

УДК 621.78.011; 621.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТВЕРДОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЛИТЫХ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Тилабов Б.К., Эргашалиева С.Д.

Аннотация: В данной статье рассмотрены износостойкие материалы для литых деталей машин и механизмов, используемых в автотракторосельхозмашиностроении. Представлены стальные образцы с износостойким твердосплавным покрытием, полученным путем литья по газифицируемым моделям. Приведены химические составы исследованных различных марок сталей. Проведены испытания на абразивный износ образцов до и после оптимальной термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией. Доказано, что термическая обработка с двойной фазовой перекристаллизацией повышает твердость и износостойкость литых деталей в 2-3 раза по сравнению с серийными изделиями.

Ключевые слова: газифицируемая пеномодель, литые образцы, износостойкие твердосплавное покрытие, термическая обработка с двойной фазовой перекристаллизацией, закалка, отпуск, микроструктура, твердость и абразивная износостойкость деталей.

Введение. Рациональное использование ресурсов является одним из основных условий стабильного существования и развития производственных предприятий в современной конкурентной среде. Особенно остро проблема ресурсосбережения проявляется там, где значительные расходы материалов вызваны интенсивным абразивным изнашиванием деталей машин [1,2]. Вместе с этим наиболее важных задач сельскохозяйственного машиностроения являются повышение эксплуатационных свойств и качеств, а также удлинение сроков службы деталей машин и механизмов [3]. Это требует широкого использования прочных и износостойких материалов на основе твердого сплава типа сормайт ПГ-С27 [4], а также внедрения новых современных технологических методов, улучшающих эксплуатационные свойства и повышающих сроки службы деталей машин и механизмов.

Машины, применяемые в металлургической и автотракторосельхозмашиностроительной отрасли, выходят из строя вследствие интенсивного абразивно-коррозионного или ударно-абразивного износа [5] основных деталей машин и механизмов. Одним из наиболее простых и результативных способов продления жизни детали сельхозмашин является изготовление их из

износостойких твердых сплавов типа сормайт ПГ-С27 путем литья по пенополистироловым газифицируемым моделям [4,6].

В данной статье приводятся материалы по исследованию твердости и абразивной износостойкости конструкционных углеродистых сталей.

Целью настоящей работы является повышения твердости и износостойкости литых стальных деталей машин путем оптимальной термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией.

Как показали исследования, сопротивление металлов абразивному износу зависит, прежде всего, от их химического состава и механического свойства, а также оптимальной термической обработки (закалка и отпуск). При этом износостойкость тесно связана с твердостью структурных составляющих и будет тем выше, чем выше их твердость и чем больше в сплаве твердых составляющих. Поэтому абразивную износостойкость сталей можно существенно повысить, легируя твердые растворы и создавая специальные карбиды M_7C_3 , $M_{23}C_6$ и др.

Имеющиеся данные о твердости и износостойкости различных сталей [7,8] в абразивной среде недостаточны для обобщений, поэтому нам пришлось исследовать различные марки сталей, чтобы на этой основе выявить зависимость между абразивной износостойкостью стали, её химсоставом, свойством и микроструктурой [9,10].

Знание таких закономерностей позволило бы обоснованно выбирать марку стали и назначать оптимальную термическую обработку для деталей машин, работающих в тяжелых условиях абразивного изнашивания.

Методика проведения исследования. Для исследования были выбраны следующие марки сталей: среднеуглеродистые качественные стали 30, 35ГЛ и марганцовистые стали 65Г. Стали для исследования поставлялись в отожженном и закаленном состоянии диаметрами 70x30x15 и 70x35x15 мм.

Химический состав сталей приведен в табл.1. Из всех указанных в ней сталей изготавливались специальные образцы для испытания на абразивный износ. Для этого были выбраны литые образцы из углеродистой стали (30, 35ГЛ), полученные путем литья по пенополистироловым газифицируемым моделям, а также из марганцовистой стали (65Г) и подвергали различным режимам термической обработки (закалка от 900^0 до 1150^0C) и (отпуск от 200^0 до 600^0C).

Таблица 1

Химический состав исследованных сталей

Марка стали	Содержание элементов, в % (не более)						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
среднеуглеродистые стали							

30	0,17- 0,24	0,17- 0,37	0,35- 0,65	0,25	0,25	0,040	0,040
30ГЛ	0,27- 0,34	0,17- 0,37	0,50- 0,80	0,25	0,25	0,040	0,040
марганцовистые стали							
65Г	0,62- 0,70	0,17- 0,37	0,90- 1,20	0,28	0,27	0,040	0,040

Результаты исследований и их обсуждение. Все образцы с твердосплавным покрытием до и после термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией были проверены на абразивную износостойкость [9,11]. Эти образцы по очередности испытывались на абразивное изнашивание на машине трения ПВ-7 с незакрепленным абразивным материалом. Время испытания для каждого образца 30 мин. Для экспериментальных литых образцов с покрытием испытания повторялись 5-6 раз, а для стандартных сталей (образцов) – 6-8 раз. Твердосплавное покрытие резко увеличивает износостойкость: чем больше толщина покрытия, тем меньше величина износа. Результаты испытания абразивного износа образцов из стали 20,25,30 и литого образца 35ГЛ,40ГЛ, а также 65Г до и после термической обработки приведены в табл.2-3.

Таблица 2

Абразивный износ углеродистых сталей

№ п/п	Марка стали	Время испытания, мин	Износ до испытания, г	Износ после испытания, г	Разница износа до и после испытания, г
Абразивный износ среднеуглеродистой стали 30 №4 без покрытия до термообработки					
1.	30	30	141,2263	141,2230	0,0033
2.	30	30	141,2230	141,2202	0,0028
3.	30	30	141,2202	141,2179	0,0023
4.	30	30	141,2179	141,2161	0,0018
5.	30	30	141,2161	141,2148	0,0013
6.	30	30	141,2148	141,2140	0,0000
Абразивный износ среднеуглеродистой стали 35ГЛ №5 с покрытием толщиной слоя 2,0 мм до термообработки					
1.	35ГЛ	30	144,4095	144,4078	0,0017

2.	35ГЛ	30	144,4078	144,4064	0,0014
3.	35ГЛ	30	144,4064	144,4054	0,0010
4.	35ГЛ	30	144,4054	144,4048	0,0006
5.	35ГЛ	30	144,4048	144,4045	0,0003
6.	35ГЛ	30	144,4045	144,4045	0,0000

Продолжение табл.2

Абразивный износ марганцовистой стали 65Г №7* до термической обработки					
1.	65Г	30	144,4494	144,4471	0,0023
2.	65Г	30	144,4471	144,4451	0,0022
3.	65Г	30	144,4451	144,4433	0,0018
4.	65Г	30	144,4433	144,4419	0,0014
5.	65Г	30	144,4419	144,4409	0,0010
6.	65Г	30	144,4409	144,4403	0,0000

Результаты испытания абразивного износа образцов после термической обработки приведены в табл.3.

Таблица 3

Абразивный износ углеродистых сталей

№ п/п	Марка стали	Время испытания, мин	Износ до испытания, г	Износ после испытания, г	Разница износа до и после испытания, г
Абразивный износ среднеуглеродистой стали 30 №4 после термической обработки					
1.	30	30	136,8498	136,8486	0,0012
2.	30	30	136,8486	136,8476	0,0010
3.	30	30	136,8476	136,8468	0,0008
4.	30	30	136,8468	136,8462	0,0006
5.	30	30	136,8462	136,8458	0,0004
6.	30	30	136,8458	136,8456	0,0000
Абразивный износ среднеуглеродистой стали 35ГЛ №5 с покрытием толщиной слоя 2,0 мм после термической обработки					

1.	35ГЛ	30	140,5387	140,5382	0,0005
2.	35ГЛ	30	140,5382	140,5379	0,0003
3.	35ГЛ	30	140,5379	140,5377	0,0002
4.	35ГЛ	30	140,5377	140,5376	0,0001
5.	35ГЛ	30	140,5376	140,5376	0,0000
Абразивный износ марганцовистой стали 65Г №7* после термической обработки					
1.	65Г	30	140,6196	140,6186	0,0008
2.	65Г	30	140,6186	140,6178	0,0006
3.	65Г	30	140,6178	140,6172	0,0003
4.	65Г	30	140,6172	140,6168	0,0001
5.	65Г	30	140,6168	140,6166	0,0000

Как видно из табл. 2-3, проведенные нами испытания на абразивное изнашивание образцов с толщиной слоя обмазки 2,0 мм полностью соответствуют результатам полевых испытаний (табл.4), которые действительно повышают твердость и износостойкость литых деталей машин после термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией в два и три раза [4,11].

На основании выполненных научных исследований для проведения полевых испытаний были изготовлены четыре опытные партии деталей по 20 штук в каждой партии. Первая партия была изготовлена по известной серийной технологии из стали 20, вторая - из стали 35ГЛ без твердосплавных покрытий, третья - из стали 35ГЛ с износостойким твердосплавным покрытием, четвертая - из стали 35ГЛ с износостойким твердосплавным покрытием после оптимальной термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией. Величина абразивного износа натуральных образцов определялась весовым методом, после работы культиватора в течение времени для обработки 150-230 га посевных гектаров. Также определяли относительную износостойкость образцов по сравнению с серийными деталями. Полевые испытания были проведены в различных областях (районах) Республики Узбекистан и получены почти одинаковые результаты (табл.4).

Таблица-4

Результаты полевых испытаний

№	Марки испытуемых деталей	Относительная износостойкость
1.	Серийная сталь 20	1,0
2.	Опытно-экспериментальная сталь 35ГЛ без покрытия	1,3
3.	Опытно-экспериментальная сталь 35ГЛ с покрытием	2,5-3,0
4.	Опытно-экспериментальная сталь 35ГЛ с покрытием после термообработки с двойной фазовой перекристаллизацией	3,5-4,0

В соответствии с поставленной задачей целью исследования являлась разработка технологии получения пенополистироловых моделей и литых деталей с высокой абразивной износостойкостью. Объектом исследований были детали металлургических и почвообрабатывающих машин и механизмов, таких как зубья бороны, наральника, лапы культиваторов, так и роликов металлургического прокатного оборудования, испытывающих интенсивный абразивный износ при скольжении по металлу и почве.

В работе исследуется состав износостойких твердых сплавов типа сормайт. Выбор состава наносимого покрытия производился по двум критериям: 1- покрытие должно отвечать требованию 3–5-кратного увеличения износостойкости по сравнению с износостойкостью стальной основы; 2- покрытие должно включать доступные и недорогие компоненты и отличаться простотой технологией его нанесения. Исходя из этого, в качестве покрытия на рабочей поверхности детали выбрали твердые сплавы типа сормайт марки ПГ-С27. Данный сплав повышает износостойкость и особенно эффективен в условиях абразивного изнашивания. При заливке металла пеномодель выгорает, а поверхность отливки насыщалась углеродом до 0,7% на глубину 0,30 мм. При контакте обмазки из порошков сормайта с жидким металлом происходит образование твердой корочки отливки. Затем обмазка расплавлялась и после кристаллизации на поверхности отливки формировалось износостойкое твердосплавное покрытие с толщиной слоя 2,0-2,5-3,0 мм и со структурой [9] высоколегированного сплава эвтектического и заэвтектического состава (рис.1,а,б,в). В результате термообработки поверхностный слой должен иметь структуру мелкоигольчатого мартенсита (рис.1,г) с мелким карбидом или

изолированных участков наименьшего количества остаточного аустенита. Более явно видно твердосплавных сормайттовых покрытий на рабочей поверхности специально вырезанных образцов (рис.1,д) и литых деталей машин с твердостью HRC58-61.

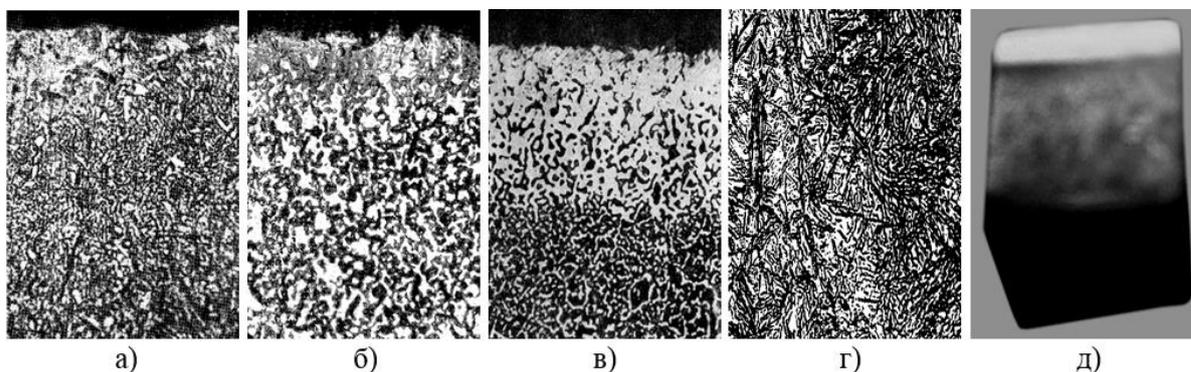


Рис.1. Микроструктура литых стальных образцов, полученных с износостойким твердосплавным покрытием с толщиной слоя: а-2,0 мм; б-2,5 мм; в-3,0 мм; г-структура мелкоигльчатого мартенсита X500; д-стальной образец с износостойким твердосплавным покрытием типа сормайт ПГ-С27 с толщиной слоя 2,0 мм.

Таким образом, на рабочей поверхности формировалась многослойная композиция, состоящая из высоколегированного слоя сплава заэвтектического и эвтектического состава, переходящего по глубине в зоны заэвтектоидной и эвтектоидной стали и основного металла стали 35ГЛ. Для проверки поверхностной толщины слоя отливки взяли готовую деталь с износостойким твердосплавным покрытием, вырезали кусок шлифа для макро - и микроисследования, затем его отшлифовали и отполировали, а потом промыли и травили специальным травителем для выявления поверхностного твердосплавного покрытия толщиной слоя 2 и 3 мм.

Выводы. Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что самым эффективным способом повышения абразивной износостойкости является нанесение на рабочие поверхности изделия твердосплавного покрытия при литье по газифицируемым моделям. Термическая обработка твердосплавного покрытия из высокохромистого твердого сплава типа сормайт, проведенная с двойной фазовой перекристаллизацией, формирует оптимальную структуру с высокой плотностью дислокаций, дисперсными вторичными и скоагулированными первичными карбидами. Из приведенных данных видно, что термическая обработка с двойной фазовой перекристаллизацией повышает [10] абразивную износостойкость и долговечность литых деталей машин в 2-3 раза

выше по сравнению с серийными изделиями. Данная технология внедрена в АО «Узметкомбинат» с хорошим экономическим эффектом.

Литература

1. Брыков М.Н., Ефременко В.Г., Ефременко А.В. Износостойкость сталей и чугунов при абразивном изнашивании. – Херсон.: Издатель Гринь Д.С., 2014. - 364 с.
2. Ткаченко Ф.К., Рубец А.С. Особенности разрушения поверхности сплавов при абразивно-коррозионном изнашивании. – М.: Металлургия, 2009. №11. - С.280-287.
3. Ткаченко Ю.С. Повышение долговечности деталей, работающих в условиях изнашивания в коррозионных средах, методом низкотемпературной нитроцементации. – Воронеж.: Вестник Воронежской государственной технической университет, 2007. Т3. №11. - С.133-137.
4. Тилабов Б.К. Износостойкость наплавочного твердого сплава типа ПГ-С27 с метастабильным аустенитом и мартенситом // Республиканский межвузовский сборник научных трудов. – Ташкент.: ТашГТУ, 2011. Вып.1. - С.359-362.
5. Махкамов К.Х. Ударно-абразивный износ деталей машин. – Т.: ТашГТУ, 2013. - 223 с.
6. Кирпиченков В.П. Технологический процесс литья по газифицируемым моделям. – М.: НИИМАШ, 2006. - 224 с.
7. Гамольская З.М., Гутерман В.М. Износостойкость сталей в условиях гидроабразивного износа. – М.: Машгиз, 1986. - 179 с.
8. Гудремон Э.Г. Специальные стали. Т.1,2. – М.: Металлургиздат, 1989. - 237 с.
9. Тилабов Б.К., Мухамедов А.А. Микроструктура и механические свойства литых металлокомпозиционных материалов и их применение в машиностроении // Материалы научно-технической конференции с участием зарубежных ученых. ГУП, «Фан ва тараққийёт» 27-27 июня 2008 г. – Ташкент, 2008. - С.101-103.
10. Tilabov B.K. Wear resistance of constructional materials and structure of the built-up firm alloys // Science, Technology and Higher Education. Materials of the X International research and practice Conference. April 28-29, 2016. Westwood. – Canada, 2016. - P.180-187.
11. Mukhamedov A.A. Heat treatment with double phase recrystallization for improving service properties of machine parts and tools // Heat treatment and technology of surface coating. Materials of the Congress. Vobume v. MOTO. December 11-14. – Moscow, 2009. - P.38-39.

12. Tilabov B.Q. Innovative technologies for manufacturing foam models and cast steel parts of harrow tooth with wear-resistant carbide coating by casting on gasifiable models and their optimal thermal treatment // The American journal of engineering and technology. – America.: USA, 2021. №5. - P.95-102.

Сведения об авторах

1. **Тилабов Баходир Курбанович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» факультета энергетика и машиностроения Алмалыкского филиала Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова.

Домашний адрес: 100047, г. Ташкент, Яшнабадский район, улица С.Машхадий д.4.

Моб. тел.: (+ 998 90) 959-29-59.

Служебный адрес: 1001233, Таш. обл. г. Алмалык, улица М.Улугбека, 45.

2. **Эргашалиева Сарвиноз Дилмуродовна**, одарённая студентка 2-курса кафедры «Технология машиностроения» факультета энергетика и машиностроения Алмалыкского филиала Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова.

Домашний адрес: 110200, Таш. обл. г. Ангрен, улица Янгиабадский проезд, д.18.

Моб. тел.: (+ 998 93) 621-01-03.

Служебный адрес: 1001233, Таш. обл. г. Алмалык, улица М.Улугбека, 45.

РЕЦЕНЗИЯ

на статью Б.К.Тилабова и С.Д.Эргашалиева по теме «Перспективные пути повышения твердости и износостойкости литых стальных деталей машин».

В статье посвящены актуальной задаче технологии изготовления литых стальных деталей различных машин и механизмов путем литья по пенополистироловым газифицируемым моделям (ППГМ). Это задача решается автором с многолетним опытом для создания износостойких твердосплавных покрытий на рабочей поверхности литых стальных деталей машин.

Разработаны составы твердосплавных покрытий типа сормайт ПГ-С27, а также технология изготовления и нанесения на рабочей поверхности при получении литых деталей различных машин и механизмов на примере лап культиваторов путем литья по ППГМ.

В работе приведены материалы по исследованию абразивной износостойкости среднеуглеродистых и марганцовистых сталей. Готовые образцы с износостойким твердосплавным покрытием до и после термической

обработки с двойной фазовой перекристаллизацией был испытан на абразивную износостойкость на машине трения ПВ-7 и получен положительные результаты испытаний.

Изготовленные по предлагаемым технологическим режимам опытные партии лап культиваторов детали с литыми твердыми сплавами показали, что стабильность уплотнения и увеличения износостойкости по сравнению с серийными 1,5-2,0 раза, а после термической обработки с двойной закалки износостойкость повышает в 2,5-3,0 раза. Это достигается при использовании оптимальных режимов термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией.

Представленные в статье материалы имеют большое теоретическое и практическое значения. В связи с вышеуказанным считаю, что рассматриваемая статья может быть опубликована в открытой печати в журнале «.....».

Рецензент:

**д.ф (PhD) по техническим наукам
начальник учебной части АФ ТГТУ**

доц. Юсупов А.А.