

УДК 621.791.92

Константинов В.М.

БОРСОДЕРЖАЩИЙ СПЛАВ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ НАПЛАВКОЙ ИНСТРУМЕНТА ГОРЯЧЕСТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ

Введение. Горячештамповый инструмент, работая в жестких условиях, обладает относительно низким ресурсом. Традиционными направлениями повышения долговечности инструмента являются нанесение упрочняющих, защитных покрытий. Известно, что одним из наиболее эффективных методов упрочнения и реновации рабочих поверхностей штампового инструмента является плазменная наплавка специальными наплавочными материалами [1]. При грамотно выбранном составе наплавляемого металла она позволяет не только восстанавливать инструмент, но и повышает его межремонтную стойкость. Известны разработанные в различное время специальные сплавы для наплавки штампового инструмента. Однако все они в настоящее время являются импортными. В этих условиях актуальным является создание специального экономно-легированного наплавочного сплава для условий высокотемпературного истирания штампового инструмента.

Материалы и методы. В качестве исходного матричного сплава для изготовления специализированного наплавочного сплава для упрочнения и восстановления инструмента горячештамповой оснастки был выбран порошок нержавеющей стали ПР-Х18Н9. Выбор данного порошка обусловлен тем, что данный материал относится к аустенитному классу и обладает изначально высокой пластичностью и окислительной стойкостью, являющимися свойствами, которыми должна обладать рабочая поверхность горячештампового инструмента.

Для придания наплавочному сплаву высокой теплостойкости,

износостойкости, твердости, термостойкости, т.е. свойства, которые совместно с первоначальной высокой пластичностью и окислительной стойкостью, позволят применять порошок ПР-Х18Н9 для упрочнения и восстановления рабочего инструмента горячештамповой оснастки, работающего в жестких условиях, обусловленных большими удельными нагрузками, высокой температурой и резкими ее перепадами, ударными нагрузками, его необходимо дополнительно легировать. Основными легирующими элементами наплавки являются С, Cr, W, В, Mn, S, Ti, Al, N, Co. Разумное сочетание эксплуатационных свойств и экономических показателей является очевидным условием эффективности восстановительно-упрочняющих технологий [2].

Известно, что свойства, необходимые рабочему инструменту горячештамповой оснастки, наиболее полно и экономически эффективно обеспечивают такие элементы, как хром, никель (которые имеются в исходном порошке), бор, кремний, марганец. Отметим, что два из трех указанных элементов (Si, Mn) относятся к дешевым, лишь бор является относительно дорогим элементом. Изменение химического состава порошка осуществляли методом диффузионного [3, 4].

Исследование порошков и наплавленных слоев проводили металлографическими (МВТ-71, МИМ-7), микродюриметрическими (ПМТ-3, Micromet-II), фазовым рентгеноструктурным (ДРОН-3), дюриметрическим (ТК-2) методами. Изучали также "холодную" теплостойкость, жаростойкость и термическую долговечность наплавки. Жаростойкость покрытий определяли гравиметрическим методом в соответствии с

Константинов Валерий Михайлович, заведующий кафедрой «Материаловедение в машиностроении» Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, г. Минск, Беларусь, e-mail: v_m_konst@mail.ru, llya.by@gmail.com.

ГОСТ 16130, по увеличению массы образца, отнесенному к площади его поверхности. Термическую долговечность наплавленных покрытий из исследуемых материалов определяли путем циклического нагрева, выдержки образцов при температуре испытаний и последующего спрейного охлаждения до комнатной температуры. Критерием долговечности служило количество циклов теплосмен образца до появления первой трещины на исследуемом покрытии.

Результаты исследований и их обсуждение. Общеизвестным фактом, многократно подтвержденным исследованиями [3], является то, что увеличение содержания бора в порошке ведет к увеличению твердости, что объясняется увеличением количества избыточных боридов. Известно, что бор снижает ударную вязкость наплавки. Зависимость влияния бора на ударную вязкость близка к параболической [4]. Поэтому для создания специализированного порошка для восстановления рабочего инструмента горячештамповой оснастки, от которого требуется достаточно высокая пластичность, необходимо выбрать оптимальное содержание бора в порошке. Проведенные исследования теплостойкости наплавленных слоев (табл.1) позволили сделать вывод, что необходимой твердостью (для горячештампового инструмента – 48-50HRC₂) обладает наплавка из порошка ПР-Х18Н9, содержащая не более 4% бора. При большем количестве бора снижается пластичность наплавки из-за увеличения количества избыточных боридов, что крайне нежелательно для рабочего инструмента горячештамповой оснастки (рис 1). Меньшее количество бора в порошке не обеспечивает необходимой твердости наплавленных слоев. Исходя из этого, для дальнейших исследований был выбран порошок ПР-Х18Н9, содержащий 4% В.

Легирование кремнием бористых наплавоч практически не влияет на их твердость. Это обусловлено приоритетным влиянием высокопрочных боридов железа и хрома в отличие от традиционных систем Fe-Cr-Ni-Si, в которых легирование кремнием приводит к росту прочности и твердости [5]. Исследования влияния многокомпонентного диффузионного легирования бором и кремнием, бором и марганцем на теплостойкость и термостойкость наплавленных слоев доказали, что боросилицирование порошка ПР-Х18Н9 при практически таком же уровне теплостойкости, приводит к снижению термостойкости по сравнению со сплавом ПР-Х18Н9Р4 на 12,5% (табл. 1). Кремний, являясь активным ферритизатором, способствует трещинообразованию наплавки при больших скоростях охлаждения. При боромарганцировании порошка ПР-Х18Н9 твердость наплавленных слоев, а соответственно и теплостойкость, уменьшаются с увеличением количества марганца. При этом термостойкость наплавленных слоев увеличивается на 25% по сравнению с порошком ПР-Х18Н9Р4, что является следствием их большей пластичности за счет содержания в порошке марганца, который является аустенитообразующим элементом и способствует повышению вязкостных свойств наплавоч. Жаростойкость изучаемых наплавоч находится на примерно одинаковом уровне 0,03–0,05 мг/(см²·час), что обусловлено высоким сопротивлением высокотемпературной коррозии матричной хромоникелевой стали. Некоторое уменьшение жаростойкости наплавоч по сравнению с компактной смесью 12Х18Н10Т связано с гетерогенизацией структуры и рассеянной пористостью наплавленного слоя.

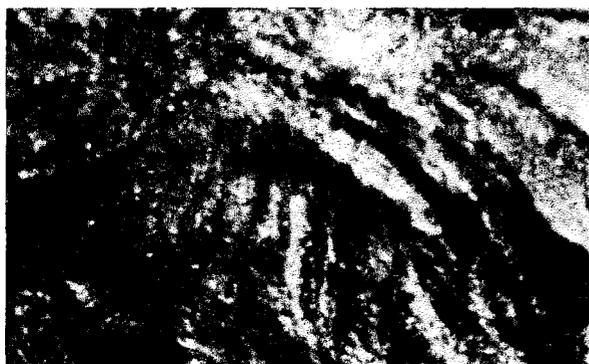


Рис. 1. Хрупкий камневидный излом высокобористой наплавки

Теплостойкость наплавоч из электрода ЭН-60М, традиционно применяемого для восстановления штампового инструмента, почти линейно уменьшается, не наблюдается характерного для разрабатываемых диффузионно-легированных сплавов дисперсионного твердения. Уже после испытаний при 700°С наплавка ЭН-60М имеет твердость существенно ниже требуемой для штампового инструмента. Диффузионно-легированные порошки на основе ПР-Х18Н9 сохраняют необходимый уровень твердости до 800°С, после чего она падает. Характерно выпадение точки, соответствующей отпуску 600°С. Это обусловлено влиянием конкурирующих процессов упрочнения и разупрочнения, связанных с выпадением одних и коагуляцией других избыточных упрочняющих фаз.

Способность к дисперсионному твердению является важным резервом повышения эксплуатационных свойств сплавов. Она обусловлена повышенной температурной растворимостью легирующих элементов в железе. Марганец способствует наиболее яркому проявлению эффекта вторичного твердения (табл. 2). При этом увеличивается количество вторичных боридных фаз при сохранении остаточного аустенита. Двойной отпуск приводит к дальнейшей сфероидизации боридов, выделению из твердого раствора избыточных фаз и увеличению твердости и микротвердости структурных составляющих (рис. 2).

Наплавленные покрытия характеризуются нестабильностью структуры, высоким уровнем внутренних напряжений, которые являются следствием большого температурного воздействия на деталь со стороны плазменной дуги, что сильно сказывается на качестве наплавленных покрытий, долговечности и работоспособности восстановленного горячештампового инструмента. Для выравнивания структуры наплавленного металла, снятия внутренних напряжений, возникающих при наплавке, рекомендована следующая термическая обработка: закалка в масле, двойной отпуск.

Термическая обработка является важным резервом повышения эксплуатационных характеристик наплавки [6]. Она способствует структурной дифференциации фазовых составляющих, частичному растворению одних избыточных фаз и коагуляции других. Структура наплавки выравнивается по сечению и становится эвтектической (рис. 2).

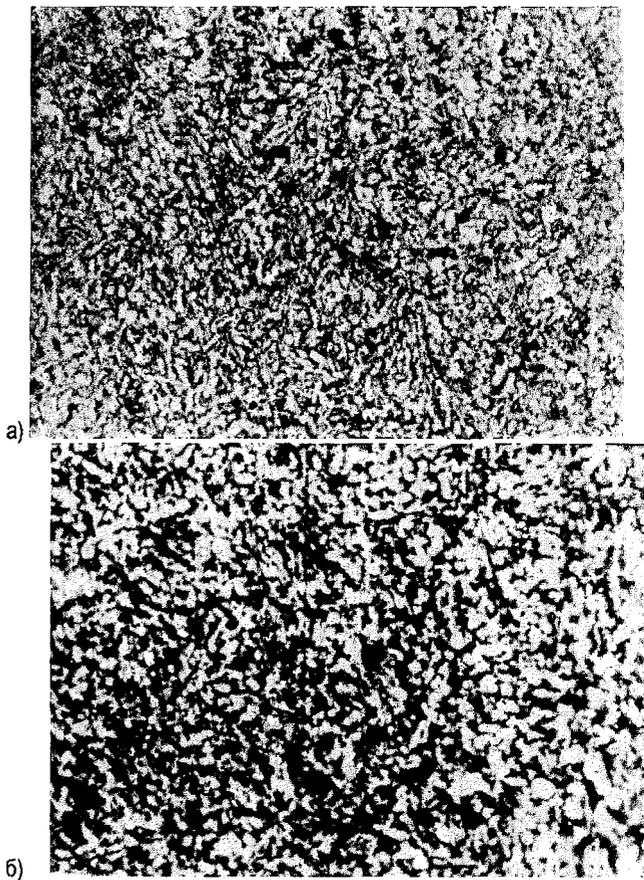
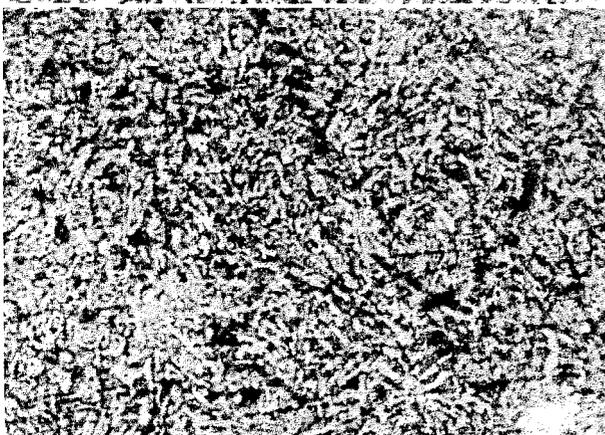
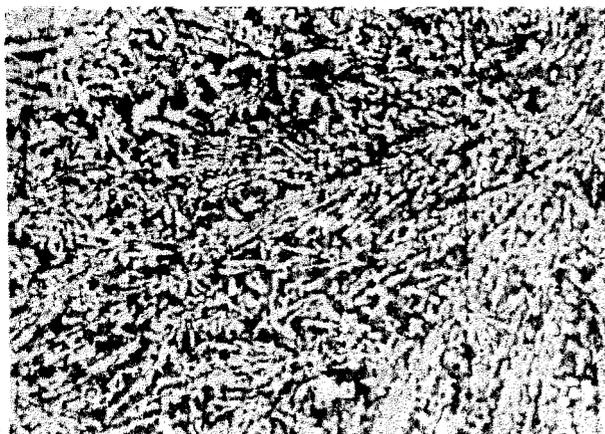


Таблица 1. Теплостойкость и термостойкость исследуемых наплавов

Материал	Средняя твердость после нагрева, HRC						Количество циклов тепло-смен до появления трещин
	20°C	500°C	600°C	700°C	800°C	900°C	
ПР-Х18Н9Р2	41,8	45,8	45	45,5	45,7	43,4	9
ПР-Х18Н9Р4	50,6	52,9	49	50	52,3	51,2	8
ПР-Х18Н9Р6	53,3	54	50,3	53,6	54,75	52,8	8
ПР-Х18Н9Р4С2	50,7	52,6	47	48,8	51,3	50,8	7
ПР-Х18Н9Р4С4	51,7	52,8	47,3	49,2	51,5	50	8
ПР-Х18Н9Р4С6	51,8	53	46	49,5	51,8	47,6	7
ПР-Х18Н9Р4Г2	51,5	54	46	49,6	51,9	50,8	9
ПР-Х18Н9Р4Г4	49	52	46	49,2	51,4	50,6	10
ПР-Х18Н9Р4Г6	42	42,2	40	41,6	43,2	40	10
ЭН-60М	58,2	53,2	49,1	46,1	45	42,7	10

Таблица 2. ДюрOMETрические показатели борсодержащих наплавов

Вид термической обработки	Микротвердость, МПа Твердость, HRC							
	Х18Н9Р4	Х18Н9Р6	Х18Н9Р4С2	Х18Н9Р4С4	Х18Н9Р4С6	Х18Н9Р4Г2	Х18Н9Р4Г4	Х18Н9Р4Г6
Наплавка с охлаждением на воздухе	50,1	53,4	50,7	51,7	51,7	50	46,7	44,2
	4500	4700	4400	4520	4530	4450	4200	3730
Закалка в масле	47,2	51,1	50,1	46,8	47,8	39,5	38,1	34,8
	4230	4510	4320	4310	4380	3250	3190	2810
Отпуск	49	51,5	52,3	47,2	48,3	52,1	51,1	41,8
	4500	4500	4580	4310	4430	4780	4290	3500
Двойной отпуск	51,1	53,1	53,1	47,6	48,6	53,8	52,2	44
	4700	4820	4860	4340	4400	4880	4680	3800



а) наплавка с охлаждением на спокойном воздухе, б) закалка, в) отпуск, г) двойной отпуск

Рис. 2. Влияние термической обработки на микроструктуру наплавленного слоя из сплава Х18Н9Р4Г2, ×200

Результаты выполненных исследований позволили осуществить внедрение разработанного сплава на Минском подшипниковом заводе [7]. Результаты выполненных работ свидетельствует о высокой технико-экономической эффективности разработанного сплава (табл. 3).

Заключение. Изучено влияние бора на структуру и высокотемпературные свойства стальной хромоникелевой аустенитной матрицы. Предложен отечественный борсодержащий сплав для упрочнения и реновации инструмента горячештамповой оснастки. Уровень эксплуатационных характеристик сплава выше традиционно используемого импортного наплавочного электрода ЭН-60М. Возможности технологии диффузионного легирования и использование доступных сырьевых ресурсов обеспечили снижение затрат на изготовление сплава.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Восстановление деталей машин: справочник / Ф.И. Пантелеенко, В.П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов; под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
2. Константинов, В.М. Теоретические и технологические аспекты создания экономно-легированных защитных слоев из диффузионно-легированных сплавов / В.М. Константинов // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2007. – № 2. – С. 29–37.
3. Пантелеенко, Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия из них. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – С. 300.
4. Ворошнин, Л.Г. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО. / Л.Г. Ворошнин, Ф.И. Пантелеенко, В.М. Константинов – 2-е изд., перераб. и доп. – Мн.: УП «Технопринт» 2002. – С. 175.
5. Iron–chromium–silicon–carbon alloys for metal-are surface welding as a protection against abrasive wear / H. Drzeniek, K. Granat, E. Lugscheider // Schweissen und Schneiden, 1990. – № 11. – P. 178–181.
6. Константинов, В.М. Проблемы термической обработки наплавленных деталей горношахтного оборудования / В.М. Константинов, В.Г. Дашкевич // Горная механика. – 2005. – № 2. – С. 92–96.

7. Константинов, В.М. Разработка диффузионно-легированного сплава для восстановления наплавкой инструмента горячештамповочной оснастки / В.М. Константинов, Ф.И. Пантелеенко,

В.А. Войтехович // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2002. - №8. - С. 29-33.

Материал поступил в редакцию 12.05.14

KONSTANTINOV V.M. Boron containing alloy for hard facing improvement of hot-stamp equipment

The article reveals the boron influence on structure formation and high temperature properties of alloy based on chrome-nickel austenite steel. The influence of boron containing surfaced layer heat treatment on microstructure and hardness had been investigated. An import substituting boron-containing alloy for hardening and renovation of hot-stamp equipment had been developed.