



ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧНОГО ПОДСЛОЯ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ МНОГОСЛОЙНОГО НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

И. А. РЯБЦЕВ, д-р техн. наук, А. А. БАБИНЕЦ, инж., И. И. РЯБЦЕВ, канд. техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследовано влияние наплавки пластичного подслоя на термическую стойкость наплавленного металла 25Х5ФМС. Установлено, что наплавка пластичного подслоя проволокой Св-08А примерно на 20 % повышает термическую стойкость образцов из стали 40Х, наплавленных порошковой проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС.

Ключевые слова: дуговая наплавка, наплавленный металл, многослойная наплавка, пластичный подслой, термическая стойкость

Термическая усталость является характерным видом повреждений инструментов для горячего деформирования металлов: прокатных валков, штампов горячей обработки давлением, ножей горячей резки и многих других, испытывающих воздействие циклических теплосмен [1, 2].

Трещины термической усталости возникают на поверхности таких инструментов после некоторого количества теплосмен. Процесс их образования зависит от свойств материала инструментов и ряда параметров, характеризующих условия эксплуатации. Еще до появления трещин в материале происходят необратимые структурные изменения, которые могут повлиять на его механические свойства, форму и размер деталей [3–10]. Характеристикой сопротивления материалов термической усталости обычно служит количество циклов нагрев–охлаждение до появления сети трещин разгара.

При контакте с заготовкой, температура которой достигает 1200 °С, поверхностные слои прокатного валка (штампа) нагреваются, а после прекращения контакта с ней резко охлаждаются. Соответственно в каждом цикле нагрев–охлаждение у этих слоев должны изменяться объем и напряженно-деформированное состояние (рис. 1).

В процессе нагрева поверхностные слои расширяются, но более холодные внутренние слои препятствуют этому, вследствие чего внешние слои упруго сжимаются. Если температурный градиент от поверхности внутрь детали достаточно велик, то значения напряжения сжатия могут достигать предела текучести. При быстром охлаждении этот же слой должен постепенно сжиматься, но из-за сопротивления теперь уже более нагретых внутренних слоев этот процесс происходит затрудненно или вообще не происходит, и поверхностный слой сначала упруго, а затем

пластично растягивается. При возврате к первоначальной температуре размер поверхностного слоя совпадает с его начальным размером, но при этом значения остаточных растягивающих напряжений в нем могут достигать предела текучести.

Глубина пластически деформированного слоя определяется условиями нагрева и охлаждения, а также физико-механическими свойствами материала этого слоя — коэффициентом термического расширения, модулем упругости, теплопроводностью. Структурные изменения материала в процессе теплосмен, в частности, упрочнение и разупрочнение на различных этапах циклического деформирования, могут вызывать изменение вида гистерезисной петли. Если при достижении максимальной температуры цикла дается выдержка до проведения очередного цикла охлаждения, то происходит релаксация термических напряжений, и, как следствие, гистерезисная петля также изменяется (рис. 1). Все это свидетельствует о том, что нет определенного значения напряжения, которое может характеризовать термическую усталость [4].

Повторяющиеся пластические деформации так же, как и при циклических условных нагрузках,

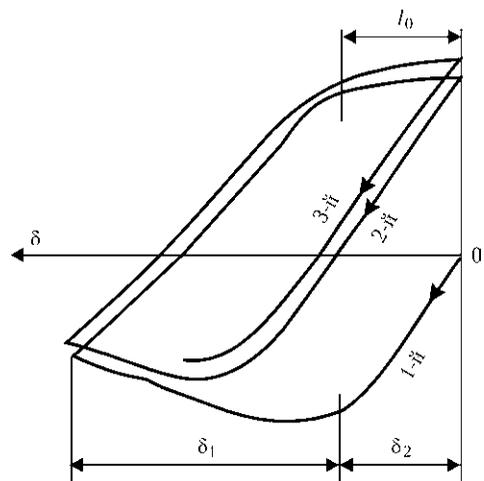


Рис. 1. Остаточная пластическая δ_1 и упругая δ_2 деформации, вызывающие термическую усталость [8]: 1–3-й — циклы нагрев–охлаждение; l_0 — удлинение

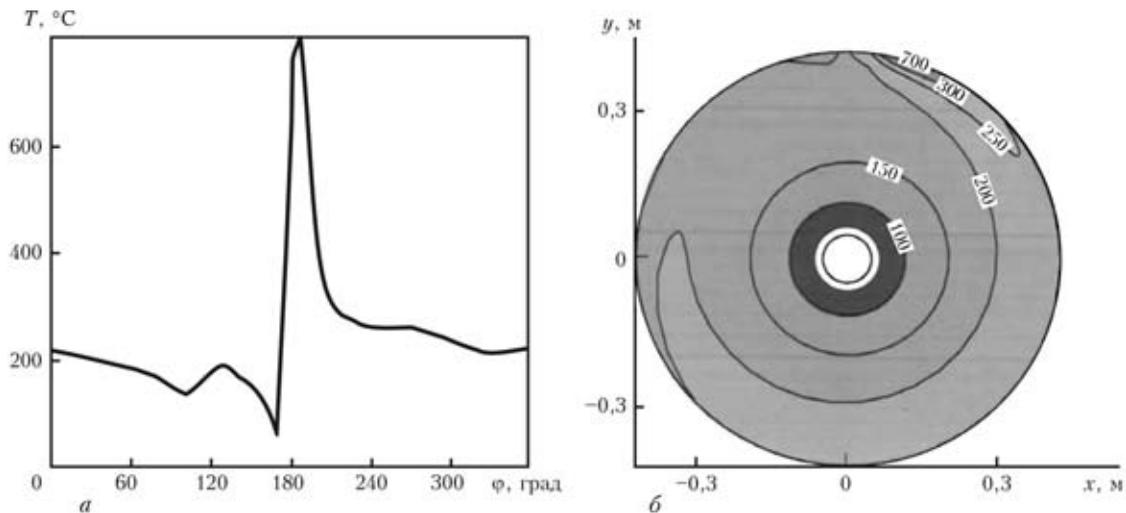


Рис. 2. Распределение температуры на поверхности вала (а) и расчетные изотермы температурного поля в сечении вала (б) в процессе прокатки

приводят к образованию трещин, и одновременно с их углублением и расширением на поверхности образуется сетка трещин разгара.

Целью настоящей работы было исследование влияния подслоя, геометрических размеров подслоя и износостойкого слоя на термическую стойкость наплавленных деталей.

Исследования проводили применительно к стальным валам горячей прокатки. Как указывалось выше, на термическую усталость инструментов для горячего деформирования металла оказывает влияние максимальная температура нагрева в зоне контакта этого инструмента с нагретой заготовкой и распределение температуры в его поверхностных слоях.

На первом этапе расчетно-экспериментальным путем определили характер распределения температуры по сечению вала в процессе прокатки [11]. Известно [1, 2], что во время контакта с деформируемой заготовкой поверхностные слои прокатного вала нагреваются до максимальной температуры 700...800 °С (рис. 2, а), затем в процессе вращения вала интенсивно охлаждаются, их температура резко снижается до 200 °С. Температура в центре вала составляет 20 °С (рис. 2, б).

Из этих данных следует, что в процессе эксплуатации прокатного вала термический цикл имеет пилообразный характер и выдержки при максимальной температуре нет. В связи с этим при расчете термической усталости можно не учитывать ползучесть, существенно снижающую сопротивление термической усталости [3]. При этом толщина слоя, который прогревается до 700 °С, составляет 4...6 мм, а температура нижележащих слоев, резко снижается до 300...400 °С (общая толщина слоев нагретых свыше 300 °С, составляет 6...8 мм) и далее до 200 °С.

Таким образом, у рабочего слоя прокатного вала, который подвергается воздействию термических циклических нагрузок, толщина будет составлять 6...8 мм. Для материалов слоев, нагретых ниже 200 °С, более важной характеристикой будет усталостная прочность при циклических эксплуатационных силовых нагрузках. Существенную роль в данном случае должен выполнять пластичный подслой, поскольку усталостная прочность основного металла прокатного вала (как правило, это средне- и высокоуглеродистые низколегированные стали) невысока.

В соответствии с этими расчетами были выбраны геометрические размеры подслоя и основного слоя у образцов для исследования термической стойкости металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС, которая широко используется при наплавке прокатных валков, штампов и других подобных деталей.

На заготовки из стали 40Х производили наплавку по следующим вариантам: наплавку порошковой проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС без подслоя (2 и 4 слоя, общая толщина наплавленного металла после шлифовки соответственно 4 и 8 мм); наплавку пластичного подслоя проволокой Св-08 (2 слоя) и износостойких слоев порошковой проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС (2 и 4 слоя, общая толщина износостойкого наплавленного металла пос-

Таблица 1. Характеристика наплавленных слоев опытных образцов

Номер образца	Тип легирования наплавки	Количество наплавленных слоев	Толщина износостойкого слоя после шлифовки, мм	Твердость наплавленного металла HRC
1.1	25Х5ФМС (без подслоя)	2	3...4	45...47
1.2		4	7...8	46...47
1.3	Подслоя Св-08+25Х5ФМС	2+2	3...4	43...45
1.4		2+4	7...8	44...46



Таблица 2. Результаты послойного химического анализа и твердость наплавленного металла типа 25X5ФМС

Номер слоя	Массовая доля легирующих элементов, %						HRC
	C	Si	Mn	Cr	V	Mo	
1	0,22	0,69	0,53	4,5	0,25	0,87	46...48
2	0,24	0,74	0,56	5,4	0,37	0,95	48...50
3	0,26	0,79	0,64	5,5	0,40	1,01	49...51
4	0,26	0,76	0,64	5,4	0,40	0,99	49...51
25X5ФМС (ТУУ 05416923.024-97)	0,22...0,33	0,70...1,20	0,4...1,0	4,7...5,9	0,3...0,6	0,9...1,5	45...53

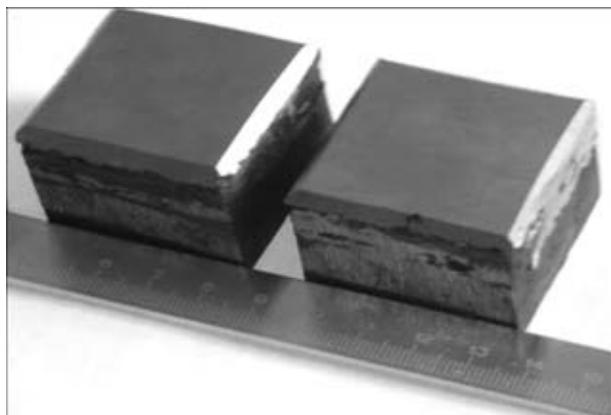


Рис. 3. Внешний вид наплавленных образцов

ле шлифовки составляла соответственно 4 и 8 мм) (табл. 1).

Наплавку выполняли с перекрытиями валиков примерно на 50 % проволокой диаметром 2,8 мм на следующем режиме: сварочный ток $I_{св} = 350...400$ А; напряжение на дуге $U_d = 28...30$ В; скорость наплавки $v_n = 16$ м/ч. После наплавки образцы медленно охлаждали под слоем флюса.

Подслойный химический анализ наплавленного металла приведен в табл. 2, там же дан стандартный состав металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-Нп-25X5ФМС. Как видно из таблицы, уже во втором слое обеспечивается получение наплавленного металла, соответствующего по химическому составу ТУУ 05416923.024-97.

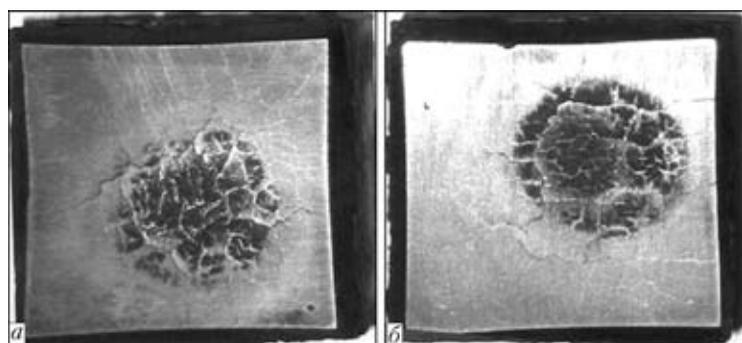


Рис. 4. Внешний вид образцов после испытаний на термостойкость, наплавленных порошковой проволокой ПП-Нп-25X5ФМС без подслоя (а) и с подслоем Св-08 (б)

Таблица 3. Термическая стойкость образцов наплавленного металла

Номер образца	Количество циклов нагрев-охлаждение		
	до появления первых трещин	до развития трещин	до появления сетки трещин
1.1	69	114	175
1.2	66	104	170
1.3	72	123	186
1.4	86	130	200

Затем из наплавленных заготовок вырезали образцы размером 40×40×30 мм для испытаний на термическую стойкость. Наплавленную поверхность образцов размером в плане 40×40 мм перед испытаниями подвергали шлифовке (рис. 3). Изготавливали и испытывали по три-четыре образца каждого варианта наплавки.

Термическую стойкость изучали на блочно-модульной установке, разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона для испытаний различных свойств наплавленного металла [12].

Условия испытаний были следующими: нагрев шлифованной наплавленной поверхности образца осуществляли газовым резаком до 800 °С (пятно нагрева 15 мм, нагреваемая поверхность образца размером в плане 40×40 мм), охлаждение нагретой поверхность струей воды до 60 °С. Циклы нагрев-охлаждение повторяли до появления видимой невооруженным глазом сетки трещин разгара. Термостойкость оценивали исходя из количества циклов нагрев-охлаждение до появления первых трещин и достижения определенной степени растрескивания — образования сетки трещин разгара.

Результаты испытаний (средние по 3-4 образцам каждого типа) приведены в табл. 3, а внешний вид образцов после испытаний — на рис. 4.

Полученные результаты показали, что наплавка подслоя позволяет получить термическую стойкость наплавленного металла 25X5ФМС, особенно на стадии появления сетки трещин разгара.



Выводы

1. Расчетно-экспериментальным путем установлено, что толщина рабочего слоя прокатного валька черновой клети, который в зоне контакта с деформируемой заготовкой периодически нагревается до 200...700 °С, составляет 6...8 мм. Для материалов слоев, нагретых ниже 200 °С, важной характеристикой является усталостная прочность при циклических эксплуатационных силовых нагрузках. Исходя из этого, для наплавки подслоя в вальках горячей прокатки рекомендуется использовать низкоуглеродистые низколегированные стали, отличающиеся высокой пластичностью и усталостной прочностью.

2. Экспериментально установлено, что наплавка пластичного подслоя проволокой Св-08А примерно на 20 % повышает термическую стойкость образцов из стали 40Х, наплавленных порошковой проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС.

1. Фрумин И. И. Автоматическая электродуговая наплавка. — Харьков: Metallurgizdat, 1961. — 421 с.
2. Тылкин М. А. Повышение долговечности деталей металлургического оборудования. — М.: Металлургия, 1971. — 608 с.
3. Дульнев Р. А., Котов П. И. Термическая усталость металлов. — М.: Машиностроение, 1980. — 200 с.

4. Баландин Ю. Ф. Термическая усталость металлов в судовом энергомашиностроении. — Л.: Судостроение, 1967. — 272 с.
5. Давиденков Н. Н., Лихачев В. А. Необратимое формоизменение металла при циклическом тепловом воздействии. — М.: Машгиз, 1962. — 223 с.
6. Тылкин М. А., Яловой Н. И., Полухин П. Т. Температура и напряжения в деталях металлургического оборудования. — М.: Высш. шк., 1970. — 427 с.
7. Термопрочность деталей машин / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, И. В. Демьянушко и др. — М.: Машиностроение, 1975. — 455 с.
8. Артингер И. Инструментальные стали и их термическая обработка / Пер. с венг. — М.: Металлургия, 1982. — 312 с.
9. Довнар С. А. Термомеханика упрочнения и разрушения штампов объемной штамповки. — М.: Машиностроение, 1975. — 255 с.
10. Троценко В. Т., Шемеган Ю. М., Синявский Л. П. Исследование закономерностей разрушения сплавов при термоусталости и при совместном действии циклических механических и термических напряжений // Материалы Всесоюз. симп. по малоцикловой усталости при повышенных температурах. — Челябинск, 1974. — Вып. 2. — С. 137–156.
11. Рябцев И. А. Восстановление и упрочнение методами наплавки деталей, эксплуатирующихся в условиях изнашивания и различных видов циклических нагрузок: Дис. ... д-ра техн. наук. — Киев, 2010. — 268 с.
12. Рябцев И. И., Черняк Я. П., Осин В. В. Блочная установка для испытаний наплавленного металла // Сварщик. — 2004. — № 1. — С. 18–20.

The effect of deposition of a ductile sublayer on heat resistance of deposited metal 25Kh5FMS was investigated. It was established that the ductile sublayer deposited with wire Sv-08A provides an approximately 20 % increase in heat resistance of 40X steel samples deposited with flux-cored wire PP-Np-25Kh5FMS.

Поступила в редакцию 26.04.2011

СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2011. — 216 с. Мягкий переплет, 200×290 мм.

Сборник включает 42 статьи, опубликованные в журнале «Автоматическая сварка» за период 2006–2010 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 рынка сварочных материалов в Украине, России и Китае.

Сборник предназначен для научных сотрудников, инженеров, технологов и аспирантов, занимающихся сварочными технологиями и их применением.

**Заказы на книгу просьба направлять
в редакцию журнала «Автоматическая сварка»:
тел./факс: (38044) 200-82-77, 200-54-84,
E-mail: journal@paton.kiev.ua.**

