

**Исследование кинетики, фазового состава и свойств оксидных слоев на сталях, используемых для изготовления прошивных оправок**

Студент гр.104217 Копытко А.В., магистрант Удот А.Ю.  
Научный руководитель – Пучков Э.П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью настоящей работы является исследование кинетики, фазового состава и свойств оксидных слоев на сталях, используемых для изготовления прошивных оправок. Изучение оксидных слоев необходимо для увеличения срока службы прошивных оправок.

Во время работы оправки подвергаются длительному циклическому воздействию высокой температуры (поверхность оправки разогревается до 800 – 1000 °С) и значительного давления (до 170 МПа), поэтому материал оправок должен обладать высокой прочностью, термостойкостью и повышенной теплопроводностью. Даже при высокой прочности материала, но при недостаточной его термостойкости и теплопроводности, носик оправки быстро разогревается, теряет форму и оправка выходит из строя. Кроме того, поверхность оправки не должна свариваться с металлом заготовки, должна обладать высокой износостойкостью.

На стойкость оправок существенно влияет большое количество факторов: химический состав материала и режим термообработки оправок, их калибровка, марка прокатываемой стали, качество нагрева заготовок, режимы прокатки и условия охлаждения оправок в процессе эксплуатации. Покров окислов выполняет роль изолирующей прослойки между рабочей поверхностью оправки и металлом заготовки и предотвращает сваривание оправки и заготовки. Слой окислов обладает примерно в 20 раз меньшей теплопроводностью, чем металл, и предохраняет оправки от разогрева до высоких температур, уменьшая склонность их к свариванию.

Решающее значение на длительную устойчивую работу прошивной оправки оказывает промежуточный слой. Он обеспечивает защиту от схватывания и воспроизводство защитного слоя в процессе работы.

Высокая стойкость прошивных оправок обуславливается следующими причинами:

- отсутствие обезуглероженного слоя, непосредственно контактирующего с защитным оксидным слоем;
- достаточная горячая твердость стальной основы оправки;
- наличие металлургической связи оксидного слоя с металлической основой, отсутствие отслаивания оксидного слоя, обусловленное внутренними напряжениями;
- оптимальная толщина защитного оксидного слоя, хорошо сцепленная с основой;
- присутствие в стальной подложке и защитном слое специальных легирующих элементов, обеспечивающих устойчивое воспроизведение защитного слоя при работе прошивки.

На поверхности оправки образуются оксидные слои, состоящие из различных оксидов. В основном оксидный слой состоит из оксидов железа: FeO (вюстит), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (гематит) и Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (магнетит) или FeO·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Вюстит – соединение переменного состава, близкого к FeO (состав отвечает формуле Fe<sub>x</sub>O, где x = 0,89 – 0,95), устойчиво при избытке кислорода. Вюстит образуется при 1430 – 1435 °С по перитектической реакции ж + Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ↔ вюстит. Распадается вюстит по эвтектоидной реакции: вюстит ↔ α-Fe + Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> при 560 °С; эвтектоидная точка расположена при 51,41 % (ат.) O. Решетка вюстита типа NaCl. С увеличением содержания кислорода период решетки уменьшается почти линейно. Решетка FeO – кубическая с a = 0,4357.

Гематит  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  образуется по реакции  $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2 \leftrightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$  при  $1457^\circ\text{C}$ . Он существует в двух формах: стабильной  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  и метастабильной  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Структура  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  – ромбоэдрическая типа корунда с  $a = 0,54271$  нм и  $\alpha = 55^\circ 15,8'$ . Её также интерпретируют как гексагональную с 30 атомами в элементарной ячейке и периодами  $a = 0,50345$  нм,  $c = 1,3749$  нм,  $c/a = 02,737$ .  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  обладает решеткой типа шпинели с периодом  $a = 0,834$  нм. Имеются указания и на более сложную структуру – тетрагональную сверхструктуру с периодом решетки  $a = 0,833$  нм,  $c = 2,499$  нм.

Магнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  [57,15 % (ат.) O] плавится с открытым максимумом при  $\sim 1600^\circ\text{C}$ . В сплавах, более богатых кислородом, при  $1583^\circ\text{C}$  протекает реакция  $\text{ж} \leftrightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2$ . В равновесии с кислородом магнетит находится до  $1457^\circ\text{C}$ . Он имеет решетку типа шпинели с периодом  $a = 0,8397$  нм. При нагреве на воздухе окисляется до  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Получают действием водяного пара на раскаленное железо, восстановлением  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , окислением  $\text{FeO}$ .

В окалине происходят превращения сложных твердых растворов. Окалина углеродистой стали, образующаяся при температурах свыше  $600^\circ\text{C}$ , состоит из окислов:  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и  $\alpha$ - и  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Окислы располагаются слоями в соответствии с уменьшением содержания кислорода в направлении от наружного слоя к внутреннему.

Режимы оксидирования проводились на сталях 20ХН4ФА, 6ХВ2С, Р18. В результате проведения различных режимов на сталях получился хороший оксидный слой, прочно сцепленный с основой. Поверхность плотная без разрывов и изъянов. Контроль качества проводился с помощью микродурометрического и металлографического анализов. Опытные образцы показаны на рисунке 1.



Рисунок 1 – Опытные образцы после оксидирования (20ХН4ФА, 20ХН4ФА, 6ХВ2С, 6ХВ2С)

Фазовый анализ оксидированного покрытия стали 20ХН4ФА оправки представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Интегральная интенсивность дифракционных линий фаз, входящих в состав оксидированного покрытия стали 20ХН4ФА.

Фаза	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	$\text{FeO}$	$\alpha\text{-Fe}$
Интенсивность, отн. ед.	9831	5050,5	-	1719,3
Интенсивность, %	59,2	30,4	-	10,4

Толщины оксидных слоев и их фазовый состав зависят от режимов высокотемпературного оксидирования, времени выдержки, температур выдержки, марки стали, количества легирующих элементов. С увеличением содержания в стали таких элементов как С, W, Сг и других л.э. толщина окисной плёнки уменьшается при одинаковой температуре и времени выдержки. Так толщины оксидных плёнок некоторых сталей и режимов:

20ХН4ФА	600°С, 3ч; 965°С, 2ч 20мин	0,4-0,55 мм
20ХН4ФА	965°С, 4ч 20мин	0,55-0,75 мм
6ХВ2С	600°С, 3ч; 965°С, 2ч 20мин	0,25-0,35 мм
6ХВ2С	965°С, 4ч 20мин	0,35-0,45 мм
P18	600°С, 3ч; 965°С, 2ч 20мин	0,12-0,2 мм
P18	965°С, 4ч 20мин	0,25-0,35 мм