

# УПРОЧНЕНИЕ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ НАПЛАВКОЙ ИНДУКЦИОННЫМ МЕТОДОМ НАГРЕВА

**Тавтилов И.Ш., Румянцев С.А.**  
**ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,**  
**г. Оренбург**

На рабочие органы землеройных и дорожных машин наплавку износостойких твердых сплавов осуществляют электродуговым и газопламенным способами. В связи со спецификой наплавки высоколегированных сплавов эти способы слабо поддаются механизации и автоматизации, что не позволяет получить достаточно тонкий и равномерный слой наплавленного металла. Это послужило основанием поиска более совершенных методов упрочнения рабочих поверхностей и одним из таких методов считается метод наплавки, энергия которой генерируется токами высокой частоты.

К достоинствам способа индукционной наплавки относят:

- высокая износостойкость наплавленного слоя;
- отсутствие остаточных напряжений и деформаций ввиду малого проплавления основного материала;
- регулирование химического состава и свойств наплавленного материала.

Нагрев поверхности детали, помещенной в переменное магнитное поле, имеет существенные преимущества перед другими видами нагрева т.к. индукционный ток по сечению детали распределяется неравномерно. Максимального значения его плотность достигает у поверхности, и при переходе в глубь детали, резко падает, что позволяет теплу концентрироваться в тех точках поверхности, в которых необходимо осуществить высокотемпературный нагрев металла и наплавку порошка.

Шихта, используемая при наплавке, состоит из наплавленного металлического порошка твердого сплава и флюсов, которые слоем определенной толщины наносят на наплавленную поверхность.

Чтобы получить наплавленный слой высокого качества необходимо, чтобы температура плавления шихты была на 150-200 °С ниже температуры плавления ее основного компонента, при этом главные компоненты шихты должны иметь небольшую разность температур плавления и хорошо растворяться друг в друге. В противном случае металлургический процесс завершится не успеет. Это достигается введением в состав шихты порошка готового сплава с определенной магнитной проницаемостью, причем последняя должна быть минимальной, так как при определенных частотах (ниже 100000 Гц) под действием магнитного поля индуктора может произойти осыпание шихты с наплавленной поверхностью. [1]

Входящие в состав шихты флюсы расплавляются главным образом за счет теплоты нагреваемой поверхности основного компонента.

Состав флюса (в процентах):

- 1 Бура (ГОСТ 8429-69) - 60;
- 2 Борная кислота (ГОСТ 2629-44) - 30;
- 3 Фтористый кальций (ГОСТ 7167-68) - 10.

Роль флюса, добавляемого в порошковую шихту, в основном заключается в раскислении наплавляемого металла, а также в выполнении защитных функций. Расплавленный флюс покрывает поверхность жидкого металла сплошным слоем и предотвращает взаимодействие его с атмосферой, а также препятствует теплоотдаче расплавленного металла в окружающую среду, т.е. выполняет роль своеобразного теплоизолятора.

В лаборатории кафедры материаловедения и технологии материалов была проведена работа по исследованию наплавки на установке ТВЧ самофлюсующихся твердых сплавов образцов из низкоуглеродистых сталей.

Для экспериментов были использованы прямоугольные образцы с параметрами (а×b×с) 18×18×10 мм из стали марки ст3 (рисунок 1). На их поверхностях проводили индукционную наплавку с применением ТВЧ на установке ВЧГ2-100/0,066 самофлюсующимися твердыми сплавами.

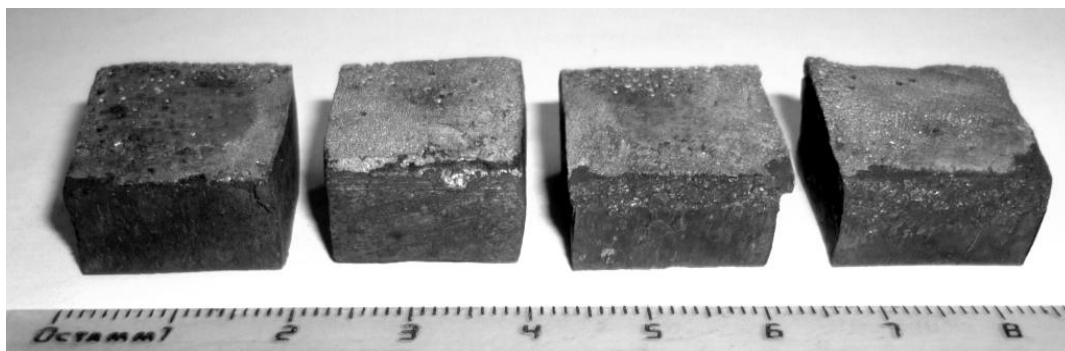


Рисунок 1 – Внешний вид образцов, наплавленных самофлюсующимися твердыми сплавами

Перед наплавкой осуществляют нагрев образцов с насыпанной наплавляемой смесью до ее плавления, выдержке при данной температуре и последующей кристаллизацией расплава.

Для обеспечения прочного сцепления покрытия с основным металлом детали и для получения равномерной толщины покрытия требуется специальная подготовка поверхностей детали под напыление включающая обеспечение требуемой шероховатости и ее создают механической обработкой – точением или фрезерованием с нарезанием «рваной» резьбы.

Далее проводили наплавку порошка из сплава ПГ-10Н-01 на предварительно зачищенную поверхность образцов из стали Ст3. Для повышения сцепляемости наплавленного слоя поверхность покрывали различными веществами, обладающими высокой поверхностной активностью. Результаты данного этапа исследования приведены в таблице 1.

Подготовленные поверхности быстро теряют требуемые свойства (из-за окисления и адсорбции газов) и поэтому перерыв между операциями

подготовки поверхности и ее наплавлением должен быть по возможности минимальным.

Таблица 1 – Подготовка образцов к наплавке сплавом ПГ-10Н-01

Время наплавки, с	Условия подготовки поверхности к наплавке	Характеристика процесса наплавки и полученного слоя	Твердость наплавленного слоя, HRC
28	Смазывание индустриальным маслом И20	Растекаемость хорошая. Наплавленный слой плотный, без видимых пор. На поверхности зеленоватый налет	55-60
27	Смачивание водой	Растекаемость хорошая	55-60
23	Смачивание 10 % раствором жидкого стекла	Растекаемость плохая. При нагревании образовалась капля порошка в центре образца	55-60
30	Пропитка силикатным клеем	Растекаемость плохая. Порошок при нагреве кипит, вспучивается. Поверхность наплавки шероховатая.	51-55

Наилучший внешний вид наблюдался на образцах протертых индустриальным маслом И20.

Состав наплаваемых порошков приведен в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Состав исходных порошков для наплавки ТВЧ

Марка порошка	Химический состав по основным элементам, %						
	В	С	Si	Cr	Fe	Ni	Mn
ПГ-10Н-01	2,8-3,4	0,6-1,00	4,0	14,0-20,0	4,0-4,5	основа	-
ПС-12НВК-01	Композиция: 65 % ПГ-10Н-01 + 35 % WC						
ПГ-С27 (У40Х28Н2С2ВМ)	-	3,3-4,0	1,5	25,0-28,0	основа	1,5-2,0	1,1
ПГ-СР-2 (ПГ-ХН80СР2)	1,5-2,5	0,3-0,6	2,5	12,0-15,0	5,0	основа	-

Таблица 3 – Зависимость твердости покрытия и температуры наплавки от различных марок покрытия

Марка порошка	Температура плавления, °С	Твердость покрытия, HRC
ПГ-10Н-01	1050	55-62
ПС-12НВК-01	1050	57-64
ПГ-С27 (У40Х28Н2С2ВМ)	1300	50-56
ПГ-СР-2(ПГ-ХН80СР2)	1050	35-40

Наплавку выполняли в следующей последовательности:

- подготовка порошковых материалов;
- подготовка наплавляемой поверхности;
- подготовка оборудования;
- установка образца с насыпанным на него порошком в индуктор;
- индукционная наплавка, температура наплавки составила 1050-1100 °С;
- выдержка во включенном индукторе 6-15 секунд до плавления порошка.

Образцы с наплавленным покрытием очищали от флюсов и окалины. Затем проводили измерение твердости (рисунок 2), испытание на абразивный износ (истирание) (рисунок 3) и подвергали микроструктурному анализу.

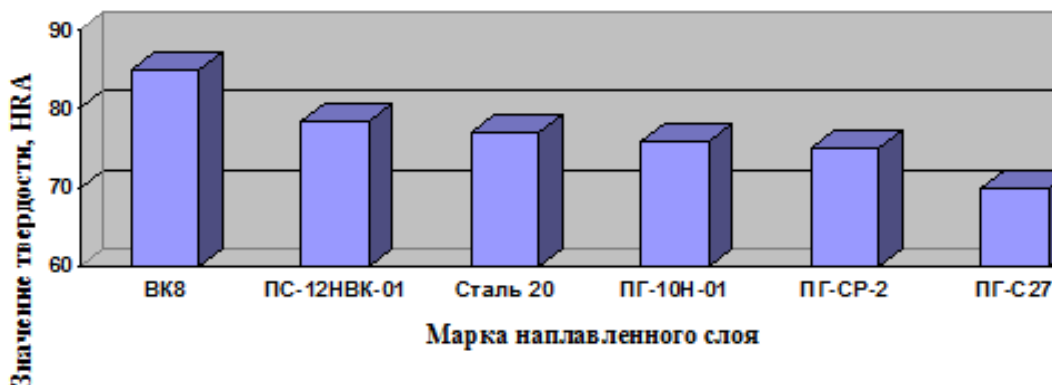


Рисунок 2 – Твёрдость наплавленных образцов в зависимости от марки наплавленного слоя

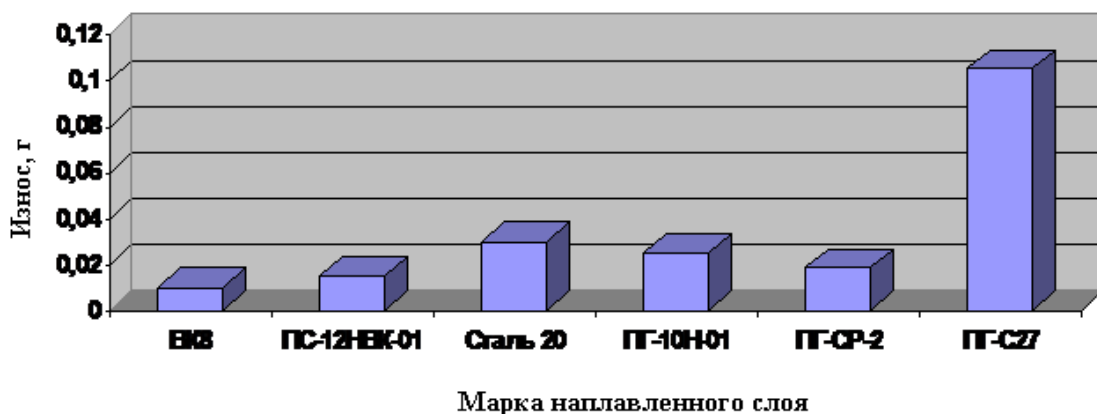
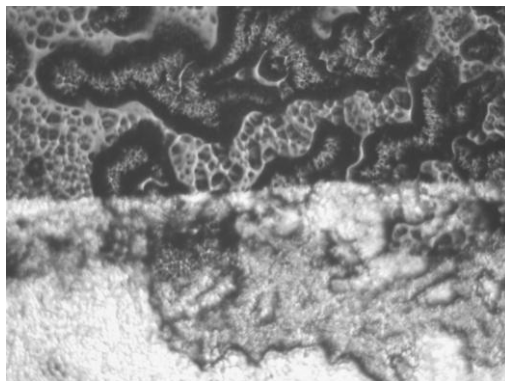


Рисунок 3 – Износ наплавленных образцов в зависимости от марки наплавленного слоя

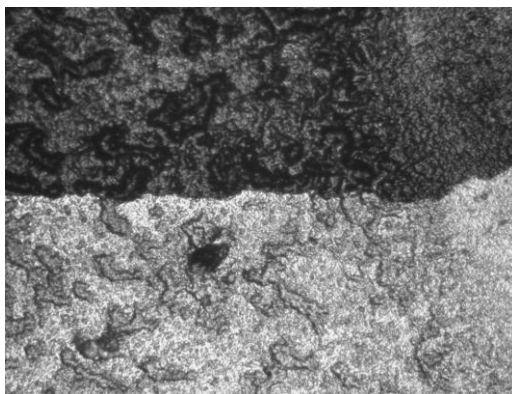
Структура наплавленных образцов при наплавке порошка ПГ-10Н-01 показана на рисунке 4 (верх – наплавленный слой, низ – основной металл). Для

травления самофлюсующихся сплавов применяли 3-5 % раствор азотной кислоты в этиловом спирте, а для выявления карбидов – растворы азотной и плавиковой кислот, время травления – 1 мин. [2]

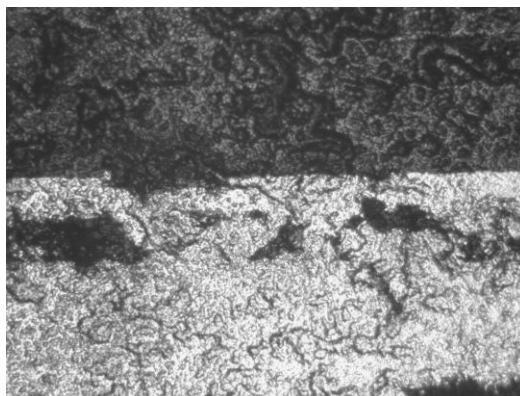
Изучение микроструктуры наплавленных образцов проводили на металлографическом микроскопе ALTAMY MET 3. Из анализа следует, что термообработка наплавленных образцов позволяет повысить твердость (58 против 52 HRC), а также изменить структуру и при нагреве под закалку 950 °С, и закалке в воде (температура отпуска 500 °С, 1 час) структура имеет более мелкое зерно.



а



б



в

а – марка материала -ПГ-10Н-0,1 после наплавки. Твердость 52 HRC.  
Структура – ледебуритная эвтектика и вторичные карбиды Cr, крупное зерно.

б – марка материала ПГ-10Н-0,1 после закалки. Твердость 58 HRC.  
Нагрев под закалку 950 °С, закалка в воду, температура отпуска 500 °С, 1 час.  
Структура имеет более мелкое зерно.

в – марка материала ПГ-10Н-0,1 после закалки. Нагрев под закалку 950 °С, закалка в воду, температура отпуска 200 °С, 1 час. Структура более равновесная.

Рисунок 4 – Микроструктура наплавленного слоя (увеличение 640).

**Выводы:**

1 Проведенные исследования показали, что для некоторых материалов наплавка на поверхность самофлюсующихся твердых сплавов приводит к повышению ее твердости и износостойкости.

2 Наиболее эффективна наплавка порошков ПГ-10Н-01 + 10 % буры, в результате которой твердость наплавленного слоя составила 55-59 HRC, и ПГ-С27 + 50 % ВК8 (твердость до 70 HRC).

3 Интенсивность износа спеченного твердого сплава в 1,5 раза меньше, чем наплавленного.

*Список литературы*

1 Богодухов, С.И. Упрочнение поверхности низкоуглеродистой стали самофлюсующимися твердыми сплавами / С.И. Богодухов, Е.С. Козик, Е.В. Солосина, Д.И. Чурносков // *Машиностроение*. – 2014. №3. – С. 19-26.

2 Богодухов, С.И. Технологические процессы машиностроительного и ремонтного производства: учебник / Богодухов С.И., Схиртладзе А.Г., Проскурин А.Д., Килов А.С., Шейнин Б.М. – Старый Оскол: ТНТ, 2015. – 464 с.

