

С. В. Мурга // Сб. науч. тр. Донбасского государственного технического университета. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2020. — Вып. 18 (61). — С. 71–76.

4. ГОСТ 9013–059 (ИСО 6508–86). Металлы. Метод измерения твердо по Роквеллу. — М. : Изд-во стандартов, 1986. — 13 с.

© Коваленко О. А.

© Куберский С. В.

© Мурга Е. В.

PhD in Engineering Kovalenko O. A., PhD in Engineering Kuberskiy S. V., Murga E. V.

(SEI HPE LPR “DonSTU”, Alchevsk, LPR)

CHANGE OF PROPERTIES AND STRUCTURE AT DIFFERENT MODES OF LASER HARDENING

The results of the analysis of studies of hardness, wear resistance and microstructure of tool steels under various modes of laser hardening are presented.

Keywords: *surface hardening, laser processing, wear resistance, hardness, laser power mode.*

УДК 669.04:669.046.558.3

Проценко М. Ю.

к.т.н., доц.,

Воронько М. И.

асс.,

Белан И. А.

магистрант

ГОУ ВПО «ДонГТУ», г. Алчевск, ЛНР

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ РУДНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ ПРОЦЕССА ДУГОВОГО ГЛУБИННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ КРЕМНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕЕ СОСТАВА

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния состава рудно-восстановительной смеси на ее предел прочности при сжатии после термического удара. Установлено что рудно-восстановительная смесь с использованием каменноугольного пека в качестве связующего имеет более высокий предел прочности при сжатии в сравнении с цементом и жидким стеклом, что будет препятствовать преждевременному разрушению рудно-восстановительной смеси в процессе внепечной обработки железоуглеродистых расплавов.

Ключевые слова: *прочность, рудно-восстановительная смесь, дуговое глубинное восстановление, кокс, связующее, термический удар, цемент, жидкое стекло, каменноугольный пек.*

Сотрудники кафедры «Металлургия черных металлов» разработали технологию внепечной обработки железоуглеродистых расплавов, которая получила название метод дугового глубинного восстановления (ДГВ). Данная технология близка по своей сути к процессам получения ферросплавов, и предусматривает восстановление в зоне электрической дуги необходимых для раскисления-легирования элементов непосредственно в жидкий металл. Одним из основных преимуществ ДГВ является возможность использования в качестве основного рудного материала отходы металлургического производства и вторичное сырье. В настоящее время проводится исследование по усовершенствованию технологии ДГВ для насыщения расплава кремнием, восстановленным из песка.

Для процесса ДГВ основным элементом является специальный расходимый элемент — рудно-восстановительный блок (РВБ), состоящий из комбинированного токопроводящего электрода и рудно-восстановительной смеси (РВС).

При погружении РВБ в расплав с температурой свыше 1500 °С он испытывает разрушающее воздействие как высокого давления газообразных компонентов реакций восстановления, так и термические нагрузки. Для того, чтобы разрабатываемое изделие отвечало своему назначению, оно должно удовлетворять ряду требований — сохранять свою конфигурацию и строительную прочность. Поэтому в данной работе были проведены исследования изменения предела прочности при сжатии ($\sigma_{\text{пр.сж.}}$) после термического удара образцов РВС, при различной доле связующих и восстановителя в составе.

При изготовлении опытных образцов РВС в качестве рудного материала использовали песок (п), в качестве связующих материалов использовали: цемент (ц), каменноугольный пек (к. п.), жидкое стекло (ж. с.). В качестве восстановителя использовали кокс (к).

При проведении исследований $\sigma_{\text{пр.сж.}}$ РВС использовали методику двухфакторного планированного эксперимента с двумя звёздными точками [2]. Опытные образцы изготавливались в соответствии с матрицей планированного эксперимента.

Рассев песка, цемента, к. п. и кокса производился через сито с ячейками – 0,63 мм. Содержание связующего и восстановителя в РВС выбиралось в соответствии с матрицей планированного эксперимента. Содержание компонентов в РВС (d):

РВС с цементом — $d_{\text{п}} = 47,78 \div 62,93$ %, $d_{\text{ц}} = 8,50 \div 23,65$ %, $d_{\text{к}} = 27,84 \div 29,29$ %;

РВС с к.п. — $d_{\text{п}} = 55,67 \div 66,47$ %, $d_{\text{к.п.}} = 9,87 \div 20,66$ %, $d_{\text{к}} = 22,83 \div 24,48$ %;

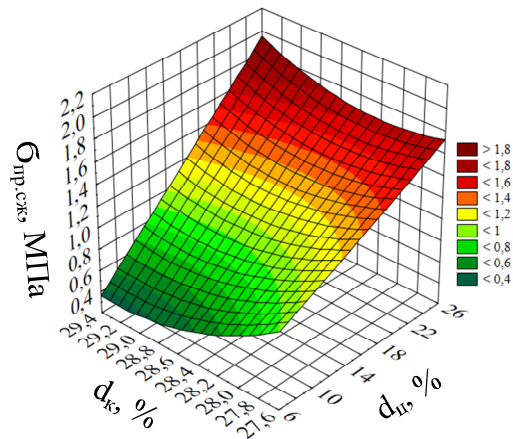
РВС с ж.с. — $d_{\text{п}} = 59,13 \div 64,11$ %, $d_{\text{ж.с.}} = 6,31 \div 11,29$ %, $d_{\text{к}} = 28,87 \div 30,27$ %.

Заготовки опытных образцов с использованием цемента и ж. с. набивались в пресс-форме и в дальнейшем сушились на воздухе, а при использовании к. п. набивка образцов РВС в пресс-форме проводилась в печи при температуре 120 °С с последующим коксованием РВС в течение 8 часов при температуре 800÷900 °С. После набивки все образцы РВС имели цилиндрическую форму и диаметр 22 мм.

Прочность образцов РВС определяли по методике [3], с использованием гидравлического пресса с манометром, после того как они были подвергнуты термическому удару в печи СУОЛ-0,25.1/12-М1. Печь нагревали до температуры 900÷920 °С и набитые заготовки образцов РВС помещали в неё на 10 мин. По истечению времени заготовка изымалась из рабочего пространства печи и остывала на воздухе до комнатной температуры. В дальнейшем из заготовок вырезали образцы диаметром и высотой 22 мм, т. к. в общем случае на результаты испытания кроме прочности материалов и трения оказывает влияние также масштабный фактор, т. е. размеры образцов и площадь их поперечного сечения.

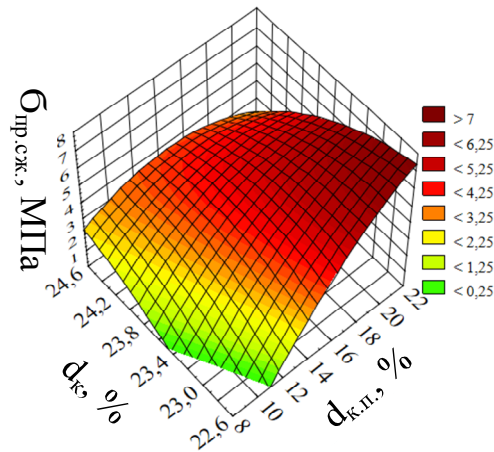
Перед измерением $\sigma_{\text{пр.сж.}}$ образцов РВС их плоскости тщательно выравнивали друг относительно друга для достижения параллельного расположения граней. Образцы устанавливали в гидравлический пресс и повышали давление масла в поршне. При разрушении образца фиксировали показатели манометра, установленного на прессе, тем самым измеряя предел прочности РВС при сжатии. Необходимо отметить, что при испытаниях хрупких образцов материалов фиксировали наибольшее давление, которое выдержал образец, а не нагрузку при появлении первой трещины, как это принято при испытаниях конструктивных материалов. Для минимизации погрешности измерений $\sigma_{\text{пр.сж.}}$ РВС, замер каждого образца производили по три раза и определяли среднее значение. Полученные экспериментальные результаты были статистически обработаны с помощью стандартных пакетов программ Microsoft Excel и Statistica. Полученные графические зависимости представлены на рисунках 1–3.

В результате проведенной работы установлено влияние доли различных связующих и восстановителя в составе РВС на ее $\sigma_{\text{пр.сж.}}$ после термического удара.



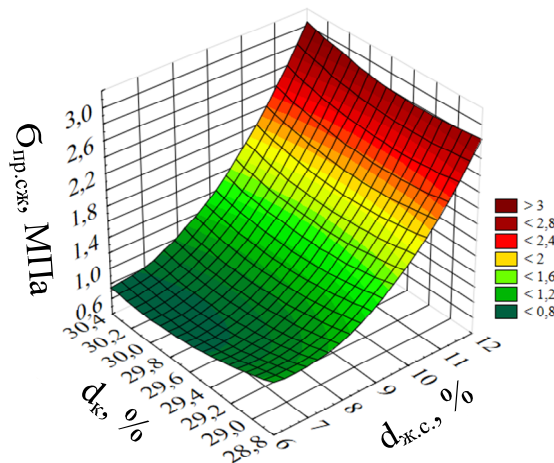
$$\sigma_{пр.сжк.(ц)} = 178,9704 - 0,56 \cdot d_{ц} - 12,1179 \cdot d_{к} + 5,1208 \cdot 10^{-5} \cdot d_{ц}^2 + 0,0217 \cdot d_{ц} \cdot d_{к} + 0,205 \cdot d_{к}^2$$

Рисунок 1 — Зависимость $\sigma_{пр.сжк.}$ PVC от количества добавки цемента и кокса



$$\sigma_{пр.сжк.(к.п.)} = -631,2713 + 10,4037 \cdot d_{к.п.} + 46,9274 \cdot d_{к} - 0,0295 \cdot d_{к.п.}^2 - 0,3874 \cdot d_{к.п.} \cdot d_{к} - 0,8691 \cdot d_{к}^2$$

Рисунок 2 — Зависимость $\sigma_{пр.сжк.}$ PVC от количества добавки каменноугольного пека и кокса



$$\sigma_{пр.сжк.(ж.с.)} = 217,6178 - 2,4179 \cdot d_{ж.с.} - 13,9572 \cdot d_{к} + 0,062 \cdot d_{ж.с.}^2 + 0,0554 \cdot d_{ж.с.} \cdot d_{к} + 0,2268 \cdot d_{к}^2$$

Рисунок 3 — Зависимость $\sigma_{пр.сжк.}$ PVC от количества добавки жидкого стекла и кокса

Результаты проведенных исследований показывают, что максимальные значения $\sigma_{\text{пр.сж.}}$ получены с использованием в качестве связующего в РВС к. п.. Для данных составов РВС прочность составляла $\sigma_{\text{пр.сж.}}(\text{к. п.}) = 1,465 \div 6,585$ МПа, при этом минимальные значения получены для РВС с содержанием 9,87 % к.п. и 23,66 % кокса, а максимальные при 20,66 % к. п. и 23,66 % кокса. Анализируя данные, полученные для РВС с цементом и ж.с., можно отметить, что их прочность очень близка. Значения прочности для РВС с цементом находятся в пределах $\sigma_{\text{пр.сж.}}(\text{ц}) = 0,557 \div 1,545$ МПа, при этом минимальное значение характерно для РВС с содержанием 8,50 % цемента и 28,57 % кокса, а максимальное для 21,28 % цемента и 29,08 % кокса. Прочность РВС с ж. с. находилась в пределах $\sigma_{\text{пр.сж.}}(\text{ж. с.}) = 0,695 \div 2,364$ МПа. Где минимальное значение отмечено для РВС с содержанием 6,31 % ж. с. и 29,58 % кокса, максимальное для 11,29 % ж. с. и 29,58 % кокса.

Полученные результаты показывают, что РВС с использованием к. п. имеет более высокий $\sigma_{\text{пр.сж.}}$ в сравнении с цементом и ж. с., что будет препятствовать преждевременному разрушению РВС в процессе обработки. Показатели высокого предела прочности при сжатии способствуют сохранению прочностных характеристик РВБ в процессе обработки жидкого расплава, что в свою очередь минимизирует вероятность преждевременного разрушения РВС, и снижения степени извлечения кремния методом ДГВ. Использование цемента в составе РВС повышает вероятность преждевременного разрушения, что негативно сказывается на эффективности исследуемой технологии.

В дальнейших исследованиях предполагается использовать полученные результаты при внепечной обработке чугуна и стали, также проанализировать технико-экономические показатели процесса ДГВ кремния.

Список литературы

1. Электродуговая и электромагнитная обработка расплавов : монография / А. Н. Смирнов и др. — Алчевск : ДонГТУ, 2013. — 320 с.
2. Воронько, М. И. Разработка методики для оценки влияния состава электродной смеси на её электропроводность [Электронный ресурс] / М. И. Воронько, В. О. Десятников, М. Ю. Проценко // Металлургия XXI столетия глазами молодых : материалы IV Международной научно-практической конференции молодых учёных и студентов. — Донецк : ГОУ ВПО «ДНТУ», 2018. — С. 39–42. — (CD-ROM).
3. ГОСТ 10180–2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. — Введ. 2013-07-01. — М. : Стандартинформ, 2013. — 35 с.

© Проценко М. Ю.

© Воронько М. И.

© Белан И. А.

Ph.D. in Engineering Protsenko M. Yu., Ph.D. student Voron'ko M. I., master's student Belan I. A.
(SEI HPE LPR "DonSTU", Alchevsk, LPR)

DETERMINATION OF STRENGTH OF THE ORE-REDUCING MIXTURE OF THE PROCESS OF ARC DEPTH DECORATION OF SILICON, DEPENDING ON ITS COMPOSITION

The results of experimental studies of the effect of the composition of the ore-reducing mixture on its compressive strength after thermal shock are presented. It was found that the ore-reduction mixture using coal tar pitch as a binder has a higher compressive strength in comparison with cement and liquid glass, which will prevent premature destruction of the ore-reduction mixture during the out-of-furnace treatment of iron-carbon melts.

Keywords: strength, ore-reduction mixture, deep arc reduction, coke, binder, thermal shock, cement, water glass, coal tar pitch.