

МОДИФИЦИРОВАНИЕ СРЕДНЕХРОМИСТОГО НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

К. К. СТЕПНОВ, инж., В. Н. МАТВИЕНКО, канд. техн. наук, А. И. ОЛДАКОВСКИЙ, инж.
(Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Приведены результаты исследований влияния редкоземельных металлов на структуру и свойства среднехромистого наплавленного металла. Показано, что роль добавок редкоземельных металлов проявляется в повышении технологической прочности, ударной вязкости и сопротивлении термоусталостному разрушению металла, применяемого для наплавки валков горячей прокатки.

Ключевые слова: дуговая наплавка, керамический флюс, редкоземельные металлы, наплавленный металл, технологическая прочность, ударная вязкость, удельная работа разрушения

Ресурс наплавленных изделий, которые в процессе работы испытывают динамические и термоциклические нагрузки, существенно зависит от способности сопротивляться зарождению и развитию технологических и эксплуатационных трещин. Это в полной мере относится к наплавленному металлу типа Х5МФ и Х12МФ, применяемому для восстановления прокатных валков и роликов машин непрерывного литья заготовок. Структура такого металла, механические свойства, а также функциональные характеристики во многом зависят от содержания в нем углерода, с увеличением которого в наплавленном металле типа стали Х5МФ повышается твердость и сопротивление износу трением металла по металлу (рис. 1). Вместе с тем возрастает вероятность образования горячих трещин, поскольку в процессе кристаллизации шва снижается критическая скорость деформации $A_{кр}$. Если при содержании углерода до 0,25 мас. % в структуре металла образуется высокоотпущенный мартенсит, а ударная вязкость составляет не менее 0,30 МДж/м², то структура наплавленного металла типа Х5МФ, в котором содержание углерода больше 0,25 мас. %, характеризуется наличием игольчатого мартенсита, пониженной зернограницной прочностью и повышенной хрупкостью. В структуре наплавленного металла Х5МФ с 0,33...0,35 мас. % С наряду с речным (пакетным) мартенситом присутствует двойниковый (пластинчатый) мартенсит [1]. При динамической нагрузке разрушение наплавленного металла происходит по микромеханизму интеркристаллитного скола, с чем связана его низ-

кая (менее 0,15 МДж/м²) ударная вязкость. Наряду с этим снижается сопротивление развитию усталостной трещины, что ориентировочно оценивается значением удельной работы разрушения A_p (рис. 2, а).

Повысить технологическую прочность и трещиностойкость позволяет введение в наплавленный металл редкоземельных металлов (РЗМ). Эффект достигается за счет связывания серы в тугоплавкие мелкодисперсные соединения и устранения слоистости при ее распределении, снижения микрхимической неоднородности, измельчения аустенитного зерна [2, 3]. При этом уменьшается также загрязненность металла шва неметаллическими включениями. В металле, наплавленном с использованием керамического флюса типа ЖСН, содержащего фтористый церий, количество включений увеличивается незначительно, однако интенсивно возрастает их дисперсность (таблица), а форма изменяется на глобулярную.

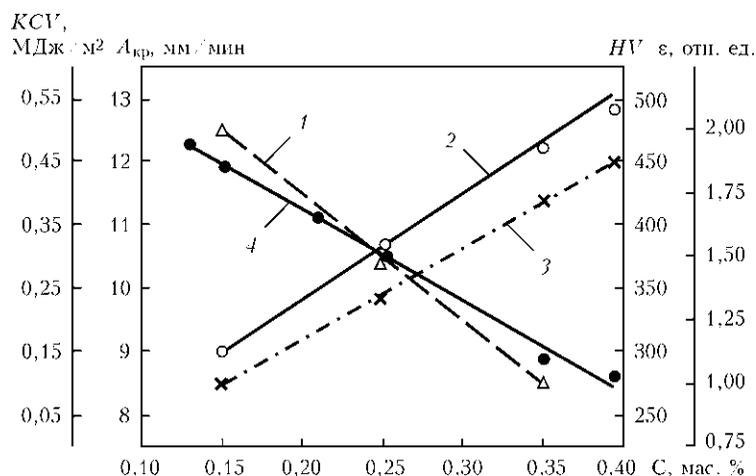


Рис. 1. Влияние содержания углерода на критическую скорость деформации $A_{кр}$ (1), твердость HV (2), износостойкость ϵ (3) и ударную вязкость KCV (4) наплавленного металла типа Х5МФ

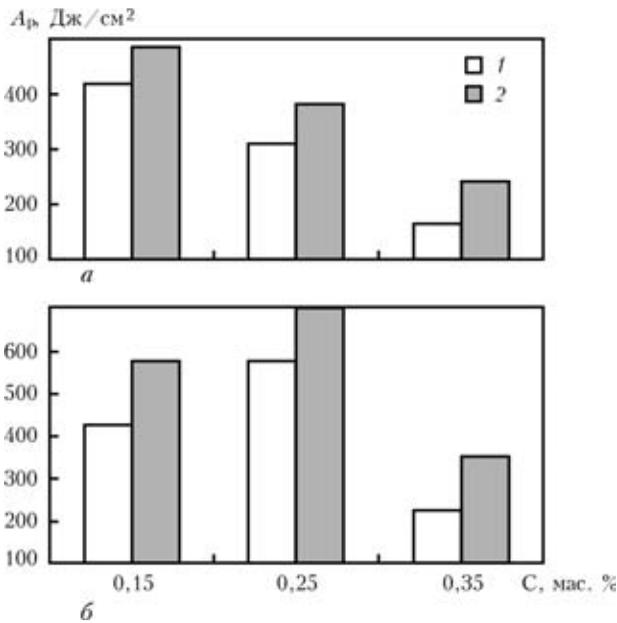


Рис. 2. Влияние содержания углерода и церия на удельную работу разрушения A_p наплавленного металла типа X5MF (а) и X12MF (б) без церия (1) и с церием (2)

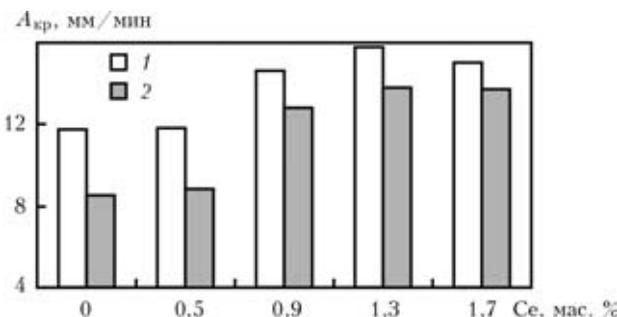


Рис. 3. Зависимость критической скорости деформации от содержания церия в керамическом флюсе типа ЖСН при наплавке проволоками Св-08А (1) и Пп-Нп-30ХГСА (2)

С увеличением содержания церия во флюсе (и в наплавленном металле) благодаря рафинированию и модифицированию возрастает критическая скорость деформации $A_{кр}$ при наплавке как проволокой Св-08А, так и Пп-Нп-30ХГСА (рис. 3). Как видно из рисунка, $A_{кр}$ возрастает только до достижения оптимальной доли церия во флюсе, а соответственно и в наплавленном ме-

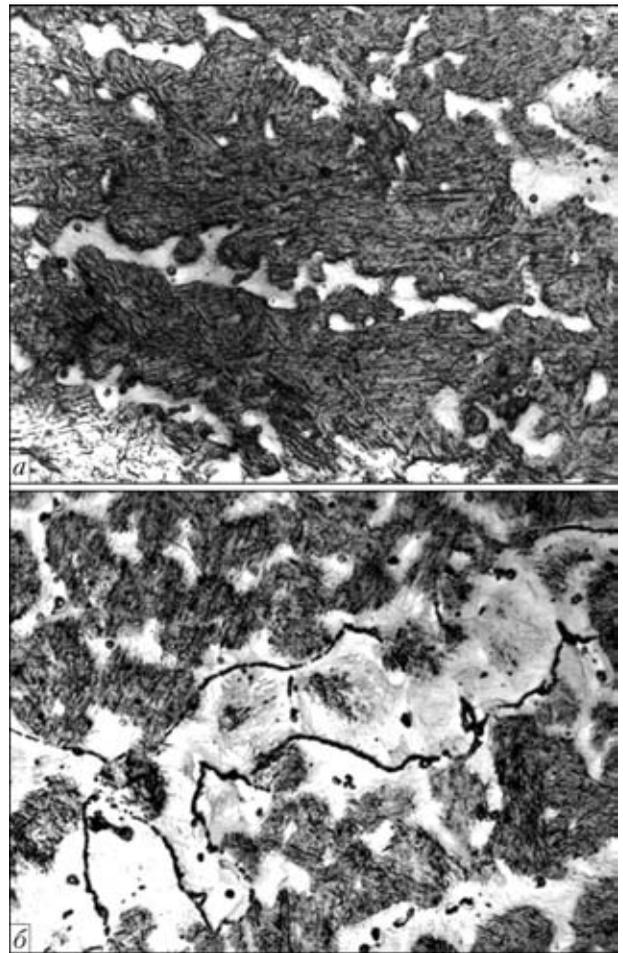


Рис. 4. Микроструктуры ($\times 500$) наплавленного металла 35X8ГСМФ (а) и 34X8ГСМФ с РЗМ (б)

талле. При оптимальном содержании церия (0,008...0,009 мас. %) ударная вязкость металла 20Х6ГМФС повышается с 0,40 до 0,54 МДж/м². При дальнейшем (выше оптимального) увеличении его содержания возрастает степень загрязненности металла неметаллическими включениями (см. таблицу). При этом значение критической скорости деформации $A_{кр}$ снижается.

В отличие от наплавленного металла типа стали X5MF содержание углерода влияет на удельную работу разрушения наплавленного металла X12MF, эта зависимость становится максимальной при содержании углерода 0,25 мас. % (рис. 2, б). В структуре такого металла имеются мартенсит и ферритно-карбидная смесь, что повышает сопротивление усталостному разрушению благодаря торможению трещины у поверхности раздела мартенсита с более пластичным ферритом. При дальнейшем увеличении содержания углерода резко снижаются значения A_p из-за низкой трещиностойкости высокоуглеродистого мартенсита. Введение церия в состав наплавленного металла типа стали

Количество неметаллических включений в наплавленном металле 20Х6ГМФС с церием на площадь 1 мм²

Содержание церия в металле, мас. %	Объемная доля включений, %	Размер включений, мкм					
		1,0...1,5	1,5...2,0	2,0...2,5	2,5...3,0	3,0...5,0	<5,0
0	0,217	682	113	110	3	7	49
0,005	0,288	816	138	49	5	7	2
0,008	0,279	887	209	77	18	12	3
0,011	0,274	830	125	46	9	7	0
0,015	0,339	1116	302	105	24	16	2

X12МФ повышает его сопротивление разрушению во всем диапазоне значений углерода.

Для увеличения срока службы наплавленного изделия, как правило, стремятся улучшить свойства поверхностного (износостойкого) слоя.

Однако работоспособность изделия во многом зависит от состава подслоя, его пластичности [4], надежности сплавления с основным металлом, а также образования в нем горячих и холодных трещин. Горячие трещины, возникающие в процессе наплавки подслоя, во время эксплуатации валков могут провоцировать образование разрушений типа скола.

Для нанесения подслоя электродных материалов с повышенной стойкостью против образования горячих трещин используют проволоки, содержащие РЗМ, однако их выбор ограничен (Св-15ГСТЮЦА, Св-20ГСТЮА).

Для оценки возможности использования в качестве подслоя наплавленного под флюсом порошковой проволокой, исследовали композиционный низколегированный металл следующего состава, мас. %: 0,18...0,26 С; до 1,5 Cr; 0,75...1,05 Mn; 0,55...0,75 Si; $\leq 0,025$ S; $\leq 0,025$ P; 0,020...0,058 РЗМ. Высокая технологическая прочность и трещиностойкость металла с 0,18...0,20 % С и 0,040...0,045 мас. % РЗМ позволяют рекомендовать порошковую проволоку Пп-Нп-26Х1Г1С для наплавки подслоя при восстановлении прокатных валков.

Вместе с тем применение порошковой проволоки Пп-26Х1Г1С с 0,25...0,26 мас. % С и 0,047...0,052 % РЗМ для наплавки под керамическим флюсом ЖСН-5 позволяет получить износостойкий слой, структура которого более благоприятна по сравнению с получаемой при использовании проволоки Пп-Нп-30ХГСА.

В обоих случаях структура металла мартенситно-ферритная с четко выраженным дендритным строением (рис. 4). В то же время благодаря введению РЗМ кристаллы мартенсита отпуска становятся более дисперсными (рис. 4, б), кроме того, возрастает доля мартенситной составляющей, чем определяется высокая твердость HV 450 и достаточная пластичность наплавленного металла.

Такой металл отличается большей технологической прочностью и сопротивлением термоусталостному разрушению: наплавленный металл типа 35Х8ГСМФ имеет относительный показатель прочности 1,0 при среднем количестве теплосмен до появления трещин 230...380; а наплавленный металл типа 34Х8ГСМФ с РЗМ — соответственно 1,3...1,4 при среднем числе теплосмен 370...490.

Таким образом, при введении РЗМ в состав наплавленного металла типа Х5МФ и Х12МФ, применяемых для восстановления прокатных валков и роликов машин непрерывного литья заготовок, повышается его технологическая прочность, ударная вязкость, сопротивление термоусталостному разрушению и удельная работа разрушения.

1. Самотугин С. С., Лецинский Л. К. Плазменное упрочнение инструментальных материалов. — Донецк: Новый мир, 2003. — 338 с.
2. Ефименко Н. Г. О механизме влияния РЗМ на процесс кристаллизации и формирование первичной структуры при сварке стали // Свароч. пр-во. — 1990. — № 7. — С. 12–14.
3. Ефименко Н. Г. Модифицирование, рафинирование и легирование иттрием применительно к сварке сталей // Автомат. сварка. — 2002. — № 6. — С. 9–14.
4. Расчетный метод оценки термической стойкости наплавленного металла / И. К. Сенченко, И. А. Рябцев, О. П. Червинко, И. А. Кондратьев // Свароч. пр-во. — 2010. — № 7. — С. 3–8.

Results of studying the influence of rare-earth metals on the structure and properties of medium-chromium deposited metal are presented. It is shown that the role of REM additives is manifested in improvement of technological strength, impact toughness and thermal fatigue fracture resistance of metal applied for hardfacing hot rolling rolls.

Поступила в редакцию 20.04.2011