увеличивающейся поверхностью от среды с постоянной температурой.

Установка, показанная на рис. 3, имеет производительность 6–9 т/ч; емкость баббы для загрузки–выгрузки – 0,7–1,2 т, общая продолжительность цикла нагрева составляет 10–15 мин, включая выгрузку, обслуживается горелкой мод. Blu 1400 (природный газ).

В результате проведенной работы установлены характеристики чугунной стружки, определяющие ее поведение в ротационных печах. С учетом полученных характеристик разработана конструкция установки для предварительной тепловой обработки (нагрева) стружки до 500–600 °С перед загрузкой в индукционные печи.