

УДК 621. 791.

Власов А. Ф., Богущкий А. А., Лысак В. К., Куший А. М.

РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО РЕЖУЩЕГО И ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Одним из важнейших направлений решения проблемы ресурсосбережения является разработка экономнолегированных сталей и наплавочных материалов, обеспечивающих повышенные механические и служебные свойства деталей машин и инструментов. Основными структурными классами, на основе которых создаются экономнолегированные высокопрочные стали и сплавы являются: мартенситный, мартенситно-аустенитный, устенитно-карбидный и др. с использованием недефицитных легирующих элементов: марганца, хрома, кремния, ванадия, различное сочетание и количественное соотношение которых позволяет создавать разнообразные по свойствам и назначению материалы [1, 2] Резкое повышение износостойкости металла также достигается за счёт изменения композиционной структуры [3].

Характерной особенностью наплавленного металла типа инструментальных штамповых сталей 25X5ФМС, 35В9Х3ФС, 30Х4В2М2ФС и других сталей являются то, что в широком диапазоне скоростей охлаждения в нем исключается перлитное преобразование, и после наплавки образовывается мартенситная структура с небольшим количеством остаточного аустенита. Это очень важно на практике. Независимо от температуры предыдущего подогрева в широком диапазоне режимов наплавки металл имеет мартенситную структуру, высокую твердость и хорошие эксплуатационные свойства.

В зависимости от предназначения наплавленного инструмента (режущий или штамповый) предъявляются различные требования и к механическим свойствам стали, из которой он изготовлен. Регулировать значения данных свойств при использовании одной и той же марки стали возможно, используя различные режимы термической обработки.

Согласно современной классификации наплавленного металла по химическому составу и назначению каждому типу наплавленного металла присущи свои особенности технологии наплавки. Для предотвращения растрескивания наплавленного слоя, особенно при наплавке твердыми материалами, необходимо правильно выбрать температуру предварительного подогрева детали, оказывающего влияние на твердость наплавленного металла. Недостаточная температура предварительного подогрева создает опасность возникновения трещин, а чрезмерный нагрев вызывает снижение скорости охлаждения и увеличение глубины проплавления основного металла, не обеспечивающей требуемой твердости наплавленного металла.

Целью настоящей работы является разработка наплавочных материалов и технологии наплавки режущего и штампового холодновысадочного инструмента, работающего в условиях динамического нагружения и повышенного износа, а также исследование качества металла, наплавленного разработанными наплавочными материалами.

Для изготовления инструмента холодного деформирования металла разработана и успешно опробована сталь Х2ГСВ2Ф, повышающая стойкость его в 3–6 раз по сравнению с другими марками стали аналогичного назначения.

Разработаны самозащитная порошковая проволока ПП-Х2ГСВ2Ф и электроды ЭН-Х2ГСВ2Ф, которые предназначены для наплавки режущего инструмента холодного деформирования металла. В состав шихты порошковой проволоки и в электродное покрытие вводились недефицитные газошлакообразующие компоненты (мрамор, рутил, плавиковый шпат) и легирующие (графит, ферросилиций, ферромарганец, феррохром, ферровольфрам и феррованадий). В качестве основы шлаковой системы использовали мрамор, рутил и плавиковый шпат. Соотношение газошлакообразующих компонентов в шихте порошковой

проволоки определялось по рис. 1, а в электродном покрытии – по рис. 2. На основе состава (т. 23) разработана самозащитная порошковая проволока ПП-Х2ГСВ2Ф, предназначенная для наплавки режущего инструмента открытой дугой. Применительно к электродному покрытию лучшими сварочно-технологическими свойствами обладает состав 14 (рис. 2), на базе которого разработаны электроды ЭН-Х2ГСВ2Ф. Валики, наплавленные этими электродами, имеют хорошее мелкочешуйчатое строение. Оптимальное легирование наплавленного металла достигалось при относительной массе покрытия 58–60 %.

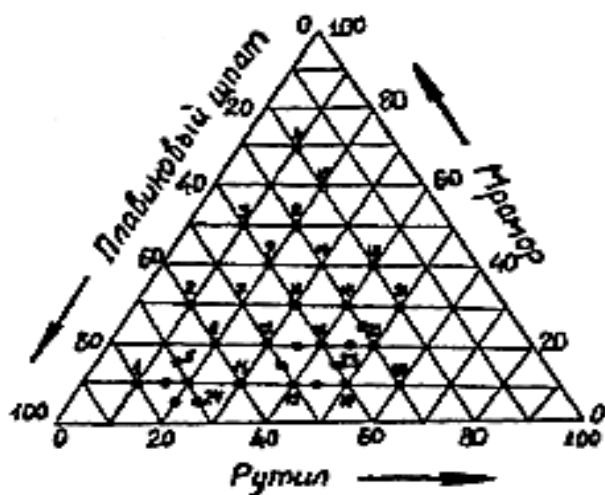


Рис. 1. Соотношение газошлакообразующих компонентов в шихте порошковой проволоки

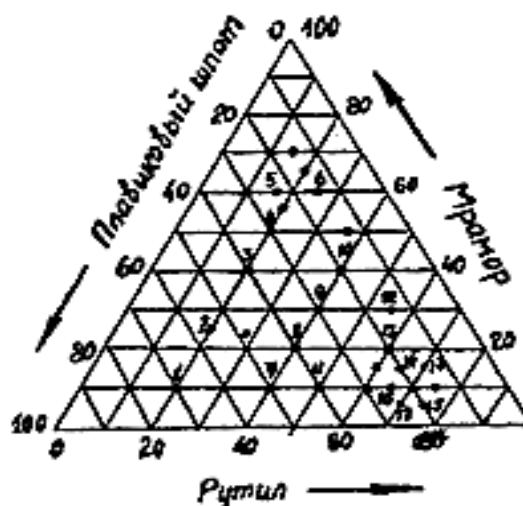


Рис. 2. Соотношение газошлакообразующих компонентов в электродном покрытии

Химический анализ однослойных и многослойных наплавов показал, что содержание легирующих элементов в них соответствует заданным пределам стали (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав металла однослойных и многослойных наплавов, %

Наименование	C	Si	Mn	Cz	W	V	S	P
Однослойный шов	0,55	0,87	1,09	1,70	1,74	0,13	0,020	0,038
Многослойный шов	0,84	1,06	1,14	2,02	2,55	0,19	0,012	0,034
Сталь Х2ГСВ2Ф	0,8–1,1	0,7–1,0	1,0–1,4	1,7–2,8	1,8–2,8	0,2–0,3	0,02	0,03

Анализ продольных и поперечных макрошлифов однослойной и многослойной наплавки, наплавленных порошковой проволокой и электродами, показал, что проплавление основного металла небольшое, в наплавленном металле отсутствовали наплывы, трещины, поры и другие дефекты. Закалка наплавленного металла при температуре 780–830 °С, охлаждение в масле подогретое до 50...70 °С и отпуск при 200 °С обеспечивали бесструктурный мартенсит с равномерно распределенными дисперсными карбидами и твердость 58–60 HRC. Микроструктура наплавленного металла после экзотермического отжига представляет собой мелкодисперсный перлит, в котором располагаются отдельные карбиды. При этом твердость отожженного наплавленного металла составляла 22...25 HRC.

Оценка сварочно-технологических свойств разрабатываемых наплавочных материалов производили по результатам наплавки однослойных и многослойных валиков на пластины из стали 45 размером $450 \times 40 \times 12$ мм с предварительным подогревом до температуры $450 \dots 500$ °С. Наплавка порошковой проволокой производилась с помощью полуавтомата А-765 и выпрямителя ВС-600, а наплавку электродами – выпрямителя ВД-300.

Наплавка порошковой проволоки 2,5 мм производилась на режиме: $I = 230 \dots 270$ А, напряжение $U_d = 25 \dots 27$ В, скорость подачи проволоки – 188 м/ч, скорость наплавки – $10 \dots 12$ м/ч, вылет электрода – $17 \dots 19$ мм. Лучшие результаты обеспечивает состав 79П (точка 23), содержащий 15 % мрамора, 40 % плавикового шпата и 45 % бутилового концентрата.

Внешний вид валика, наплавленного составом 79П, приведен на рис. 3. Этот состав обеспечивал самопроизвольную отделимость шлаковой корки.

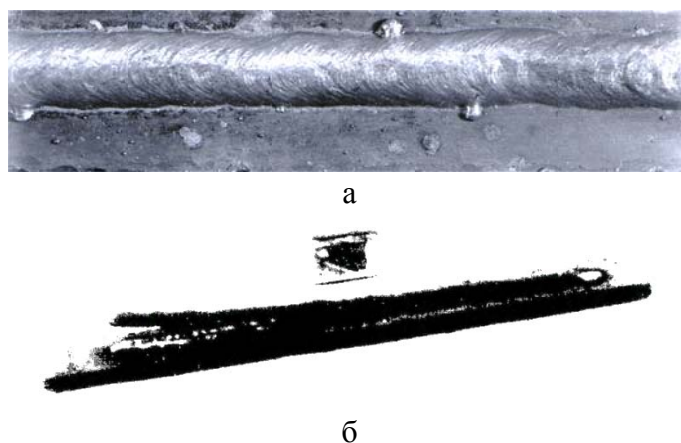


Рис. 3. Внешний вид наплавленного валика (а) и шлаковой корки (б) при наплавке порошковой проволоки

Оценка качества металла, наплавленного разработанными наплавочными материалами, производилась с учетом влияния технологических факторов: режима наплавки и температурного режима. Наплавленный при оптимальных условиях металл подвергался металлографическим исследованиям. На рис. 4 представлены фотографии продольного и поперечного макрошлифов однослойной и многослойной наплавки, наплавленных порошковой проволокой оптимального состава. Проплавление основного металла небольшое, наплавленный металл имеет нормальную форму без подрезов и наплывов, трещин, пор и других дефектов.

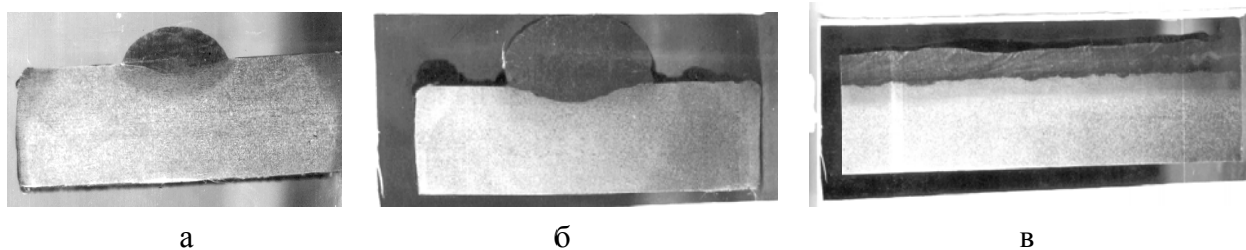


Рис. 4. Вид макрошлифов однослойной и многослойной наплавки:

а – однослойный валик; б – многослойный валик; в – продольный многослойный валик

Для проверки изменения содержания легирующих элементов по высоте наплавленного металла исследуемыми электродами и порошковой проволокой на планки из стали 45 наплавливались однослойные и многослойные наплавки. С поверхности наплавленного металла через каждые 0,5 мм (для однослойных) и 10 мм (для многослойных) спектральным анализом определялся его химический состав. Средние результаты анализов для многослойной

наплавки порошковой проволокой ПП-Х2ГСВ2Ф показали, что наплавленный металл по высоте слоя обладает хорошим постоянством состава. Дилатометрические исследования образца диаметром 3,6 мм и длиной 50 мм на дифференциальном дилатометре Шевенера позволили определить критические точки: $A_{c1} = 770 \text{ }^\circ\text{C}$; $A_{c3} = 800 \text{ }^\circ\text{C}$; $A_{r1} = 410 \text{ }^\circ\text{C}$; $A_{r3} = 690 \text{ }^\circ\text{C}$ [4].

Оценка закаливаемости наплавленного металла производилась по результатам замера твердости. Образцы подвергались закалке с различных температур (730...1000 °C). Охлаждение в масле, подогретое до 50...70 °C. Отпуск при 200 °C. Результаты приведены на рис. 5, а влияние температуры отпуска на твердость приведено на рис. 6.

Закалка наплавленного металла при температуре 780–830 °C, охлаждение в масле подогретое до 50–70 °C и отпуск при 200 °C обеспечивали бесструктурный мартенсит с равномерно распределенными дисперсными карбидами и твердость 58–60 HRC. Микроструктура наплавленного металла после экзотермического отжига представляет собой мелкодисперсный перлит, в котором располагаются отдельные карбиды. При этом твердость отожженного наплавленного металла составляла 22–25 HRC.

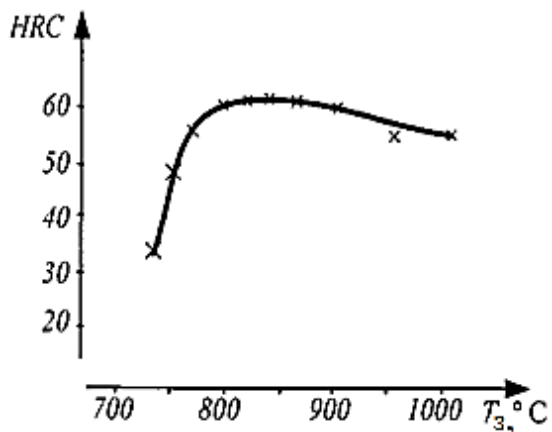


Рис. 5. Влияние температуры закалки на твердость наплавленного металла

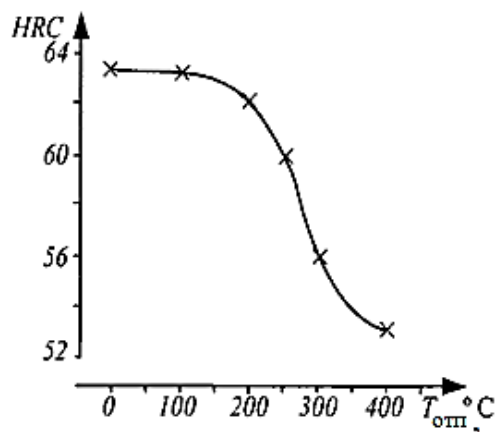


Рис. 6. Влияние температуры отпуска на твердость наплавленного металла

Проверка сварочно-технологических свойств экспериментальных составов порошковых проволок диаметром 2,5 мм производилась на следующем режиме: ток – 230–270 А, напряжение дуги – 25–27 В, скорость подачи проволоки – 180 м/ч, вылет электрода – 17–19 мм. Лучшие результаты получены при использовании состава (т. 23), содержащего 15 % мрамора, 40 % плавленого шпата и 45 % рутила.

Разработка технологии наплавки порошковой проволокой ПП-Х2ГСВ2Ф и электродами Х2ГСВ2Ф производилась для упрочнения режущих кромок быстроизнашивающихся деталей штампов. Эксперименты показали, что для наплавки инструмента предпочтительной является разделка кромок не под углом 45 °, а по радиусу (рис. 7). Исследованием [5] установлен характер неравномерности износа штампа при вырубке прямоугольных деталей.

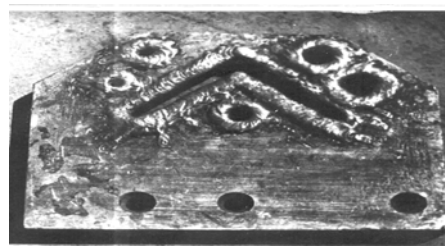
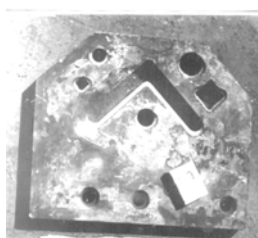


Рис. 7. Внешний вид профильного ножа, подготовленного под наплавку и наплавленного электродами ЭН-Х2ГСВ2Ф

Внешний вид профильного ножа и ножей гильотинных ножниц, наплавленных электродами ЭН-Х2ГСВ2Ф, представлен на рис. 7, 8.

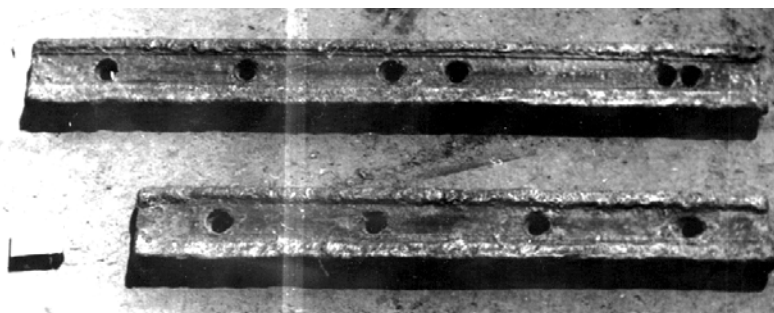


Рис. 8. Внешний вид ножей гильотинных ножниц, наплавленных электродами

Для изготовления биметаллического режущего и штампового холодновысадочного инструмента была разработана самозащитная порошковая проволока, обеспечивающая получение молибденовой инструментальной стали 100X4M5Ф2(Zr) [6].

В работе [7] приведены результаты исследования влияния в наплавленной стали 100X4M5Ф2(Zr) образующихся неметаллических включений эндогенного типа на эксплуатационные характеристики инструмента. Неметаллические включения всех типов, находясь в поверхностном слое, влияют на формирование структуры наплавленного слоя, вызывая его структурную неоднородность [8].

Апробация показала, что обладая высокими сварочно-технологическими свойствами, проволока обеспечивает получение наплавленного металла без пор, трещин и шлаковых включений. Благодаря хорошей отделимости шлаковая корка не препятствует нанесению последующих слоев наплавленного металла. При величине коэффициента наплавки 16,7 г/А·ч относительный расход проволоки не превышал 1,1 (при общем коэффициенте потерь 7–10 %). Наплавку на заготовки из конструкционных сталей осуществляли на постоянном токе обратной полярности. Силу тока, напряжение на дуге, скорость наплавки, вылет электрода и его смещение относительно зенита выбирали в зависимости от размера заготовки. Наплавку заготовок диаметром менее 20 мм осуществляли ванным способом без предварительного подогрева.

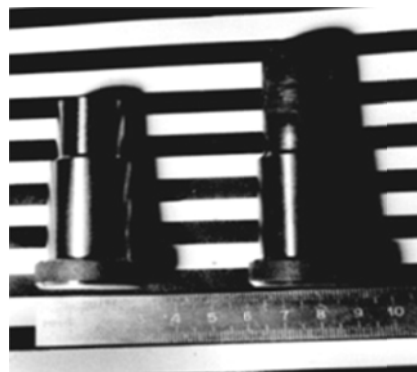
При послойной наплавке заготовок (во избежание возникновения высоких закалочных напряжений) их подогревали до температуры 300–350 °С с последующим охлаждением в печи после наплавки. Твердость наплавленной стали составляла HRC 56–60, твердость наплавленного металла после отжига не превышала HRC 22–26. После полной механической обработки наплавленный инструмент подвергали закалке и трехкратному отжигу, при этом твердость наплавленного металла возрастала до HRC 65–66 ($\pm 0,5$) [9]. В результате производственных испытаний установлено, что стойкость режущего инструмента (рис. 9, а), наплавленного самозащитной порошковой проволокой, обеспечивающей получение наплавленного металла типа 100X4M5Ф2(Zr), превосходит в 2–3 раза стойкость стандартного режущего инструмента из стали P6M5.

Исследованиями установлено, что разработанные наплавочные материалы целесообразно применять для упрочнения режущих кромок быстроизнашивающихся деталей штампов (пуансона и матрицы вырубного штампа), а также ножей для порезки профильного металла и гильотинных ножниц.

Производственные испытания наплавочных материалов – порошковой проволоки ПП-Х2ГСВ2Ф, электродов ЭН-Х2ГСВ2Ф и стойкости наплавленных пуансона и матрицы по сравнению со сталью 85 показали, что их стойкость увеличилась в 6 раз, а по сравнению со сталью 7ХГ2ВМФ – в 2 раза, со сталью 6Х2ГСМ – в 3 раза.



а



б

Рис. 9. Внешний вид заготовок наплавленного (а) и готового инструмента (б)

ВЫВОДЫ

Для наплавки инструмента холодного деформирования металла разработаны и успешно опробованы в производственных условиях порошковая проволока ПП-Х2ГСВ2Ф и электроды ЭН-Х2ГСВ2Ф, обеспечивающие повышение стойкости данного инструмента в 2–6 раз по сравнению с инструментом из сталей аналогичного назначения, и самозащитная порошковая проволока, обеспечивающая получение наплавленного металла типа 100Х4М5Ф2(Zr).

Шихта разработанных наплавочных материалов (порошковых проволок и электродов) не содержит дефицитных материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малинов Л. С. Перспективные экономнолегированные наплавочные материалы, обеспечивающие получение наплавочного металла с мартенситными превращениями / Л. С. Малинов // Тезисы докладов научного семинара «Современные достижения в области сварки, наплавки и родственных технологий» / под ред. В. А. Роянова. – Мариуполь, 2000. – С. 86–90.
2. Малинов Л. С. Перспективные экономнолегированные стали и чугуны с мартенситными превращениями и наплавочные материалы на их основе / Л. С. Малинов // Захист металургійних машин від поломок : зб. наук. праць. – Мариуполь, 2000. – Вып. 5. – С. 238–244.
3. Лецинский Л. К. Работоспособность макронеоднородного наплавленного металла / Л. К. Лецинский, С. С. Самогутин, В. П. Лаврик // Тезисы докладов Международной научно-методической конференции «Современные проблемы сварки и родственных технологий, совершенствование подготовки кадров» / под ред. В. А. Роянова. – Мариуполь : ПГТУ, 2001. – С. 44–45.
4. Власов А. Ф. Повышение стойкости инструмента холодного деформирования металла / А. Ф. Власов, В. М. Карпенко, В. К. Лысак // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : темат. зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2004. – С. 148–152.
5. Яворовский В. Н. Неравномерность износа штампа при вырубке прямоугольных деталей / В. Н. Яворовский, И. А. Роцина // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні і металургії : зб. наук. пр. – Краматорськ – Слов'янськ, 2000. – С. 462–467.
6. Богуцкий А. А. Многокритериальная оптимизация состава безвольфрамовой стали для наплавки режущего инструмента / А. А. Богуцкий // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 1999. – Вып. 9. – С. 95–97.
7. Богуцкий А. А. Повышение стойкости наплавленного слоя при наплавке самозащитной порошковой проволоки биметаллического инструмента / А. А. Богуцкий // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2012. – № 3 (28). – С. 47–50.
8. Артингер И. Инструментальные стали и их термическая обработка : пер. с венг. / И. Артингер. – М. : Металлургия, 1982. – 312 с.
9. Богуцкий А. А. Управление качеством биметаллического инструмента / А. А. Богуцкий, Н. А. Макаренко // Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном производстве : мат. Междунар. науч. техн. конф. – Краматорськ : ДГМА, 2008. – С. 32–33.