

УДК 621.791.927.5

Богуцкий А. А.

## ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ ПРИ НАПЛАВКЕ САМОЗАЩИТНОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА

Стойкость биметаллического режущего и штампового холодновысадочного инструмента, работающего в условиях динамического нагружения и повышенного износа, существенно зависит от газонасыщенности наплавленного металла и наличия в нем неметаллических включений, причем наличие пор и шлаковых включений в рабочем слое инструмента недопустимо [1].

Известно, что образование пор обусловлено резким снижением растворимости газов в наплавленном металле в период его кристаллизации. Кроме того, растворенный водород повышает вероятность образования холодных трещин, а повышенное содержание кислорода способствует увеличению содержания неметаллических включений оксидного и оксисульфидного типа в наплавленном металле.

Неметаллические включения, находящиеся вблизи поверхности рабочего слоя, облегчают формирование и отрыв частиц при усталостном износе, а на самих включениях (в процессе износа) возникают усталостные трещины, распространяющиеся в стальную матрицу [2].

Надежность, долговечность режущего и штампового наплавленного инструмента связана с его устойчивостью к возникновению и развитию трещин. Неметаллические включения способствуют охрупчиванию стали, поскольку образование трещин вблизи включения снижает работу ее зарождения. В условия действия знакопеременных нагрузок и температур вблизи включений возникает локальное поле напряжений, процесс накопления которых приводит к зарождению усталостных трещин вблизи включений.

Чем крупнее неметаллические включения и неравномернее их распределение, тем ниже качество шлифуемой поверхности (крупные включения при шлифовании могут выкрашиваться). Неметаллические включения, неравномерно распределенные в поверхностных слоях инструмента, повышают склонность наплавленного металла к термической усталости. Неметаллические включения всех типов, находясь в поверхностном слое, влияют на формирование структуры наплавленного слоя, вызывая его структурную неоднородность [3].

Цель работы – повышение качества наплавленной экономнолегированной быстрорежущей стали, предназначенной для восстановления режущего и штампового холодновысадочного инструмента, за счет применения последующей термической обработки.

Задачи исследований – разработать и исследовать самозащитную порошковую проволоку для наплавки режущего и штампового холодновысадочного инструмента, работающего в условиях динамического нагружения и повышенного износа; определить влияние режимов термической обработки на механические свойства наплавленного металла в зависимости от условий работы наплавленного инструмента.

В наплавленной стали 100X4M5Ф2(Zr) отрицательная роль образующихся неметаллических включений эндогенного типа снижается из-за присутствия в ее структуре значительного числа избыточных карбидов (> 10 %), которые также ухудшают эксплуатационные характеристики инструмента. Неметаллические включения представлены мелкими глобулярными оксидами, располагающимися, в основном, внутри карбидной эвтектики (рис. 1). Располагаясь по границе зерен, они задерживают их рост, что приводит к их измельчению. Среднее содержание неметаллических включений, полученное путем графического обсчета программой TESCAN, не превышает 0,1 %. Средний диаметр включений при послойной наплавке находился на уровне 7,2 мкм, а при наплавке с принудительным формированием – 3,7 мкм, при этом процент площади, занимаемой включениями для данных способов наплавки, составляет соответственно 0,65 и 0,16 %.

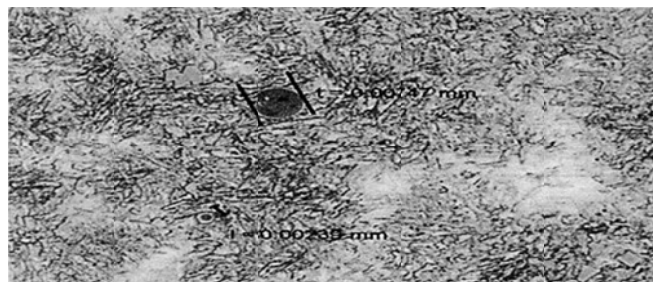


Рис. 1. Неметаллические включения в наплавленной стали 100X4M5Ф2(Zr)

Для снижения содержания неметаллических включений оксидного и оксисульфидного типов в наплавленном металле содержание кислорода снизили до 0,01 %, за счет снижения окислительного потенциала газошлакообразующей части сердечника порошковой проволоки (путем применения безкарбонатных бинарных шлаковых систем).

Исследования показали, что в отличие от кислорода и водорода, растворенных в наплавленном металле, азот благоприятно влияет на структуру и свойства молибденовой быстрорежущей стали 100X4M5Ф2(Zr). Введение азота в молибденовую сталь данного типа, склонную к интенсивному образованию карбида  $Me_2C$ , способствует его распаду на тонкую смесь карбидов  $MeC$  и  $Me_6C$ , при этом роль азота зависит от того присутствует ли он в малорастворимых нитридах и карбонитридах  $V(C, N)$ ,  $Zr(C, N)$  или в частично растворимой сложной фазе  $Me_6C$ . В первом случае, образующиеся дисперсные фазы оказывают на сталь модифицирующее влияние, способствуя образованию более мелкого зерна аустенита и более тонкой сетки эвтектики в литом состоянии, а также обуславливают задержку роста зерна при нагреве под закалку. Такое влияние азота наблюдается в сталях с небольшим количеством карбидной фазы. Присутствие азота в карбидах  $Me_6C$  способствует его частичному переходу при нагреве под закалку в раствор с последующим выделением из мартенсита в карбиды легирующих элементов при отпуске. При этом возрастает вторичная твердость, износостойкость и режущие свойства стали [2].

Как показал рентгеноструктурный анализ, азот в быстрорежущей молибденовой стали 100X4M5Ф2(Zr) не образует нитридной фазы, а, растворяясь, образует с карбидом карбонитриды, способствуя увеличению карбонитридной фазы. Как после отжига, так и после закалки количество карбонитридной фазы тем больше, чем больше азота в наплавленной стали. Зерно аустенита в стали с азотом менее склонно к росту, поэтому разработанная сталь с азотом имеет более широкий диапазон интервала закалочных температур, а азотистый аустенит и мартенсит обладает повышенной твердостью и теплостойкостью.

При наплавке порошковой проволокой легирование металла азотом может производиться из газовой фазы (за счет параметров режима наплавки, количественного или качественного состава газошлакообразующей части шихты сердечника порошковой проволоки) или путем введения азотированных ферросплавов в шихту порошковой проволоки. Возможно также комплексное использование данных способов. Однако, при легировании наплавленного металла азотом из газовой фазы невозможно достичь его равновесной концентрации, что объясняется незначительной продолжительностью взаимодействия расплавленного металла ванны с азотом, находящимся в дуговом промежутке, при этом величина концентрации азота в отдельных слоях многослойной наплавки существенно отличается (на 10–15 %). При данном способе легирования существует опасность появления пор в наплавленном металле. Исследования показали, что при указанном уровне легирования стали поры не наблюдались при содержании азота в наплавленном металле до 0,06 %. Гарантировано получение безпористого металла с повышенным содержанием азота при введении в шихту порошковой проволоки азотированных ферросплавов хрома и ванадия. Исследования наплавленной стали

100X4M5Ф2(Zr) на газоанализаторе ТС-136 фирмы LECO показало, что азот усваивается наплавленной сталью в количестве, не превышающем 0,10–0,12 %, при этом в наплавленном металле отсутствуют поры [3].

Для предотвращения пористости наплавленного металла, вызываемой водородом, в шихту порошковой проволоки вводили компоненты, легкодиссоциирующие в столбе дуги, в результате чего происходит образование свободного фтора.

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.

Исследованиями установлено, что получение максимальной вязкости и прочности наплавленной стали 100X4M5Ф2(Zr) возможно после проведения процесса закалки, начинающейся с пониженных температур. Такая температура закалки ниже на 50–100 °С от оптимальной (1200 °С). Получение максимальной вязкости наплавленного металла после закалки с пониженных температур обусловлено одновременным влиянием на характер изменения вязкости и прочности отпущенной стали трех факторов: размера зерна, легированности первичного и вторичного мартенсита. Вязкость уменьшается по мере роста зерна, повышения легированности первичного и вторичного мартенсита (увеличение доли последнего), именно поэтому наибольшей вязкостью обладает сталь, закаленная с низких температур.

Установлено, что снижение температуры закалки также благоприятно сказывается на свойствах металла подложки биметаллического инструмента, позволяет отказаться от применения специальных технологических приемов при общей закалке.

Известно, что для достижения максимальной твердости наплавленной стали после термической обработки необходимо создать такие условия растворения карбидов, при которых процесс их растворения не сопровождался бы ростом зерна аустенита. Эксперименты показали, что это возможно при кратковременном нагреве до температур, превышающем на 100 °С оптимальную температуру закалки. Кратковременность нагрева приводит к получению максимальной твердости режущей кромки без заметного снижения прочности и вязкости его сердцевины.

Для изготовления биметаллического режущего и штампового холодновысадочного инструмента была разработана самозащитная порошковая проволока, обеспечивающая получение молибденовой инструментальной стали 100X4M5Ф2(Zr) [4].

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 ( $\pm 0,5$ ) [5]. В результате производственных испытаний установлено, что стойкость режущего инструмента (рис. 2, а), наплавленного самозащитной порошковой проволокой, обеспечивающей получение наплавленного металла типа 100X4M5Ф2(Zr), превосходит в 2–3 раза стойкость стандартного режущего инструмента из стали P6M5.

Холодновысадочный инструмент, наплавленный по разработанной кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства» Донбасской государственной машиностроительной академии технологии, обеспечивает повышение его работоспособности (по сравнению с инструментом, изготовленным из стали 6Х6В7МФ по ТУ 14-1-29-80) в 1,5–2,0 раза (рис. 2, б).

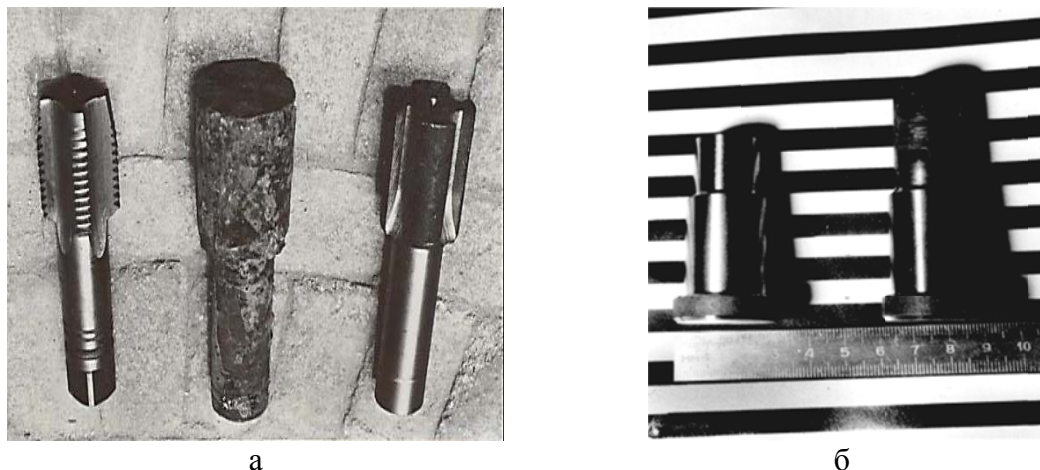


Рис. 2. Внешний вид заготовок наплавленного (а) и готового инструмента (б)

Полученные данные по газонасыщенности и неметаллическим включениям наплавленного металла явились факторами оптимизации состава шихты самозащитной порошковой проволоки для наплавки биметаллического режущего и штампового инструмента, работающего в условиях интенсивного износа и динамического нагружения.

## ВЫВОДЫ

Промышленные испытания показали, что разработанная самозащитная порошковая проволока для наплавки режущего или штампового инструмента позволяет повысить его работоспособность за счет сочетаний качественного состава, структуры и термической обработки наплавленного металла.

Установлена возможность регулирования изменения значения механических свойств в зависимости от условий работы наплавленного инструмента (при использовании одной и той же марки стали) в зависимости от варьирования различных режимов термической обработки.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геллер Ю. А. Инструментальные стали / Ю. А. Геллер. – М. : Металлургия, 1983. – 527 с.
2. Богуцкий А. А. Управление качеством биметаллического инструмента / А. А. Богуцкий, Н. А. Макаренко // Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном производстве : материалы Междунар. науч. техн. конф. – Краматорск : ДГМА, 2008. – С. 32–33.
3. Артингер И. Инструментальные стали и их термическая обработка : пер. с венгр. / И. Артингер. – М. : Металлургия, 1982. – 312 с.
4. Богуцкий А. А. Многокритериальная оптимизация состава безвольфрамовой стали для наплавки режущего инструмента / А. А. Богуцкий // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. праць. – Краматорск : ДГМА, 1999. – Вип. 9. – С. 95–97.
5. Богуцкий А. А. Механизированная наплавка металлорежущего инструмента быстрорежущей сталью / А. А. Богуцкий, А. М. Куций // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку : матеріали V Междунар. науч. техн. конф., 4–7 червня 2007 р. – Краматорськ : ДДМА, 2007. – С. 9.