



ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

А. А. БАБИНЕЦ, И. А. РЯБЦЕВ, И. А. КОНДРАТЬЕВ, И. И. РЯБЦЕВ, Г. Н. ГОРДАНЬ
ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев–150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Усовершенствована методика экспериментальной оценки термической стойкости наплавленных образцов. Новая методика позволяет оценивать характер распространения трещин термической усталости по толщине наплавленного слоя, а также влияние на термическую стойкость образцов наплавки промежуточных слоев различного состава. По разработанной методике проведены исследования влияния наплавки пластичного подслоя проволокой Св-08А на термическую стойкость образцов, наплавленных порошковыми проволоками ПП-Нп-35В9ХЗГСФ и ПП-Нп-25Х5ФМС, которые наиболее широко используются для восстановления и упрочнения стальных валков горячей прокатки. Наплавка пластичного подслоя позволила увеличить общую термическую стойкость наплавленных образцов в 1,2...1,5 раза. Кроме того, установлено, что пластичный подслоя препятствует распространению трещин термической усталости в основной металл, предотвращая, в определенной степени, разрушение наплавленной детали. Библиогр. 6, табл. 1, рис. 5.

Ключевые слова: дуговая наплавка, наплавка прокатных валков, многослойная наплавка, пластичный подслоя, термическая стойкость, методика испытаний

Термическая стойкость или стойкость против образования трещин разгара — один из важнейших показателей, определяющих срок службы прокатных валков. Трещины термической усталости появляются на поверхности валков после относительно небольшого количества теплосмен в результате действия циклических термических напряжений, возникающих вследствие несвободного изменения размеров отдельных участков детали при циклических изменениях температуры [1–3].

В настоящее время стальные прокатные валки на большинстве металлургических заводов многократно восстанавливаются методами наплавки, для чего используются материалы, обеспечивающие получение наплавленного металла типа теплостойких и полутеплостойких инструментальных сталей [1]. При этом перед наплавкой рабочего слоя, как правило, наплавляется пластичный подслоя проволоками типа Св-08А.

Предварительная оценка термической стойкости наплавочных материалов проводится по различным лабораторным методикам, в основе которых лежит многократное повторение циклов нагрева и охлаждения образцов определенных размеров, что приводит к растрескиванию их поверхности. Термическую стойкость по существу методикам, как правило, оценивают по количеству циклов нагрев-охлаждение до появления сетки трещин разгара [4, 5].

Проведенные ранее исследования термической стойкости наплавленного металла типа

35В9ХЗГСФ и 25Х5ФМС [1], наиболее часто применяемого для восстановления стальных валков горячей прокатки, показали, что она составляет 70...200 циклов нагрев-охлаждение до появления развитой сетки термических трещин. Глубина распространения этих трещин в наплавленный слой обычно составляет 0,5...2,5 мм. Дальнейшее увеличение количества циклов нагрев-охлаждение приводит лишь к более полному раскрытию трещин, а глубина трещин практически не увеличивается. Таким образом, при испытаниях по этой методике невозможно оценить развитие трещин термической усталости в глубину наплавленного слоя и влияние подслоя на характер развития трещин термической усталости. При исследовании термической стойкости наплавленного металла необходимо также учитывать структурные изменения, которые могут в нем происходить в результате циклических высокотемпературных воздействий. Необратимые изменения структуры и свойств наплавленного металла в процессе эксплуатации во многом определяют работоспособность и надежность наплавленных прокатных валков.

Цель данной работы заключалась в усовершенствовании методики исследования термической стойкости и изучении характера развития трещин термической усталости в многослойном наплавленном металле. Необходимо было также исследовать структурные превращения в наплавленном металле выбранных типов в результате испытаний его термической стойкости.



Химический состав и твердость наплавленного металла

Тип наплавленного металла	Содержание легирующих элементов, мас. %							Твердость <i>HRC</i>
	C	Si	Mn	Cr	W	V	Mo	
ПП-Нп-35В9Х3ГСФ (без подслоя)	0,34	0,74	0,60	3,00	9,30	0,43	-	51...53
ПП-Нп-35В9Х3ГСФ + подслоя Св-08А	0,32	0,70	0,56	2,84	9,06	0,40	-	49...51
ПП-Нп-25Х5ФМС (без подслоя)	0,26	0,79	0,64	5,50	-	0,40	1,01	49...51
ПП-Нп-25Х5ФМС + подслоя Св-08А	0,26	0,76	0,64	5,40	-	0,40	0,99	48...50

Для изучения характера развития трещин термической усталости в глубину наплавленного слоя была разработана следующая методика. По результатам предварительных экспериментов для испытаний на термическую стойкость было выбрано фиксированное количество циклов нагрев–охлаждение, равное 200. Это гарантировало появление на поверхности испытуемых образцов развитой сетки трещин разгара, после чего наплавленная поверхность образца шлифовалась до их полного удаления. При этом фиксировалась толщина сошлифованного слоя наплавленного металла и затем образец подвергался повторному термоциклированию с тем же количеством циклов. Операции термоциклирования и шлифовки повторяются до достижения минимально возможной толщины износостойкого слоя, равной 1,5...2,0 мм. Далее образец разрезали по пятну

нагрева и на макрошлифе исследовали глубину и характер распространения трещин термической усталости.

Эту методику использовали при исследовании развития трещин термической усталости в металле, наплавленном порошковыми проволоками ПП-Нп-35В9Х3ГСФ и ПП-Нп-25Х5ФМС без и с подслоем, наплавленном сплошной проволокой Св-08А. В качестве основного металла использовали сталь 40Х. Заготовки для последующего изготовления образцов для испытания термической стойкости наплавливали по двум схемам:

- наплавка порошковой проволокой ПП-Нп-35В9Х3ГСФ или ПП-Нп-25Х5ФМС в четыре слоя без подслоя;

- наплавка подслоя проволокой Св-08А в два слоя и последующая двухслойная наплавка порошковой проволокой ПП-Нп-35В9Х3ГСФ или ПП-Нп-25Х5ФМС.

После наплавки заготовки замедленно охлаждались под слоем флюса. Общая толщина наплавленного слоя во всех случаях была примерно одинаковой и составляла примерно 10 мм. Химический состав металла, наплавленного порошковыми проволоками ПП-Нп-35В9Х3ГСФ и ПП-Нп-25Х5ФМС, приведен в таблице. Из заготовок вырезали образцы для исследования термической стойкости наплавленного металла размерами 40×40×40 мм. Наплавленная поверхность образцов шлифовалась.

Исследование термической стойкости образцов по усовершенствованной методике проводили на блочно-модульной установке для испытаний различных свойств наплавленного металла [5]. Наплавленная поверхность образцов периодически нагревалась газовым резаком до 800 °С за 11 с (диаметр пятна нагрева около 15 мм), а затем охлаждалась проточной водой до 70...80 °С за 8 с.

Для образца, наплавленного проволокой ПП-Нп-35В9Х3ГСФ без подслоя, была характерна сильно развитая сетка разгара (рис. 1, а). После проведения 200 циклов нагрев–охлаждение проводили перешлифовку до полного удаления сетки трещин. Всего было проведено 800 циклов и три перешлифовки образца, при этом сьем металла за каждую из них составлял 1,3...1,8 мм. При достижении толщины наплавленного слоя около 2 мм испытания были прекращены, образец разрезан и изготовлен макрошлиф. На рис. 2, а видно, как

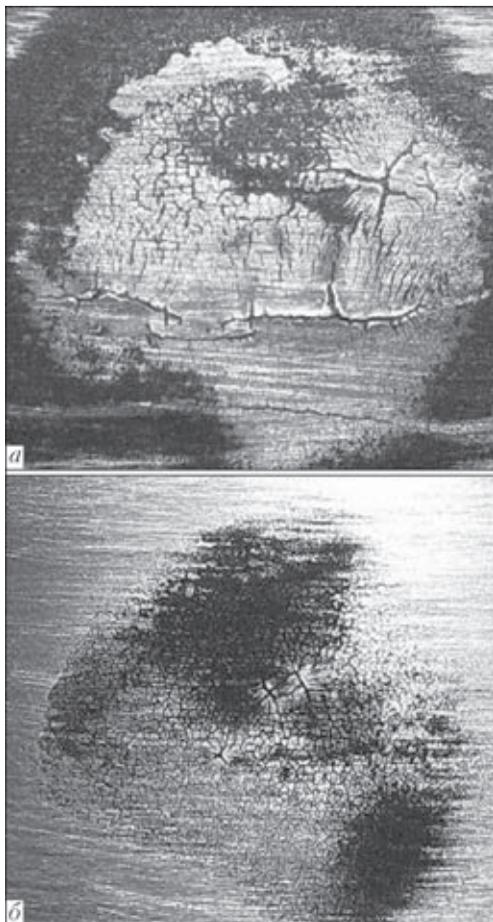


Рис. 1. Внешний вид поверхности образцов, наплавленных порошковой проволокой ПП-Нп-35В9Х3ГСФ без подслоя (а) и с подслоем, наплавленным проволокой Св-08А (б), после испытания на термическую стойкость

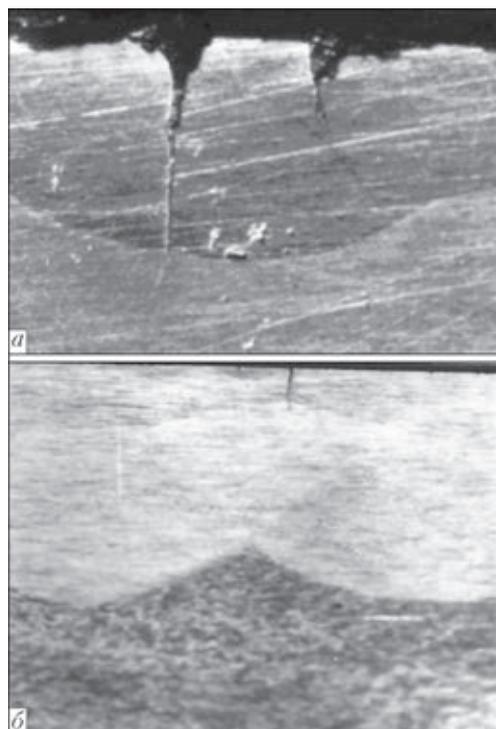


Рис. 2. Макрошлифы поперечного сечения образцов, наплавленных порошковой проволокой ПП-Нп-35В9Х3ГСФ без подслоя (а) и с подслоем, наплавленным проволокой Св-08А (б), после испытаний на термическую стойкость

наиболее крупная трещина переходит из наплавленного металла в основную.

В образце, наплавленном проволокой ПП-Нп-35В9Х3ГСФ по подслою Св-08А, наблюдалась значительно менее выраженная сетка трещин (рис. 1, б), меньшей была их глубина. Это сказалось на величине съема металла за каждую перешлифовку — 0,4...1,1 мм. По-видимому, наплавка пластичного подслоя привела к снижению остаточных наплавочных напряжений в рабочем слое и его термическая стойкость увеличилась [6]. Учитывая меньший однократный съем поврежденного металла, общее количество циклов нагрев–охлаждение было доведено до 1200, т. е. в 1,5 раза больше, чем у образца без подслоя. После достижения минимально возможной толщины износостойкого слоя образец был разрезан и изготовлен макрошлиф (рис. 2, б). Отчетливо видно, что трещина проходит через износостойкий слой и тормозится в низкоуглеродистом подслое.

Аналогичные результаты получены при испытании образцов, наплавленных порошковой проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС без и с подслоем, наплавленным проволокой Св-08А. Единственное отличие – более высокая термостойкость наплавленного металла 25Х5ФМС [1] — привела к тому, что съем металла после каждых 200 циклов нагрев–охлаждение был относительно невелик, в результате значительно увеличилось общее количество циклов испытаний. И в этом случае наплавка

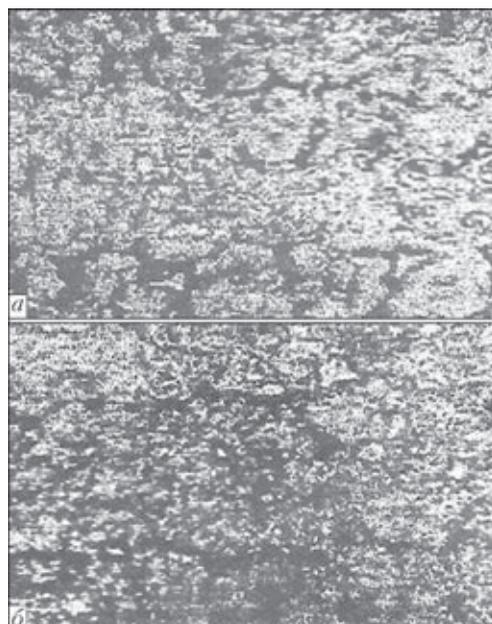


Рис. 3. Микроструктура (×400) наплавленного металла 35В9Х3ГСФ до (а) и после (б) испытания на термическую стойкость

подслоя привела к увеличению термической стойкости наплавленного рабочего слоя. При наплавке без подслоя общее количество циклов нагрев–охлаждение составило 2000, а съем металла после каждых 200 циклов составил 0,4...0,6 мм. При наплавке с подслоем Св-08А толщина сошлифованного слоя после каждых 200 циклов испытаний составляла около 0,2...0,3 мм. Учитывая небольшой съем материала после каждого цикла испытаний, на этом образце удалось провести 2400 циклов испытаний, т. е. в 1,2 раза больше, чем у образца без подслоя.

Таким образом, можно считать, что наплавка подслоя Св-08А позволяет увеличить общую термическую стойкость образцов, наплавленных порошковыми проволоками ПП-Нп-25Х5ФМС и ПП-Нп-35В9Х3ГСФ в 1,2...1,5 раза.

Характер распространения трещин в наплавленном металле 25Х5ФМС был аналогичен характеру распространения трещин в наплавленном металле 35В9Х3ГСФ. При наплавке без подслоя трещины термической усталости переходили в основную металл, а при наплавке с пластичным подслоем трещины тормозились в этом слое. Была исследована микроструктура наплавленного металла типа 35В9Х3ГСФ и 25Х5ФМС до и после испытаний на термическую стойкость. Микроструктуру металла после наплавки исследовали в последнем наплавленном слое, а после испытаний термостойкости – в зоне термоциклирования (расположения термических трещин) на расстоянии примерно 10...20 мкм от поверхности наплавленного слоя.

Микроструктура наплавленного металла 35В9Х3ГСФ до и после испытаний показана

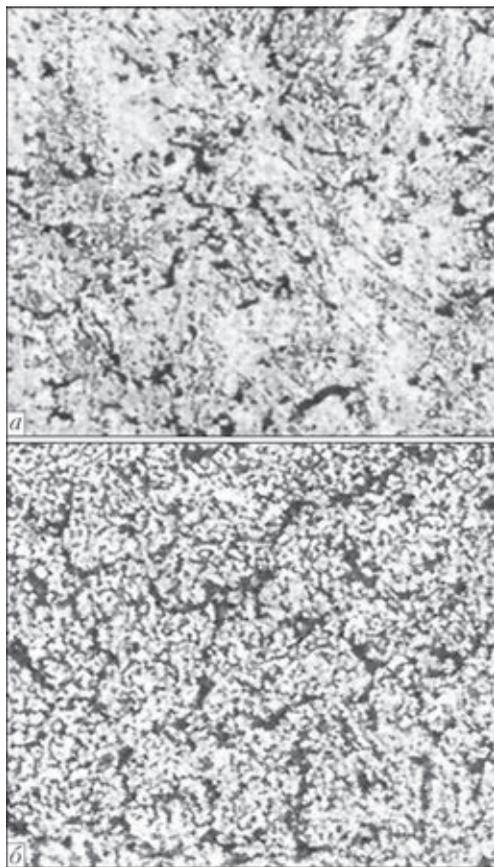


Рис. 4. Микроструктура ($\times 400$) наплавленного металла 25X5ФМС до (а) и после (б) испытания на термическую стойкость

на рис. 3. Металл 35В9Х3ГСФ непосредственно после наплавки имеет мартенситную структуру с микротвердостью HV 5140 МПа, а по границам полигонизации обнаружены выделения остаточного аустенита и незначительное количество эвтектики (рис. 3, а). После испытаний на термическую стойкость отмечен распад мартен-

ситной составляющей (HV 3090 МПа), при этом сохранялись небольшие участки остаточного аустенита (рис. 3, б).

Также была исследована микроструктура наплавленного металла 25X5ФМС до и после испытаний на термическую стойкость (рис. 4). Было установлено, что непосредственно после наплавки структура наплавленного слоя представляет собой мелкоигольчатую мартенситно-бейнитную смесь (HV 3860...4120 МПа), границы полигонизации сформированы нечетко. Там, где они сформировались, заметны выделения карбидной эвтектики (рис. 4, а).

После испытаний на термическую стойкость (рис. 4, б) в наплавленном металле типа 25X5ФМС произошли структурные изменения, свидетельствующие о коагуляции и сфероидизации карбидов. Произошел распад мартенсита, а также частичный распад эвтектики по границам полигонизации, что привело к снижению микротвердости матрицы наплавленного металла до HV 2210 МПа.

Исследования микроструктуры показали, что в результате многократного термоциклирования в поверхностном слое наплавленного металла обоих типов происходят структурные изменения, приводящие к его разупрочнению. Это подтвердили и результаты рентгеноструктурного анализа. Например, в металле типа 35В9Х3ГСФ после термоциклирования содержание α -фазы увеличилось с 84 до 87 % вследствие появления ферритной составляющей. При этом напряжения сжатия II рода возросли от 0,27 до 0,44 ГПа.

Проведено микрорентгеноспектральное исследование на анализаторе «Сameбах SX50» распределения основных легирующих элементов в структуре наплавленных образцов до и после испытаний на термическую стойкость на глубине до 20 мкм от поверхности наплавки параллельно ей в автоматическом режиме с интервалом 2...99 мкм вдоль фронта сетки трещин разгара. На рис. 5 приведены результаты исследований наплавленного металла типа 35В9Х3ГСФ. Распределение основных легирующих элементов в наплавленном металле было практически равномерным (рис. 5, а) и оставалось примерно таким же и после испытаний на термическую стойкость, за исключением одного момента — в зоне трещины термической усталости отмечено резкое снижение содержания легирующих элементов (рис. 5, б), вероятно, из-за их окисления.

Таким образом, в результате многократного нагрева и охлаждения в поверхностном слое наплавленного металла типа штамповой стали не зафиксирована диффузия основных легирующих элементов, но отмечены изменения структу-

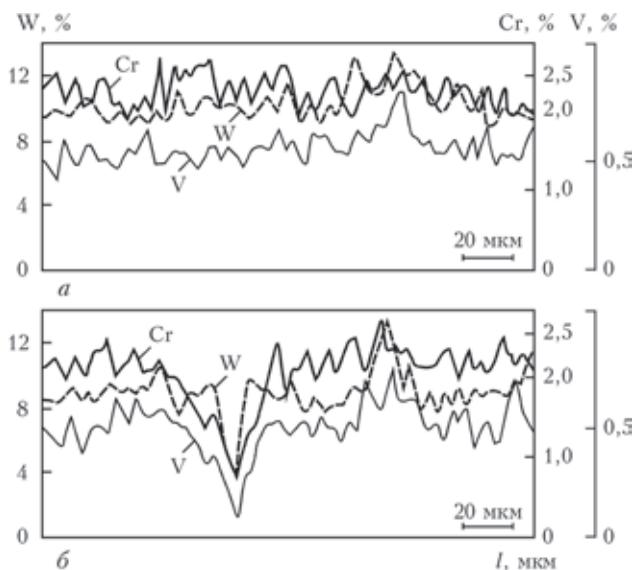


Рис. 5. Распределение основных легирующих элементов в наплавленном металле 35В9Х3ГСФ до (а) и после (б) испытания на термическую стойкость



ры, приводящие к разупрочнению наплавленного металла.

Проведенные исследования показали положительное влияние пластичного подслоя на термическую стойкость наплавленного металла типа 35В9Х3ГСФ и 25Х5ФМС. Вследствие более благоприятного распределения остаточных напряжений при наплавке не только увеличивается термическая стойкость наплавленного рабочего слоя, но и пластичный подслоя препятствует распространению трещин в основной металл, предотвращая, в определенной степени, разрушение наплавленной детали.

Выводы

1. Усовершенствована методика экспериментальной оценки термической стойкости наплавленных образцов. Новая методика позволяет оценивать характер распространения трещин термической усталости по толщине наплавленного слоя, а также влияние на термическую стойкость образцов наплавки промежуточных слоев различного состава.

2. По усовершенствованной методике проведены исследования влияния наплавки пластичного подслоя проволокой Св-08А на термическую стойкость образцов, наплавленных порошковы-

ми проволоками ПП-Нп-35В9Х3ГСФ и ПП-Нп-25Х5ФМС, которые используются для восстановления и упрочнения стальных валков горячей прокатки. Наплавка пластичного подслоя позволила увеличить общую термическую стойкость наплавленных образцов в 1,2...1,5 раза. Кроме того, установлено, что пластичный подслоя препятствует распространению трещин термической усталости в основной металл, предотвращая, в определенной степени, разрушение наплавленной детали.

1. *Рябцев И. А., Кондратьев И. А.* Механизированная наплавка деталей металлургического оборудования. – Киев: ЕкоТехнологія, 1999. – 62 с.
2. *Дульнев П. А., Котов П. И.* Термическая усталость металлов. – М.: Машиностроение, 1980. – 200 с.
3. *Баландин Ю. Ф.* Термическая усталость металлов в судовом энергомашиностроении. – Л.: Судостроение, 1967. – 272 с.
4. *Тылкин М. А.* Повышение долговечности деталей металлургического оборудования. – М.: Металлургия, 1971. – 608 с.
5. *Рябцев И. И., Черняк П. Ф., Осин В. В.* Блочно-модульная установка для испытаний наплавленного металла // Сварщик. – 2004. – № 1. – С. 18–20.
6. *Сенченков И. К., Червинко О. П., Рябцев И. А.* Численное моделирование напряженно-деформированного и микроструктурного состояния валка горячей прокатки в процессе многослойной наплавки и эксплуатации // Математичні проблеми технічної механіки: Зб. наук. праць. – Дніпродзержинськ, 2013. – Вип. 2(22). – С. 139–144.

Поступила в редакцию 05.02.2014

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «ПАТОН»

www.patonpublishinghouse.com

Сварочные материалы. — Киев: Международная ассоциация «Сварка», 2014. — 168 с.

Сборник включает 28 статей, опубликованных в журнале «Автоматическая сварка» за период 2011–2013 гг., по проблемам разработки, изготовления и применения сварочных материалов, включая покрытые электроды, порошковые проволоки и ленты, сварочные флюсы, а также материалы для наплавки.

Представлены обзоры состояния производства агломерированных флюсов, материалов для электродуговой сварки, газотермического напыления, наплавки лентами. Приведена справочная информация о производителях сварочных материалов в Украине.

Предназначен для научных сотрудников, инженеров и технологов, занимающихся сварочными технологиями и их применением.

