

**Литейное
материаловедение,
специальные способы
литья**

The technology of preparation and processing of chips with burning-off refinement in rotary furnaces and hot compression of briquettes is offered.

О. М. ВАЛИЦКАЯ, Т. М. ЗАЯЦ, ГГТУ им. П. О. Сухого

УДК 624.745

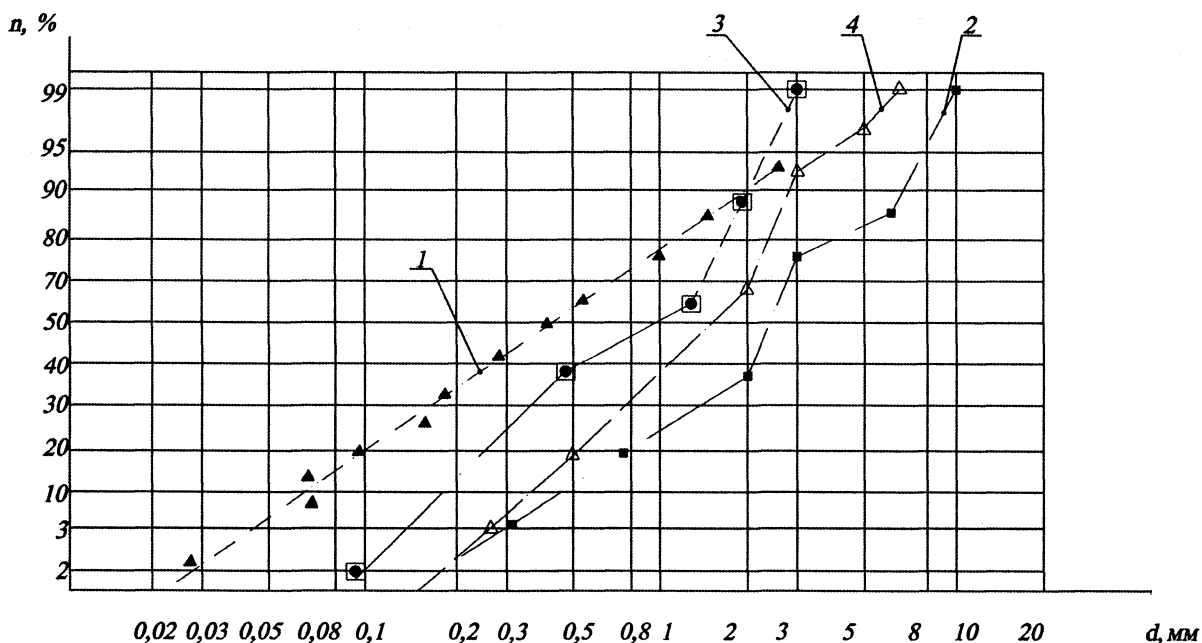
ПОДГОТОВКА СТРУЖКИ К ПЕРЕПЛАВКЕ

Металлическая стружка – это один из видов промышленных отходов, подлежащих обязательной переработке. Стружка образуется в результате механической обработки заготовок в большинстве случаев с применением СОЖ и масел. Их содержание в общей массе стружки может составлять до 10%. При транспортировке и длительном хранении стружки происходит снижение этого показателя до 5–8% за счет отстаивания и стекания. Однако и в таком состоянии «грязная» стружка практически непригодна для дальнейшего применения в качестве шихтового материала как по технологическим (особенно при индукционной плавке), так и по экологическим требованиям. Несмотря на большой интерес к переработке стружки, последняя как материал мало изучена. Ряд характеристик стружки, которые определяют качество

этого шихтового материала, требуют дополнительного исследования: уровень загрязненности, плотность, дисперсный состав, химический состав и однородность, адгезионные свойства и т. п.

Дисперсность стружки наиболее наглядным образом можно представить в логарифмически-вероятностной шкале координат (см. рисунок).

Из рисунка видно, что каждый из анализируемых образцов стружки является смесью продуктов обработки на разных станках и при различных режимах (нормальное распределение, характерное для монопроцесса, представлено прямой линией). После обработки в ротационной печи дисперсность и однородность стружки существенно возрастают. Это способствует при последующем прессовании получению плотных однородных по структуре брикетов с минимальной пористостью



Дисперсный состав стружки: 1 – чугунная стружка после нагрева в ротационной наклоняющейся печи (РНП) до 700–800 °С; 2 – чугунная стружка крупная (строгание, обдирка, грубая механическая обработка); 3 – чугунная и стальная мелкая дробленая стружка (чистовая обработка); 4 – чугунная и стальная стружка (смешанная)

и газосодержанием. Еще более качественные брикеты получаются с введением в шихту высокодисперсного углерода. При последующей плавке такие брикеты имеют угар, равный и даже меньший, чем у плотной шихты.

Форма частиц произвольная, тем не менее для дробленой стружки (пластинчатой) можно определить коэффициент формы, который колеблется от 1,3 до 2,75 для мелкой и от 2,45 до 7,5 для крупной фракции. Насыпная плотность чугуновой и стальной дробленой стружки составляет $(1,5-2,2) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. После высокотемпературной обработки в ротационных печах плотность возрастает до $(2,3-2,8) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Значительно уменьшаются и адгезионные силы: стружка при перегрузках «течет», как горячий песок или моршалит. Угол естественного откоса стружки составляет $\alpha_{\text{ст}} = 34-36^\circ$, в нагретом до $700-800^\circ\text{C}$ состоянии $\alpha_{\text{ст}}$ стремится к 0. Важным обстоятельством является поведение стружки во вращающихся печах. Угол, который занимает слой шихты, составляет $\alpha_{\text{дин}} = 45-47^\circ$ при вращении печи со скоростью 3–5 об/мин.

Существует ряд технологий подготовки и переработки стружки, включающие следующие операции: сбор, сортировка, дробление, очистка, брикетирование, транспортировка и нагрев для последующей плавки.

Дробление стружки – необходимая операция при работе с витой стальной стружкой, позволяющая получить массу из мелких фрагментов, примерно одинаковых размеров (0,5–5 мм), обладающих сыпучестью.

Большое внимание уделяется процессу очистки стружки от примесей, так как органические загрязнения резко снижают металлургическую ценность брикетов. Применяют различные способы очистки: центрифугирование – отделение СОЖ и масел центробежными силами; промывка горячей водой или щелочными растворами с последующей сушкой; обжиг в нагревательных печах в основном барабанного типа.

Главным недостатком способа обезвреживания в центрифугах всех типов является забивание грязью и мелкой стружкой отверстий для удаления масла, что заметно ухудшает обработку. В конструкциях современных установок могут быть предусмотрены промывка дренажной системы, а также подогрев, но это усложняет конструкцию и повышает энергопотребление.

Промывка – трудоемкий и дорогостоящий процесс, включающий 3–4-кратную промывку горячей водой (95°C) с ПАВ или щелочными растворами, а затем сушку в сушильной камере или камерной печи.

Все названные выше способы очистки недостаточно эффективны из-за высокоразвитой поверхности стружки, имеющей к тому же микротрещины и другие дефекты, а также из-за высоких адгезионных способностей железа и оксидов, прочно удерживающих растворы с поверхностно-активными веществами. Обжиг позволяет удалить практически все примеси: органические, влагу, масло, ПАВ и т. п.

Для нагрева больших объемов стружки до температур $350-500^\circ\text{C}$ применяют барабанные печи непрерывного действия, в которых стружка перемещается вдоль камеры тонким слоем от места загрузки к месту выгрузки. Над слоем, навстречу ему, движется поток теплоносителя, прогревая поверхность движущегося слоя стружки. Наименьшие габариты выпускаемых печей: высота – 1,6 м, длина – 8 м, производительность – 1–3 т/ч. Стружка после нагрева, как правило, имеет высокую окисленность – 10–12%, а в случае работы печи на жидком топливе – насыщенность серой. Такие печи эксплуатировать в условиях гибкого производства, когда требуется очищать и прогревать небольшие порции стружки разного состава и качества, нерентабельно.

На производстве с целью экономии иногда отказываются от предварительной очистки и брикетируют неочищенную стружку в холодном состоянии в закрытых матрицах без каких-либо связующих, применяя мощные гидравлические прессы. Для получения плотного брикета диаметром 250–350 мм давление прессования должно быть около 4,5 МПа. Большие усилия все же не обеспечивают достаточную механическую прочность брикетов и плотность более $(2,5-3,0) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Их нельзя долго хранить, так как имеющаяся в них эмульсия приводит к интенсивной коррозии. Скорость коррозии в 4–8 раз выше, чем на поверхности монолита. Низкая термическая стойкость приводит к потерям металла в виде угара и уноса (в вагранках до 30%). Для улучшения качества полученных брикетов их подвергают длительной сушке и нагреву до 350°C в камерных нагревательных печах. После выгорания примесей брикет уплотняют вторичным прессованием. Такая технология возможна для небольших объемов перерабатываемой стружки в условиях собственного производства завода, когда применяются менее жесткие требования, чем в случае отправки брикетов сторонним организациям.

Наиболее распространенный способ утилизации – холодное брикетирование предварительно очищенной стружки. Использовали различные типы прессы: штемпельные, револьверные, валь-

цевые и т. п. Однако низкие производительность и прочность получаемых брикетов, сложность оборудования и периферийных устройств, энергозатраты и другие недостатки технологии заставляют специалистов продолжать поиски как в области техники формирования брикетов, так и их состава. Так, в последнее время появились линии вибропрессования, технологии с использованием не только связующих, но и науглероживателей, пластификаторов, контролируемого увлажнения, флюсов и др. Технологический процесс включает в себя в следующие операции: подготовку шихты, смешивание, увлажнение, уплотнение.

Перемешивание сухих материалов со связующим (цементом, известью, жидким стеклом и т. п.) производится в течение не менее 40–60 с, добавки водного раствора пластификатора, перемешивание – в течение 90–120 с.

При давлении до 0,1 МПа и вибрации с частотой 30–70 Гц и амплитудой 0,2–0,6 мм производятся брикеты прочностью $P_{ст} = 13–15$ МПа, плотностью $\rho = 2,2–2,5$ кг/см³, пористостью $\leq 15\%$. Размеры получаемых брикетов от 20 до 1000 мм в диаметре. Осыпаемость брикетов (по методике ГОСТ 2787-75) составляет 2,5–3,5% (потеря массы). При 10-кратном сбрасывании – 5%.

Введение химических пластификаторов уменьшает пористость и облегчает уплотнение смеси, повышая структурную плотность.

Технология ориентирована на крупномасштабное металлургическое производство и требует дальнейшей отработки в конкретных производственных условиях. Такие брикеты, конечно, значительно меньше подвергаются коррозии, при плавке повышают содержание углерода в стали, но не снимают прочих негативных явлений.

Существующие технологии горячего брикетирования включают высокотемпературный нагрев и очистку стружки во вращающихся барабанных печах и прессование брикетов на мощных гидравлических прессах или молотах. Нагретая стружка пластична, что приводит к значительному уменьшению усилия прессования и позволяет получать прочные брикеты, пригодные для переплавки в любых агрегатах. Полученные брикеты имеют плотность до $(5–6) \cdot 10^3$ кг/м³ и могут в определенной степени быть аналогом кускового лома. Однако такая технология связана с большими затратами на нагрев стружки до температур 750–800 °С, что приводит к повышению стоимости до 200–250 долл. за 1 т. Длительность нагрева приводит к значительному окислению стружки, что снижает ценность брикета как шихтового материала. Добавки в брикет углеродсодержащих материалов усложняют технологию обработки.

Для очистки и нагрева стружки перед прессованием вместо традиционных барабанных печей более целесообразно применять скоростные режимы высокотемпературного нагрева на базе ротационных печей [1–4]. Максимальная интенсивность термической обработки стружки обеспечивается сложным взаимодействием многовекторного механического перемещения материала и аэродинамического воздействия возвратно-поступательного потока теплоносителя. Отличительная особенность конструкций таких печей – возможность создания вращающегося потока теплоносителя, совпадающего или противоположного вращению камеры. Поток теплоносителя активно участвует в тепломассопереносе и диспергировании материала стружки, создаются условия, близкие к нагреву псевдооживленного слоя. Производительность печей высокая за счет того, что частицы стружки почти одновременно прогреваются до требуемой температуры. Весь процесс занимает несколько минут. При этом габариты предлагаемых печей в 2,0–2,5 раза меньше барабанных печей, а производительность выше примерно в 4 раза. Емкость печей от 0,5 до 5,0 т, при этом режим работы может быть периодическим или непрерывным. Нагрев до 750–850 °С приводит к меньшему в 2–3 раза угару, чем нагрев до 350–500 °С. Это объясняется тем, что на поверхности стружки образуется тонкий слой (монослой) плотных оксидов, преимущественно вюститита FeO, препятствующего диффузии атомов кислорода в твердый металл. Более того, исследования показали, что скорость окисления стружки, прошедшей высокотемпературный нагрев, при последующем остывании и хранении примерно вдвое ниже, чем при низкотемпературном нагреве или сушке. За счет тепла, выделяющегося при выжигании масел, существенно сокращаются затраты природного газа на очистку стружки и уменьшаются вредные примеси в атмосферу. Стружка после обработки в РНП освобождается от влаги на 100%, содержание масел уменьшается с 5% до обработки до 0,01% после.

При обработке в РНП стружка разламывается в процессе перемешивания и образует однородную мелкодисперсную фракцию с размером частиц менее 3 мм (см. рисунок). Сыпучесть стружки, имеющей чистую гладкую поверхность на выходе из печи, близка сыпучести сухого песка. Кажущаяся плотность свободно насыпанной стружки возрастает. Например, для чугуновой стружки первоначальная плотность примерно 1500 кг/м³, а после обработки – 2800 кг/м³. Из стружки с такими характеристиками возможно получать качественные брикеты, отвечающие всем требованиям ГОСТ.

Предлагаемая технология подготовки и переработки стружки с очисткой выжиганием в ротационных печах и горячим прессованием брикетов эффективна на заводах, имеющих плавильные

агрегаты. Переплавка брикетов, полученных из сухой качественной стружки, увеличивает выход жидкого металла, уменьшает угар стружки и удельные расходы энергии.

Литература

1. Пат. 1424 Республика Беларусь: МПК F 27 В 7/00. Ротационная установка для термообработки и плавки дисперсных и кусковых материалов.
2. Пат. 1732 Республика Беларусь: МПК F 27 В 7/00. Ротационная качающаяся установка для термообработки и плавки дисперсных и кусковых материалов.
3. Пат. 2428 Республика Беларусь: МПК F 27 В 7/00. Ротационная установка для термообработки и сушки дисперсных и кусковых материалов.
4. Пат. 2770 Республика Беларусь: МПК F 27 В 7/00. Ротационная наклоняющаяся установка для плавки дисперсных и кусковых материалов.