

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА УПРОЧНЕННЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН ЗА СЧЕТ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ

В.П. Тимошенко

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

Рассмотрен вопрос возможности автоматизации процесса индукционной наплавки рабочих органов почвообрабатывающих машин. Проведен анализ влияния термического цикла наплавки на формирование структуры основного и наплавленного металла. Приведен пример автоматизации технологии наплавки на примере полевой доски плуга.

Ключевые слова: индукционная наплавка, технологическое оборудование, высокочастотный генератор, автоматизация процесса индукционной наплавки, рабочие органы почвообрабатывающих машин.

IMPROVING THE QUALITY OF THE HARDENED WORKING BODIES TILLAGE MACHINES BY AUTOMATING THE PROCESS OF INDUCTION SURFACING

V.P. Timoshenko

The Altai state technical university of I.I. Polzunov, Barnaul

Considered the possibility of automating the process of induction surfacing of RA working bodies tillage machines. The analysis of the influence of thermal cycle of welding on formation of structure of the primary and weld metal. An example of automation of welding for example, field Board plough.

Keywords: induction welding, technological equipment, high frequency generator, process automation, induction welding, the working bodies of bocourt-handling machines.

Увеличение срока службы деталей машин является одной из основных задач машиностроения. В решении этой задачи значительное место занимает вопрос упрочнения быстроизнашиваемых рабочих органов почвообрабатывающих машин наплавкой с использованием износостойких материалов [5 -17].

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.

В настоящее время признано, что наиболее перспективным направлением является применение биметаллических деталей, полученных нанесением износостойких сплавов на наиболее изнашиваемые участки.

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.

Одним из наиболее эффективных способов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин (рисунок 1), 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 физических явлений 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.

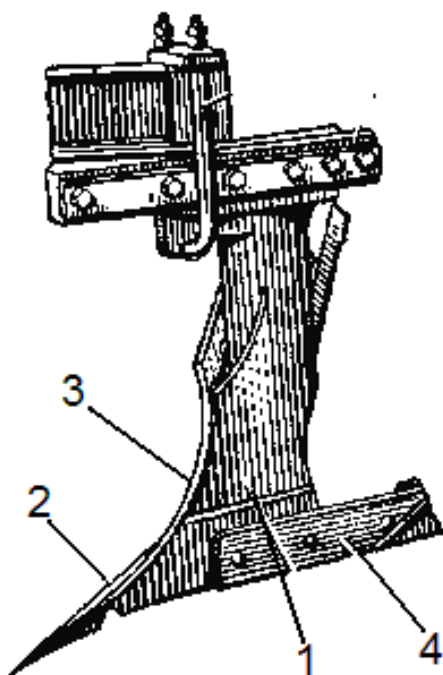


Рисунок 1 – Элементы конструкции корпуса плуга:

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: доэвтекктическая, эвтекктическая и заэвтекктическая.

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

Основной причиной развития в наплавленном слое наименее износостойкой доэвтекктической 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 доэвтекктической зоны, вплоть до роста дендритов аустенита на всю толщину наплавленного слоя. В общем случае допустимой считается такая структура, когда наименее износостойкая доэвтекктическая 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 не расплавившиеся 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 доэвтекктической зоны, превышающей 1/3 общей толщины наплавленного слоя.

Скорость нагрева наплавляемой 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 наплавляемой поверхности можно вести на максимальных скоростях. На третьей стадии температура

наплавляемой 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:

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

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 глубина 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.

$$P_{III\max} = \frac{1}{K} \left[L_m V + \lambda_{ш} \frac{\Delta}{h_{ш}(t)} \right], \quad (2)$$

$$P_{III\min} = \frac{1}{K} L_m V \quad (3)$$

где Δ – перепад температур между точкой поверхности контакта шихта – 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, определяемых толщиной наносимого слоя шихты.

Для индукционной наплавки рабочих органов почвообрабатывающих машин нашли применение в основном две группы твердых сплавов. Это литые твердые сплавы (Сормайт-1, ПГ-УС25, ПГ-С27) и псевдо-сплавы (порошковые смеси сплава – связки и феррохрома). Предпочтение отдается псевдо-сплавам 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 наименее износостойкой 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 токопровода 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.

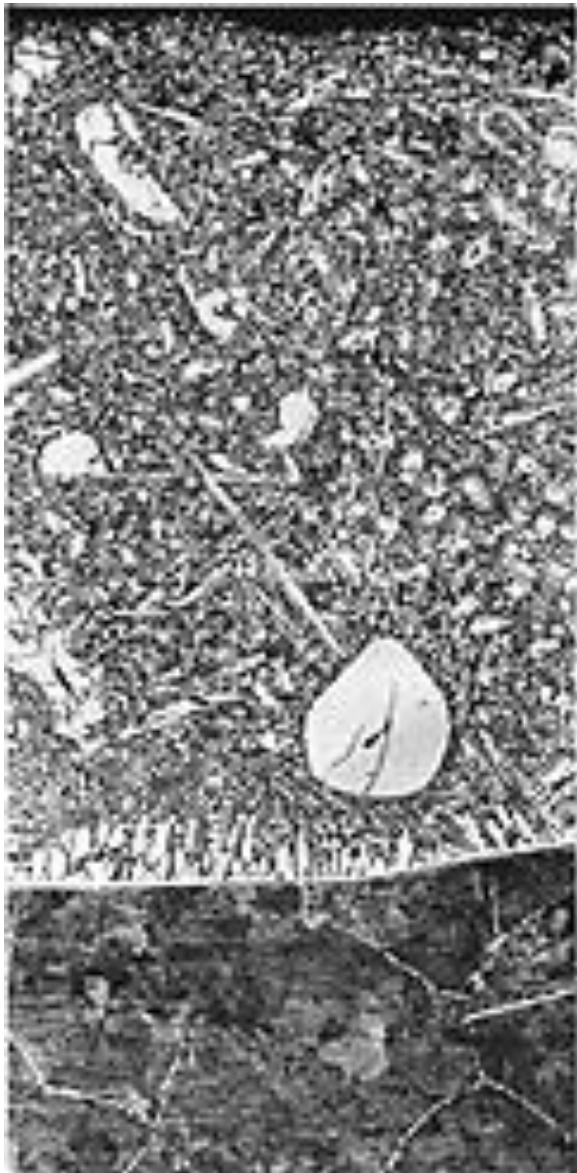


Рисунок 2 – Микроструктура основного металла и наплавленного слоя, x100

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 превы-

шающая 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).

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.

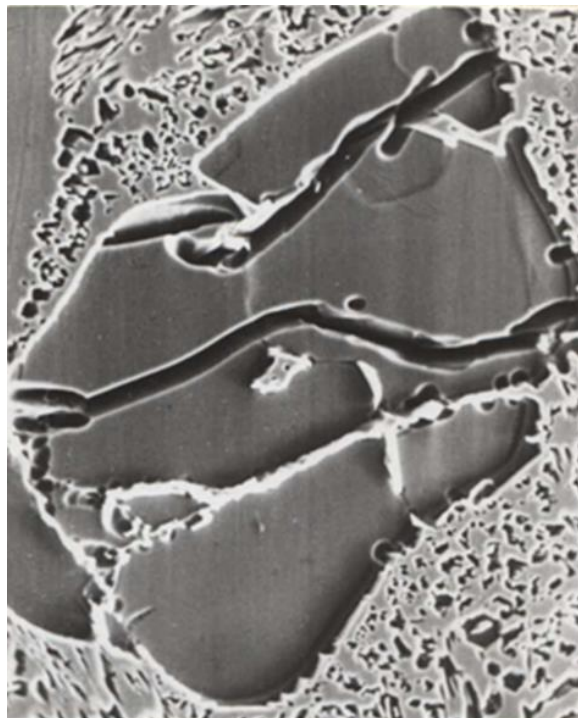


Рисунок 3 – Микроструктура оплавленного зерна феррохрома, x1000

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

Линия включает в себя механическую часть и электрооборудование. Механическая часть состоит из сварной станины, на которой установлен вертикально замкнутый конвейер. На станине расположен магазин для заготовок и бункер с дозатором шихты.

На цепи конвейера закреплены толкатели, каждый из которых поочередно, подводя

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, для того, чтобы исключить возможность ее нагрева.

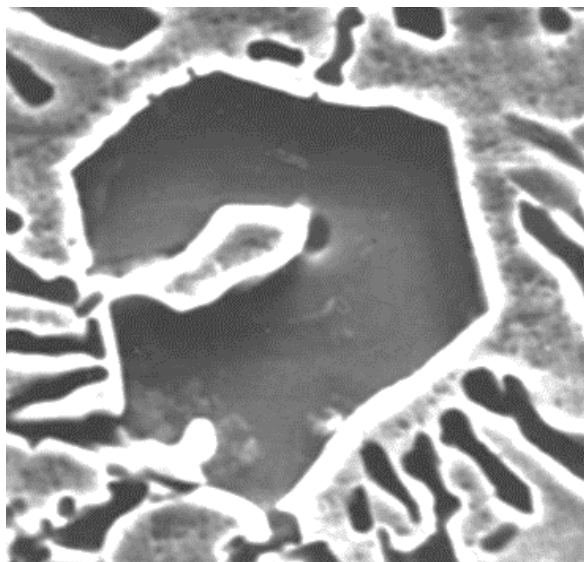


Рисунок 4 – Микроструктура первичного карбида типа Me_7C_3 с внутренней полостью, заполненной карбидной эвтектикой, $\times 1000$



Рисунок 5 – Микроструктура карбидной эвтектики, $\times 850$

Привод состоит из электродвигателя переменного тока, двух червячных редукторов, клиноременного вариатора и шариковой предохранительной муфты. Вариатор дает возможность осуществлять бесступенчатое регулирование скорости

движения конвейера при отработке технологического процесса.

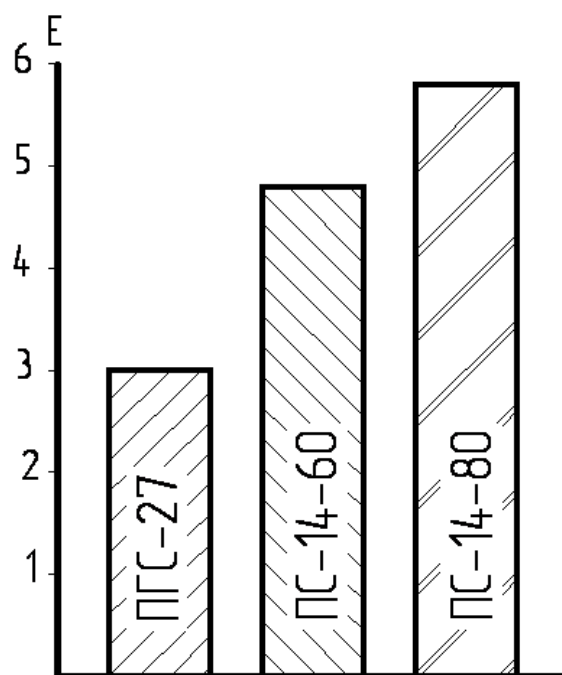


Рисунок 6 – Результаты испытаний износостойкости сплавов ПС-14-80, ПС-14-60, ПГС-27

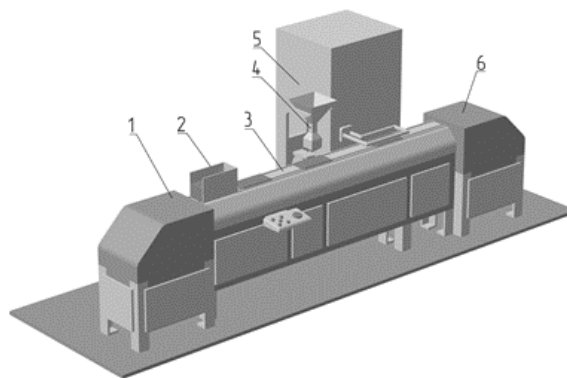


Рисунок 7 – Линия для полуавтоматической индукционной наплавки полевых досок плугов
1 – сварная станина, 2 – магазин для заготовок, 3 – заготовка под наплавку, 4 – бункер с дозатором шихты, 5 – генератор ТВЧ, 6 – привод

Для нагрева упрочняемой части полевой доски должен использоваться специализированный для индукционной наплавки генератор ВЧГ7-160/0,044, работающий в комплекте с петлевым проходным индуктором. Для исключения коротких замыканий между наплавляемой деталью и индуктором последний покрыт

электроизоляционным слоем, наличие которого, дает возможность уменьшить рабочий зазор в индукторе, и как следствие, увеличить тепловложение в деталь, повысить производительность и снизить расход электроэнергии 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 науки, № 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: Из-во 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 науки, вып. 1, 1989, С. 85–90.
5. Тимошенко В.П. Программирование режимов индукционной наплавки долотообразных лемехов / Автоматическая сварка. – 1985. – № 10, С. 73–74.
6. Радченко М.В., Анализ основных технологических параметров комбинированных способов создания защитных покрытий на деталях сельхозмашин/ М.В. Радченко, Т.Б. Радченко, Ю.О. Шевцов, В.Г. Радченко, О.И. Хомутов, С.Г. Уварова, В.С. Киселёв // Ползуновский вестник, 2011.- № 2/2.- С. 244–250.
7. Тимошенко В.П. Разработка технологии индукционной наплавки с регулируемым тепловложением. - Автореф. дисс. ... к.т.н. 05.03.06.- Барнаул, 1989.- 26 с.
8. Радченко В.Г., Исследование термочиклов при сверхзвуковой газопорошковой наплавке износостойких покрытий/ В.Г. Радченко, Радченко Т.Б., В.П. Тимошенко, С.Г. Уварова, В.С. Киселёв, Радченко М.В. //Сварка и диагностика, 2011. - №2. – С. 29–32.
9. Радченко М.В., Наплавка защитных покрытий на элементы котлов с «кипящим слоем» как решения энергетической проблемы в сельском хозяйстве/ М.В. Радченко, Т.Б. Радченко, В.С. Киселёв, О.И. Хомутов, Ю.О. Шевцов, //Ползуновский вестник, 2011.- № 2/2.- С. 236–243.
10. Радченко М.В. Комплексные исследования процесса формирования упрочняющих и защитных покрытий.- Автореф. дисс. ... д.т.н. 05.03.01, 05.03.06.- Новосибирск, 1993.- 35 с.
11. Радченко Т.Б. Комбинированные электро-технологии нанесения защитных покрытий и разработка систем управления их качеством. - Автореф. дисс. ... д.т.н. 05.09.10.- Новосибирск, 2000.- 37 с.
12. Киселёв В.С. Повышение износостойкости наплавленных покрытий путём выбора рациональных технологических параметров на основе диагностики сверхзвуковых газопорошковых струй.- Автореф. дисс. ...к.т.н. 05.03.06.- Барнаул, 2010.- 21 с.
13. Шевцов Ю.О. Разработка технологических основ износостойкой электронно-лучевой наплавки в вакууме самофлюсующихся порошковых материалов.-Автореф. дисс. ...к.т.н. 05.03.06.- Барнаул, 1994.- 23 с.
14. Патент № 2346077 Россия, МПК C23C 4/12. Способ сверхзвуковой газопорошковой наплавки защитных покрытий/Радченко М.В., Шевцов Ю.О., Радченко Т.Б., Игнатъев В.В.; заявл. 19.03.2007; опубл. 10.02.2009 в Б.И. № 4.
15. Радченко М.В., Чередниченко В.С., Радченко Т.Б. Оценка глубины вакуума как критерия управления качеством защитных покрытий //Доклады СО АН Высшей Школы.- Новосибирск: Новосибирское отделение АН ВШ, №2, 2000.- С.61–66.
16. Радченко М.В., Методика прогнозирования качества защитных износостойких покрытий, выполненных способом сверхзвуковой газопорошковой наплавки на объектах Ростехнадзора/ М.В. Радченко, В.С. Киселев, Ю.О. Шевцов, Т.Б. Радченко, В.Г. Радченко, С.Г. Уварова //Сварка и диагностика, 2014. - № 4. - С. 14–18.
17. Радченко М.В., Прогнозирование свойств наплавленных защитных покрытий с использованием регрессионного анализа / Ю. О. Шевцов, М. В. Радченко, С. А. Маньковский, С. Г. Уварова, Т. Б. Радченко // Ползуновский вестник. – 2009. – № 4. – С. 207–210.

Тимошенко Владимир Петрович.
к.т.н., доцент, кафедра МБСП ФГБОУ ВО
АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail:
timvlad53@mail.ru. Тел. +7(3852) 29 07 65.