

В.Л. Малинов /к.т.н./, Л.С. Малинов /д.т.н./

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет» (Мариуполь)

ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫЕ НАПЛАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ПОЛУЧЕНИЕ В СТРУКТУРЕ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА МЕТАСТАБИЛЬНОГО АУСТЕНИТА И РЕАЛИЗАЦИЮ ЭФФЕКТА САМОЗАКАЛКИ ПРИ НАГРУЖЕНИИ

Обобщены результаты исследований по созданию экономнолегированных наплавочных материалов на Fe-Cr-Mn-C и Fe-Mn-C основах широкого спектра применения, обеспечивающих получение в структуре наплавленного металла различных структурных классов метастабильного аустенита и протекание динамического деформационного мартенситного превращения.

Ключевые слова: мартенсит, метастабильный аустенит, эффект самозакалки, износостойкость, карбиды, карбонитриды.

Постановка проблемы

Ресурсосбережение – важная проблема для промышленности. Одним из направлений ее решения является повышение долговечности сменнозапасных деталей оборудования и инструментов электродуговой наплавкой. Многие наплавочные материалы, применяемые для этого, зачастую содержат дорогие легирующие элементы – никель, кобальт, вольфрам и др. В связи с этим актуальна задача разработки и внедрения в производство экономнолегированных наплавочных материалов, существенно повышающих эксплуатационную стойкость деталей и инструментов и за счет этого реализующих энерго- и ресурсосбережение.

Анализ последних исследований и публикаций

В работах [1-3] развивается инновационное научно-прикладное направление по созданию ресурсосберегающих материалов и упрочняющих технологий, обеспечивающих получение многофазной метастабильной, управляемо самотрансформирующейся структуры. Химический состав подбирается так, чтобы в качестве основных использовались сравнительно недорогие легирующие элементы – углерод, марганец, хром, кремний. Дополнительно могут быть введены титан, ванадий, ниобий, азот. Должна быть получена структура, состоящая из мартенсита и/или бейнита, карбидов, карбонитридов, других твердых фаз. При этом обязательно присутствие в структуре метастабильного аустенита, претерпевающего при нагружении динамическое деформационное мартенситное превращение (ДДМП). В ряде случаев основной структурой

является метастабильный аустенит при отсутствии или небольшом количестве других структурных составляющих. Количественное их соотношение и интенсивность ДДМП определяются условиями нагружения и должны регулироваться с их учетом. Метастабильная структура позволяет материалам подобно биологическим объектам приспосабливаться в процессе эксплуатации к внешним нагрузкам. За счёт различных структурных (диспергирование составляющих, изменение плотности дислокаций, двойникование) и фазовых превращений, прежде всего образования под их влиянием мартенсита. В ряде работ также рассматривается необходимость получения в структуре метастабильного аустенита для повышения их механических свойств [4-6].

Впервые идея создания сталей с метастабильным аустенитом была высказана и реализована еще в 50-х годах прошлого века И.Н. Богачевым и Р.И. Минцем [7,8] применительно к деталям, подвергавшимся кавитационному разрушению, а затем и к деталям, работающим в условиях контактно-усталостного нагружения [9]. Ими была разработана хромомарганцевая сталь 30X10Г10. На ее основе были созданы электроды УПИ 30X10Г10 и порошковая проволока ПП-30X11Г12Т [10]. Наряду с очень высокими эксплуатационными свойствами, обеспечиваемыми ими, имеет место ряд недостатков. К ним относятся: технологические особенности наплавки и трудная обрабатываемость резанием наплавленного металла [11], что существенно ограничило применение ранее разработанных наплавочных материалов. На предприятиях Украины они практически не используются.

Цель (задачи) исследования

Целью данного исследования является создание и эффективное применение в промышленности технологичных наплавочных материалов на Fe-Cr-Mn-C и Fe-Mn-C основах, обеспечивающих получение в наплавленном металле структуры с метастабильным аустенитом. Последний должен претерпевать при нагружении в процессе испытаний или эксплуатации ДДМП (эффект самозакалки при нагружении).

Основной материал исследования

Авторами изготавливались однозамковые порошковые ленты сечением 3×10 мм и проволока диаметром 3,6 мм с оболочкой из стали 08кп, имеющей толщину 0,3 мм. Сердечник состоял из смеси порошковых компонентов. В ряде случаев изготавливали проволоку сплошного сечения. Наплавку опытных образцов для испытания свойств и определения фазового состава выполняли в 3 слоя на пластины толщиной 30 мм из стали ВСтЗсп под флюсом АН-26. Наплавка порошковыми лентами проводилась на режиме: сила тока I=450-500 А, напряжение U=30-32 В, скорость наплавки V=25 м/ч, а проволоками: I=300-350 А, U=28-32 В, V=35 м/ч.

Проводили дюрOMETрические, металлографические исследования. Химический анализ наплавленного металла выполнялся оптико-эмиссионным искровым спектрометром «Spectromax».

Фазовый состав наплавленного металла определяли методом рентгеновского анализа с использованием дифрактометра ДРОН-4. Оценивалась износостойкость при сухом трении, абразивном и ударно-абразивном воздействии.

На основе развиваемой концепции ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет» совместно с ОАО «Азовмаш» разработаны порошковые ленты ПЛН-4 (15Х13АГ10МФС) [12].

Исследования, выполненные в работе [13], показали, что в условиях трения скольжения при относительно невысоких скоростях (0,13 м/с) и отсутствии или небольшом разогреве трущихся поверхностей интенсивное деформационное мартенситное превращение играет существен-

ную роль в повышении износостойкости. В случае испытаний с повышенной скоростью скольжения (0,98 м/с) интенсивность мартенситного превращения при трении снижается из-за повышения температуры рабочей поверхности. В этих условиях износостойкость наплавленного металла в большей степени определяется способностью к упрочнению самого аустенита и его динамическому старению. Это в основном зависит от содержания углерода в наплавленном металле, что подтверждают данные табл. 1. Испытания износостойкости в условиях трения качения (давление 320 МПа, скорость вращения роликов 0,98 м/с, проскальзывания 0,09 м/с) показали, что большим сопротивлением изнашиванию характеризуется наплавленный металл с интенсивным деформационным мартенситным превращением.

Температура нагрева наплавленного металла при термообработке (450-650 °С), проводимой для уменьшения внутренних напряжений, неоднозначно влияет на его износостойкость. При испытаниях в условиях трения скольжения (относительно небольшие скорости), а также трения качения установлено, что нагрев на 350 °С (1 ч) снижает износостойкость наплавленного металла приблизительно на 30 %, а нагрев на 650 °С – повышает ее примерно на 40 % по сравнению с закаленным состоянием. Это обусловлено тем, что в первом случае аустенит стабилизируется по отношению к деформационному мартенситному превращению, а во втором – дестабилизируется в связи с выделением карбидов и карбонитридов. В последнем случае положительную роль играют дисперсные частицы фаз выделения. В условиях трения, не приводящего к значительному разогреву контактирующих поверхностей, предварительная холодная пластическая деформация повышает износостойкость наплавленного металла за счет активизации деформационного мартенситного превращения.

В условиях трения, сопровождающегося значительным повышением температуры (более 450 °С), предварительная холодная деформация снижает износостойкость наплавленного металла. Это обусловлено переходом образовавшегося при деформации мартенсита в аустенит, что

Табл. 1. Влияние углерода в наплавленном металле типа Х13АГ10МФС на количество мартенсита деформации и относительную износостойкость [13]

Массовая доля углерода, %	Скорость скольжения 0,13 м/с		Скорость скольжения 0,98 м/с	
	Количество мартенсита деформации, %	Относительная износостойкость	Количество мартенсита деформации, %	Относительная износостойкость
0,1	28	4,2	10	3,1
0,15	19	3,8	5	4,8
0,2	12	3,3	–	5,5

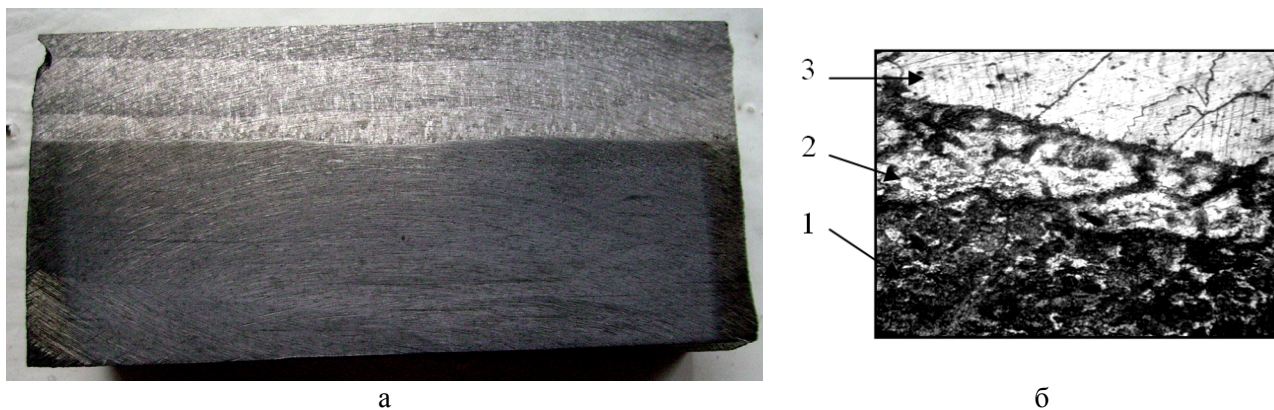


Рис. 1. Структура металла, наплавленного ВЕЛТЕК Н-285-С на сталь 65Г:
 а – макроструктура, $\times 16$; б – микроструктура, $\times 550$: 1 – основной металл (троостит);
 2 - переходный слой (аустенит с трооститной сеткой); 3 – аустенитный слой

снижает сопротивление металла пластической деформации.

Были разработаны порошковая проволока ПП-Нп 12Х12Г12СФ [14] и проволока сплошного сечения Св-14Х14Г12Ф [15], близкие по принципу легирования рассмотренной выше порошковой ленте ПЛН-4 (15Х13АГ10МФС). Эти материалы позволили в несколько раз повысить долговечность быстроизнашивающихся деталей.

Применительно к условиям наплавки крановых колес ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» специалистами ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет» совместно с ООО «ТМ. ВЕЛТЕК» разработана новая порошковая проволока ВЕЛТЕК Н-285-С [16]. При наплавке новой порошковой проволокой используются флюсы АН-26 или «REKORD SK EN-760». При этом обеспечивается хорошее формирование и соединение слоев наплавленного металла между собой, а также с основным металлом (рис. 1а). Отсутствуют непровар, шлаковые включения и трещины. Отделимость шлаковой корки хорошая. В случае изготовления деталей из нелегированных сталей, содержащих 0,35-0,45 %С, наплавка может проводиться без предварительного подогрева. Слои наплавленного металла имеют аустенитную структуру с дисперсными карбидами, располагающимися внутри зерен. Вблизи линии сплавления в основном металле (сталь 65Г) обнаруживается обезуглероженная зона

(рис. 1б), что обусловлено диффузией углерода в наплавленный металл, имеющий его значительно меньшее количество, чем сталь, на которую осуществлялась наплавка.

Измерения твердости по сечению показали, что она вблизи поверхности наплавленного металла составляет НВ 217-220, в средней части НВ 230-240, а у переходной зоны возрастает до НВ 280-300.

По данным лабораторных испытаний износостойкость металла, наплавленного разработанной порошковой проволокой, при трении скольжения по схеме колодка-ролик и абразивном воздействии значительно превышает такую же при использовании проволок ПП-Нп-18Х1Г1М, Нп-12Х13 и Св-06Х18Н9Т (табл. 2) [17].

Длительные промышленные испытания крановых колес, наплавленных разработанной порошковой проволокой, обеспечивающей эффект самозакалки при эксплуатации, подтвердили результаты лабораторных исследований и показали увеличение долговечности этих деталей более, чем в 5 раз, по сравнению с колесами, восстановленными широко применяемой в промышленности проволокой ПП-Нп-18Х1Г1М. Определение твердости рабочей поверхности колес, наплавленных новой порошковой проволокой, показало, что она в процессе эксплуатации возросла с 217-220 до 450-470 НВ. Это свидетельствует о реализации эффекта самозакалки

Табл. 2. Относительная износостойкость наплавленного металла, полученного при использовании проволок различного химического состава [16]

№ п.п.	Наплавочный материал	Режим термообработки	Относительная износостойкость	
			абразивная	сухое трение
1	ПП-Нп-18Х1Г1М	Наплавка + отжиг 550 °С (1 ч)	1	1
2	Св-12Х13	Наплавка + отжиг 550 °С (1 ч)	1,2	1,3
3	Св-06Х18Н9Т	Наплавка + отжиг 550 °С (1 ч)	0,6	0,7
4	ВЕЛТЕК Н-285-С	Наплавка + отжиг 600 °С (1 ч)	2,3	3,2

Табл. 3. Свойства металла, наплавленного проволоками ПП-35ЖН (10Х13Г12АФСЮР) и Св-08Х21Н10Г6

Тип наплавленного металла	Износ при 600 °С, давлении 15 МПа (время испытания 1 ч), мг	Термостойкость (количество циклов «нагрев-охлаждение» до появления трещин)	Твердость HRB при температурах 20 и 600 °С	
			20	600
10Х13Г12АФСЮ	4,2-7,4	930-1080	100-110	80-89
08Х21Н10Г6	23,9-29,7	440-620	82-88	66-73

в наплавленном металле в процессе работы колес, что и обеспечивает их повышенную долговечность. При этом важно подчеркнуть, что не происходит повышенный износ рельсов, которого опасаются эксплуатационники при увеличении износостойкости крановых колёс. Проведение механической обработки восстановленных новой порошковой проволокой крановых колёс с использованием инструмента, оснащённого твёрдыми сплавами, не вызывает каких-либо технических трудностей. Однако наплавленный металл обрабатывается труднее, чем при использовании проволоки ПП-Нп-18Х1Г1М. По обрабатываемости он близок к таковому, наплавленному Св-06Х18Н9Т. Разработанный наплавочный материал может иметь широкий спектр применения. Его следует использовать не только для восстановления крановых колёс, но и колёс железнодорожного подвижного состава предприятий, вагонеток, различного рода роликов, цапф сталеразливочных ковшей, быстроизнашивающихся деталей, работающих в слабоагрессивных средах, например плунжеров гидропресов, клапанов запорной арматуры.

Экономическая эффективность в данном случае определяется снижением затрат (материальных, энергетических, трудовых, простоев оборудования), которые значительно превышают стоимость примененной проволоки.

Использование разработанной проволоки обеспечивает получение структуры метастабильного сильно упрочняющегося при наклёпе аустенита. В нём после отжига при 600 °С, применяемого для снятия внутренних напряжений, обнаруживается множество дисперсных карбидов. Результатом этого является его обеднение углеродом и легирующими элементами, вследствие чего интенсифицируется деформационное мартенситное превращение, что и приводит к существенному повышению износостойкости. Это подтверждают данные рентгеновского анализа, согласно которым, количество мартенсита деформации на изнашиваемой поверхности после отжига наплавленного металла в 1,5 раза больше, чем без него, и составляет 30-35 %.

Важно подчеркнуть, что при этом не происходит повышенного износа рельсов, которого

обычно опасаются при наплавке крановых колес износостойкими материалами. Такой результат обусловлен образованием на поверхности трения окисной пленки, снижающей коэффициент трения. Разработанная порошковая проволока имеет большой спектр использования и может быть рекомендована для повышения долговечности различных деталей: опорных роликов, шкивов, цапф сталеразливочных ковшей, деталей, подвергающихся кавитационному и коррозионному воздействию среды, износу при сухом трении, в том числе, в условиях температур (650-750 °С). Новая порошковая проволока внедрена в производство и позволила получить значительный ресурсосберегающий эффект.

Применение малоуглеродистого хромомарганцевого наплавочного материала целесообразно и для некоторых деталей, работающих при температурах 600-700 °С, что установлено при использовании порошковой проволоки ПП-35ЖН (10Х13Г12АФСЮР) [17].

В табл. 2 приведены сравнительные данные износо- и термостойкости, а также твердости при 20 и 600 °С для металла, наплавленного ПП-35ЖН и Св-08Х21Н10Г6. Полученные результаты свидетельствуют о том, что последний значительно уступает безникелевому. Анализ стойкости валков пилигримовых станов в условиях ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича», длительное время наплавлявшихся проволокой ПП-35ЖН, показал, что их долговечность возросла в 1,4-1,65 раза по сравнению с валками, наплавленными проволокой Св-08Х21Н10Г6 [17].

Можно полагать, что применение хромомарганцевых наплавочных материалов эффективно для повышения долговечности и других инструментов горячего деформирования, работающих в условиях, аналогичных таковым для валков пилигримовых станов.

Для восстановления деталей, работающих в условиях сухого трения и отсутствия заметного влияния коррозионной среды, разработана порошковая лента ПЛН-6 (20Г14АФ) [18]. Износостойкость наплавленного ею металла находится примерно на том же уровне, что и у металла, наплавленного более дорогой лентой ПЛН-4

(15X13AG10MFC). Необходимо отметить, что наряду с высокой износостойкостью, наплавленный металл марки 20Г14АФ, обеспечивает низкий износ контртела, изготовленного из рельсовой стали, что очень важно в условиях эксплуатации крановых колес. Порошковая лента ПЛН-6 применялась в ОАО «Азовмаш» для наплавки ходовых колес мостовых кранов вместо проволоки Св-30ХГСА и показала высокую эффективность.

Представляет большой интерес группа новых малоуглеродистых (0,12-0,18 %С) наплавочных материалов на хромомарганцевой основе, создающих в наплавленном металле бейнитную структуру с небольшим количеством метастабильного аустенита. Такой наплавленный металл при экономном легировании (суммарное содержание хрома и марганца не превышает 4 %) имеет более высокую износостойкость, чем получаемый при наплавке широко применяемой порошковой проволокой ПП-Нп 18Х1Г1М, содержащей дорогой молибден.

Перспективна разработка экономнолегированных технологичных наплавочных материалов, обеспечивающих получение в наплавленном металле структуры малоуглеродистого марганцевого (7-8 % Mn) мартенсита (эффект самозакалки при охлаждении). Они могут быть дополнительно легированы Cr (3-4 %) и небольшим количеством Ti, Nb, V для получения мелкозернистой структуры и повышения износостойкости за счет образования карбидов высокой твердости [19]. Особенностью малоуглеродистых марганцевых наплавочных материалов является то, что после проведения отпуска при 600-650 °С, обычно применяемого для снятия внутренних напряжений, в наплавленном металле образуется метастабильный аустенит, что является следствием перераспределения углерода и марганца между α - и γ -фазами, и обогащения последней этими элементами. Важно подчеркнуть, что, несмотря на снижение твердости наплавленного металла после отпуска, абразивная износостойкость возрастает. Это является следствием реализации ДДМП в процессе изнашивания. Рассматриваемые материалы являются примером того, как благодаря определенному подбору химического состава, традиционно проводимая для снятия внутренних напряжений термообработка, не снижает, как это обычно бывает, а, напротив, повышает износостойкость наплавленного металла.

Новыми являются малоуглеродистые хромомарганцевые наплавочные материалы, создающие в наплавленном металле мартенситно-аустенитную структуру. По разгаро-, коррозион-

ной и износостойкости он не уступает таковому, при использовании хромоникелевых аналогов. Получение в наплавленном металле метастабильного аустенита наряду с мартенситом повышает сопротивление образованию трещин при наплавке, а также износостойкость [20].

Выводы

1. На основании большого количества экспериментальных данных и результатов эксплуатационной проверки установлена возможность и перспективность создания технологичных Fe-Cr-Mn-C и Fe-Mn-C наплавочных материалов различных структурных классов широкого спектра применения.

2. Показана необходимость получения в структуре наплавленного металла метастабильного аустенита (в ряде случаев наряду с бейнитом и мартенситом), армированного упрочняющими фазами. Это позволяет реализовать эффект самозакалки при нагружении за счет протекания ДДМП и использовать внутренний ресурс самого материала. При этом в зависимости от условий нагружения необходимо регулировать количество аустенита и его стабильность.

3. Широкое применение в промышленности разработанных наплавочных материалов, позволяющих получить в экономнолегированном наплавленном металле многофазную структуру с метастабильным аустенитом, даст большой ресурсосберегающий эффект.

Список литературы

1. Малинов Л.С., Малинов В.Л. Ресурсосберегающие экономнолегированные сплавы и упрочняющие технологи, обеспечивающие эффект самозакалки. – Мариуполь: Рената, 2009. – 568 с.
2. Малинов Л.С., Малинов В.Л. Основные положения концепции создания экономнолегированных сплавов и упрочняющих технологий, в которых реализуется принцип получения многофазной, управляемо самотрансформирующейся структуры / Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра: матеріали XII Всеукр. наук.-практ. конф., 15 квітня 2014 р., Київ. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – С. 626-638.
3. Малинов Л.С., Малинов В.Л. Износостойкие марганцовистые стали с метастабильным аустенитом / Металлургические процессы и оборудование. – 2014. – №2. – С. 19-25.
4. Vasilakos A.N., Ohleri J., Katerina G. Lov-alloy TRIP-steels: A correlation mechanical properties and the retained austenite stability / Steels. – 2002. – No.6-7. – P. 249-252.

5. Sreicher A.M., Speer J.G., Matlock D.K. Forming response of retained austenite in a C-Si-Mn high strength TRIP sheet steels / Steels. – 2002. – No.6-7. – P. 287-293.
6. Microstructure and wear property of Fe-Mn-Cr-Mo-V alloy cladding by submerged arc welding / Lu Shan-Ping, Know Oh-Yang, Kim Tae-Bum, Kim Kwon-Hu // J. Mater. Process. Technol. – 2004. – No.2. – P. 191-196.
7. Богачев И.Н., Минц Р.И. Кавитационное разрушение железоуглеродистых сплавов. – М.: Свердловск: ГНТИ машиностроительной лит-ры, 1959. – 110 с.
8. Богачев И.Н., Минц Р.И. Повышение кавитационно-эрозионной стойкости деталей машин. – М.: Машиностроение, 1964. – 142 с.
9. Богачев И.Н. Кавитационное разрушение и кавитационностойкие сплавы. – М.: Металлургия, 1972. – 189 с.
10. Разиков М.И., Ильин В.П. Сварка и наплавка кавитационной стали марки 30X10Г10. – М.: НИИМАШ, 1964. – 35 с.
11. Опыт совместных работ ОАО «Запорожсталь» и ОП «Реммаш» в разработке и внедрении новых наплавочных материалов / В.В. Тарасенко [и др.] // Сб. работ 2-ой науч.-практ. конф. «Модернизация и переоснащение предприятий. Эффективные технологии ремонта и восстановления деталей». Межд. пром. форум «УкрИндустрия-2006». 11 октября 2006 г., Днепропетровск. – Днепропетровск: Экспо-центр «Метеор». – С. 39-43.
12. А.с. 545436 СССР, МПК В 23К35/368. Порошковая проволока, содержащая стальную оболочку и порошкообразную шихту / Л.С. Малинов, В.И. Копоп, К.Н. Соколов и др. – №2161880/27; заявл. 11.08.75; опубл. 05.02.77, Бюл. №5.
13. Малинов Л.С., Коноп В.И., Панин В.Д. Износостойкость дисперсионно-твердеющих сталей с нестабильным аустенитом / Прогрессивные методы сварки в тяжелом машиностроении и наплавка в черной металлургии: Тезисы докладов II Всесоюзной науч.-техн. конф. – 1977. – С. 22-24.
14. Малинов Л.С. Разработка экономнолегированных высокопрочных сталей и способов упрочнения с использованием принципа регулирования мартенситных превращений / Леонид Соломонович Малинов: дис. ... докт. техн. наук: 05.16.01, Екатеринбург. – 1992. – 381 с.
15. Патент 23408А Украина, МПК С22С 38/38 (2006.01). Склад дроту для зносостійкої наплавки /Л.С. Малинов, В.М. Поліщук, Д.О. Деркач та ін. – №960727955; заявл. 12.07.96; опубл. 15.06.2001, Бюл. №5.
16. Новая порошковая проволока, обеспечивающая эффект деформационного упрочнения наплавленного металла при эксплуатации / Л.С. Малинов [и др.] // Автоматическая сварка. – 2009. – №5. – С. 46-48
17. Повышение работоспособности валков пилгримовых станов наплавкой новой порошковой проволокой ПП-35ЖН / А.В. Ковальчук [и др.] // Сварочное производство. – 1984. – №7. – С. 12-13.
18. Новый наплавочный материал системы С-Fe-Mn-V для повышения долговечности ходовых колес мостовых кранов / Л.С. Малинов [и др.] // Сварочное производство. – 1988. – №9. – С. 18-20.
19. Малинов В.Л. Влияние марганца на структуру и износостойкость наплавленного металла типа низкоуглеродистой стали / Автоматическая сварка. – 2011. – №8. – С. 15-19.
20. Малинов В.Л., Малинов Л.С. Структура и износостойкость хромомарганцевого наплавленного металла / Автоматическая сварка. – 2012. – №7. – С. 13-18.

V.L. Malinov /Cand. Sci. (Eng.)/, L.S. Malinov /Dr. Sci. (Eng.)/
 Pryazovskyi State Technical University (Mariupol)

**SPARINGLY ALLOY SURFACING MATERIALS FOR OBTAINING METASTABLE
 AUSTENITE IN THE STRUCTURE OF DEPOSITED METAL
 AND THE IMPLEMENTATION OF SELF-HARDENING EFFECT UNDER LOAD**

Background. Resource conservation is an important issue for the industry. One of the ways to its solution is to increase the service life of replaceable spare parts of tools and equipment by electric-arc surfacing. Many applied surfacing materials contain expensive alloying elements – nickel, cobalt, tungsten, etc. In this regard, actual is the task of development and introduction into production of sparingly alloy surfacing materials that significantly increase the service durability of parts and tools and ensure resource conservation.

Materials and/or methods. Flux-cored strips cross-section 3×10 mm and a flux-cored wire 3.6 mm diameter with a shell of 08KP steel thickness 0.3 mm were made. The core consisted of a mixture of

powder components. Surfacing of samples for properties testing and determining the phase composition was performed in 3 layers with the use of flux AN-26 on steel St3sp plates 30 mm thickness. Surfacing was performed in the mode: for flux-cored strips – current $I=450-500$ A, voltage $U=30-32$ V, welding speed $V=25$ m/h; for flux-cored wires – $I=300-350$ A, $U=28-32$ V, $V=35$ m/h.

Results. Based on a large number of experimental data and results of operational checks, established the possibility and prospects of creating technological Fe-Cr-Mn-C and Fe-Mn-C surfacing materials of various structural classes in a wide range of applications, which provide obtaining the metastable austenite in the structure of the deposited metal and dynamic deformation martensite transformation (DDMT).

Conclusion. Shown the necessity of obtaining in the structure of the deposited metal of metastable austenite (in some cases along with bainite and martensite) reinforced with the reinforcing phases. This provides the implementation of the self-hardening effect under load due to DDMT and the use of the internal resource of the material. The amount of austenite and its stability must be adjusted depending on the loading conditions.

Keywords: martensite, metastable austenite, self-hardening effect, wear resistance, carbides, carbon nitrides.

Статья поступила 28.09.2014 г.
© В.Л. Малинов, Л.С. Малинов, 2016
Рецензент д.т.н., проф. С.М. Сафьянц



ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

г. Алчевск

13-14 октября 2016 г.

**Международная
научно-техническая конференция,
посвященная 50-летию кафедры
«Машины металлургического
комплекса» ДонГТУ**

Основные направления (секции):

- Оборудование металлургического комплекса;
- Технологии машиностроения;
- Горное оборудование;
- Охрана труда и экология в машиностроении;
- Гидравлические машины и оборудование;
- Обработка металлов давлением.

Организационный комитет:

Тел.: +380 (95) 614-90-19;

+380 (6442) 2-89-48 (2208)

Эл. почта: mmkipm@mail.ru

www.dstu.education

