

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН НА ПРИМЕРЕ ПОЛЕВОЙ ДОСКИ ПРОПАШНЫХ ПЛУГОВ

В. П. Тимошенко, В. В. Иванайский, А. А. Русаков

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Увеличение срока службы деталей машин является одной из основных задач машиностроения. В решении этой задачи значительное место занимает вопрос упрочнения трущихся деталей наплавкой с использованием износостойких материалов.

В сельхозмашиностроении проблема повышения долговечности рабочих органов решалась в следующих основных направлениях: использование износостойкого материала и многослойного проката, разработка составных рабочих органов, применение методов наплавки, термической и термохимической обработки. Известен ряд решений повышения долговечности рабочих органов за счет разработки составных конструкций.

В настоящее время признано, что наиболее перспективным направлением является применение биметаллических деталей, полученных методом износостойких сплавов.

Быстроизнашиваемые рабочие органы сельхозмашин изготавливаются, как правило, в массовом или крупносерийном производстве. Поэтому методы их упрочнения должны отвечать требованиям этого вида производства: быть высокопроизводительными и экономически целесообразными, обеспечивать заданную толщину и износостойкость наплавленного слоя.

Полевая доска плуга (рисунок 1) является одной из деталей, требующей упрочнения.

Одним из наиболее эффективных способов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин, в частности полевых досок плугов, является индукционная наплавка твердых сплавов [1].

В настоящее время на предприятиях, производящих сельскохозяйственную технику, технологический процесс упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин

в большинстве случаев осуществляется вручную. При этом рабочий подвергается вредному влиянию, сопутствующим этому процессу физическим явлениям таких как:

- воздействие электромагнитного поля высокочастотного генератора;
- инфракрасное излучение;
- высокая степень задымленности;
- насыщенность воздуха мелкодисперсной пылевой фракцией.

Устранение вредного влияния сопутствующих процессов может быть достигнуто автоматизацией технологии наплавки.

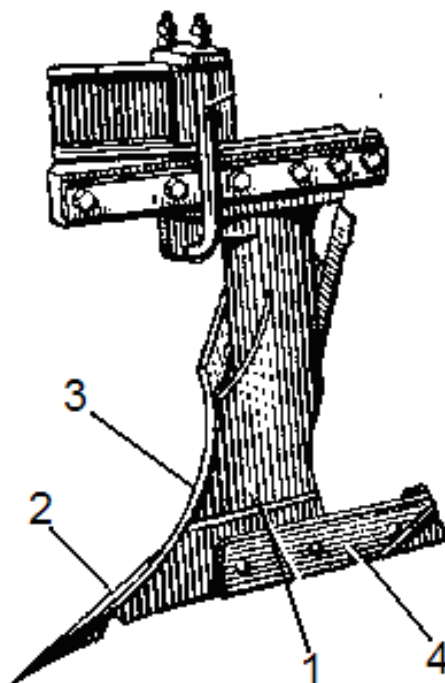


Рисунок 1 – Элементы конструкции корпуса плуга:

1 — корпус; 2 — лемех; 3 — отвал; 4 — полевая доска;

Второй задачей является получение структуры наплавленного металла, обеспечивающей максимальную износостойкость при сохранении геометрических размеров наплавленного слоя, определяемых чертежом детали.

Установлено, что при индукционной наплавке в наплавленном слое формируются три основных структурных составляющих: доэвтектическая, эвтектическая и заэвтектическая.

Если принять относительную износостойкость заэвтектической зоны за единицу, то сопротивление истиранию эвтектической зоны будет равно 0,67, а доэвтектической зоны – 0,57 [1]. Следовательно, преимущественное формирование в наплавленном слое заэвтектической структуры позволит увеличить ресурс работы, в частности полевой доски.

Основной причиной развития в наплавленном слое наименее износостойкой доэвтектической зоны является растворение основного металла в жидкой ванне твердого сплава. Это происходит при температурах, близких к солидусу основного металла, т.е. при перегреве и характерно для наплавки с высокими скоростями нагрева. Перегрев при наплавке в зависимости от типа применяемого твердого сплава различным образом влияет на структуру наплавленного слоя.

Перегрев при наплавке литым твердым сплавом (ПГ–УС25, ПГ–С27) приводит к чрезмерному росту доэвтектической зоны, вплоть до роста дендритов аустенита на всю толщину наплавленного слоя. В общем случае допустимой считается такая структура, когда наименее износостойкая доэвтектическая зона не превышает 1/3 толщины слоя.

При наплавке на форсированных режимах псевдосплавов (ПС–14-60, ПС–14-80), образуется структура, соответствующая стадии неполного сплавления. Основу наплавленного слоя составляют остроугольные нерасплавившиеся частицы феррохрома, равномерно расположенные в карбидной эвтектике. Эти частицы в некоторых случаях служат очагами зарождения трещин в условиях ударно-абразивного изнашивания.

Перегрев при наплавке может привести к проникновению наплавленного твердого сплава между зернами в основной металл,

характеризующемуся как IV стадия сплавления [1], а также к значительному росту зерна основного металла (балл 1–2). Это приводит к необратимому увеличению хрупкости наплавленного участка. Ударная вязкость снижается в 10–15 раз и не восстанавливается последующей термической обработкой (нормализацией). Поэтому критерием недопустимых структурных изменений является наличие IV стадии сплавления и рост доэвтектической зоны, превышающей 1/3 общей толщины наплавленного слоя.

Скорость нагрева наплаваемой поверхности зависит от ее температуры. Пока деталь ферромагнитна (до точки Кюри) максимальная скорость нагрева лежит в пределах 200–230 °С/с. После потери металлом ферромагнитных свойств скорость нагрева падает до 20–30 °С/с. Учитывая эти изменения процесс наплавки можно разбить на три стадии:

1. нагрев системы шихта – металл до температуры электромагнитных превращений;
2. нагрев системы шихта – металл до температуры плавления шихты;
3. нагрев системы шихта – расплав до полного расплавления шихты.

Экспериментально установлено, что на первых двух стадиях нагрев наплаваемой поверхности можно вести на максимальных скоростях. На третьей стадии температура наплаваемой поверхности ($T_{н.п.}$) не должна превышать величину $T_{пл. т.с.} + (60–80)^\circ\text{C}$ ($T_{пл. т.с.}$ – температура плавления твердого сплава).

В работе [2] показано, что в этом случае удельная мощность тепловых источников может быть определена из выражения:

$$P_i(t) = 0,5 \left[c_m \gamma_m l \frac{dT_1}{dt} + 2 \xi_i c_{mi} \gamma_{mi} V(t) + \frac{(L-l) c_{ui} \gamma_{ui}}{\alpha_{ui} (T_3 - T_n)} \frac{dT_3}{dt} + \alpha_{mi} (T_1 - T_n) \right] \quad (1)$$

где i ($i=I, II$) – номер стадии нагрева; индекс «м» показывает, что соответствующая величина относится к металлу, «ш» – к шихте; $T_3(t)$ и $T_1(t)$ – температура в средних точках шихты и металла; α – коэффициент теплопередачи; l – толщина металла; $(L-l)$ – толщина слоя шихты; c – удельная теплоемкость; γ – плотность; ξ – эквивалентная глу-

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН НА ПРИМЕРЕ ПОЛЕВОЙ ДОСКИ ПРОПАШНЫХ ПЛУГОВ

бина проникновения тока в металл; T_n – начальная температура наплавляемой поверхности.

Наиболее важной с точки зрения получения структуры наплавленного слоя с преимущественным развитием наиболее износостойкой заэвтектической зоны является третья стадия. Для того, чтобы плавление шихты шло в температурном интервале $T_{н.п.} + (60-80)^\circ\text{C}$ необходимо удельную мощность тепловых источников уменьшать в соответствии с выражениями 2, 3.

$$P_{III\max} = \frac{I}{K} \left[L_m V + \lambda_{ш} \frac{\Delta}{h_{ш}(t)} \right], \quad (2)$$

$$P_{III\min} = \frac{I}{K} L_m V, \quad (3)$$

где Δ – перепад температур между точкой поверхности контакта шихты – металл и средней точкой шихты в конце второй стадии наплавки; K – коэффициент, учитывающий различие удельного сопротивления металла и расплава шихты; L_m – скрытая теплота плавления шихты; V – скорость нагрева.

Таким образом, при индукционной наплавке с постоянной скоростью плавления удельная мощность тепловых источников должна плавно уменьшаться от $P_{III\max}$ до $P_{III\min}$.

Формирование конечной структуры наплавленного металла во многом будет определяться составом наплавочного твердого сплава.

К сплавам, предназначенным для индукционной наплавки предъявляются некоторые дополнительные требования:

1. Температура плавления сплава должна быть не менее, чем на $100-150^\circ\text{C}$ ниже температуры плавления основного металла. Обычно максимально допустимой температурой плавления сплава для индукционной наплавки считается 1350°C .

2. Наплавочный материал должен использоваться в виде порошка.

3. Сплав должен иметь минимальную магнитную проницаемость.

4. Грануляция сплава должна находиться в определенных пределах.

Для индукционной наплавки рабочих органов почвообрабатывающих машин нашли применение в основном две группы твердых сплавов. Это литые твердые сплавы (Сор-

майт-1, ПГ–УС25, ПГ–С27) и псевдосплавы (порошковые смеси сплава–связки и феррохрома). Предпочтение отдается псевдосплавам по следующим причинам:

- они имеют пониженную температуру плавления сплава связки – $1080-1120^\circ\text{C}$;
- обладают меньшей жидкотекучестью, чем литые сплавы, что способствует удержанию расплава на наплавляемой поверхности;
- оплавляясь зерна феррохрома дополнительно легируют связку хромом и углеродом, что способствует подавлению роста доэвтектической зоны.

Исходя из этого для наплавки полевых досок выбран псевдосплав ПС–14-80.

Для индукционной наплавки рабочих органов почвообрабатывающих машин нашли применение в основном два способа – шаговый и непрерывно–последовательный. В нашем случае выбран непрерывно–последовательный, т.к. при обеспечении требуемого качества он имеет более высокую производительность.

При использовании шагового способа наплавки регулирование выходной мощности ВЧ генератора и, как следствие, удельной мощности тепловых источников, осуществляется программатором. При непрерывно–последовательном способе выходная мощность генератора остается постоянной, а изменение тепловложения осуществляется за счет увеличения ширины токо–провода индуктора, что приводит к уменьшению плотности вихревых токов в поверхностном слое детали и обеспечивает снижение удельной мощности тепловых источников на третьей стадии согласно выражениям 2, 3.

Использование рассмотренной выше технологии позволило получить наплавленный слой с преимущественным развитием заэвтектической зоны. Металлографическими исследованиями установлено, что наплавленный металл во всех сечениях имеет одинаковую структуру (рисунок 2): у границы сплавления дендриты твердого раствора и карбидная эвтектика – доэвтектическая зона не превышающая 5% от общей толщины наплавки; далее узкая полоска эвтектической зоны, переходящая в заэвтектическую.

Последняя состоит из оплавленных зерен феррохрома (рисунок 3), первичных карбидов гексагональной формы (рисунок 4), сцементированных карбидной эвтектикой (рисунок 5).



Рисунок 2 – Микроструктура основного металла и наплавленного слоя, х100



Рисунок 3 – Микроструктура оплавленного зерна феррохрома, х1000



Рисунок 4 – Микроструктура первичного карбида, х1000

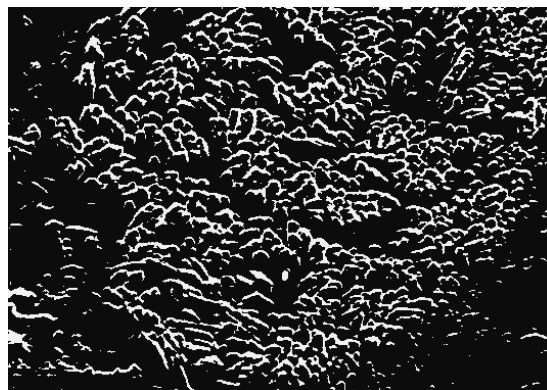


Рисунок 5 – Микроструктура карбидной эвтектики, х850

Полученные в результате наплавки с регулируемым тепловложением [4, 5] структуры металла испытывались на износостойкость. Испытания проводились по схеме Бринелля-Хаворта. В качестве эталона была принята отожженная сталь 45. Испытанию были подвергнуты сплавы ПС-14-80, ПС-14-60, ПГС-27. Результаты испытаний приведены на рисунке 6.

Для осуществления предложенного технологического процесса индукционной наплавки полевых досок плугов разработан проект полуавтоматической линии рисунок 7.

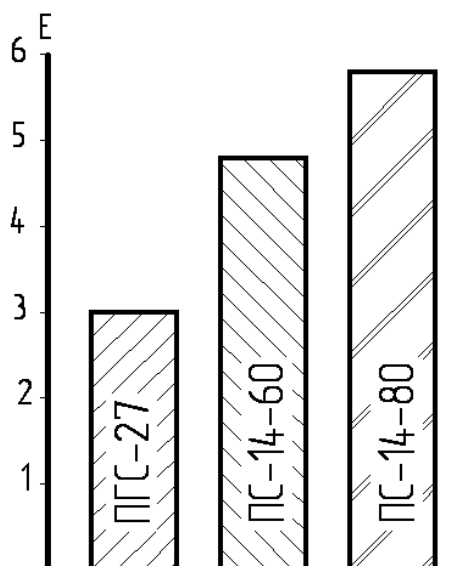


Рисунок 6 – Результаты испытаний износостойкости сплавов ПС-14-80, ПС-14-60, ПГС-27

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН НА ПРИМЕРЕ ПОЛЕВОЙ ДОСКИ ПРОПАШНЫХ ПЛУГОВ

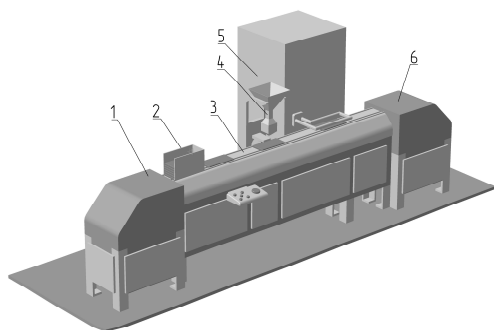


Рисунок 7 – Линия для полуавтоматической индукционной наплавки полевых досок плугов

1 – сварная станина, 2 – магазин для заготовок, 3 – заготовка под наплавку, 4 – бункер с дозатором шихты, 5 – генератор ТВЧ, 6 – привод

Она включает в себя механическую часть и электрооборудование. Механическая часть состоит из сварной станины, на которой установлены вертикально замкнутый конвейер. На станине расположен магазин для заготовок и бункер с дозатором шихты. На цепи конвейера закреплены (с шагом 400 мм) толкатели, каждый из которых поочередно, подходя к механизму загрузки выталкивает нижнюю заготовку и с постоянной скоростью перемещает ее по направляющим под дозатором шихты и через индуктор до позиции сброса в тару. Направляющие выполнены из износостойкого металла, а в зоне действия индуктора – из немагнитного материала.

Привод состоит из электродвигателя переменного тока, двух червячных редукторов, клино-ременного вариатора и шариковой предохранительной муфты. Вариатор осу-

ществляет бесступенчатое регулирование скорости движения конвейера при отработке технологического процесса.

Линия работает в комплекте с генератором ВЧГ7-160/0,044. Для наплавки используют петлевой проходной индуктор. Для исключения коротких замыканий между наплавляемой деталью и индуктором последний покрыт электроизоляционным слоем, который, кроме того способствует уменьшению рабочего зазора в индукторе, а следовательно, повышению производительности и снижению расхода электро-энергии на 10–15%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ткачев В.Н. Индукционная наплавка твердых сплавов / В.Н. Ткачев, Б.М. Фиштейн, Н.В. Казинцев, Д.А. Алдырев. – М. Машиностроение, 1970. – 182 с.
2. Боль А.А. Оптимизация процесса индукционной наплавки / А.А. Боль, В.Н. Коваль, В.П. Тимошенко, С.П. Лесков, В.П. Шерышев. – Изв. СО АН СССР. сер. Технические наук, № 109, вып. 2, 1985, С. 86–92.
3. Иванайский В.В. Физико-химические и технологические основы управления структурой и свойствами защитного износостойкого покрытия на рабочих органах сельхозмашин: монография / В.В. Иванайский – Барнаул: Изво АГАУ, 2010. – 187 с.
4. Боль А.А. Повышение качества индукционной наплавки путем оптимизации и автоматизации нагрева / А.А. Боль, В.П. Тимошенко, В.Н. Коваль. – Изв. СО АН СССР. сер. Технические наук, вып. 1, 1989, С. 85–90.
5. Тимошенко В.П. Программирование режимов индукционной наплавки долотообразных лемехов / Автоматическая сварка. – 1985. – № 10, С. 73–74.