

О. Б. Крючков, Е. И. Павлов, Д. Е. Хе, Э. В. Седов, О. П. Бондарева, Д. Э. Седов

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ОКИСЛЕНИЯ
СТОП ЛИСТОВ ПРИ НАГРЕВЕ ПОД ТЕРМООБРАБОТКУ
ЗА СЧЕТ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Волгоградский государственный технический университет

e-mail:olegk@vstu.ru

Нагрев металлических изделий под термообработку и обработку металлов давлением сопровождается потерей массы металла, называемой угаром. Для защиты поверхности металла от окисления используют нагрев заготовок: в продуктах неполного сгорания топлива при коэффициенте избытка воздуха менее единицы; в расплавленных солях; в защитных средах и путем нанесения защитных покрытий на поверхность нагреваемого металла, например, с использованием пульверизатора, который хорошо работает при использовании крупных изделий. При нагреве стоп листов нанесение покрытий на каждый лист представляет собой трудную задачу, поэтому в настоящей работе был опробован метод защиты стоп из листов от окисления при их нагреве под термообработку за счет нанесения жидкого стекла кистью на различные поверхности стоп: торцевые, верхнюю и нижнюю.

Ключевые слова: защитное покрытие из жидкого стекла, угар, обезуглероживание, нагрев под термообработку и обработку металлов давлением.

O. B. Kryuchkov, E. I. Pavlov, D. E. He, E. V. Sedov, O. P. Bondareva, D. E. Sedov

**INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF REDUCING
THE OXIDATION OF STOP SHEETS WHEN HEATED FOR HEAT
TREATMENT BY APPLYING PROTECTIVE COATINGS**

Volgograd State Technical University

Heating of metal products for heat treatment and metal treatment by pressure is accompanied by a loss of metal mass, called carbon monoxide. To protect the metal surface from oxidation, heating of workpieces is used: in products of incomplete combustion of fuel with an excess air coefficient of less than one; in molten salts; in protective media and by applying protective coatings to the surface of the heated metal, for example, using a spray gun that works well when using large products. When heating the stop sheets, coating each sheet is a difficult task, therefore, in this work, a method was tested to protect the stop sheets from oxidation when they were heated for heat treatment by applying liquid glass with a brush to various stop surfaces: end, upper and lower.

Keywords: protective coating of liquid glass, carbon monoxide, decarburization, heating for heat treatment and metal pressure treatment.

Нагрев заготовок и деталей под термообработку и обработку металлов давлением сопровождается химическим взаимодействием поверхности нагреваемого металла с окислительной печной атмосферой, в результате которого

происходит его окисление, т. е. потеря массы металла, называемая угаром [1].

Окалина в поверхностных слоях нагреваемых заготовок состоит из гематита, магнетита и вюстита, которые образуются при взаимодей-

ствии металла с кислородом, углекислым газом, сернистым газом и водяным паром, в разных количествах присутствующих в атмосфере печи. Окисление поверхности заготовок начинается уже при комнатной температуре, но более интенсивно проявляется, начиная с 700 °С и особенно критично происходит при температурах более 900 °С. На величину угара оказывают влияние: температура печи, состав атмосферы рабочего пространства печного агрегата, длительность нагрева, марка стали, форма и размеры нагреваемых заготовок, а также – способы их укладки в печи [2].

Отрицательное влияние угара проявляется в потерях массы нагреваемых заготовок, что способствует необходимости повышения припусков на механическую обработку; окалина, из-за высокой твердости внешнего слоя гематита, составляющего около 1030 ед. по шкале Виккерса, а также располагающегося под ним тоже твердого слоя магнетита, в разы увеличивает износ токарного инструмента и оборудования для обработки металлов давлением: штампов, бойков, прокатных валков и др. Окалина является агрессивной и при взаимодействии с подом и футеровкой способствует их разрушению.

Одновременно с железом окисляется углерод, что приводит к обезуглероживанию поверхностных слоев нагреваемых заготовок за счет соединения углерода с кислородом и водородом, небольшое количество которых всегда присутствует в печной атмосфере, и в конечном итоге – к снижению прочности поверхностных слоев металла.

Снижению величины угара и обезуглероживания на поверхности нагреваемого металла может способствовать повышение качества сжигания топлива, например, за счет правильного подбора соотношения газ-воздух, позволяющего снизить содержание кислорода в продуктах сгорания; разработки оптимального режима нагрева, способствующего сокращению времени нагрева; использования автоматизации нагрева [3].

К более радикальным способам защиты поверхности нагреваемого металла от окисления и обезуглероживания можно отнести нагрев заготовок в продуктах неполного сгорания топлива при коэффициенте избытка воздуха менее единицы. В составе продуктов сгорания при таком сжигании появляются защитные газы – оксид углерода и водород. Также хорошо защи-

щают поверхность металла от окисления и обезуглероживания нагрев деталей небольшого размера (например, режущего инструмента) в расплавленных солях, содержащих хлористые барий, натрия и другие, позволяющие сократить время нагрева заготовок в сравнении с традиционным нагревом в два-три раза за счет большей величины коэффициента теплоотдачи. Эффективна защита металла от окисления и обезуглероживания при нагреве и в специальных средах, например, в среде, заполненной эндогазом состава: 20 % CO, 40 % N₂, 40 % H₂, который вводится под муфель, например, в колпаковых печах.

Для защиты металла от окисления и обезуглероживания используется метод, связанный с нанесением защитных покрытий на поверхность нагреваемого металла. При этом наносимое покрытие должно быть доступным и технологичным в приготовлении; выдерживать удары, не разрушаясь; при нагреве заготовок в печи долго и равномерно задерживаться на ее поверхности и сохранять стабильность свойств; быть нетоксичным для окружающей среды и не оказывать вредного воздействия на поверхность металла [4–6].

Известен способ нанесения защитных покрытий с использованием пульверизатора на крупные изделия перед его нагревом с последующим его удалением. Вместе с тем нанесение и удаление защитного покрытия с металлических листов связано с технологическими трудностями и трудоемко. Иногда для термообработки листов их укладывают в печи в виде стоп. В этой связи возникла идея нанесения защитного покрытия не на каждый лист, а на всю стопу.



Рис. 1. Стопы листов из стали 3 с защитным покрытием жидкого стекла

Целью настоящей работы было исследование возможности снижения угара стоп из стальных листов при их нагреве под термообработку за счет нанесения защитного покрытия на различные поверхности металла.

В качестве материала для исследования использовались листы из стали 3 с размерами $50 \times 40 \times 2,7$ мм, уложенные в стопы по пять штук и представленные на рис. 1.

Методика проведения эксперимента

Каждый лист до проведения эксперимента взвешивался на весах с точностью до третьего знака после запятой, после чего формировались стопы по пять листов, которые увязывались проволокой; затем сверху в стопе просверливалось отверстие для хромель-алюмелевой термопары для замера температуры нагреваемого металла. В качестве защитного покрытия использовалось жидкое стекло, наносимое на стопы с помощью кисти. Одна стопа служила эталоном, на которую не наносилось покрытие. На второй стопе защитное покрытие наносилось только на четыре боковых торца. На третьей стопе покрытие наносилось на четыре боковых торца и верхнюю поверхность стопы. На последнюю четвертую стопу покрытие наносилось на все открытые и закрытые поверхности: четыре боковых торца, верхнюю и нижнюю поверхности стопы.



Рис. 2. Расположение четырех стоп листов с установленными хромель-алюмелевыми термопарами в камерной электрической муфельной печи

Нагрев четырех стоп (20 листов) проводился в камерной электрической муфельной печи вместе с печью с начальной средней температурой металла $24,5^\circ\text{C}$ до конечной температуры металла, равной 1019°C . Хромель-алюмелевые термопары устанавливались в отверстие, высверленное сверху стопы до среднего листа. Установка стоп в печи представлена на рис. 2.

После полного охлаждения стоп и механического удаления защитных покрытий и окалины с каждого листа они повторно взвешивались. Угар образцов рассчитывался по формуле

$$U = \frac{m_{oi} - m_i}{m_{oi}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где m_{oi} – масса образца до нанесения защитного покрытия и нагрева, г; m_i – масса образца после удаления защитного покрытия и окисленного слоя после нагрева, г.

Результаты исследования влияния защитных покрытий на угар листов, сложенных в стопы, представлены в табл. 1, из которой следует, что нанесение защитного покрытия из жидкого стекла наиболее эффективно со всех сторон стопы и способствует снижению угара по сравнению со стопой без покрытия на 47,36 %. Нанесение защитного покрытия из жидкого стекла на четыре торцевые поверхности и одну верхнюю менее эффективно по сравнению с предыдущим вариантом, но все равно довольно высокое: способствует снижению угара на 43,34 %. Наконец, менее эффективным оказался вариант нанесения защитного покрытия только на четыре торцевые поверхности: снижение угара по сравнению с эталонной стопой составило 28,17 %.

Толщину слоя металла, перешедшего в окалину, можно рассчитать [7] по формуле

$$\delta_c = \sqrt{\delta_1^2 \cdot \tau_1 + \delta_2^2 \cdot \tau_2 + \dots + \delta_n^2 \cdot \tau_n}, \quad (2)$$

где $\delta_1, \delta_2 \dots \delta_n$ – толщины слоев, перешедших в окалину при постоянной температуре поверхности металла соответственно при $t_{m1}, t_{m2} \dots t_{mn}$, мм; $\tau_1, \tau_2 \dots \tau_n$ – время нагрева на отдельных участках печи при средних значениях $t_{m1}, t_{m2} \dots t_{mn}$, ч.

Таблица 1

**Результаты исследования влияния защитных покрытий на угар образцов,
сложенных в стопы**

Защитное покрытие	Расположение листа в стопе	Масса листа исходная, г	Масса после нагрева и очистки окалины, г	Угар, %	Средняя величина угара, %	Процент снижения угара
Без защитного покрытия	Верх	44,830	41,625	7,149	5,344	-
	2	41,995	40,020	4,703		
	3	43,665	41,830	4,202		
	4	44,415	43,020	3,141		
	Низ	42,995	39,760	7,524		
Покрытие жидкого стекла на четыре торца	Верх	44,325	41,735	5,843	3,839	28,17
	2	45,420	44,445	2,147		
	3	44,140	42,765	3,115		
	4	45,605	44,510	2,401		
	Низ	43,600	41,120	5,688		
Покрытие жидкого стекла на четыре торца и верх стопы	Верх	45,545	43,920	3,568	3,028	43,34
	2	44,930	43,675	2,793		
	3	45,665	44,440	2,683		
	4	45,955	45,060	1,948		
	Низ	45,800	43,900	4,148		
Покрытие жидкого стекла на четыре торца, верх и низ стопы	Верх	45,015	43,885	2,510	2,813	47,36
	2	44,640	43,420	2,733		
	3	44,965	43,785	2,624		
	4	44,565	43,560	2,255		
	Низ	42,470	40,795	3,944		

Толщины слоев металла, перешедшие в окалину $\delta_1, \delta_2 \dots \delta_n$, автор работы [8] приводит в своей публикации по материалам исследований окисления стали в нагревательных печах для диапазона температур 800–1350 °С.

Изменения температуры исследуемых стальных стоп из листов по времени отображены на рис. 3. В табл. 2 приведены данные из рис. 3 для расчета по формуле (2) толщин слоев металла, перешедшего в окалину.

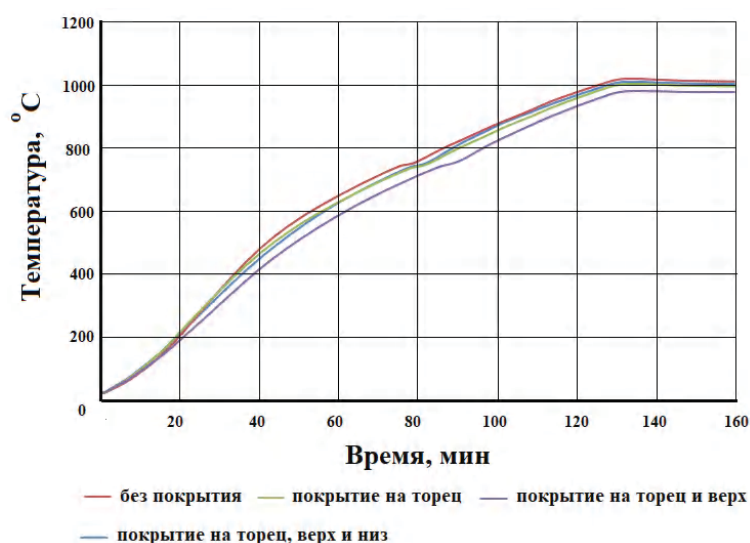


Рис. 3. Изменения температуры стоп по времени

Таблица 2

Данные из рисунка 3 для расчета по формуле (2) толщин слоев металла, перешедшего в окалину, в исследуемых стопах листов

Время, ч	Без покрытия. Температура °С	Время, ч	Покрытие на торце. Температура °С	Время, ч	Покрытие на торце и верхней поверхности. Температура °С	Время, ч	Покрытие на торце и верхней и нижней поверхностях. Температура °С
0,0758	800,46	0,0703	800,28	0,0598	800,4	0,0716	800,29
0,0758	825,92	0,0703	824,77	0,0598	824,13	0,0716	828,52
0,0758	852,13	0,0703	848,64	0,0598	845,18	0,0716	854,73
0,0758	877,40	0,0703	872,55	0,0598	865,92	0,0716	880,07
0,0758	900,40	0,0703	894,92	0,0598	886,40	0,0716	901,75
0,0758	924,50	0,0703	916,69	0,0598	905,94	0,0716	922,61
0,0758	949,39	0,0703	938,31	0,0598	923,37	0,0716	942,80
0,0758	969,61	0,0703	958,19	0,0598	940,48	0,0716	962,13
0,0758	989,07	0,0703	977,15	0,0598	956,89	0,0716	980,07
0,0758	1007,69	0,0703	995,12	0,0598	972,31	0,0716	988,04
0,0758	1019,06	0,0703	1005,02	0,0598	981,06	0,0716	1009,01
0,4600	1010,45	0,455	997,68	0,458	979,11	0,465	1003,03
Толщина слоя металла, перешедшего в окалину, мм (2)							
	0,413		0,397		0,370		0,365

Выводы

1. Нанесение защитного покрытия из жидкого стекла на поверхности стоп из стальных листов способствует снижению угара.

2. Эффективность защитного покрытия возрастает при нанесении только на торцевую часть стопы на 28,17 % (толщина слоя металла, перешедшего в окалину, 0,397 мм); на торцевую и верхнюю поверхности – 43,34 % (0,370 мм); на все поверхности рулона – 47,36 % (0,365 мм).

3. Ввиду того, что опорная часть стопы является закрытой и угар с нее минимальный, наносить защитное покрытие из жидкого стекла необходимо только на торцевую и верхнюю поверхности стопы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маслакова, Л. П. Применение обработки металлов давлением в автотракторостроении : Учебное пособие /

Л. П. Маслакова, Д. С. Фатюхин ; МАДИ (ГТУ). – М., 2003. – 105 с.

2. Дистергоф, И. М. Новый способ уменьшения угара, обезуглероживание и наводороживания металла при нагреве в пламенных печах / И. М. Дистергоф // Сталь. – 2008. – № 1. – С. 86–93.

3. Солнцев, С. С. Защитные покрытия металлов при нагреве : справочное пособие / С. С. Солнцев, А. Т. Туманов. – М. : Машиностроение, 1976.

4. Манюров, Ш. Б. Разработка технологии снижения поверхностного окисления и обезуглероживания стальных заготовок при нагреве с применением кратковременных технологических защитных покрытий : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ш. Б. Манюров. – М., 2014.

5. Губинский, В. И. Уменьшение окалинообразования при производстве проката / В. И. Губинский, А. Н. Минаев, Ю. В. Гончаров. – Киев : Техника, 1981. – 135 с.

6. Окисление и обезуглероживание стали / под ред. А. И. Ващенко. – М. : Металлургия, 1973. – 336 с.

7. Спивак, Э. И. Методы ускоренных расчетов нагревательных печей / Э. И. Спивак. – М. : Металлургия, 1988. – 141 с.

8. Спивак, Э. И. Прогноз угара и обезуглероживания при нагреве перед прокаткой / Э. И. Спивак. – Металлург. – 184. – № 2. – С. 28–29.