

Карпов А. В.*к.т.н., доцент,***Шмарин Д. С.***студент,***Цымбал Т. В.***аспирант**Липецкий государственный технический университет, г. Липецк, РФ,***Диментьев А. О.***к.т.н., доцент**Донбасский государственный технический институт, г. Алчевск, ЛНР*

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОУГЛЯ В АГЛОДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Экономика многих развитых стран в значительной мере зависит от металлургической промышленности. За 2020 год во всем мире выплавлено 1864,1 млн тонн стали, из которой около 64,4 % произведено по традиционной схеме, имеющей двухстадийный передел (доменная печь — конвертер).

Агломерационное и доменное производство подразумевает потребление большого количества топлива и как следствие выделение соответствующего объема углекислого газа, что, несомненно, приводит к изменению климата. В мировых масштабах на металлургические предприятия приходится около 6,7 % выбросов CO₂. Поэтому в Париже было принято соглашение, согласно которого страны участницы обязаны не превышать определённый уровень выбросов [1, 2].

Основными видами топлива в аглодоменном производстве являются: природный газ, кокс и уголь, в результате горения, которых, выделяется большое количество CO₂, попадающего в атмосферу. Экологический аспект вызвал необходимость поиска альтернативных видов топлива, позволяющих уменьшить выброс парниковых газов в атмосферу. Одним из таких вариантов являются биоматериалы или биомасса, обладающие углеродно-нейтральным следом. Их использование в металлургии имеет достаточно высокий потенциал, благодаря хорошей реакционной способности и приемлемому химическому составу.

Биомасса представляет собой отходы сельского хозяйства или различного рода древесину, поэтому эти материалы не могут непосредственно заменить используемые виды топлива в аглодоменном производстве из-за низкой теплотворной способности и низкого содержания углерода. В связи с этим перед использованием целесообразно проводить предварительную подготовку биомассы, продуктом которой является биоуголь.

Основным способом производства биоугля является нагрев биомассы без доступа кислорода (пиролиз) в разных вариациях (скорость и величина нагрева), газификация и гидротермальная карбонизация (рис. 1).

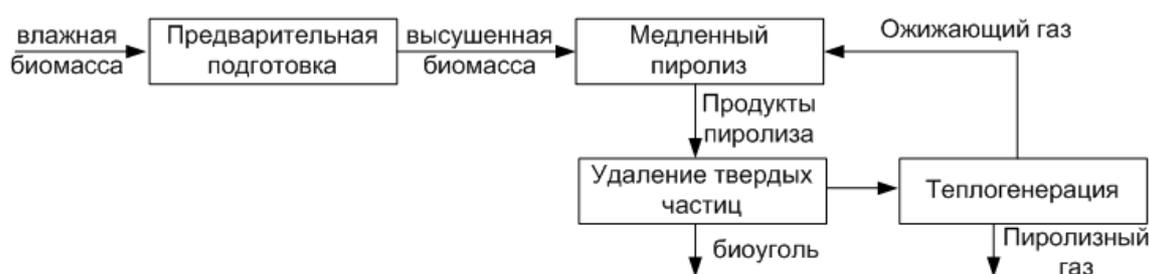


Рисунок 1 — Технологическая схема производства биоугля методом медленного пиролиза

Наибольшее распространение получила технология медленного пиролиза, суть которой заключается в том, что высушенная биомасса пиролизуется с получением биоугля и синтез-газа, с выделением тепла при температуре 400 °С и атмосферном давлении, в широком диапазоне временных масштабов от нескольких минут до нескольких дней. Из-за низкой скорости нагрева и длительного периода обработки, большая часть коагулируемых органических соединений, в биомассе превращается в твердый углерод (биоуголь), легкий газ и конденсирующуюся жидкость (в основном воду, карбоновую кислоту и альдегид).

От исходного материала биотоплива зависит качество получаемого продукта. Для аглодоменного производства наиболее предпочтительно использовать биоуголь, полученный из древесных отходов, который обладает многими преимуществами, такими как более высокая теплотворная способность, высокое содержание углерода, низкое содержание примесей (например, серы), высокая площадь поверхности и большая пористость.

На данный момент основным железосодержащим компонентом шихты для получения чугуна в доменной печи является агломерат, который получают из большого количества мелкодисперсных компонентов, путем их спекания за счет горения мелкого кокса (коксика) при просасывании воздуха через слой шихты. Известны исследования [3], показывающие, что частичная замена коксика биоуглем приводит к повышению концентрации CO и CO₂ в отходящих газах, а также снижению концентрации SO_x и NO_x в нем. Первое объясняется повышением общего расхода топлива, т. е. расход биоугля больше, чем коксика, а второе меньшим содержанием серы S и азота N в биотопливе. В результате повышение выбросов CO_x сокращает углеродный след из-за нейтральности биоугля.

Однако частичная замена коксика биоуглем, приводит к повышению скорости спекания агломерата и снижению прочности получаемого продукта [4]. Первое связано с изменением скорости горения твердого топлива, которая будет увеличиваться по мере роста доли биоугля в шихте, так как реакционная способность биоугля значительно выше, чем кокса при температурах 700–800 °С. Известны результаты, согласно которым, при замене более 40 % коксика на биоуголь наблюдается несогласованность скорости фронта пламени и теплового фронта в период спекания агломерата, что приводит к снижению эффективности горения топлива [5].

Из-за более пористой структуры биоугля, ухудшается прочность агломерата, так как биоуглем впитывается значительно больше влаги, чем коксиком, и, следовательно, влажность такой агломерационной шихты перед спеканием будет выше и составит 8,5 % против 7,1 %. Как результат, в отходящих газах наблюдается более высокая концентрация H₂O, уменьшается максимальная температура в слое и ухудшается его проницаемость. Таким образом, результаты этих исследований указывают на то, что с точки зрения экологических и экономических аспектов, можно считать частичную замену коксика на биоуголь в агломерационном процессе достаточно перспективным направлением, несмотря на негативное влияние его на прочность получаемого продукта. Однако для увеличения доли биоугля в агломерационной шихте, необходимо разработать технологию его производства с целью получить требуемые физико-химические свойства, такие как его микроструктура и химическая реакционная способность.

Замена биоуглем кокса и пылеугольного топлива (ПУТ) в доменном производстве, также является достаточно перспективным, так как его можно подавать сверху (через колошник) и снизу (через фурмы) [6–10]. Использование биоугля в качестве твердого топлива, загружаемого через колошник, не целесообразно ввиду его мелкого размера и низких показателей холодной и горячей прочности. Напротив вдувание биоугля через воздушные фурмы доменной печи вполне возможно и вероятно это позволит довести его удельный расход до 200 кг на тонну чугуна, аналогичного подаваемому ПУТ. Причем такой расход биоугля не приведет к отрицательным последствиям в работе доменной печи.

Проведенный анализ показал, что биоуголь может быть эффективно использован в качестве углеродсодержащей добавки в технологии спекания агломерата, при этом процент замены коксовой мелочи может достигать 60 %, что позволит значительно снизить выбросы CO_x, SO_x и NO_x. Также биоуголь может быть использован в доменном производстве путем вдувания его через воздушные фурмы, что позволит снизить расход кокса (или пылеугольного топлива) и сократить чистые выбросы CO₂ до 40 %.

Список литературы

1. Зиновьева, Н. Г. Черная металлургия Китая в 2020 г. и мировой криз / Н. Г. Зиновьева // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. — 2021. — Т. 77. — № 3. — С. 251–261. — DOI 10.32339/0135-5910-2021-3-251-261
2. Салин, В. Н. Конъюнктура мирового рынка стали: экономико-статистический анализ / В. Н. Салин, В. В. Нарбут, Е. П. Шпаковская // Проблемы экономики и юридической практики. — 2020. — Т. 16. — № 1. — С. 72–81.
3. Substitution of Charcoal for Coke Breeze in Iron Ore Sintering / L. Lu, M. Adam, M. Kilburn, S. Napugoda, M. Somerville, S. Jahanshahi, and J.G. Mathieson // ISIJ International. — 2013. — Vol. 53. — No. 9. — P. 1607–1616.
4. Effect of H₂O(g) Content in Circulating Flue Gas on Iron Ore Sintering with Flue Gas Recirculation / X. Chen, Y. Huang, M. Gan, X. Fan, Z. Yu, and L. Yuan // Journal of Iron and Steel Research International. — 2015. — Vol. 22. — No. 12. — P. 1107–1112.
5. Теплоэнергетические особенности электроплавки железорудных металлизированных окатышей в дуговой сталеплавильной печи / Э. Э. Меркер, О. И. Малахова, Л. Н. Крахт, В. О. Казарцев // Сталь. — 2017. — № 3. — С. 22–26.
6. Use of biomass in integrated steelmaking — Status quo, future needs and comparison to other low-CO₂ steel production technologies / Hannu Suopajarvi, Kentaro Umeki, Elsayed Mousa et al. // Applied Energy. — 2018. — Vol. 213. — P. 384–407.
7. Biomass as blast furnace injectant — Considering availability, pretreatment and deployment in the Swedish steel industry / C. Wang, P. Mellin, J. Lovgren, L. Nilsson, W. Yang, H. Salman, A. Hultgren, and M. Larsson // Energy Convers. Manag. — 2015. — Vol. 102. — P. 217–226.
8. BIO-PCI, charcoal injection in blast furnaces: state of the art and economic perspectives / C. Feliciano-Bruzual and J.A. Mathews // Revista de Metalurgia. — Vol. 49. — No. 6. — P. 458–468.
9. Using Biomass for Pig Iron Production: A Technical, Environmental and Economical Assessment / G. Fick, O. Mirgaux, P. Neau, and F. Patisson // Waste and Biomass Valorization. — 2014. — Vol. 5. — No. 1. — P. 43–55.
10. Environmental and Economic Aspects of Charcoal Use in Steelmaking / T. Norgate and D. Langberg // ISIJ International. — 2009. — Vol. 49. — No. 4. — P. 587–595.