



The mechanism of remelting of cast-iron chip scraps in induction furnaces is investigated and optimized.

Д. А. ВОЛКОВ, А. П. МЕЛЬНИКОВ, А. Д. ВОЛКОВ,
А. С. ГЛАМАЗДИН, НП РУП «Институт БелНИИЛит»,
М. Л. ГЕРМАН, Научно-исследовательское и проектное РУП «БелТЭИ»,
Э. А. СТЕБЛОВА, ИТМО НАН Беларуси

УДК 669.1

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕПЛАВА ЧУГУННОЙ СТРУЖКИ В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ

Одно из эффективных решений использования чугунной стружки в промышленности — применение ее в качестве шихтового материала в литейных цехах машиностроительных заводов без длительной транспортировки и безвозвратных потерь металла. В этом направлении, исходя из имеющегося парка плавильных печей, представляется возможным использование следующих технологических схем:

- брикетирование чугунной стружки с легирующими и шлакообразующими добавками и плавка брикетов в вагранке;
- брикетирование стальной стружки и плавка брикетов в дуговых печах (ДСП);
- плавка чугунной и стальной стружки россыпью и в виде брикетов в индукционных печах.

Использование дешевых металлоотходов для плавки чугуна позволяет снизить его себестоимость на 25–30% по сравнению с обычными чугунами вторичного переплава [1].

Наиболее перспективной при использовании собственных отходов является индукционная плавка. Конструкция индукционных печей позволяет вести нагрев и расплавление кусковой шихты по всему объему тигля, а плавка на промышленной частоте создает в жидком расплаве гидродинамические потоки, дающие возможность замешивать в расплаве легковесную шихту [2]. Это позволяет в печах типа ИЧТ плавить на «болоте» до 20–30% стружки россыпью (свободной). Однако на практике промышленные предприятия не переплавляют стружку из-за отсутствия технических рекомендаций и решений. С другой стороны, разработчики индукционных печей («Рэлтек», «Индуктор» (РФ), «Термолит» (Украина), JUNKER, АВР (Германия) и др.) являются электротехническими фирмами и соответственно не занимаются внедрением технологий по переплаву стружки.

В Республике Беларусь ряд предприятий уже имеют индукционные плавильные печи: РУП «Гомельский литейный завод «Центролит»; РУП «Завод литья и нормалей» (г. Гомель); ОАО «Лидский литейно-механический завод» (г. Лида); РУПП «Полесьеэлектромаш» (г. Лунинец); РУП «Завод «Могилевлифтмаш» (г. Могилев); БСЗ ЗАО «Атлант» (г. Барановичи). Другие предприятия производят запуск индукционных печей в производство или предусматривают их приобретение в планах технического перевооружения. Поэтому очень актуальны в настоящее время вопросы исследования процессов, происходящих при переплаве стружки в индукционных печах, и оптимизация технологии такого переплава.

В зависимости от частоты используемого тока индукционные тигельные печи имеют различные физические показатели на отдельных этапах нагрева и расплавления шихты, а также перемешивания жидкого металла по объему тигля [3]. В индукционных печах средней и высокой частот перемешивание жидкого металла является малоэффективным, в то время как в печах промышленной частоты перемешивание металла происходит по всему объему тигля с разрывом зеркала металла.

Благодаря садовому режиму работы индукционной печи, при котором металл не подвергается многократному перегреву, и шадящему температурному режиму выдержки чугуна в период разлива в расплаве сохраняются центры кристаллизации, что способствует формированию мелкозернистой структуры в отливках.

Для моделирования процессов, происходящих при индукционной плавке, на базе НП РУП «Институт БелНИИЛит» были проведены экспериментальные плавки в лабораторных условиях на плавильной печи мод. ИСТ-016 (рис. 1, емкость тигля



Рис. 1. Индукционная плавильная печь ИСТ-016, использованная для проведения экспериментов

– 160 кг, частота наведения токов – 2500 Гц) с использованием в шихте чугунной стружки и отливка опытной партии заготовок специальными методами литья.

При проведении плавки регистрировали следующие параметры: массу шихты; химический состав выплавленного металла; расход электроэнергии (по показаниям приборов, находящихся на щите управления); массу расплава и шлака; время плавки; температуру металла перед разливкой; структуру металла на отдельно вырезанных образцах. Особое внимание при этом уделяли таким вопросам, как эффективность расплавления стружки (как дисперсного материала) вторичными токами; степень влияния перемешивания жидкого металла на расплавление стружки; влияние исходного состояния стружки (брикет, насыпная) на процесс плавки и возможное наибольшее ее удельное содержание в шихте; металлургический выход; эффективность плавки с переходной ванной «болото» или чистым «сухим» тиглем.

В качестве шихтового материала применяли сухую стружку, полученную при обработке бесстержневых отливок «Втулка», изготовленных литьем в оболочковые формы, а также стружку из экспериментального цеха института, полученную при обработке корпусных заготовок, отлитых в холоднотвердеющие формы и брикеты плотностью 4,7–5,2 г/см³ с остаточной влажностью до 2%, изготовленные на БСЗ ЗАО «Атлант» (г. Барановичи) на холоднобрикетирующем прессе фирмы METALL (Австрия).

Для поиска наиболее эффективного способа расплавления стружки использовали различные составы шихты: шихту, состоящую полностью из сухой стружки; брикетов; стружки и чугунного лома; брикета и чугунного лома; стружки или брикетов, загружаемых на переходную ванну («болото»).

Плавки на «сухой» тигель показали неэффективность переплава стружки как насыпной, так и в брикетах: стружка в течение 1 ч нагревалась до высокой температуры (800–900 °С), но не расплавлялась и только при наличии жидкой фазы, полученной при загрузке стружки с кусковой шихтой или от переходной ванны предыдущей плавки, происходило расплавление (рис. 2).

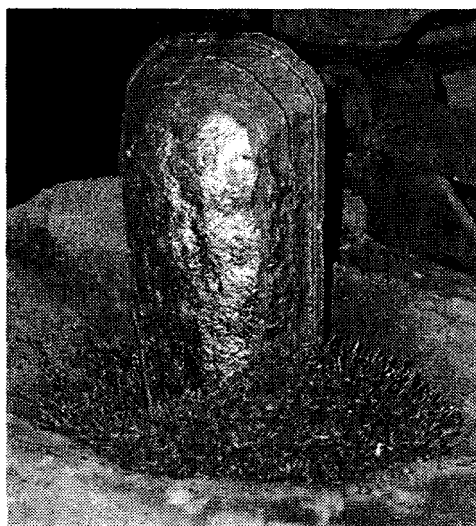


Рис. 2. Загрузка стружки с чушкой

Малоэффективным оказался процесс перемешивания расплава индукционными токами в высокочастотной печи, поэтому после очередной загрузки стружки проводили дополнительное механическое перемешивание расплава. При включении печи под нагрузку верхний слой стружки в тигле располагался вдоль линий магнитного поля (рис. 3).

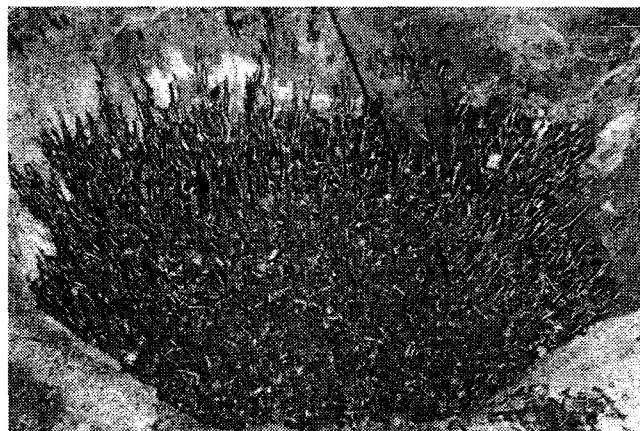


Рис. 3. Воздействие магнитного поля индуктора на загруженную в печь стружку

В дальнейшем все контрольные плавки с содержанием в шихте стружки проводили на нагретом «горячем» тигле с использованием в садке со стружкой кусковой шихты в виде чугунного лома. Были проведены четыре конт-

рольные плавки с содержанием в шихте 100% чугунного лома (холодный тигель); 33% насыпной стружки; 29% чугунного брикета; 46% насыпной стружки. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты контрольных плавок

Номер плавки	Длительность плавки	Температура перегрева, °С	Расход электроэнергии, кВт (на 1 т)	Масса шихты, кг	Масса стружки, кг	Масса расплава, кг	Масса шлака, кг	Угар по шихте, кг
1	1 ч 35 мин	1350	101,2 (632,6)	161	–	155	4	2
2	1 ч 30 мин	1340	107,2 (670,1)	167	55	158	4	5
3	1 ч 35 мин	1380	110,8 (692,2)	162	47	150,5	6	6,5
4	1 ч 40 мин	1387	118,9 (743)	167,5	77	160	3,5	4

* Без учета 1 кг углеродного боя на каждую плавку.

Фактический угар стружки составил 4–11% (для сравнения угар лома – 1,24–1,5%). Химический состав не отличается резко в четырех контрольных плавках и находится в пределах, допустимых ГОСТ 1412-85: С – 3,3–3,5%; Si – 2,3–2,5; Mn – 0,6–0,7%. После проведения плавки весь расплав был разлит в оболочковые формы для изготовления опытных отливок «Втулка». Брак после механической обработки не превышал 1%.

Необходимо отметить, что в условиях промышленного производства наиболее рациональным методом использования сухой стружки является ее переплав в собственном литейном производстве, благодаря чему во время плавки происходят небольшие потери в шлак. Напротив, при переплаве больших партий стружки сторонних организаций потери значительно возрастают за счет неметаллических примесей и окисления стружки с остаточной влажностью до 2% за счет ее возгорания при плавке. То же самое происходит и со стружкой, имеющей остаточную влажность до 2%. Это подтверждает плавка брикетов, изготовленных на БСЗ ЗАО «Атлант», которая сопровождалась постоянным горением без возгонов и значительными потерями в шлаки и на угар (рис. 4, 5).

Таким образом, по результатам экспериментальных плавок чугуна с использованием в шихте чугунной стружки, проведенных в лабораторных условиях на плавильной печи мод. ИСТ-016, можно сделать следующие выводы.

1. Стружка насыпная и в брикетах не расплавляется под воздействием высокочастотных индукционных токов. Для ее расплавления необходима дополнительная жидкая фаза.

2. Наличие электромагнитного перемешивания расплава в высокочастотных печах не способствует вовлечению в расплав стружки с его поверхности.

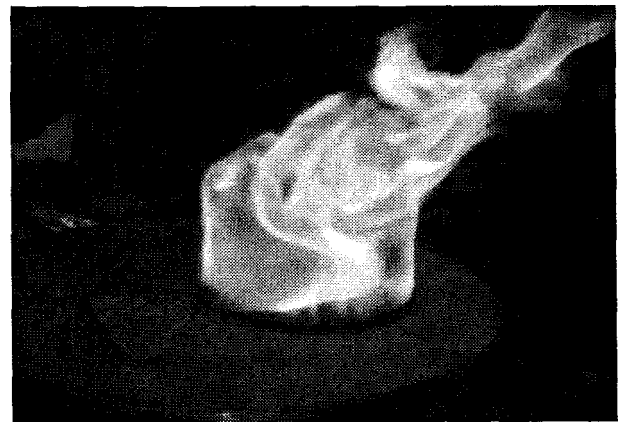


Рис. 4. Возгорание масел в брикете при нагреве его свыше 400 °С



Рис. 5. Расплав чугуна с использованием в шихте брикетов (повышенное содержание шлаков)

3. Увеличение образования шлака происходит за счет окисления стружки и неметаллических включений.

4. При плавке стружки резко повышается (в 3–10 раз) удельный угар из-за ее мелкодисперсной фракции по сравнению с кусковым ломом.

5. Использование брикетов уменьшает время загрузки шихты в тигель по сравнению с насып-

ной стружкой, однако процессы расплавления брикета и кускового лома различны, поэтому расплавление брикета эффективно при его содержании в шихте не более 10–15%.

Нарастание массы стружки в составе шихты вызывает увеличение длительности плавки, что ведет к перерасходу электроэнергии, поэтому наиболее оптимальной является плавка в индукционной печи с содержанием в шихте стружки насыпной до 30%.

Исходя из полученных результатов по приготовлению расплава чугуна с использованием в шихте насыпной сухой стружки и брикетов, было проведено около двух десятков экспериментальных и больше сотни опытно-промышленных плавков с использованием в шихте 10–15% сухой насыпной чугунной стружки для изготовления отливок на НП РУП «Институт БелНИИлит».

Анализ качества отливок деталей-представителей «Втулка» (рис. 6) и трубных заготовок диаметром 400x400 мм и массой 80 кг, полученных центробежным способом, показал следующее:

- общий брак после полной механической обработки отливок не превышал 0,5%, причем ожидаемый брак по неметаллическим включениям, рассредоточенной пористости и усадке вообще не был выявлен;
- что касается анализа качества трубных заготовок, изготовленных центробежным способом литья на машине мод. 4986 М1 при оборотах ротора 660 об/мин, то на изломе отливки не замечены неоднородности металла (ликвации) или шлаковые включения;
- длина отбеленных концов с обоих торцов (индикатор повышенного содержания цементита) не превышает допустимые 15–17 мм.

В литейном цехе ОАО «Лидский литейно-механический завод» при участии службы главного технолога, работников литейного цеха, ЦЗЛ и специалистов НП РУП «Институт БелНИИлит» проведены экспериментальные плавки чугунной стружки в индукционной печи промышленной

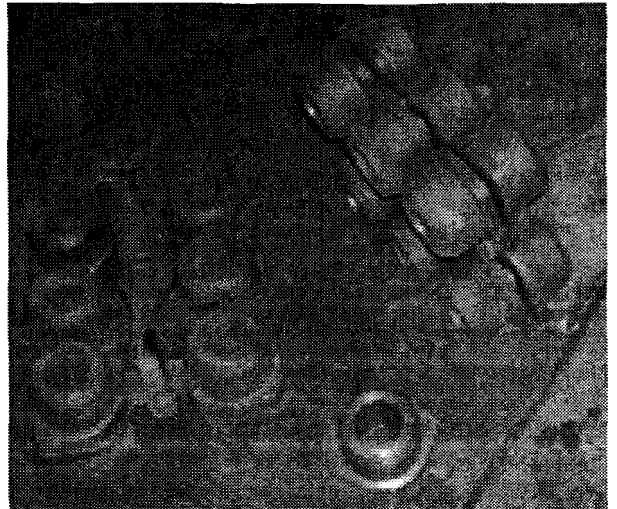


Рис. 6. Куст отливок «Втулка», изготовленный литьем в оболочковые формы, и деталь после механической обработки

частоты мод. ИЧТ-2,5 с изготовлением опытной партии гильз цилиндров.

Исследовали следующие параметры процесса плавки легированного чугуна: угар шихты и ферросплавов; изменение химического состава расплава по ходу плавки; расход электроэнергии; продолжительность плавки.

Для проведения опытных плавков в качестве шихты использовали сухую стружку, образующуюся на участке черновой обработки при обработке внутренней поверхности заготовки «Гильза» ГАЗ-66 и ЗИЛ-130. Были проведены три контрольные плавки: без стружки; с 10 и 20% стружки. Химический состав выплавляемого чугуна контролировали на приборе ЭМАС-200Д, микроструктуру — на микроскопе мод. МИМ-10.

В табл. 2 приведен микроструктурный анализ образцов № 1–3, взятых из плавильной печи ИЧТ-2,5 из металла без содержания в шихте стружки, с 10 и 20% стружки, а также образцов № 4–6, вырезанных из отливки «Гильза» для модели ГАЗ 66-1002021-04 из металла без содержания в шихте стружки, с 10 и 20% стружки.

Таблица 2. Микроструктурный анализ образцов № 1–6

Номер образца	Содержание химических элементов, %									Длина включений графита, мкм	Содержание перлита в структуре чугуна, %	Содержание феррита в структуре чугуна, %	Дисперсность перлита в структуре чугуна (расстояние между пластинами цементита), мкм
	C	P	Cr	Mn	V	Ti	Ni	Si	Cu				
1	3,32	0,25	0,3	0,7	0,019	0,02	0,07	2,3	0,38	15–60	80–90	10–20	От 0,3 до 0,8
2	3,33	0,26	0,29	0,73	0,021	0,024	0,06	2,34	0,4	15–30	От 98	До 2	0,3
3	3,36	0,25	0,33	0,69	0,02	0,024	0,08	2,3	0,45	30–60	94–98	2–6	0,3
4	3,36	0,2	0,28	0,68	0,018	0,022	0,06	2,3	0,4	15–30	От 98	До 2	До 0,3
5	3,36	0,27	0,31	0,66	0,02	0,021	0,09	2,3	0,4	15–60	94–98	2–6	До 0,3
6	3,32	0,25	0,3	0,7	0,022	0,021	0,05	2,29	0,43	30–60	От 98	До 2	От 0,3 до 0,8

Кроме того, получены следующие результаты обработки образцов №1–6: форма включений графита — пластинчатая прямолинейная; распре-

деление включений графита — колонии пластинчатого графита; количество включений графита — от 8 до 12%; вид структуры металлической

основы чугунов – перлит пластинчатый; строение включений фосфидной эвтектики – тройная мелкозернистая; распределение включений фосфидной эвтектики – разорванная сетка.

Таким образом, по результатам исследований механизма переплава чугуновой стружки в индукционных печах установлено следующее.

1. Эффективность переплава чугуновой стружки в виде холоднопрессованных брикетов ниже, чем при переплаве стружки в насыпном виде (по энергозатратам, угару шихты и времени плавки).

2. Использование в шихте до 20% сухой чугуновой стружки не вызывает дополнительного угара химических элементов в расплаве чугуна и не требует увеличения расхода ферросплавов.

3. Качество сплава по неметаллическим включениям, физико-механическим характеристикам, ликвациям и структурным составляющим не ухудшается.

4. Для эффективного переплава стружки необходим ее интенсивный захват под зеркало расплава и перемешивание по всему объему металла в тигле, поэтому плавки должны вестись на

переходной ванне (болоте) в объеме до 30% тигля. Конструктивно заложенным механизмом перемешивания обладают только печи промышленной частоты ИЧТ.

5. Для работы плавильных участков, предусматривающих переплав стружки, необходимы индукционные печи нового поколения с регулируемой частотой тока на внешнем контуре индуктора. В период расплавления плавка стружки должна вестись на промышленной частоте, а чушки и лома – на средней. Доводка расплава и перегрев должны проводиться на средней частоте.

6. Для достижения максимальных показателей при плавке стружка должна быть обезвожена.

Литература

1. Батышев К.А. Синтетический чугун и переработка металлических отходов // Рынок вторичных металлов. 2006. № 5/37. С. 33–35.
2. Лузгин В.И., Петров А.Ю., Рачков С.А., Якушев К.В. Индукционные среднечастотные плавильные комплексы с печами вместимостью 1–16 тонн для литейного производства // Литье Украины. 2006. №5(69).
3. Лузгин В.И., Петров А.Ю., Фаерман Л.И. Индукционные печи средней частоты нового поколения // Черные металлы. 2006. С. 14–25.