Окатыши – комочки измельченного рудного концентрата. Полуфабрикат металлургического производства железа. Является продуктом обогащения железосодержащих руд специальными концентрирующими способами [6].

Опытная кампания по использованию в шихте окатышей при выплавке ферросилиция марки ФС75 проводилась в течение февраля 2015 года на открытых печах ОАО «КФ».

Выплавка ферросилиция производилась в соответствии с технологическими инструкциями завода. Окатыши и стальная стружка использовались в соотношении 30:70 и 20:80 (по количеству вносимого железа). Окатыши подавались на печь без дробления и отсева мелочи. В течение всего экспериментального периода постоянно контролировались следующие параметры: текущий контроль качества окатышей (химический гранулометрический состав, влажность), количество шлака, химический состав шлака (SiO_2 , SiC , $\text{Si}_{\text{мет}}$, C , Al_2O_3 , CaO , MgO), масса металла, состав металла (Si , Al , Ca , P), расходные показатели (шихтовые материалы, электродная масса, электроэнергия). В качестве шихты на время проведения опытной кампании использовались: кварцит, длиннопламенный уголь, щепа, окатыши и стружка.

Проведение опытных плавов на ОАО «КФ» подтвердило результаты работы ОАО «СЗФ». В шихте образовались легкоплавкие составы на основе фаялита, что, в конечном счете, нарушает электрический и газовый режим работы печи.

Обобщив вышесказанное можно сделать следующие выводы:

1. Замена металлической стружки нефлюсованными железорудными окатышами при производстве ферросилиция возможна.

2. Использование окатышей требует подбора, как электрического режима, так и процентного содержания компонентов шихты.

3. При использовании окатышей как заменитель металлической стружки необходимо подобрать соответствующие флюсовые добавки.

3. Использование окатышей вызывает потери производства и перерасход электроэнергии.

4. Расчет экономической эффективности показывает, что низкая стоимость окатышей перекрывается высокой стоимостью перерасхода электроэнергии и вспомогательных материалов.

Литература.

1. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушева А.М. Общая металлургия: учебник для вузов. 6-изд., перераб и доп.-М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 768 с.:253 ил.
2. Зубов В.Л., Гасик М.И. Электрометаллургия ферросилиция. Днепропетровск: Системные технологии, 2002. – 704 с.
3. Толстогузов Н.В. Теоретические основы и технология плавки кремнистых и марганцевых сплавов. М.: Металлургия. 1992 г. – 241 с.
4. Рысс М.А. Производство ферросплавов. М.: Металлургия. 1985. – 344с.
5. Чайченко А.А., Кравченко В.А. Исследование возможности производства ферросилиция из окислов хвостов от обогащения железистых кварцитов. //Сталь. 1971. №10. – С. 915.
6. Окатыш // Википедия [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>

ПРЯМЫЕ И КОСВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ СВОЙСТВ НАПЛАВЛЕННОГО ТЕПЛОСТОЙКОГО МЕТАЛЛА ВЫСОКОЙ ТВЕРДОСТИ

*А. Серикбол, студент группы 10В20,
научный руководитель: Валуйев Д.В.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: aikosha94s@mail.ru

Для анализа сварочных термомеханических циклов и исследований свойств наплавленного быстрорежущего металла широко применяется метод температурной (тепловой) микроскопии, который совмещает достоинства микроскопических и фрактографических методов, а также методов испытания механических свойств металлических материалов [1].

Преимущества метода температурной микроскопии наглядно проявляются при изучении термомеханического воздействия на сталь. Обычный метод – закалка не позволяет устанавливать, например, особенности кинетики формирования и роста зерен аустенита, определять продукты его распада при

различных режимах термомеханического воздействия и др., в то время как метод температурной микроскопии имеет широкие возможности.

При исследовании современных материалов, в том числе сварных соединений и наплавленного металла, имеющих сложную гетерогенную структуру, и для решения различных научных и технологических задач с помощью этого метода тепловой микроскопии нами были использованы специализированные установки типа ИМАШ–5С–69 и ИМАШ–20–75 [1].

В установках предусмотрена возможность проведения испытаний в вакууме или газовых средах. В установках температурной микроскопии есть нагревательное и нагружающее устройства, что позволяет моделировать различные реальные схемы технологических процессов. Практически все технологические процессы можно представить как ряд последовательных нагревов и охлаждений и параллельно – температурно-силовых воздействий. С помощью высокотемпературного микроскопа можно одновременно осуществлять непосредственное наблюдение за структурными изменениями, происходящими при моделировании, и фиксировать количественные параметры термомеханического воздействия на изменение структуры и зарождение разрушения. Особенности теплового режима сварки, а именно: высокая температура нагрева и высокие скорости нагрева и охлаждения определяют своеобразие перечисленных процессов в сварных соединениях и наплавленном металле.

Были проведены исследования свойств наплавленного теплостойкого металла высокой твердости на образцах, вырезанных электроэрозионным способом. На установках тепловой микроскопии ИМАШ–5С–69 и ИМАШ–20–75 исследовано влияние основных стадий термического цикла способов многослойной наплавки на упрочнение хромовольфрамового металла и стойкость против образования холодных трещин. Установлено, что максимальное упрочнение наплавленного металла ($\text{твёрдость} \geq \text{HRC64}$) можно достичь путём комплексного легирования углеродом, хромом, вольфрамом, азотом и алюминием (наплавленный металл типа стали Р18) и применения скоростей охлаждения, превышающих критические закалочные. Легирование азотом и алюминием (0,68 и 1 % соответственно) способствует измельчению аустенитного зерна, что благоприятно сказывается на увеличении стойкости против образования холодных трещин.

Показано, что применение предварительного подогрева с температурой $Mn + (50-100)^\circ C$ обеспечивает нахождение металла в аустенитном состоянии в процессе наплавки и приводит к стабилизации аустенита, увеличивающей количество остаточного аустенита в наплавленном металле, что повышает стойкость против образования холодных трещин.

Доказана возможность использования явления релаксации временных напряжений в интервале температур мартенситного превращения для уменьшения склонности наплавленного металла к образованию холодных трещин. Показано, что в релаксации временных напряжений определяющая роль принадлежит эффекту сверхпластичности в момент мартенситного превращения. Для уменьшения уровня оставшихся в металле напряжений необходимо соответствующим легированием сплава (углеродом, хромом, вольфрамом, азотом, алюминием, никелем и др.) сместить интервал релаксации временных напряжений в область комнатных температур. Наиболее благоприятно на увеличение стойкости против образования трещин сказывается легирование наплавленного металла никелем.

Доказано, что кратковременное снижение температуры подогрева на $(20-100)^\circ C$ ниже Mn приводит к частичной релаксации временных напряжений за счёт эффекта сверхпластичности, что предотвращает образование трещин в процессе многослойной наплавки.

Исследования на установках тепловой микроскопии позволили проследить кинетику изменения фазового состава и формирования временных напряжений в процессе нагрева и охлаждения по заданному термическому циклу наплавки.

Изменение фазового состава наплавленного металла можно оценить как при непосредственном наблюдении, так и по косвенным данным (микротвёрдости, размеру аустенитного зерна, величины карбидной фазы).

Оценка склонности наплавленного металла к образованию холодных трещин, проводимая на основе анализа кинетики формирования временных напряжений в жестко закрепленных образцах, может служить только для сравнения между собой различных сварочных материалов, способов и режимов наплавки. Данный метод оценки свариваемости относится к косвенным, при котором сварочный процесс заменен другим, имитирующим его процессом. Косвенные методы испытания следует рассматривать только как предварительные. Результаты их должны быть проверены путем прямых испытаний.

Данные, полученные при исследованиях на установках тепловой микроскопии, проверялись нами путем наплавки по разработанным способам заготовок диаметром 100 мм порошковыми проволоками разного химического состава. Оптимальное сочетание свойств наплавленного металла и низ-

кого уровня остаточных напряжений обеспечивает наплавка порошковой проволокой ПП–P18ЮН, легированной углеродом, хромом, вольфрамом, алюминием, азотом и никелем. Температура подогрева снижается по сравнению с другими исследуемыми составами порошковых проволок до 230 °С.

При плазменной наплавке с сопутствующим охлаждением и температурой подогрева, равной 230 °С, трещины образуются в металле, наплавленном порошковой проволокой ПП–3Х2В8, ПП–4Х4В10Ю и ПП–P18Ю, дополнительно легированной кобальтом. Наплавка порошковой проволокой типа ПП–P18ЮН обеспечивает получение плотного металла. Холодные трещины в нем не обнаружены. Свойства наплавленного металла приближаются к свойствам закаленных сталей. Количество карбидного осадка, состав карбидов наплавленного металла типа P18 в зависимости от условий наплавки показан на рисунке 2.

Из данных рисунка 2 видно, что при медленном охлаждении, рекомендуемом для предотвращения образования холодных трещин в наплавленном металле [2], происходит увеличение количества выделившихся карбидов и обеднение аустенита. В закаленном наплавленном металле количество карбидов уменьшается, а, следовательно, увеличивается степень легированности твердого раствора. Это позволяет значительно увеличить твердость при последующем отпуске закаленного металла.

Промышленные испытания в реальных заводских условиях наплавленных прокатных валков подтвердили результаты прямых и косвенных исследований свойств наплавленного теплоустойчивого металла.

Наплавка прокатных валков осуществлялась на установке для плазменной наплавки тел вращения. Установка для плазменной наплавки деталей металлургического оборудования (прокатных валков и роликов), сконструирована из серийно выпускаемого оборудования. Для плазменной наплавки нетоковедущей порошковой проволокой была использована установка, состоящая из манипулятора, задней бабки, модернизированного аппарата А-384 и пульта управления. Источником питания служит выпрямитель аппарата АПР- 401У4. В качестве плазмотрона использован плазмотрон, разработанный сотрудниками кафедры и успешно зарекомендовавший себя в эксплуатации.

Выбор плазменной наплавки как способа нанесения износостойких покрытий с целью изготовления новых и восстановления изношенных деталей объясняется рядом преимуществ перед другими способами наплавки: такими, как, высокая производительность, широкая возможность легирования наплавленного металла, возможность применения различных наплавочных металлов. Особенности сжатой дуги, как источника тепла, является то, что ее тепловые и газодинамические характеристики могут легко регулироваться в широких пределах. Использование сжатой дуги обратной полярности позволяет устранить трудоемкие, усложняющие технологический процесс наплавки, операции по предварительной очистке поверхности изделия.

Использование азота в качестве защитного газа по сравнению с аргоном позволяет не только снизить затраты на наплавку, но и эффективно легировать наплавленный металл азотом из газовой фазы непосредственно в процессе наплавки, что существенно повышает его твердость и износостойкость. Предотвращение образования пор в наплавленном металле достигается введением в порошковую проволоку элементов, имеющих большее сродство к азоту и связывающих его в стойкие нитриды.

Улучшить свойства наплавленного высоколегированного металла, а также обеспечить благоприятное напряженное состояние позволяет применение дополнительно после наплавки высокотемпературного отпуска. Так, твердость металла после наплавки составляет HRC 52–57, а после отпуска на вторичную твердость достигает HRC 62–64.

Установлено, что изготовленные с применением плазменной наплавки активного слоя теплоустойчивыми сталями высокой твердости рабочие валки стана холодной прокатки 6/100Х315 полностью пригодны для условий прокатки и равнения труднодеформируемых сплавов и сталей при повышении в 1,5...2,0 раза стойкости по сравнению с серийными валками.

Повышение износостойкости наплавленных валков можно объяснить наличием в структуре мелкодисперсных карбидов M_6C и MC . Наличие в поверхностном слое наплавленных валков сжимающих напряжений и отсутствие резкого перехода сжимающих напряжений в растягивающие является, вероятно, одним из факторов, способствующих повышению износостойкости.

Литература.

1. Герасимова Л.П. Контроль качества сварных и паяных соединений: справочное издание /Л.П. Герасимова – М.: Интермет Инжиниринг, 2007. – 376 с.
2. Фрумин И.И. Автоматическая электродуговая наплавка / И.И. Фрумин – Харьков: Металлургиздат, 1961, – 421с.