



УДК 621.791.92

**Рябцев И.И.**

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины. Украина, г. Киев

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА  
ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛА  
ТИПА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ**

Анотація

*Експериментально досліджена термічна стійкість наплавленого металу типу інструментальних штампових сталей 25Х5ФМС и 35В9ХЗСФ. Встановлено, що підвищення товщини наплавленого зносостійкого шару знижує його термічну стійкість. Підвищити термічну стійкість зразків, які були наплавлені штамповими сталями, можливо за рахунок наплавлення пластичного підшару дротом Св-08.*

Abstract

*Heat resistance of deposited metal of type of instrumental stamp steels 25Kh5FMC and 35V9Kh3SF is experimentally investigation. It is shown that the increase of thickness of surfacing wear resistance layer reduces his heat resistance. To raise heat resistance of specimens, that surfacing of stamp steels, it is possible due to surfacing of plastic sublayer the wire Sv-08.*

Термическая усталость — характерный вид повреждения инструментов для горячего деформирования металлов: прокатных валков, штампов горячей обработки давлением, роликов машин непрерывного литья заготовок, ножей горячей резки и т. п., испытывающих воздействие циклически изменяющихся температур [1–3]. Трещины термической усталости появляются на поверхности инструментов для горячего деформирования металлов после некоторого количества теплосмен. Их образование зависит от свойств материала инструментов и ряда параметров, характеризующих условия эксплуатации.

Для предварительной оценки термической стойкости наплавленного металла было разработано несколько методик, в которых используются различные способы нагрева и образцы различной формы и размеров [4–6]. Лучшие результаты обеспечивают методики, в которых размеры, форма и масса образцов в максимальной степени моделируют напряженно-деформированное состояние наплавленной детали. При этом температура и скорости нагрева и охлаждения образца, должны быть близкими к этим показателям для наплавливаемых деталей; образец должен иметь достаточную массу, чтобы в процессе его нагрева был обеспечен градиент температур, имитирующий натурные условия.

Из упомянутых методик этим условиям в наибольшей степени удовлетворяет методика, разработанная в ИЭС им. Е.О. Патона [6]. По этой методике на заготовки из стали, соответствующей основному металлу исследуемой детали, наплавляется слой износостойкой стали заданной толщины. В случае необходимости на заготовки предварительно может наплаваться подслоя заданного состава. При этом технология и техника наплавки заготовки соответствует технологии и технике наплавки восстанавливаемой детали. Затем из наплавленной заготовки вырезаются образцы размерами 40×40×30 мм. Наплавленная поверхность, имеющая в плане размеры 40×40 мм, шлифуется (рис. 1).

В процессе испытаний шлифованную наплавленную поверхность нагревают газовым резаком (диа-

метр пятна нагрева — 15...20 мм) в течение 12 с, а затем охлаждают струей воды в течение 8 с. Контроль термического цикла нагрева и охлаждения исследуемого образца с помощью термопар показал, что за 12 с поверхность образца нагревается до температуры 750...800 °С, а после охлаждения струей воды образец имеет температуру 60...80 °С (рис. 2). В процессе испытаний после каждых 5–10 циклов теплосмен наплавленную поверхность образца подвергают визуальному контролю на предмет обнаружения трещин термической усталости. После появления на поверхности образца развитой сетки трещин термической усталости испытания прекращают и фиксируют окончательное количество циклов нагрев—охлаждение.

Оценивать термическую стойкость наплавленного металла по ней можно двумя методами:

- повторять циклы нагрева и охлаждения до появления трещин или достижения определенной степени растрескивания; в этом случае мерой термической стойкости служит количество циклов до достижения этих показателей;
- подвергать все испытываемые образцы одинаковому количеству циклов нагрев—охлаждение, а затем сравнивать степень развития протяженности и глубины трещин.

Подсчет протяженности и глубины трещин весьма трудоемок, причем возможны большие погрешности, поэтому для оценки термической стойкости обычно используют первый метод.

Целью данной работы было исследование термической стойкости образцов, наплавленных порошковыми проволоками ПП-Нп-25Х5ФМС и ПП-Нп-35В9Х3СФ, которые обеспечивают получение наплавленного металла типа инструментальных штамповых сталей и широко используется при наплавке прокатных валков, штампов и других подобных деталей, а также влияние на эту характеристику наплавки пластичного подслоя, геометрических размеров подслоя и износостойкого слоя.

Известно [1, 2], что в процессе контакта с деформируемой заготовкой, нагретой до ≈1150 °С, поверх-



Рис. 1. Внешний вид наплавленных образцов для испытаний термической стойкости

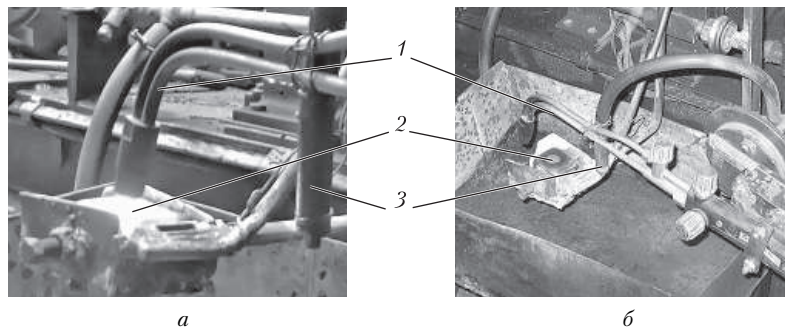


Рис. 2. Процесс испытаний термической стойкости наплавленных образцов: а — процесс нагрева образца; б — окончание процесса испытаний; 1 — газовый резак; 2 — образец; 3 — шланг подачи охлаждающей воды

ностные слои валков первых черновых клетей прокатного стана нагреваются до 700...800 °С. Затем в процессе вращения вала эти слои интенсивно охлаждаются водой и их температура резко снижается примерно до 200 °С. В этом случае толщина слоя, который прогревается до 700 °С, составляет 4...6 мм, а температура нижележащих слоев снижается до 300 °С так, что общая толщина слоев, нагревающихся выше этой температуры, составляет 6...8 мм. Для валков предчистовых и чистовых клетей, в которых деформируются заготовки, имеющие температуру ниже 1000 °С, температура и толщина таких слоев будет меньше.

В соответствии с этими данными были выбраны геометрические размеры подслоя и основного слоя в образцах для исследования термической стойкости металла, наплавленного порошковыми проволоками ПП-Нп-25Х5ФМС и ПП-Нп-35В9Х3ФС.

Для проведения исследований на заготовки из стали 40Х производилась наплавка по следующим вариантам:

– наплавка под флюсом АН-26П порошковыми проволоками ПП-Нп-25Х5ФМС и ПП-Нп-35В9Х3ФС  $\varnothing$  2,8 мм без подслоя (2 и 4 слоя, общая толщина наплавленного металла после шлифовки 4 и 8 мм соответственно);

– наплавка пластичного подслоя под флюсом АН-348А проволокой Св-08  $\varnothing$  2,6 мм (2 слоя, общая толщина подслоя 3–4 мм) и износостойких слоев под флюсом АН-26П порошковыми проволоками ПП-Нп-25Х5ФМС и ПП-Нп-35В9Х3ФС  $\varnothing$  2,8 мм (2 и 4 слоя, общая толщина износостойкого наплавленного металла после шлифовки 4 и 8 мм соответственно) (табл. 1).

Режимы наплавки заготовок порошковыми проволоками диаметром 2,8 мм:  $I_{св} = 350...400$  А,

$U_d = 30...32$  В,  $V_n = 16$  м/час. Режимы наплавки подслоя сплошной проволокой диаметром 2,6 мм:  $I_{св} = 330...380$  А,  $U_d = 28...30$  В,  $V_n = 16$  м/час. Наплавка заготовок производилась с перекрытием валиков примерно на 50 %. После наплавки образцы замедленно охлаждались под слоем флюса. Послойный химический анализ металла, наплавленного порошковыми проволоками, приведен в табл. 2. Там же приведен стандартный состав металла, наплавленного порошковыми проволоками ПП-Нп-25Х5ФМС и ПП-Нп-35В9Х3ФС. Как видно, уже во втором слое обеспечивается получение наплавленного металла, который по химическому составу соответствует ГОСТ 26101-84.

Наплавленные заготовки шлифовали со стороны износостойкого слоя, а затем из этих заготовок вырезали образцы размерами 40×40×30 мм для испытаний термической стойкости (рис. 1, а). Изготавливали и испытывали по три образца каждого варианта наплавки (табл. 1). Результаты испытаний (средние по 3-4 образцам каждого типа) приведены в табл. 3. Внешний вид образцов после испытаний приведен на рис. 3.

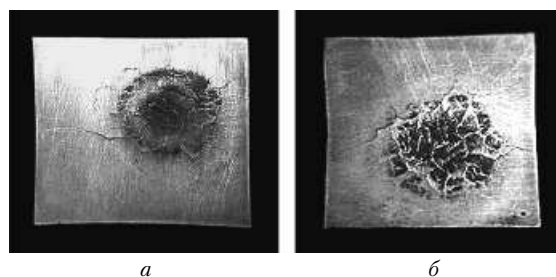


Рис. 3. Внешний вид наплавленных образцов после испытаний термической стойкости:

а – наплавка порошковой проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС с подслоем Св-08; б – то же, но без подслоя

Таблица 1

Характеристика наплавленных слоев опытных образцов

Вариант наплавки	Наплавочные материалы	Кол-во наплавленных слоев	Толщина, мм		Твердость износостойкого слоя, HRC
			подслоя	износостойкого слоя	
1.1	ПП-Нп-25Х5ФМС	2	–	3–4	45–47
1.2	ПП-Нп-25Х5ФМС	4	–	7–8	46–47
1.3	Подслой Св-08 + ПП-Нп-25Х5ФМС	2+2	3–4	3–4	43–45
1.4	Подслой Св-08 + ПП-Нп-25Х5ФМС	2+4	3–4	7–8	44–46
2.1	ПП-Нп-35В9Х3ФС	2	–	3–4	46–48
2.2	ПП-Нп-35В9Х3ФС	4	–	7–8	46–48
2.3	Подслой Св-08 + ПП-Нп-35В9Х3ФС	2+2	3–4	3–4	44–46
2.4	Подслой Св-08 + ПП-Нп-35В9Х3ФС	2+4	3–4	7–8	46–48

Анализ полученных результатов показывает, что наплавленный металл 25Х5ФМС имеет более высокие показатели термической стойкости, чем содержащий больше углерода наплавленный металл 35В9Х3ФС. С увеличением толщины износостойкого слоя термическая стойкость наплавленного металла обоих типов, хотя и в незначительной степени, но снижается.

Наплавка пластичного подслоя позволяет увеличить термостойкость наплавленного металла типа инструментальных штамповых сталей. В наибольшей степени наплавка подслоя влияет на термическую стойкость наплавленного металла 35В9Х3ФС. Эти

данные, в основном, подтверждают данные расчетной оценки термической стойкости наплавленного металла [7].

Сопоставляя полученные экспериментальные данные и данные расчетов из работы [7], можно сделать вывод, что на такое распределение показателей термической усталости исследованных типов наплавленных образцов основное влияние оказывает, по-видимому, более благоприятное распределение остаточных наплавочных напряжений и термических напряжений в процессе испытаний термической стойкости образцов.

Таблица 2

Результаты послойного химического анализа наплавленного металла типа 25Х5ФМС и 35В9Х3ФС

Марка порошковой проволоки	№ слоя	Массовая доля элементов, %						
		C	Si	Mn	Cr	V	Mo	W
ПП-Нп-25Х5ФМС	1 слой	0,22	0,69	0,53	4,51	0,25	0,87	–
	2 слой	0,24	0,74	0,56	5,42	0,37	0,95	–
	3 слой	0,26	0,79	0,64	5,51	0,40	1,01	–
	4 слой	0,25	0,84	0,76	5,37	0,39	0,98	–
	Состав по ГОСТ 26101-84	0,22–0,33	0,7–1,2	0,4–1,0	4,7–5,9	0,3–0,6	0,9–1,5	–
ПП-Нп-35В9Х3ФС	1 слой	0,23	0,59	0,53	2,01	0,25	–	8,42
	2 слой	0,27	0,60	0,65	2,63	0,37	–	9,06
	3 слой	0,29	0,60	0,74	2,74	0,42	–	9,65
	4 слой	0,31	0,73	0,72	2,79	0,47	–	9,45
	Состав по ГОСТ 26101-84	0,25–0,38	0,4–1,1	0,6–1,1	2,1–3,2	0,3–0,6	–	8,0-10,0

Таблица 3

Термическая стойкость образцов наплавленного металла

Вариант наплавки	Наплавочные материалы	Количество циклов нагрев–охлаждение		
		Появление единичных трещин	Развитие единичных трещин	Появление сетки трещин разгара
1.1	ПП-Нп-25Х5ФМС	70	90	175
1.2	ПП-Нп-25Х5ФМС	65	80	170
1.3	Подслой Св-08 + ПП-Нп-25Х5ФМС	75	90	185
1.4	Подслой Св-08 + ПП-Нп-25Х5ФМС	85	105	200
2.1	ПП-Нп-35В9Х3ФС	25	80	135
2.2	ПП-Нп-35В9Х3ФС	30	75	115
2.3	Подслой Св-08 + ПП-Нп-35В9Х3ФС	55	95	175
2.4	Подслой Св-08 + ПП-Нп-35В9Х3ФС	40	70	180



### Выводы

1. Экспериментальными исследованиями термической стойкости наплавленного металла установлено, что с увеличением толщины износостойкого наплавленного слоя термическая стойкость наплавленного металла исследованных составов уменьшается. Снижение термической стойкости можно, повидимому, объяснить увеличением остаточных наплавочных напряжений в износостойком слое с увеличением его толщины.

2. Наплавка пластичного подслоя позволяет увеличить термическую стойкость наплавленного металла типа штамповых инструментальных сталей. Такое влияние пластичного подслоя объясняется не только снижением остаточных наплавочных напряжений, но и более благоприятным распределением напряжений в наплавленных слоях в процессе испытаний термической стойкости образцов.

### Литература

1. Фрумин И.И. Автоматическая электродуговая наплавка. — Харьков: Металлургиздат, 1961. — 421 с.
2. Тылкин М.А. Повышение долговечности деталей металлургического оборудования. — М.: Металлургия, 1971. — 608 с.
3. Рябцев И.А., Кондратьев И.А. Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования. — Киев: Экотехнология, 1999. — 62 с.
4. Багрянский К.В. Разрушение наплавленного металла и легированных сталей при циклических тепловых ударах // Сварочное производство. — 1964. — № 8. — С. 17–19.
5. Тылкин М.А. Термостойкость и износостойкость наплавленного металла // Автоматическая сварка. — 1964. — № 7. — С. 21–23.
6. Рябцев И.И., Черняк Я.П., Осин В.В. Блочномодульная установка для испытаний наплавленного металла // Сварщик. — 2004. — № 1. — С. 18–20.
7. Расчетный метод оценки стойкости наплавленного металла при одновременном действии циклических механических и термических нагрузок / И.К. Сенченков, И.А. Рябцев, О.П. Червинко, И.И. Рябцев // Технологические системы. — 2012. — № 1.