

УДК 621.791.927.5

DOI: 10.30987/1999-8775-2020-2020-1-11-17

Ю.Н. Сараев, В.П. Безбородов, М.В. Перовская, В.М. Семенчук

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ИЗДЕЛИЯХ ИЗ СТАЛЕЙ 09Г2С, Ст3 И 12Х18Н10Т

Исследовано влияние режима электродуговой наплавки электродом ЭН-60М на свойства покрытий нелегированных, низколегированных и легированных сталей (Ст3, 09Г2С, 12Х18Н10Т). Изучено влияние данного электродугового воздействия на структуру, физико-механические и эксплуатаци-

онные свойства покрытий, наплавленных электродом ЭН-60М.

Ключевые слова: сталь, покрытие, структура покрытий, свойства покрытий, электрод ЭН-60М, электродуговая наплавка.

Yu.N. Saraev, V.P. Bezborodov, M.V. Perovskaya, V.M. Semenchuk

STRUCTURE AND PROPERTIES OF COATINGS ON PRODUCTS MADE OF STEEL 09G2S, STEEL 3 AND STEEL 12H18N10T

The investigation of the mode impact of electric arc surfacing with electrode EN-60M upon coating properties of non-alloy, low-alloy and alloy steels (steel 3, steel 09G2S, steel 12H18N10T) is carried out.

As a result of this there is studied the electric arc impact upon structure, physical stress-strain and operation properties of coatings built up with electrode EN-60M.

It is defined that the modification in progress with electric arc impact allows milling the structure formed of built up coatings and increasing its uniformity.

Key words: steel, coating, coating structure, coating properties, electrode EN-60M, electric arc welding surfacing.

Введение

Электродуговая наплавка электродами - широко применяемый в промышленности метод восстановления деталей машин и механизмов [1]. Наиболее распространённые наплавочные материалы включают сплавы с хромом, вольфрамом, бором, молибденом и т.д. Для защиты от коррозионного износа широко применяются сплавы с высоким содержанием хрома. Стойкость этих наплавочных материалов сильно зависит от типа и количества хромосодержащих фаз в сплавах. Применяемые процессы наплавки из-за различий величин тепловложения и свойств электродных материалов оказывают специфическое влияние на свойства покрытий. Снижение свойств наплавленного металла происходит из-за дефектов, которые могут возникнуть в процессе наплавки [2-4]. Это может приводить к ускоренному разрушению покрытий [5-10]. Современные способы наплавки позволяют регламентировать скорость охлаждения материала покрытий

и управлять процессами их плавления и кристаллизации, формированием структуры и физико-механическими свойствами [1].

Актуальной задачей является исследование влияния используемых технологических режимов наплавки электродами с покрытием на механические и эксплуатационные характеристики наносимых покрытий за счет применения импульсных технологических процессов, снижающих величины тепловложения и структурную неоднородность формируемого металла.

При наплавке электродами приходится решать ряд сложных задач: выбор материала, обеспечивающего необходимые свойства, возможность наплавки этого материала непосредственно на основной металл детали и выбор режима наплавки.

Цель настоящей работы - повышение свойств формируемых покрытий применением импульсно-дуговых методов.

Материалы и методика исследования

Проведены исследования слоев, наплавленных электродом ЭН-60М. В качестве подложки, на которую производилась наплавка, применялись образцы из сталей 09Г2С, Ст3, 12Х18Н10Т. Для наплавки использовался источник питания ФЭБ-315 «МАГМА» с пультом «Пульс», позволяющим реализовать импульсно-дуговой процесс. Для осуществления технологий наплавки электродами с покрытием, применялись способы наплавки на постоянном токе и импульсном режиме с частотой модуляции тока в пределах 1-5 Гц. Регистрация параметров процесса наплавки электродов осуществлялась с помощью цифрового осциллографа АКИП 4122/1V. Микроструктуру исследовали с помощью оптического микроскопа НЕОРНОТ-21. Микрошлифы для металлографического анализа сделаны по сечению, перпендикулярному продольной оси наплавленного покрытия. Микротвердость покрытий, наплавленных электродами ЭН-60М, измеряли на микротвердомере Leika. Замеры микротвердости материала наплавленных покрытий, металла зоны термического влияния и основного металла проведены при нагрузке на индентор 0,5 Н.

Обсуждение результатов исследований

Характерные осциллограммы тока и напряжения на дуге при наплавке электродами с покрытием приведены на рис. 1.

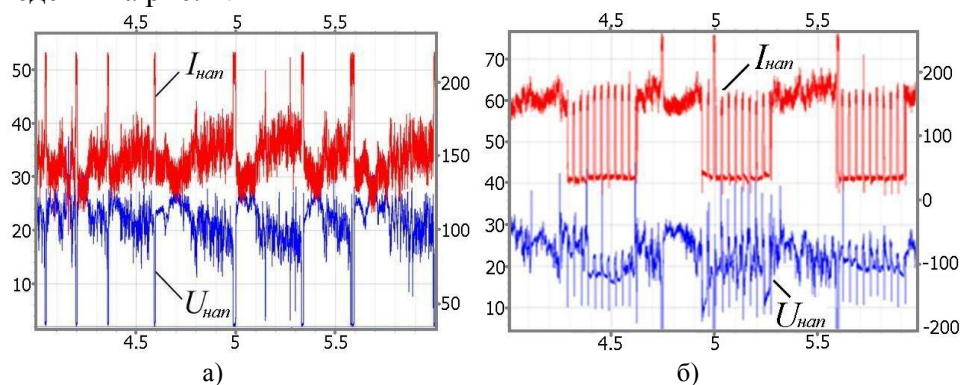


Рис. 1. Характерные осциллограммы тока и напряжения при наплавке электродами с покрытием: а - режим наплавки на постоянном токе; б - режим наплавки с модуляцией тока ($I_{\text{нап}}$ - ток наплавки, $U_{\text{нап}}$ - напряжение наплавки)

Исследования микроструктуры проводились в центральных частях первого и второго слоев наплавки электродами, в переходной зоне от покрытия к основному металлу - на участках перегрева и норма-

Электрод ЭН-60М имеет следующий химический состав (%): 0,5-1,2 Si; 0,7 Mn; 2,3-3,2 Cr; 0,5-0,9 C; твердость (по сертификату) - 55 HRC₃.

Параметры режима наплавки покрытий электродами Т590 и ЭН-60М на постоянном токе: $I = 150$ А; $U = 25$ В; погонная скорость подачи электрода $V_{\text{св}} = 6,99$ м/ч; погонная энергия подачи - 1642 кДж/м.

Параметры импульсного режима наплавки покрытий электродом ЭН-60М: ток импульса $I_{\text{и}} = 180$ А; ток паузы $I_{\text{п}} = 50$ А; время импульса $t_{\text{и}} = 0,3$ с; время паузы $t_{\text{п}} = 0,3$ с; погонная скорость подачи электрода $V_{\text{св}} = 6$ м/ч; погонная энергия подачи - 1606 кДж/м.

Возможность получения необходимого состава определяется исходной концентрацией элементов и степенью усвоения этих элементов металлом при формировании капли и ванны расплава. Испытания покрытий, наплавленных электродами ЭН-60М, на коррозионную стойкость проводились в среде высококонцентрированной (~ 100 %) HNO_3 . Покрытия, наплавленные на стали 09Г2С, Ст3 и 12Х18Н10Т, сравнивались по стойкости против коррозии.

ния состоит из нескольких участков после наплавки: зоны перегрева с видманштеттовой структурой и зоны нормализации с характерной более мелкозернистой феррито-перлитной структурой (рис. 2). В исходном состоянии основной металл - сталь 09Г2С имеет твердость ~ 250 HV. Твердость материала покрытия, наплавленного по-

крытыми электродами, $\sim 270-300$ HV. Твердость ЗТВ - 210-230 HV.

Для получения сравнимых картин исследования микроструктуры покрытия, наплавленного электродом ЭН-60М, проводили в переходной зоне от наплавленного покрытия к основному металлу - на участках перегрева и нормализации основного металла (рис. 3).

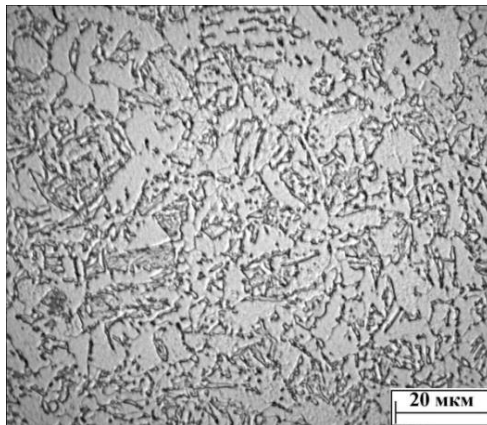
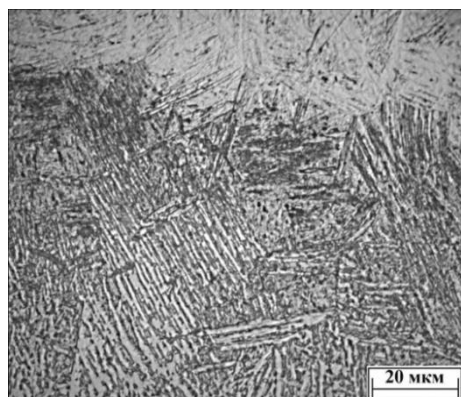
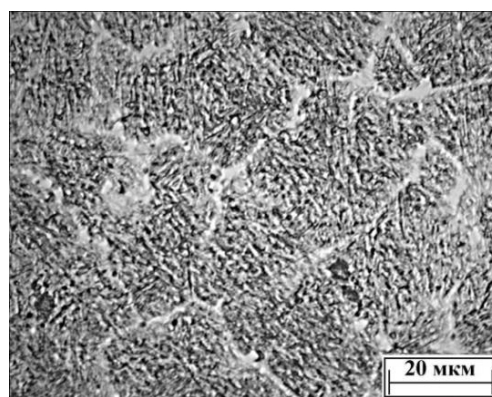


Рис. 2. Микроструктура покрытия, наплавленного на импульсном режиме электродами ЭН-60М



а)



б)

Рис. 3. Структура после наплавки на постоянном токе электродом ЭН-60М:
а - переходная зона «покрытие - стальная основа (09Г2С)» с бейнитной структурой;
б - зона нормализации с феррито-перлитной структурой

При наплавке покрытий на режиме постоянного тока электродами ЭН-60М зона с укрупненным размером зерна шире, чем у образцов, наплавленных на импульсных режимах, что позволяет говорить о более высоком тепловложении в первом случае и более длительном термическом воздействии горячей дуги [1]. Металлографические исследования покрытий, наплавленных электродами ЭН-60М, выявили измельчение в $\sim 1,5$ раз структур-

ных составляющих материала шва на образцах, наплавленных на импульсных режимах. Это объясняется особенностями импульсного режима наплавки покрытий, когда происходит интенсивное перемешивание расплава с образованием новых центров кристаллизации [1].

В результате применения импульсного режима наплавки размер зерна покрытия и ширина ЗТВ меньше. При нанесении покрытия на режиме постоянного тока

температура нагрева наплавочной ванны выше, что, как следствие, вызывает рост зерна.

При нанесении покрытия на импульсных режимах путем направленного низкочастотного высокоэнергетического воздействия электрической дуги на формируемый металл за счет постоянного возвратно-поступательного движения расплава с частотой модуляции тока формируется более однородная структура, имеющая меньшие размеры структурных составляющих. Такое формирование металла покрытия является следствием активного перемешивания расплава, что способствует выравниванию его теплосодержания за счет управления движением металла в сварочной ванне, а также регулирует количество расплавленного металла под дугой к началу действия импульса тока, способствуя тем самым уменьшению глубины проплавления. Периодическое движение металла в расплаве способствует также более равномерному распределению легирующих элементов по объему расплавленного металла. Использование технологии

импульсно-дуговой наплавки покрытыми электродами позволяет через программируемый ввод тепла в зону покрытия управлять процессами кристаллизации расплавленного металла и, как следствие, измельчать структуру металла покрытия и повышать его свойства. При ручной дуговой наплавке не обеспечивается управление каплепереносом. При наплавке углеродистых сталей упрочнение происходит за счет формирования нового поверхностного слоя. Структура и свойства наплавленной поверхности сталей зависят от типа легирующих элементов, определяющих фазовый состав, границы фазовых переходов и механические характеристики. При изменении режима наплавки электродами меняются процесс расплавления материала и химическая однородность наплавленного слоя. На свойства покрытий, наплавленных электродами, оказывают влияние содержание углерода (таблица), сохранность в процессе наплавки упрочняющих фаз (карбидов, боридов и т.д.), их размеры и расположение в матричном материале.

Таблица

Содержание углерода в покрытиях,
наплавленных электродом ЭН-60М на различных режимах

Тип электрода	Режим наплавки	Содержание углерода, %
ЭН-60М	На постоянном токе	2,58
	Импульсный	3,66

Покрытия, наплавленные с применением импульсного режима, имеют зеренную структуру (рис. 4).

В процессе термомеханического цикла наплавки покрытий электродами, как правило, происходит образование трещин (горячих и холодных), что приводит к снижению свойств, которые тем ниже, чем выше структурная неоднородность в наносимом покрытии. При измельчении структуры и снижении структурной неоднородности, наоборот, свойства покрытий повышаются. Измельчение структуры покрытия, полученного с применением им-

пульсного режима, приводит к повышению его свойств - коррозионной стойкости и других важных показателей [1-5]. Это может происходить за счет изменения температуры в зоне действия источника тепла в процессе наплавки, часто превышающей температуру плавления даже тугоплавких соединений при наплавке на постоянном токе, что приводит к их растворению в расплаве ванны. В случае применения импульсного режима наплавки может быть достигнуто формирование металла с более однородной и мелкозернистой структурой.

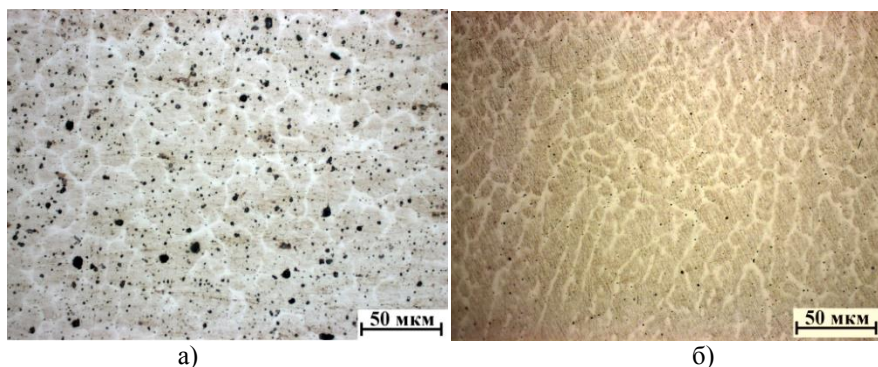


Рис. 4. Структура покрытия, наплавленного электродом ЭН-60М на режимах:
а - постоянного тока; б - импульсном

Графики изменения во времени коррозионной стойкости сталей и покрытий, наплавленных электродами типа ЭН-60М, представлены на рис. 5.

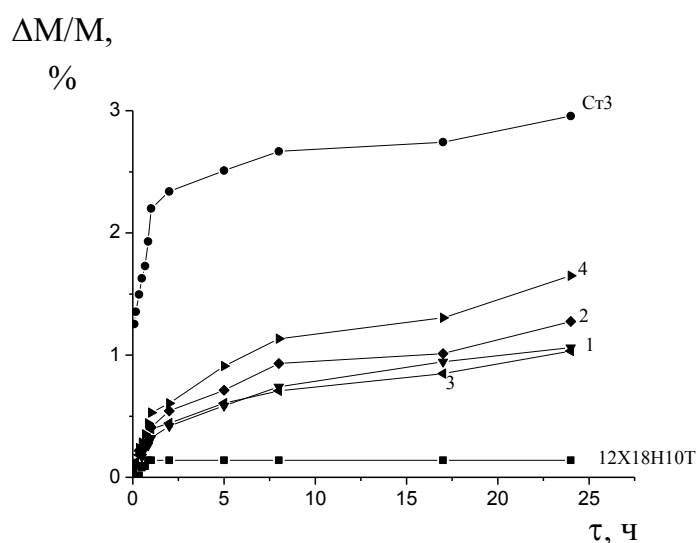


Рис. 5. Изменение во времени (τ) коррозионной стойкости ($\Delta M/M$) покрытий, наплавленных электродами ЭН-60М, и сталей (Ст3 и 12X18H10T) в высококонцентрированной ($\sim 100\%$) HNO_3 :
1 - один слой, сформированный на импульсном режиме;
2 - один слой, сформированный на постоянном токе;
3 - два слоя, сформированные на импульсном режиме;
4 - два слоя, сформированные на постоянном токе

Выводы

1. Изучено влияние модифицирования электродуговым воздействием при импульсно-дуговой наплавке электродом ЭН-60М на структуру и свойства покрытий. Модифицирование материалов покрытий, наплаваемых на низкоуглеродистую сталь 09Г2С, позволяет повысить од-

нородность и дисперсность структуры.

2. Использование метода импульсно-дуговой наплавки покрытий позволяет повысить эксплуатационные свойства изделий - коррозионную стойкость в высококонцентрированной ($\sim 100\%$) HNO_3 .

Работа выполнена в рамках программ фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2018-2020 годы (проект III.23.2.1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kivineva E.I., Olson D.L., Maltock D.K. Parntcalate - reinforctd metal matrix composite as a weld leposit // *Welding Journal*. 1995. № 3. P. 83-92.
2. Cantor B., Chang I.T.H., Knight P., Vincent A.J.B. Microstructural lvelopment in equiatomic multi-component floys // *Materials Science and Engineering*. 2004. P. 213-218.
3. Zhou Y.J., Zhang Y., Wang F.J., Wang Y.L., Chen G.L. Effect of Cu addition on the microstructure and mechanical properties of AlCoCrFeNiTi0.5 solid-solution alloy // *Journal of Alloys and Compounds*. 2008. V. 466. P. 201-204.
4. Guo Sheng, Chun Ng, Jian Lu, Liu C.T. Effect of valence electron concentration on stability of FCC or BCC phase in high entropy alloys // *Journal of Applied Physics*. 2011. V. 109, № 10. P. 103505.
5. Guo Sheng, Liu C.T. Phase stability in high entropy alloys: formation of solid-solution phase or amorphous phase // *Progress in Science: Materials International*. 2011. V. 21. P. 433-446.
6. Yeh Jien-Wei, Chang Shou-Yi, Hong Yu-Der, Chen Swe-Kai, Lin Su-Jien. Anomalous decrease in x-ray diffraction intensities of Cu-Ni-Al-Co-Cr-Fe-Si alloy systems with multi-principal elements // *Materials Chemistry and Physics*. 2007. V. 103. P. 41-46.
7. Saraev Yu.N., Bezborodov V.P., Grigoryeva A.A., Golikov N.I., Dmitriev V.V., Sannikov I.I. Distribution of residual stresses in welded joints in 09G2S steel produced by adaptive pulsed-arc welding // *Welding International*. 2015. V. 29, № 2. P. 131-134.
8. Saraev Yu.N., Bezborodov V.P. Effect of the energy parameters of the welding process on the structure and properties of welded joints in low-alloy steels // *Welding International*. 2013. № 9. P. 678-680.
9. Saraev Y.N., Bezborodov V.P., Shtertser A.A., Ul'yanyskii V.Y., Orishich A.M., Il'yushchenko A.F., Skakov M.K. Modification coatings by refractory compound to impress the servise reliability of componenns // *Welding International*. 2012. № 11. P. 881-886.
10. Сараев Ю.Н., Безбородов В.П., Селиванов Ю.В. Особенности формирования защитных коррозионно-стойких покрытий при импульсной электродуговой наплавке сталей аустенитного класса // *Сварочное производство*. 2009. № 4. С. 20-25.
1. Kivineva E.I., Olson D.L., Maltock D.K. Parntcalate - reinforctd metal matrix composite as a weld leposit // *Welding Journal*. 1995. № 3. P. 83-92.
2. Cantor B., Chang I.T.H., Knight P., Vincent A.J.B. Microstructural lvelopment in equiatomic multi-component floys // *Materials Science and Engineering*. 2004. P. 213-218.
3. Zhou Y.J., Zhang Y., Wang F.J., Wang Y.L., Chen G.L. Effect of Cu addition on the microstructure and mechanical properties of AlCoCrFeNiTi0.5 solid-solution alloy // *Journal of Alloys and Compounds*. 2008. V. 466. P. 201-204.
4. Guo Sheng, Chun Ng, Jian Lu, Liu C.T. Effect of valence electron concentration on stability of FCC or BCC phase in high entropy alloys // *Journal of Applied Physics*. 2011. V. 109, № 10. P. 103505.
5. Guo Sheng, Liu C.T. Phase stability in high entropy alloys: formation of solid-solution phase or amorphous phase // *Progress in Science: Materials International*. 2011. V. 21. P. 433-446.
6. Yeh Jien-Wei, Chang Shou-Yi, Hong Yu-Der, Chen Swe-Kai, Lin Su-Jien. Anomalous decrease in x-ray diffraction intensities of Cu-Ni-Al-Co-Cr-Fe-Si alloy systems with multi-principal elements // *Materials Chemistry and Physics*. 2007. V. 103. P. 41-46.
7. Saraev Yu.N., Bezborodov V.P., Grigoryeva A.A., Golikov N.I., Dmitriev V.V., Sannikov I.I. Distribution of residual stresses in welded joints in 09G2S steel produced by adaptive pulsed-arc welding // *Welding International*. 2015. V. 29, № 2. P. 131-134.
8. Saraev Yu.N., Bezborodov V.P. Effect of the energy parameters of the welding process on the structure and properties of welded joints in low-alloy steels // *Welding International*. 2013. № 9. P. 678-680.
9. Saraev Y.N., Bezborodov V.P., Shtertser A.A., Ul'yanyskii V.Y., Orishich A.M., Il'yushchenko A.F., Skakov M.K. Modification coatings by refractory compound to impress the servise reliability of componenns // *Welding International*. 2012. № 11. P. 881-886.
10. Saraev Yu.N., Bezborodov V.P., Selivanov Yu.V. Peculiarities in formation of protective corrosion-resistant coatings at pulse electric arc surfacing of austenitic steel // *Welding Production*. 2009. No.4. pp. 20-25.

Ссылка для цитирования:

Сараев Ю.Н., Безбородов В.П., Перовская М.В., Семенчук В.М. Структура и свойства покрытий на изделиях из сталей 09Г2С, Ст3 и 12Х18Н10Т // *Вестник Брянского государственного технического университета*. 2020. № 1. С. 11–17. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-2020-1-11-17.

Статья поступила в редакцию 22.11.19.

Рецензент: д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ

Степанов Ю.С.

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 09. 01. 20.

Сведения об авторах:

Сараев Юрий Николаевич, д.т.н., доцент, гл. науч. сотрудник лаборатории композиционных материалов Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН, e-mail: litsin@ispms.tsc.ru.

Безбородов Валерий Павлович, к.т.н., ст. науч. сотрудник лаборатории композиционных материалов Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН, e-mail: val@ispms.tsc.ru.

Saraev Yury Nikolaevich, Dr. Sc. Tech., Assistant Prof., Chief scientific assistant of the Lab. "Composites", Institute of Strength Physics and Material Science of Siberian Branch of RAS, e-mail: litsin@ispms.tsc.ru.

Bezborodov Valery Pavlovich, Can. Sc. Tech., Senior scientific assistant of the Lab. "Composites", Institute of Strength Physics and Material Science of Siberian Branch of RAS, e-mail: val@ispms.tsc.ru.

Перовская Марина Владимировна, к.т.н., науч. сотрудник лаборатории композиционных материалов Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН, e-mail: mv_perovskaya@inbox.ru.

Семенчук Вячеслав Максимович, инженер лаборатории композиционных материалов Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН, тел.: 8-913-818-88-84.

Perovskaya marina Vladimirovna, Can. Sc. Tech., Scientific assistant of the Lab. "Composites", Institute of Strength Physics and Material Science of Siberian Branch of RAS, e-mail: mv_perovskaya@inbox.ru.

Semenchuk Vyacheslav maximovich, Engineer of the Lab. "Composites", Institute of Strength Physics and Material Science of Siberian Branch of RAS, phone: 8-913-818-88-84.