

**Андрущенко М.И.,  
Осипов М.Ю.,  
Куликовский Р.А.,  
Капустян А.Е.,  
Магда Е.С.**

Запорожский национальный  
технический университет,  
г. Запорожье, Украина  
E-mail: mosipov61@ukr.net

**МАТЕРИАЛЫ, ТЕХНОЛОГИЯ И  
СПЕЦИАЛЬНАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ  
УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
ШТАМПОВ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ ПОЛЫХ  
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОГНЕУПОРОВ  
ЧАСТЬ 1. АНАЛИЗ УСЛОВИЙ  
ИЗНАШИВАНИЯ ШТАМПОВ И  
ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ  
МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО  
СТАНДАРТНЫМИ ЭЛЕКТРОДНЫМИ  
МАТЕРИАЛАМИ**

УДК 621.791.927.5:669.15

Проведен анализ конструкции, схемы работы, условий изнашивания штампов для прессования полых цилиндрических огнеупоров и сформулированы предъявляемые к ним требования. Показано, что кроме достаточно высокой износостойкости кромок штампов, их рабочая поверхность должна сопротивляться шаржированию огнеупорной массой, а уровень пластичности и вязкости металла кромок должен исключать скалывание их фрагментов в процессе эксплуатации.

Структура металла, наплавленного предварительно выбранными для лабораторных испытаний электродными материалами (девятнадцать типов), изменялась от ферритной до заэвтектической с большим количеством упрочняющих фаз (до 50 %), твердость которых достигала 20 ГПа. В соответствии с последней классификацией наплавочных материалов Международного института сварки, рассматриваемые материалы относятся к десяти из шестнадцати структурных групп, - М1, М2, М3, М4. МК1, А1, А2, А3, АЗК и АЭК.

Лабораторные испытания на сопротивляемость абразивному изнашиванию, показали, что износостойкость в пределах исследованного ряда материалов отличается в 25 раз.

**Ключевые слова:** штамп, структура, абразивное изнашивание, условия изнашивания, наплавленный металл, скорость охлаждения, феррит, мартенсит, аустенит, износостойкость, микротвердость.

### **Введение**

До настоящего времени одной из проблем производства огнеупоров является низкий срок службы штампов пресс - форм для прессования полых цилиндрических изделий.

При прессовании шамотных изделий износ рабочих кромок штампов в зависимости от применяемых материалов, способов их упрочнения и структурного состояния достигает предельно допустимого значения через 1 - 8 смен работы штампа, а при изготовлении огнеупоров с повышенным содержанием глинозема в течение 0,5 - 3 смен. Это приводит к снижению технико-экономических показателей производства, обусловленному значительными простоями оборудования и дополнительными затратами на изготовление новых и замену изношенных деталей.

Поэтому проблема срока службы штампов, способов их восстановления по-прежнему остается актуальной. Несмотря на ее остроту, на многих предприятиях штампы используются однократно, или восстанавливаются дуговой наплавкой электродами, обеспечивающими наплавленный металл с ферритной или низкоуглеродистой аустенитной структурой, обладающими низким уровнем износостойкости. Редко учитываются характер и механизм изнашивания, особенности эксплуатации деталей и предъявляемые к ним требования. Кроме того наплавка производится без применения специальной оснастки, которая способствовала бы формированию оптимальных геометрических параметров наплавленного валика и однородности его структуры по всему периметру штампа. В процессе наплавки происходит чрезмерный нагрев рабочей поверхности штампа, приводящий к снижению сопротивляемости шаржированию огнеупорной массой околошовной зоны.

### **Цель работы**

Целью первой части работы было анализ схемы эксплуатации, условий изнашивания штампов, предъявляемых к ним требований, предварительный выбор материалов для наплавки кромок штампов и лабораторные испытания наплавленного металла на износостойкость на стенде, имитирующем условия изнашивания деталей прессовой оснастки для изготовления огнеупоров.

### Анализ схемы работы, условий изнашивания штампов и предъявляемых к ним требований

Известно, что износостойкость, в отличие от многих других параметров, является не свойством материалов, а характеризует систему "материал - деталь - условия изнашивания". Важнейшей характеристикой такой системы является отношение твердости абразива к твердости материала  $H_a / H_m$  [1]. При этом важна не исходная микротвердость материалов  $H_m$ , а твердость, поверхности трения приобретенная в процессе изнашивания  $H_{нтм}$  [2]. Известно [3, 4, 5, 6], что один из самых эффективных механизмов самоупрочнения рабочей поверхности деталей – образование мартенсита деформации, и другие сопровождающие этот процесс явления (выделение мелкодисперсных карбидов по плоскостям скольжений, релаксация напряжений и др.). В то же время одни и те же материалы, подверженные, воздействию неодинаковыми по составу и свойствам абразивными массами, работающие при разных температурах, давлениях и др. проявляют различную способность к самоупрочнению поверхности трения и сопротивляемости изнашиванию. Кроме того, на выбор материалов, структурного состояния, способов управления структурой могут оказывать характер и допустимая величина износа, требования к уровню вязкости и пластичности и др. В зависимости от условий работы возможны изменения уровней износостойкости в пределах определенного ряда материалов, вплоть до полной инверсии (перестановки). В связи с этим, очевидно, что определение основных параметров эксплуатации деталей, характера изнашивания и предъявляемых к ним требований, является одним из основных условий обоснованного выбора материалов и их структурного состояния.

В различных отраслях промышленности много видов изделий изготавливают методом полусухого прессования, в том числе и многочисленные полые цилиндрические огнеупоры. Этот способ

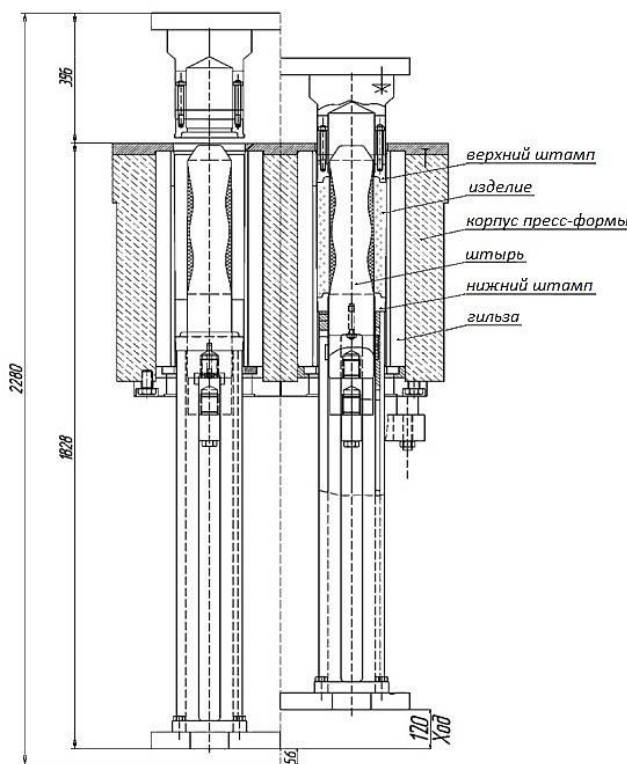


Рис. 1 – Схема ячейки пресс-формы для прессования полых цилиндрических изделий

верхней крышки. Затем осуществляется двухстороннее сжатие массы до размеров прессуемого изделия по высоте. После этого изделие выталкивается из пресс-формы, и штампы возвращаются в исходное положение. Процесс повторяется многократно до тех пор, пока износ гильзы, штыря или штампов не достигнет предельно допустимой величины, что вызывает необходимость замены изношенной детали.

Типичная конструкция штампов (рис. 2) включает две рабочие кромки – наружную и внутреннюю и прессующую поверхность относительно сложной конфигурации, которая формирует торцевые грани прессуемого изделия. Условия эксплуатации штампа в пресс-форме предъявляют неодинаковые требования к различным его частям. Поверхности, формирующие нижнюю и верхнюю части огнеупорного изделия, испытывают в основном нормальные давления, вызываемые прессуемой массой, что приводит к вдавливанию абразивных частиц, шаржированию и налипанию, но, при этом, практически исключается изнашивание этой части деталей.

заключается в том, что порошкообразная масса засыпается в полость пресс-формы и затем сжимается при высоких давлениях до размеров готового изделия. Типичными представителями таких изделий являются огнеупоры для сифонной разливки стали в изложницы и стопорные приспособления раздаточных и разливочных ковшей. Они представляют собой цилиндры высотой 200 - 400 мм, диаметром 130 - 350 мм со сквозным отверстием внутри диаметром 60 - 150 мм с криволинейными торцами.

Изготовление этих огнеупоров производится в пресс-форме (рис. 1), которая состоит из массивного корпуса с одним, или двумя сквозными окнами, облицованными сменными гильзами. Прессование осуществляется посредством верхнего и нижнего штампов, закрепленных на подвижных штамподержателях. Формирование внутреннего отверстия осуществляется при помощи штыря, закрепленного на нижнем штамподержателе.

Изготовление изделия производится следующим образом. Когда верхний штамп находится над пресс-формой, а нижний в крайнем нижнем положении, производится засыпка порошкообразной огнеупорной массы в окно пресс-формы до уровня верхней поверхности

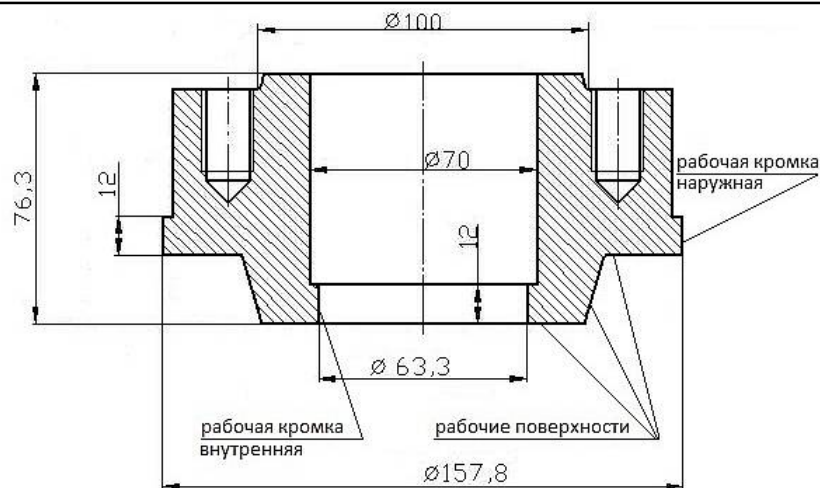


Рис. 2 – Штамп для прессования цилиндрических пустотелых огнеупорных изделий

В наиболее жёстких условиях эксплуатируется рабочая кромка, которая, испытывая тангенциальные напряжения, вызванными абразивными зёрнами, попадающими в зазор между штампом и гильзой, или штырем интенсивно изнашивается. Допустимый износ не должен превышать 0,8 - 1,0 мм непосредственно на ребре кромки и 0,3 - 0,5 мм на грани кромки (рис. 3). В противном случае на кромке изделия возникают "заусеницы", что является браковочным признаком.

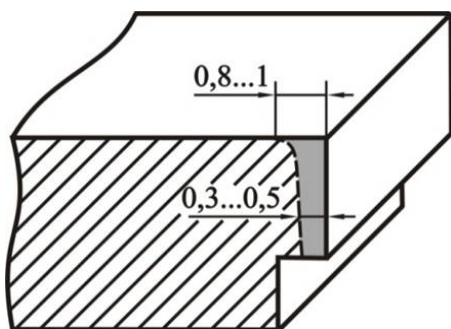


Рис. 3 – Характер изнашивания рабочей кромки штампов

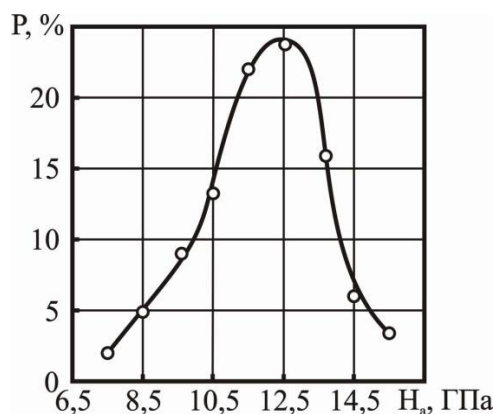


Рис. 4 – Плотность распределения микротвердости зерен шамота

Сопrotивляемость изнашиванию и шаржированию зависит в основном от трех параметров эксплуатации деталей: микротвердости зерен огнеупорной массы, ее давления и температуры поверхности штампа.

Замеры микротвердости зерен шамота показали, что она изменяется в широких пределах по закону распределения, близком к нормальному (рис. 4). Выборка составляла более 100 штук зерен.

Среднее давление абразивной массы на рабочую поверхность штампов изменяется в пределах  $75 \pm 25$  МПа в зависимости от вида прессуемых изделий и количества окон в пресс-форме. Давление, возникающее при воздействии абразива на рабочую кромку в зазоре между штампом и гильзой, определить сложно. Однако, судя по характеру изнашиваемой поверхности рабочей кромки (риски, царапины), можно предположить, что давление достаточное для создания напряжений в месте контакта единичного зерна с поверхностью, превышающих предел текучести и в некоторых случаях предел прочности металла науглероженных слоев цементованной стали 20X из которой изготавливают новые штампы. Температура рабочих кромок достигает 80 - 120 °С.

Исходя из условий работы штампов, можно сформулировать следующие основные требования, предъявляемые к этим деталям:

- должны обладать высокой сопротивляемостью абразивному изнашиванию рабочих кромок и шаржированию огнеупорной массой прессующей поверхности;

- должен обеспечиваться достаточный уровень вязкости и пластичности кромок, исключающих их скалывание в процессе эксплуатации;
- процесс восстановления наплавкой не должен приводить к существенному снижению сопротивляемости шаржированию рабочей поверхности штампов.

### Методика испытаний

Основным условием выбора методики испытаний на износостойкость было обеспечение идентичности результатов производственных и лабораторных исследований.

Испытания проводили на лабораторном стенде по методике, обеспечивающей полноту фазовых превращений [7], степень упрочнения поверхности трения, и ряд относительной износостойкости стандартных сталей типа 20X (цементированной) и 140X12 в различном структурном состоянии, изученных ранее в производственных условиях.

Изнашивание образца размером  $10 \times 30 \times 90$  мм на стенде осуществляется столбом абразивной массы при общем давлении 5 МПа. В качестве абразива использовали шамот фракции 0,63 - 1,0 мм.

Интенсивность изнашивания определяли по потере массы образцов за один ход с точностью до  $1 \times 10^{-4}$  г. Количество ходов за один цикл испытаний между взвешиваниями выбирали таким образом, чтобы потеря массы при этом составляла не менее 0,0080 г. За показатель износостойкости принимали среднее значение результатов за 4 - 5 циклов испытаний каждого образца. При этом погрешность при определении износостойкости не превышает 4,5 % при надежности 0,9.

Степень упрочнения в результате воздействия абразива оценивали по микротвердости рабочей поверхности с помощью микротвердомера ПМТ-3 при нагрузке 0,5 Н.

### Выбор материалов для наплавки штампов

Выбор материалов осуществляли в два этапа. На первом – на основе результатов испытаний на лабораторном стенде, имитирующем условия изнашивания деталей. На втором этапе – путем испытаний штампов, наплавленных некоторыми из выбранных материалов в производственных условиях.

Известно, что существуют два основных материаловедческих пути повышения сопротивляемости сталей и сплавов абразивному изнашиванию. Первый – увеличение в сплаве количества упрочняющей фазы до необходимых и возможных для данных условий работы пределов, оптимизация ее по типу, морфологии, характеру распределения в матрице. Второй – поиск наилучшей, для конкретных условий изнашивания, металлической матрицы. Оба эти направления, при решении задачи повышения износостойкости, как правило, разрабатываются одновременно. При этом изменение свойств и упрочняющей фазы, и матрицы осуществляется варьированием химического состава материалов, способами и параметрами процесса их получения, а также термообработкой.

К настоящему времени предложено много материалов в качестве износостойких, в том числе и электродов и проволок, для наплавки деталей. Естественно предположить, что обеспечение одного из основных требований к технологическому процессу восстановления штампов пресс - форм – увеличение износостойкости при достаточной эксплуатационной надежности можно за счет выбора наиболее приемлемых, из числа стандартных, промышленно-выпускаемых материалов. Другие же требования (сохранение сопротивляемости налипанию, обеспечение необходимой структуры при наплавке различных по массе штампов) можно было бы удовлетворить в результате разработки оптимальной технологии (использование приспособления для формирования шва и ускоренного теплоотвода, оптимизация параметров режимов наплавки, определенная последовательность наложения валиков и др.). Возможна также последующая модификация рабочих поверхностей наплавленных кромок путем плазменной или химико-термической обработки [5, 8, 9].

Можно предположить, что выбор стандартных материалов не должен представлять сложности, поскольку в литературе приводится много сведений о назначении и свойствах наплавочных материалов. Перечень современных материалов для наплавки отечественного и зарубежного производства, в том числе и сертифицированных в Украине, включает сотни марок покрытых электродов и порошковых проволок [8, 9, 10]. Среди них большой ряд материалов, которые рекомендуются для работы в условиях абразивного изнашивания как износостойкие. Вместе с тем, если судить по химическому составу наплавленного металла, и основываться на результатах исследований, проведенных ранее [7], можно заключить, что по уровню износостойкости в условиях работы деталей пресс-форм огнеупорного производства следует ожидать существенного различия этих материалов. Это не позволяло на основе только литературных данных выбрать наиболее приемлемые из известных материалов применительно к конкретным условиям изнашивания. Поэтому, как ранее [10], так и в рамках данной работы были проведены испытания ряда металлов, наплавленных стандартными электродами и проволоками применительно к условиям работы штампов пресс - форм.

При выборе электродов и проволок для испытаний основывались как на литературных данных [11, 12, 13 и др.], так и исходили из практики восстановления штампов, сложившейся в огнеупорном производстве. Кроме наплавочных электродов, предназначенных для повышения износостойкости, испытывали металл, наплавленный сварочными электродами типа АНО-4 и ЦЛ11. Очевидно, что материалы такого типа не могут обеспечить требуемую износостойкость штампов, но в то же время они очень часто применяются в огнеупорном производстве для их восстановления, поскольку обеспечивают достаточно высокую эксплуатационную надежность. Поэтому сравнительная оценка их сопротивляемости изнашиванию так же представляла интерес (табл.).

Таблица

**Марки электродных материалов, тип наплавленного металла и его свойства**

Электрод, группа	Марка наплавочного материала	Тип наплавленного металла	Твердость HRC	Микротвердость Н <sub>0,5</sub> , ГПа	
				до изнашивания	после изнашивания
1	АНО-4	сталь 10	150НВ	2,5	4,6
2	ЦЛ11	08Х19Н10Г2Б	200НВ	2,6	6,5
3	ОМГ-Н	65Х11Н3	27-29	6,0	10,1
	ПП-АН105	90Г13Н4	16-20	5,0	8,5
	ЦНИИН-4	60Х14Г14Н3Т	16-20	3,2	7,0
4	ОЗН-300М	15Г3С1	21-23	4,8	7,5
	ОЗН-400М	17Г4С1	23-24	5,2	8,0
5	ПП-АН106	14Х13	47-50	5,5	9,0
	ОЗШ-3	37Х9С2	56-58	7,9	9,1
	ЭН-60М	70Х3СМТ	58-60	8,2	9,7
	ОЗШ-7	40Х11С3М	57-61	7,8	10,0
	13КН-ЛИВТ	80Х4С	47-51	7,5	10,0
6	ПП-АН103	200Х12ВФ	49-52	5,9	11,4
	ПП-АН104	200Х12М	48-51	5,9	11,3
	ПП-АН125	200Х15С1ГРТ	50-58	8,7	10,8
7	ЭН-ИТС-01	35ОХ33В	54-56	8,5	10,9
	Т-590	330Х25Г2С2Р	55-58	8,7	10,9
	ЭНУ-2	350Х15Г3Р1	55-57	8,9	12,4
	ПП-АН170	80Х20Р3Т	58-67	9,2	12,5

Следует отметить, что рекомендуемая технология наплавки некоторыми стандартными электродами предусматривает предварительный, подогрев деталей [11], наплавку образцов и штампов в данном случае производили без подогрева, что было связано с необходимостью сохранения сопротивляемости рабочей поверхности штампов шаржированию огнеупорной массой. Образцы наплавляли в 2 ... 3 слоя с таким расчетом, чтобы испытанию на износостойкость подвергался слой, в формировании которого металл подложки (сталь 20Х) участия не принимал.

Структура наплавленного металла выбранными электродными материалами изменяется в широком диапазоне. При этом четкого разграничения материалов на группы однотипные по структуре, произвести практически невозможно, поскольку многие электроды обеспечивают наплавленный металл, включающий несколько структурных составляющих. Условно материалы по типу наплавленного металла и структуре можно разделить на семь групп (первую и вторую представляют по одному типу электрода):

- 1 – низкоуглеродистые нелегированные материалы с ферритной или феррито - перлитной структурой;
- 2 – низкоуглеродистые высоколегированные со структурой стабильного аустенита;
- 3 – средне- и высокоуглеродистые, высоколегированные со структурой стабильного и нестабильного аустенита;
- 4 – среднеуглеродистые, среднелегированные со структурой, включающей низкоуглеродистый мартенсит и бейнит;
- 5 – металл средне и высокоуглеродистый с преимущественно мартенситной структурой, в некоторых материалах при небольшом количестве карбидов;
- 6 – металл доэвтектического состава с преимущественно аустенитной матрицей или аустенито-мартенситной матрицей, удерживающей 10 - 25 % карбидов (CrFe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>;
- 7 – металл заэвтектического состава, включающий большое количество карбидов или карбоборидов (до 50 - 60 %), находящихся в мартенсито-аустенитной матрице с содержанием аустенита от 0 до 55 %.

В соответствии с последней классификацией наплавочных материалов Международного института сварки по химическому составу и структуре [14] рассматриваемые материалы относятся к десяти из шестнадцати структурных групп (рис. 5).

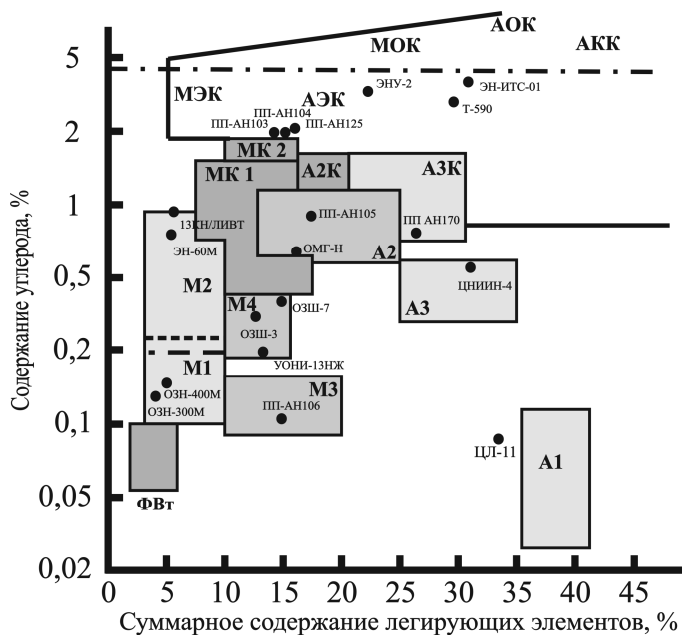


Рис. 5 – Положение испытываемых материалов на структурной диаграмме Международного института сварки:

**ФВт** – Феррит, упрочненный вторичной фазой;

**М1** – Мартенсит тип I (низкоуглеродистый низколегированный сплав);

**М2** – Мартенсит тип II (высокоуглеродистый низколегированный сплав);

**М3** – Мартенсит тип III (низкоуглеродистый высоколегированный сплав);

**М4** – Мартенсит тип IV (среднеуглеродистый высоколегированный сплав);

**МК1** – Мартенсит, упрочненный карбидами типа I;

**МК2** – Мартенсит, упрочненный карбидами внедрения;

**МЭК** – Мартенсит, упрочненный карбидами эвтектики;

**МОК** – Мартенсит, упрочненный основными карбидами;

**А1 – АФ** – Аустенит типа I (Cr, Ni) + аустенит + феррит;

**А2** – Аустенит марганцевый тип II (высокоуглеродистый среднелегированный сплав);

**А3** – Аустенит хромомарганцевый тип I (среднеуглеродистый высоколегированный сплав);

**А2К, А3К** – Аустенит типа II и III, упрочненный карбидами;

**АОК** – Аустенит, упрочненный основными карбидами;

**АЭК** – Аустенит, упрочненный карбидами эвтектики;

**АКК** – Аустенит, упрочненный основными карбидами, суперкарбидами и карбидами эвтектики

В результате испытаний установлено, что наибольшей интенсивностью изнашиванию (рис. 6) то есть наименьшей сопротивляемостью этому процессу, обладает металл, наплавленный электродами типа АНО-4. Низкое содержание углерода и легирующих элементов обуславливает ферритную структуру наплавки с низкой исходной микротвердостью – 2,5 ГПа. В процессе изнашивания, в результате механического наклепа, твердость поверхности трения незначительно увеличивается (до 4,6 ГПа). Однако отношение  $H_a / H_{нмл}$  сохраняется высоким (около 3), что обуславливает значительную долю микрорезания в процессе изнашивания и, в результате этого, низкую износостойкость.

Более высокой сопротивляемостью изнашиванию благодаря высокому уровню легирования и повышенному содержанию углерода обладает металл, наплавленный электродом ЦЛ-11. В данном случае аустенит из-за высокой стабильности, обусловленной низким уровнем температуры начала мартенситного превращения Mn, не способен к превращениям в мартенсит деформации в процессе изнашивания. Однако благодаря твердорастворному упрочнению за счет легирования и механическому наклепу, микротвердость поверхности трения все же значительно выше (до 6,5 ГПа), чем металла наплавленного электродами типа АНО-4, что и обеспечивает в 1,5 раза более высокую износостойкость материалов этого типа по сравнению с ферритными.

Материалы четвертой группы со структурой, сочетающей низкоуглеродистый мартенсит и бейнит, по той же причине превышают по износостойкости металл наплавленный электродами ЦЛ-11 в полтора раза, и в два по отношению к ферритным не легированным материалам.

Заметные различия в износостойкости наблюдаются между материалами третьей группы, содержащих 100 % высокоуглеродистого аустенита. Если сопротивляемость изнашиванию металла, наплавленного электродами ЦНИИН-4, находится на уровне материалов третьей группы, то металл, наплавленный электродами ОМГ-Н, превышает его в 2,5 раза. Сплав, полученный наплавкой проволокой ПП-АН105, по этому показателю находится на промежуточном уровне. Это, очевидно, связано с тем, что металл наплавки ЦНИИ-4 и ПП-АН105 чрезмерно стабилен по отношению к  $\gamma \rightarrow \alpha$  - превращениям. В результате рентгеноструктурного анализа в поверхности трения этих материалов мартенсита деформации не обнаружено, а прирост микротвердости в результате механического наклепа не достаточно высок (7,5 - 8 ГПа).

Более высокий уровень износостойкости металла, наплавленного электродами ОМГ-Н, по видимому, обусловлен двумя обстоятельствами. Во-первых, аустенит в данном случае относительно не стабилен, в поверхности трения в процессе изнашивания образовалось 15 - 20 % мартенсита. Это заметно меньше оптимального количества (40 - 50 %) [6], но достаточно для того, чтобы способствовать приросту микротвердости до 10,1 ГПа, а износостойкости в 1,5 - 2,5 раза по сравнению с материалами с полностью стабильным аустенитом.

Во-вторых, в этом металле аустенит является преимущественно хромистым, а не марганцевым. По данным работы [15], положительное влияние марганца на способность к упрочнению сталей с остаточным метастабильным аустенитом ниже, чем хрома. Это связано с тем, что прочность мартенсита деформации зависит не только от содержания в нем углерода, но также и от величины энергии связи между дислокациями и атомами углерода в аустените. Чем больше энергия связи между дислокациями и атомами примесей внедрения (углерода, азота и др.), тем выше уровень закрепления дислокаций в мартенсите (при данном содержании углерода) и, следовательно, выше эффективная прочность рассматриваемой фазы. Марганец снижает энергию связи дислокаций с атомами углерода  $\alpha$ -фазы [15] в отличие от хрома, повышающего этот показатель [16]. Поэтому хромистые или хромомарганцевые метастабильные аустенитные стали при одинаковом количестве углерода обладают более высокой износостойкостью, чем марганцевые.

Микротвердость поверхности трения некоторых материалов пятой группы с преимущественно мартенситной структурой (ОЗШ-7, 13КН-ЛИВТ) достигает того же уровня (10 ГПа), что и металла 65Х11Н3 наплавленного электродами ОМГ-Н, однако износостойкость при этом в 1,3 ниже. Это связано с тем, что, во-первых, прирост микротвердости в мартенситных материалах достигается только за счет механического наклепа, поэтому механизм релаксации напряжений и другие положительные явления, которые сопровождают процесс образования мартенсита деформации, не работают. Во-вторых, в упрочненном слое, в данном случае, отсутствует пластичная составляющая – аустенит, поэтому работа, которая идет на разрушение микрообъемов поверхности меньше, чем в металле с остаточным аустенитом и некоторым количеством мартенсита деформации.

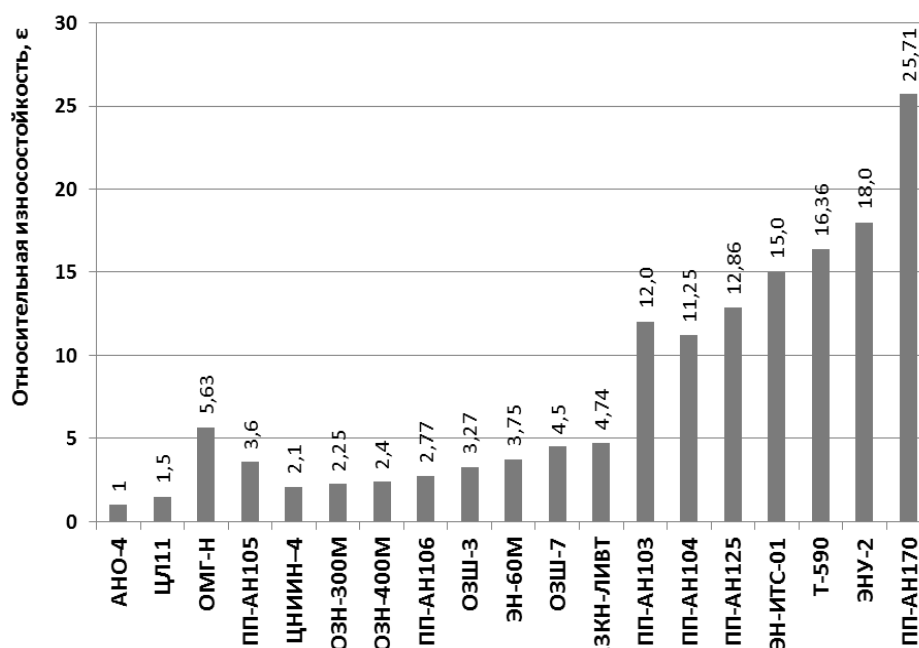


Рис. 6 – Относительная износостойкость наплавленного металла

Сопротивляемость изнашиванию слоя, наплавленного электродными материалами шестой группы, в два раза выше, чем наиболее износостойкого металла из четвертой группы (65X11H3). В данном случае положительную роль оказывают три фактора. Во-первых, часть аустенита металлической матрицы в процессе изнашивания также превращается в мартенсит деформации. Во-вторых, исходное содержание углерода в аустените заметно выше, чем в наплавке 65X11H3. Это вытекает из несложного анализа горизонтальных разрезов диаграмм системы Fe-C-Cr при температурах 1000 - 1150 °С.

Ранее было показано [7, 17], что именно углерод в наибольшей мере положительно влияет на микротвердость поверхности трения (в данном случае она достигает 11,4 ГПа) и, соответственно, на износостойкость. В-третьих, структура данных материалов включает 10 - 25 % карбидов  $(CrFe)_7C_3$ , твердость которых составляет 14 - 15 ГПа, что соизмеримо с максимальной твердостью зерен шамота.

Следует отметить, что сопротивляемость изнашиванию материалов этого же химического состава (стали ледебуритного класса типа X12), но в кованном или прокатанном состоянии, существенно выше, чем в наплавленном виде. Очевидно, что в наплавленном металле негативно сказывается неоднородность структуры, как в макрообъемах наплавленного слоя, так и на микроуровне. Вместе с тем, как показал опыт, изготовление штампов полностью из инструментальных сталей не рационально, как с точки зрения себестоимости, так и, практически невозможно по условиям эксплуатационной надежности.

Существенное повышение износостойкости происходит при наплавке материалами заэвтектического состава (седьмая группа). В данном случае структура наплавленного металла включает большое количество упрочняющих фаз (до 50 - 60 %). Микротвердость некоторых из ее составляющих, в частности карбоборидов, достигает 20 ГПа. В отличие от материалов предыдущей группы, в которых существенное доленое участие в сопротивляемости изнашиванию вносят и металлическая матрица и карбиды, в этих сплавах определяющий вклад принадлежит упрочняющим фазам, особенно в металле 80X20P3T, а роль металлической матрицы – надежно удерживать частицы твердых фаз от выкрашивания при воздействии абразива.

В целом, в пределах всего ряда рассмотренных материалов, если даже не принимать во внимание два типа сварочных электродов, износостойкость отличается на порядок. И все же если учесть, что низкоуглеродистые материалы широко применяются в практике для наплавки штампов благодаря эксплуатационной надежности наплавленного металла, то различия в износостойкости по отношению к ним составляют до 25 раз.

Таким образом, на основании результатов лабораторных испытаний можно предположить, что восстановление или упрочнение новых штампов с точки зрения влияния на их износостойкость, целесообразно проводить доэвтектическими или заэвтектическими материалами. Однако установить насколько такой подход может соответствовать другим требованиям, предъявляемым к этим деталям можно путем испытаний наплавленных штампов в производственных условиях. Эти вопросы будут рассмотрены во второй части работы.

## Выводы

1. Анализ конструкции штампов, схемы их эксплуатации, характера и условий изнашивания рабочих кромок (свойства абразива, давление, температура, скорость трения) показал, что кроме сопротивляемости изнашиванию, штампы должны сопротивляться шаржированию огнеупорной массой, а рабочие кромки должны характеризоваться уровнем пластичности, исключающим скалывание ее фрагментов в процессе эксплуатации.

2. Структура металла наплавленного предварительно выбранными электродными материалами (девятнадцать типов), изменялась от ферритной до заэвтектической с большим количеством упрочняющих фаз (до 50 %), твердостью до 20 ГПа. В соответствии с последней классификацией наплавочных материалов Международного института сварки по химическому составу и структуре выбранные материалы относятся к десяти структурным группам из шестнадцати.

3. Проведенные лабораторные испытания наплавленного металла на сопротивляемость абразивному изнашиванию показали, что износостойкость в пределах ряда испытанных материалов изменяется до 25 раз. При этом она не зависит от исходной твердости, но коррелирует с микротвердостью поверхности трения, приобретенной в процессе изнашивания. Наибольший прирост микротвердости (4,1 ГПа), наблюдается на рабочей поверхности слоя наплавленного металлом типа 65X11H3, благодаря образованию 15 - 20 % мартенсита деформации. При сопоставимых уровнях микротвердости более высокой износостойкостью характеризуются материалы, в структуре которых, наряду с мартенситом деформации, присутствует сравнительно пластичная аустенитная составляющая.



---

**Литература**

1. Хрущов М.М. Абразивное изнашивание / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев – М.: Наука, 1970. – 251 с.
2. Андрущенко М.И. Прогнозирование механизма и интенсивности изнашивания на основе оценки соотношения твердостей абразива и изнашиваемого материала / М.И. Андрущенко, Р.А. Куликовский, М.Н. Брыков, Д.М. Андрущенко // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2009. – №1. – С. 6-12.
3. Попов В.С. Долговечность оборудования огнеупорного производства / В.С. Попов, Н.Н. Брыков, Н.С. Дмитриченко, П.Г. Приступа. – М.: Metallurgiya, 1978. – 232 с.
4. Malinov L.S. Increasing the Abrasive Wear Resistance of Low-Alloy Steel by Obtaining Residual Metastable Austenite in the Structure / L.S. Malinov, V.L. Malinov, D.V. Burova, and V.V. Anichenkov // Article Journal of Friction and Wear May 2015. – Volume 36. – Issue 3. – pp 237-240.
5. Чейлях Я.А. Повышение износостойкости наплавленного Fe - Cr - Mn-металла плазменной обработкой с получением метастабильной структуры / Я.А. Чейлях, В.В. Чигарев, Г.В. Шейченко, А.П. Чейлях, В. Г. Ефременко, К. Шимидзу // Металлофизика и новейшие технологии. – 2013. – 35, № 8. – С. 1045-1060.
6. Андрущенко М.И. Способность к самоупрочнению поверхности трения в процессе абразивного изнашивания и износостойкость сталей в зависимости от содержания углерода и хрома / М.И. Андрущенко, Р.А. Куликовский, М.Ю. Осипов, А.В. Холод, А.Е. Капустян // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2014. – №1. – С. 92-100.
7. Андрущенко М.И. Влияние углерода и хрома на способность к упрочнению и износостойкость бескарбидных сталей в условиях абразивного изнашивания / М.И. Андрущенко, О.Э Рузов, Р.А. Куликовский, Н.Н. Брыков // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2003. – №2. – С. 112-116.
8. Андрущенко М.И. Упрочнение деталей наплавкой в сочетании с науглероживанием и термической обработкой / М.И. Андрущенко, А.В. Холод, М.Ю. Осипов, Д.В. Вовк // В кн. "Інноваційні ресурсозбережні матеріали та зміцнювальні технології". Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – Маріуполь: ПДТУ. – 2012. – С. 214-215.
9. Каплун В.Г. Формирование покрытий на подшипниковой стали ШХ15 при ионно-плазменном азотировании и последующей закалке с отпуском / В.Г. Каплун, О.В. Зайцев, С.В. Иващук и др. // МИТОМ. – 1990. – №9. – С. 10-14.
10. Андрущенко М.И. Способность к самоупрочнению поверхности трения и износостойкость наплавленного металла в условиях абразивного изнашивания / М.И. Андрущенко, Р.А. Куликовский, С.П. Бережный, О.Б. Сопильняк // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – Запорожье, 2009. – №1. – С. 30-37.
11. Наплавочные материалы стран членов СЭВ // Киев – Москва. –1979. – 620 с.
12. Биковський О.Г. Довідник зварника / О.Г. Биковський, І.В. Пінковський // К.: Техніка. – 2002. – 336 с.
13. Проценко Н.А. Производители сварочных материалов, имеющие сертификат соответствия в системе УкрСепро, выданный НТЗ "Сепроз" (по состоянию на 01.07.2008) // Сварщик. – 2008. – № 4. – С. 59-61.
14. Мазель Ю.А. Классификация сплавов на основе железа для восстановительной и упрочняющей наплавки / Ю.А. Мазель, Ю.В. Кусков, Г.Н. Полищук // Сварочное производство. – 1999. – №4. – С. 35-38.
15. Коршунов Л.Г. Влияние марганца на износостойкость марганцовистых метастабильных аустенитных сталей / Л.Г. Коршунов, Н.Л. Черненко // Трение и износ. – 1984. – Т. V, №1. – С. 106-112.
16. Гаврилюк В.Г. Распределение углерода в стали / В.Г. Гаврилюк – Киев: Наукова думка. – 1987. – 208 с.
17. Hesse O. Zur Festigkeit niedriglegierter Stähle mit erhöhtem Kohlenstoffgehalt gegen abrasive Verschleiß / O. Hesse, J. Merker, M. Brykov, V. Efremenko // Tribologie + Schmierungstechnik. – 2013. – № 6. – S. 37-43.

Поступила в редакцію 16.02.2016

Andrushchenko M.I., Ph.D., Osipov M.Y., Ph.D., Kulikovskiy R.A., Ph.D., Kapustian O.YE., Magda E.S. **Materials, technology and special equipment for strengthening and restoration of dies for pressing the hollow cylindrical refractory. Part 1. Analysis of wear conditions and dies metal durability studies, weld standard electrode materials.**

The analysis of the structure of the scheme, dies wear conditions for pressing the hollow cylindrical refractory products and defined requirements to them. It is shown that in addition to relatively high wear resistance of working edges of dies, they must resist the working surface caricaturing refractory mass and level of ductility and toughness of the metal shearing edges should exclude fragments thereof during operation.

Conventionally, commercially available materials (stick electrodes and flux cored wires) selected for laboratory tests on the chemical composition and structure of the weld metal, are divided into seven groups (first and second group represented by one electrode material, the other two - five):

- 1 – low-carbon materials doped with ferrite or ferrite-pearlite structure;
- 2 – low-carbon high-alloy with a structure of stable and unstable austenite;
- 3 – high-carbon, high-alloy with a stable austenite structure;
- 4 – medium-carbon, medium-doped structure consisting of low-carbon martensite and bainite;
- 5 – with a predominantly martensitic metal structure, in some cases, a small amount of carbides;
- 6 – Metal hypoeutectic composition with a predominantly austenitic matrix or austenite-martensitic matrix, holding 10 - 25 % of carbides (CrFe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>;
- 7 – metal hypereutectic composition comprising a large amount of carbides or carboborides (50 - 60 %), are in the martensitic-austenitic matrix with austenite content from 0 to 55 %.

According to the latest classification of surfacing materials of the International Institute of welding the materials in question are ten of the sixteen structural groups, provided this classification - M1, M2, M3, M4, MK1, A1, A2, A3, ACP and AEC.

Laboratory tests for abrasion resistance have shown that the wear resistance within the investigated range of materials during the transition from the first to the seventh group is increased 25-fold. However, it does not depend on the initial hardness, but is correlated with the friction surface microhardness acquired during wear. The greatest increase in microhardness (4.1 GPa), is observed on the working surface of the layer of deposited metal type 65H11N3, due to the formation of 15-20 % martensite deformation. At comparable levels microhardness higher wear resistance materials are characterized, the structure of which, along with deformation martensite, there is a relatively plastic austenitic component.

**Keywords:** stamp, structure, abrasion, wear conditions, the weld metal cooling rate, ferrite, martensite, austenite, wear resistance, microhardness.

## References

1. Abrazivnoe iznashivanie. M.M. Hrushhov, M.A. Babichev. M. Nauka, 1970. 251 s.
2. Prognozirovaniye mehanizma i intensivnosti iznashivaniya na osnove ocenki sootnosheniya tverдостей abraziva i iznashivaemogo materiala. Problemi tribologii. 2009. №1. S. 6-12.
3. Dolgovechnost' oborudovaniya ogneupornogo proizvodstva. M.: Metallurgiya, 1978. 232 s.
4. Increasing the Abrasive Wear Resistance of Low-Alloy Steel by Obtaining Residual Metastable Austenite in the Structure. L.S. Malinov, V.L. Malinov, D.V. Burova, and V.V. Anichenkov. Article Journal of Friction and Wear May 2015. Volume 36. Issue 3. pp 237-240.
5. Povyshenie iznosostojkosti naplavlennogo Fe - Cr - Mn-metalla plazmennoj obrabotkoj s polucheniem metastabil'noj struktury. Ja.A. Chejljah, V.V. Chigarev, G.V. Shejchenko, A.P. Chejljah, V. G. Efremenko, K. Shimidzu. Metallofizika i novejshe tehnologii. 2013. 35, № 8. S. 1045-1060.
6. Sposobnost' k samouprochneniju poverhnosti treniya v processe abrazivnogo iznashivaniya i iznosostojkost' stalej v zavisimosti ot sodержaniya ugleroda i hroma. M.I. Andrushhenko, R.A. Kulikovskij, M.Ju. Osipov, A.V. Holod, A.E. Kapustjan. Novi materiali i tehnologii v metalurgii ta mashinobuduvanni. 2014. №1. S. 92-100.
7. Vlijanie ugleroda i hroma na sposobnost' k uprochneniju i iznosostojkost' bekarbidnyh stalej v uslovijah abrazivnogo iznashivaniya. M.I. Andrushhenko, O.Je Ruzov, R.A. Kulikovskij, N.N. Brykov. Problemi tribologii. 2003. №2. S. 112-116.
8. Uprochnenie detalej naplavkoj v sochetanii s nauglerozhivaniem i termicheskoj obrabotkoj. M.I. Andrushhenko, A.V. Holod, M.Ju. Osipov, D.V. Vovk. V kn. "Innovacijni resursozberezhni materiali ta zmichjuval'ni tehnologii". Materiali Mizhnarodnoi nauko-vo-praktichnoi konferencii. Mariupol': PDTU. 2012. S. 214-215.
9. Kaplun V.G. Formirovanie pokrytij na podshipnikovoj stali ShH15 pri ionno-plazmennom azotirovanii i posledujushhej zakalke s otpuskom. V.G. Kaplun, O.V. Zajcev, S.V. Ivashuk i dr. MiTOM. 1990. №9. S. 10-14.
10. Andrushhenko M.I. Sposobnost' k samouprochneniju poverhnosti treniya i iznosostojkost' naplavlennogo metalla v uslovijah abrazivnogo iznashivaniya. M.I. Andrushhenko, R.A. Kulikovskij, S.P.

---

Berezhnyj, O.B. Sopil'njak. Novye materialy i tehnologii v metallurgii i mashinostroenii. Zaporozh'e, 2009. №1. S. 30-37.

11. Naplavochnye materialy stran chlenov SjeV. Kiev – Moskva. 1979. 620 s.
12. Bikovs'kij O.G. Dovidnik zvarnika. O.G. Bikovs'kij, I.V. Pin'kovs'kij./ K.: Tehnika. 2002. 336 s.
13. Procenko N.A. Proizvoditeli svarochnyh materialov, imejushhie sertifikat sootvetstvija v sisteme UkrSepro, vydannyj NTZ "Seproz" (po sostojaniju na 01.07.2008). Svarshhik. 2008. № 4. S. 59-61.
14. Mazel' Ju.A. Klassifikacija splavov na osnove zheleza dlja vosstanovitel'noj i uprochnjajushhej naplavki. Ju.A. Mazel', Ju.V. Kuskov, G.N. Polishhuk. Svarochnoe proizvodstvo. 1999. №4. S. 35-38.
15. Korshunov L.G. Vlijanie marganca na iznosostojkost' margancovistyh metastabil'nyh austenitnyh stalej. L.G. Korshunov, N.L. Chernenko. Trenie i iznos. 1984. T.V, №1. S. 106-112.
16. Gavriljuk V.G. Raspredelenie ugleroda v stali. V.G. Gavriljuk – Kiev Naukova dumka. 1987. 208 s.
17. Hesse O. Zur Festigkeit niedriglegierter Stähle mit erhöhtem Kohlenstoffgehalt gegen abrasive Verschleiß. O. Hesse, J. Merker, M. Brykov, V. Efremenko. Tribologie + Schmierungstechnik. 2013. № 6. S. 37-43.