

Министерство образования Украины  
ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

**БИЛЯРЧИК ЕВГЕНИЙ РОМАНОВИЧ**

**ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР  
МАШИН ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ**

Специальность 05.02.01 – Материаловедение в  
машиностроении (промышленность)

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических  
наук

Харьков – 1996



00752202 (1)

Работа выполнена в Харьковском государственном  
автомобильно-дорожном техническом университете.

Научные руководители – кандидат технических наук,  
профессор СОЛНЦЕВ Л.А.

– доктор технических наук  
ТИМОФЕЕВА Л.А.

Официальные оппоненты – доктор технических наук  
ЭМИЙ В.И.

– кандидат технических наук  
ЖАБОТИНСКИЙ Н.П.

Ведущее предприятие – АО "Днепропетровский завод прокатных валков"

Защита состоится "28" июля 1996 г. в 14<sup>00</sup> ч.

на заседании специализированного совета К 02.17.01 при  
Харьковском государственном автомобильно-дорожном техническом  
университете по адресу:

310078, г. Харьков, ул. Петровского, 25, ХГАДТУ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ХГАДТУ

Автореферат разослан "28" мая 1996 г.

Ученый секретарь специализированного  
совета, кандидат технических наук,

*А.В. Космин*

А.В. КОСМИН

ЛННБ ім. В. Стефаника  
АН України

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Литье под давлением (ЛПД) является одним из наиболее высокопроизводительных процессов получения отливок. В последние годы наблюдаются тенденции к расширению номенклатуры отливок, их габаритных и весовых ограничений. Новейшие достижения в теории и практике ЛПД позволяют усложнять конструкции отливок, получаемых этим методом. Современными направлениями в развитии машин ЛПД являются: наращивание производительности, универсальность конструкции, повышение давления и скорости прессования металла, полная автоматизация при повышении надежности и долговечности технологической оснастки. Особое место при этом занимает ресурс плунжерных пар, в связи с чем остро встает проблема экономии дорогостоящих и дефицитных инструментальных сталей, бронз, которые используются для их изготовления. Попытки использования нелегированного серого чугуна были крайне неудачными, поэтому проблема достижения достаточной стойкости плунжерных пар без применения остродефицитных материалов остается постоянно актуальной.

Цель и задачи исследования. Целью настоящей работы является научно обоснованный выбор состава, структуры и технологии получения материала прессующих поршней, включая термическую и химико-термическую обработку, обеспечивающих надежность и долговечность плунжерных пар машин ЛПД.

В связи с этим в ходе исследований решались задачи:

- научно обоснованный выбор недорогого и недефицитного материала прессующих поршней, обеспечивающего повышение стойкости плунжерных пар машин ЛПД;
- обоснование возможности и разработка технологических основ изготовления прессующих поршней машин ЛПД из выбранного материала;
- выбор и обоснование способа плавки чугуна, предназначенного для изготовления пресс-поршней;
- обоснование выбора и применения способов термического и химико-термического воздействия на структуру и свойства выбранного материала;
- уточнение представлений о механизме формирования окислегированных покрытий на выбранном материале;
- проведение сравнительных производственных испытаний чугунов различных видов в условиях работы плунжерных пар машин ЛПД.

Научная новизна. Установлено решающее влияние формы графита на стойкость чугуна в условиях работы пресс-поршней машин ЛПД.

Уточнены представления о кинетике процесса науглероживания чугуна в индукционных печах.

Уточнен механизм формирования окислегированных покрытий на перлито-карбидо-графитном чугуне с шаровидным графитом, учитывающий влияние этого графита.

Установлено протекание графитизации цементита в поверхностном слое ЧШГ под влиянием окислительно-восстановительной атмосферы процесса окислегирования.

Достоверность результатов подтверждается применением методов математической статистики для обработки экспериментальных данных, использованием современных приборов и оборудования, промышленной проверкой результатов исследований.

Практическая ценность. Показана возможность использования экономнолегированного ЧШГ в условиях работы плунжерных пар машин ЛПД; при трении скольжения с ограниченной смазкой, в контакте с расплавами алюминия.

Обоснована возможность и разработаны технологические основы изготовления прессующих поршней машин ЛПД алюминиевых сплавов с холодной камерой прессования из отходов вальцелитейного производства - элементов сифонной литниково-питающей системы отливок валков из ЧШГ.

На основе промышленных испытаний установлена оптимальная структура чугуна и метод её получения для прессующих поршней, что позволило увеличить их стойкость в 2-3 раза, а при использовании окислегированных покрытий дополнительно на 15% при одновременном уменьшении расхода смазки на 12,5% и сохранении максимальной стойкости наполнительных стаканов из легированной стали.

Результаты работы внедрены на Харьковском машиностроительном заводе "ФЭД". Экономический эффект от внедрения составил 26,4 млн. крб. на одну машину ЛПД в ценах ноября 1994 г.

Основные положения работы, выносимые на защиту:

- доказанная возможность использования экономнолегированного ЧШГ в качестве материала плунжерных пар машин литья под давлением;

- целесообразность применения дуплекс-процесса плавки: пламенная печь - ИЧТ-6 для получения ЧШГ и результаты расчетов коэффициента массопередачи углерода в тигле индукционной печи;

- представления о механизме формирования окислегированных покрытий на перлито-карбидо-графитном ЧШГ;

– выявленные особенности графитизации карбидов в чугунах под действием перегретого пара водных растворов солей;

– комплексная обработка (отжиг и окислегирирование) отбеленного ЧШГ и эффективность её использования с целью повышения антифрикционных свойств;

– результаты сравнительных производственных испытаний пресс-поршней из чугунов разных видов.

Апробация работ. Результаты работы докладывались на научно-технических советах и конференциях по качеству ГП ХМЗ "ФЭД" (1994, 1995, 1996 гг.), научных конференциях в Харьковском государственном автомобильно-дорожном техническом университете, VII научно-технической конференции "Неметаллические включения и газы в литейных сплавах" (г. Запорожье, 1994 г.), Всеукраинской научно-технической конференции "Повышение физико-механических и служебных свойств чугунов в отливках путем их легирования, модифицирования, термической и высокоэнергетической обработки" (г. Киев, 1995 г.).

Публикации. Основное содержание диссертационной работы изложено в 6 публикациях.

Объем работ. Диссертационная работа состоит из введения, 6 разделов, выводов и рекомендаций, изложена на 103 с. машинного текста, содержит 12 таблиц, 32 рисунка, приложение. Перечень ссылок включает 116 названий.

### СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Плунжерная пара машин ЛПД состоит из камеры прессования (наполнительного стакана) и прессующего поршня. Она выполняет функции запрессовки металла в полость пресс-формы и работает в условиях контакта с жидкими сплавами, скорости скольжения до 80 м/с при выгорании смазки. Основной причиной выхода из строя плунжерных пар является механический износ. Наиболее тяжелые условия изнашивания плунжерных пар наблюдаются при литье алюминиевых сплавов, когда в рабочий зазор между поршнем и камерой прессования попадают пленки оксида алюминия, что приводит к появлению абразивного изнашивания.

Повышение стойкости плунжерных пар машин ЛПД связано с увеличением ресурса работы быстроизнашиваемой детали – прессующего поршня, который, в отличие от камеры прессования, подвергается ударным нагрузкам и находится в длительном контакте с прессуемым металлом.

В качестве материалов пресс-поршней машин ДПД с холодной камерой прессования используются стали 3Х2В8Ф, 4Х5МФС, 3Х3М3Ф, бронзы или серый чугун. Чугун является самым дешевым и недефицитным материалом, а также позволяет значительно повысить стойкость наполнительных стаканов, изготавливаемых из дорогих инструментальных сталей. Однако стойкость поршней из серого чугуна крайне низкая; в условиях Харьковского машиностроительного завода "ФЭД" она составляет до 900 запрессовок.

Решение задачи повышения стойкости пресс-поршней возможно за счет разработки и внедрения в производство недорогого и недефицитного материала, основные требования к которому включают в себя: износостойкость и задиростойкость в условиях ограниченной смазки при трении скольжения со скоростью до 80 м/с.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР ЧУГУНА ДЛЯ ПРЕСС-ПОРШНЕЙ

Исследование пресс-поршней из СЧ20 показало, что основными причинами их низкой стойкости являются феррит и междендритный графит в рабочем слое. Структура рабочего слоя имеет низкую твердость (165 НВ) и обладает недостаточной износостойкостью.

Для устранения причин низкой стойкости серого чугуна применяли экономное легирование и модифицирование. Легирование осуществляли с целью получения в структуре чугуна однородной перлитной матрицы и до 5% избыточных карбидов, что обеспечивалось при вводе до 0,5% Cr и до 1,0% Ni. Для предотвращения образования междендритного графита использовали модифицирование чугуна ферросилицием ФС75. Применение экономнолегированного модифицированного серого чугуна позволило увеличить стойкость пресс-поршней до 1300 запрессовок, что явилось предельным результатом для чугуна с пластинчатым графитом.

В результате изучения характера разрушений чугуна установили, что для повышения стойкости чугуна в условиях работы плунжерных пар необходимо повысить его твердость, уменьшить суммарную площадь поверхности графитных включений и повысить механические свойства. Это может быть достигнуто при формировании в чугуне шаровидного графита.

Вместе с тем, для достижения максимального уровня износостойкости в условиях ограниченной смазки необходимо формирование в ЧМГ структуры, отвечающей принципу Шарпи для антифрикционных материалов; равномерно распределенные износостойкие включения в относительно пластичной матрице. В большой степени этому принципу соответствует структура по-

ловинчатого ЧГГ: шаровидный графит, перлитная матрица, избыточные карбиды.

При выборе состава ЧГГ для пресс-поршней выявили, что близкими к материалу пресс-поршней условиями работы характеризуются валковые чугуны. Высокая температура (до 1200 °С) прокатываемой заготовки и охлаждение работающих калибров водой обуславливает достаточно тяжелые термические условия работы. Температура поверхностного слоя калибра валка колеблется в пределах 650–800 °С, т.е. соответствует температуре поверхностей деталей, контактирующих с алюминиевым расплавом. Термоциклирование, возникающее в результате водяного охлаждения калибров, ставит более жесткие требования к термостойкости валкового чугуна, по сравнению с чугуном для пресс-поршней, так как величина температурного градиента и частота термосмен поверхностного слоя валков значительно превосходят эти параметры для деталей прессующих пар.

Валковые чугуны характеризуются сухим трением по стали и ударными нагрузками, возникающими в процессе захвата стальной заготовки. Максимальное усилие на сортопрокатные валки составляет 280 т, в то время как усилие прессования, развиваемое современными машинами ЛПД с холодной горизонтальной камерой прессования и, следовательно, воздействующее на детали камеры прессования, не превышает 220 т.

Структура рабочего слоя сортопрокатных валков исполнения СМХН (ТУ 14-2-799-88) представляет собой перлито-карбидо-графитную смесь и отвечает основным требованиям, предъявляемым к структуре чугуна пресс-поршней.

Учитывая многолетний опыт вальцелитейного производства по получению половинчатых экономнолегированных чугунов и близкие условия работы чугунных валков и плунжерных пар, нами предложено использовать в качестве материала пресс-поршней чугуны по составу, аналогичный валковым чугунам с шаровидным графитом: 2,8–3,2% С; 1,5–2,6% Si; 0,5–0,6% Mn; 0,2–0,4% Cr; 0,8–1,2% Ni; S – не более 0,02%; P – не более 0,3%.

С целью снижения себестоимости литых заготовок для изготовления пресс-поршней исследовали возможность применения в их качестве отходов вальцелитейного производства – элементов сифонной литниково-питающей системы валков. Установлено, что структура чугуна в питателях мелко-сортовых прокатных валков, получаемых в сифонном припасе, практически идентична структуре чугуна в рабочем слое таких валков (полное соответствие структуры чугуна в питателях структуре рабочего слоя валков достигается при содержании углерода не менее 3,0%). Кроме того, досто-

инством таких заготовок является отсутствие пригара и дефектов усадочного происхождения из-за большого гидростатического давления жидкого металла при высоте литейной формы 3,5-5,0 м. Поэтому в качестве заготовок для изготовления прессующих пориней предложено использовать отходы вальцелитейного производства - питатели мелкосортных прокатных валков из ЧШГ, получаемые в сифонном припасе.

### ПЛАВКА ЧУГУНА

Большое влияние на соотношение между карбидо-графитными фазами в структуре чугуна оказывает содержание углерода. Получение необходимой структуры и твердости ЧШГ в питателях валков обеспечивается при содержании углерода не менее 3,0%. Из-за большого угара углерода в пламенных печах это условие трудновыполнимо. Кроме того, высокий перегрев чугуна в пламенной печи, необходимый для глобуляризирующего модифицирования, связан с резким увеличением времени плавки и, следовательно, расхода энергоносителей. Использование же индукционной плавки ограничивается большой металлоемкостью форм, что приводит к отсутствию "болота" и неэкономичному "холодному" старту печей промышленной частоты. Для устранения указанных недостатков плавильной кампании был использован дуплекс-процесс плавки чугуна: пламенная печь - ИЧТ-6.

Для повышения содержания углерода до 3,0-3,2% проводили науглероживание чугуна в индукционной печи. Несмотря на интенсивное электромагнитное перемешивание металла, процесс науглероживания является не только продолжительным, но и зачастую малоэффективным. С целью определения условий ускоренного науглероживания исследовали особенности процесса растворения карбуризатора при доводке чугуна в ИЧТ.

Нами установлено, что растворение частицы карбуризатора шаровидной формы описывается уравнением:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{\beta \cdot (C_n - C)}{C_t} \quad (1)$$

где  $r$  - радиус частицы карбуризатора, м;

$t$  - время, с;

$\beta$  - коэффициент массопередачи углерода, м/с;

$C_n$  - концентрация насыщения углерода в чугуне, кг/м<sup>3</sup>;

$C$  - текущая концентрация углерода в чугуне, кг/м<sup>3</sup>;

$C_t$  - концентрация углерода в частице карбуризатора, кг/м<sup>3</sup>.

Анализ уравнения (1) показывает, что скорость растворения частицы карбуризатора (и, соответственно, скорость науглероживания) для одного и того же начального состава чугуна определяется величиной коэффициента массопередачи углерода  $\beta$ . Нами установлено, что основное влияние на коэффициент  $\beta$  при растворении карбуризатора в индукционной печи оказывает температура чугуна и размер частиц карбуризатора (рис. 1).

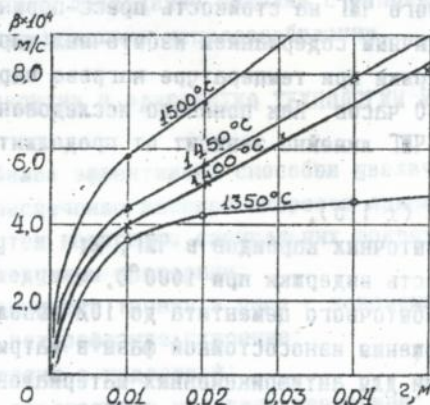


Рисунок 1 - Влияние размера частиц карбуризатора (электродного боя) и температуры на коэффициент массопередачи углерода в чугуне, содержащем 2,8% С и 1% Si

Необходимая при плавке дуплекс-процессом скорость науглероживания, обеспечивающая прирост содержания углерода в чугуне на 0,2-0,3% за 30-40 мин., достигается при температуре чугуна выше 1400°C и использовании карбуризатора фракции 30-50 мм.

#### ВЫБОР РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПРЕСС-ПОРШНЕЙ ИЗ ЧУГ

Принятая технология получения ЧУГ для пресс-поршней обеспечивает содержание избыточной карбидной фазы в литой заготовке на уровне 20%. Исследование стойкости пресс-поршней из ЧУГ в литом состоянии показало, что при таком содержании избыточных карбидов в структуре чугуна обладает неудовлетворительными антифрикционными качествами вследствие невыполнения условия изолированного расположения износостойкой фазы в

матрице. Поэтому для понижения содержания избыточных карбидов и повышения степени графитизации ЧШГ применяли отжиг. В задачи отжига входило получение в структуре ЧШГ оптимального количества избыточных карбидов и сохранение перлитной матрицы, что обеспечивалось при одностадийном высокотемпературном отжиге. Температура нагрева с учетом точки  $A_{с1}^K$  и низкого легирования чугуна  $Cr$  выбрана равной  $1000^\circ C$ .

Для того, чтобы установить влияние количества износостойкой фазы в структуре перлитного ЧШГ на стойкость пресс-поршней требовалось получить чугуны с различным содержанием избыточных карбидов, поэтому продолжительность выдержки при температуре нагрева варьировалась и составляла 3,5, 4,5 и 6,0 часов. Как показало исследование, содержание избыточных карбидов в ЧШГ линейно зависит от продолжительности выдержки:

$$K = 20,7 - 2,4 \cdot T \quad (\pm 1,5), \quad (2)$$

где  $K$  - количество избыточных карбидов в ЧШГ, %;

$T$  - продолжительность выдержки при  $1000^\circ C$ , ч.

При содержании избыточного цементита до 10% выполняется условие изолированного расположения износостойкой фазы в матрице, т.е. чугун отвечает принципу Шарпи для антифрикционных материалов.

Установлено, что оптимальным является 7-10% содержание избыточных карбидов в ЧШГ (твердость 42-44 HSh), при котором стойкость пресс-поршней достигает 2700 запрессовок (рис. 2).

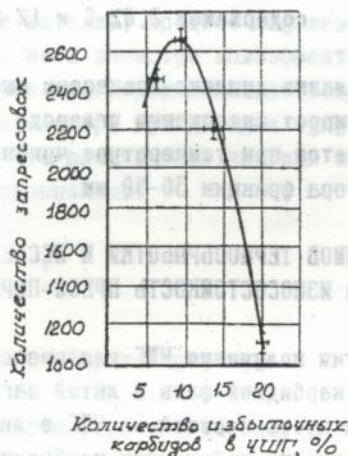


Рисунок 2 - Влияние количества избыточных карбидов на стойкость пресс-поршней из экономнолегированного ЧШГ

Предполагалось, что повышение стойкости может быть достигнуто путем повышения твердости чугуна за счет закалки с отпуском. Учитывая, что температура эксплуатации пресс-поршней составляет  $450^{\circ}\text{C}$ , стабилизирующий отпуск после закалки проводили при температуре  $500^{\circ}\text{C}$ .

В результате отпуска была получена структура феррито-карбидной смеси, ориентированной по границам бывших мартенситных игл (твердость 56 HSh). Однако это не привело к дополнительному повышению стойкости пресс-поршней. Поэтому проведение закалки с отпуском как средство повышения стойкости было признано нецелесообразным.

### ВЫБОР ПОКРЫТИИ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИХ НАНЕСЕНИЯ

Одним из наиболее эффективных способов увеличения ресурса пар трения является обеспечение высокой скорости приработки. Это может быть достигнуто путем нанесения специальных покрытий. Такие покрытия должны отвечать следующим критериям:

- низкий коэффициент трения в паре с закаленной сталью;
- пористое и гетерофазное строение;
- хорошая адгезия с подложкой;
- отсутствие отслоения в условиях термосмен;
- предотвращение адгезии между прессуемым металлом и ЧМГ.

В наибольшей степени этим критериям удовлетворяют оксидные покрытия шпинельного типа, легированные серой и молибденом.

Покрытия получали путем обработки отожженного ЧМГ в атмосфере перегретого водяного пара 3-2-го водного раствора тиосульфата натрия и 5-2-го водного раствора молибдата аммония. Требуемый шпинельный фазовый состав и необходимая толщина покрытия обеспечивались обработкой при температуре  $570^{\circ}\text{C}$  в течение 40 мин.

В результате исследований было выявлено, что покрытия имеют слоистое строение (рис. 3). Толщина оксидного слоя, полученного при обработке в атмосфере перегретого пара 5-2 водного раствора молибдата аммония, составляет 12 - 13 мкм, а полученного в тех же условиях на основе 3-2 водного раствора тиосульфата натрия - 10 мкм.

Фазовый состав покрытий представлен магнетитом, шпинелями,  $\alpha$ -Fe, графитом, сложными оксидами типа  $\text{Fe}_x\text{Z}_y\text{O}_z$ , солями. В покрытии на основе тиосульфата натрия обнаружены гидролизованный сульфат железа, двойная соль  $\text{Na}_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ , натриевые соли пероксодвухсерной и надсерной кислот.



Рисунок 3 – Микроструктура окислегированных покрытий на ЧФГ, травл.,  $\times 1350$ ;

а – покрытие, полученное в атмосфере перегретого пара 5% водного раствора молибдата аммония; б – покрытие, полученное в атмосфере перегретого пара 3% водного раствора тиосульфата натрия

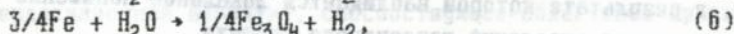
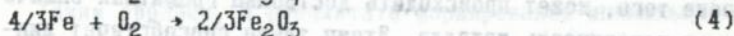
В покрытии на основе молибдата аммония молибден образует с железом оксиды типа  $FeMoO_4$ , а также соединения типа  $Fe_xMo$ . В незначительных количествах встречаются модификации оксида  $Fe_2O_3$ .

Многослойное строение окислегированных покрытий может быть объяснено наличием двух параллельно протекающих процессов: переноса кислорода, элементов и соединений насыщающей среды в глубь металла и встречной диффузии ионов железа и легирующих элементов чугуна в обратном направлении. Поэтому в результате первого процесса происходит продвижение фронта диффузии кислорода и других элементов газовой фазы в глубь металла с формированием слоя 1 (рис. 3), образующегося по механизму внутреннего окисления за счет металлической матрицы. Результатом протекания второго процесса является формирование слоёв 2 и 3, образующихся по механизму наружного окисления. В формировании слоя 3 (рис. 3) участвует также осаждающаяся из газовой фазы исходная соль (растворенное вещество). При этом соль, в зависимости от своей химической активности, может вступать во взаимодействие с оксидными фазами 2 и 3 слоёв, диффундирующими к формирующейся поверхности раздела "газ-покрытие" элементами металлической матрицы и газовой фазой. В результате химических реакций, протекающих в слое 3, в нем может возникать подслой 3.1 (рис. 3).

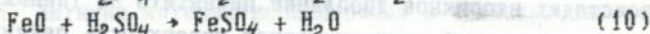
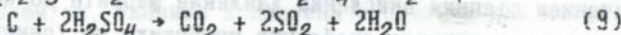
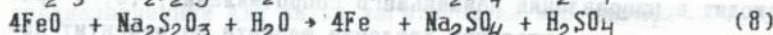
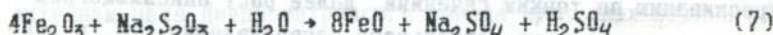
Графит чугуна, хотя и является "прозрачным" для газовой атмосферы, активно участвует в формировании покрытия, о чем свидетельствует

изменение в прилегающих к нему областях соотношения между толщинами слоев, оксидными фазами и наличие большого количества мелкого шаровидного графита. Здесь наружный слой 3 существенно расширяется, а средний слой 2 - сужается, либо отсутствует вовсе.

Для объяснения особенностей морфологии окислегированных покрытий на перлито-карбидо-графитном ЧМГ использовали термодинамический анализ, который показал, что формирование основных слоев покрытия возможно за счет следующих химических реакций:



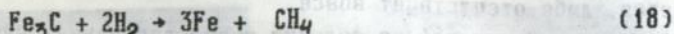
а формирование подслоя 3.1 в покрытии на основе тиосульфата натрия определяется восстановительными способностями соли, что инициирует реакции:



Установлено, что под действием атмосферы процесса окислегирования в поверхностном слое чугуна происходит распад цементита, а также сфероидизация эвтектоида. В результате взаимодействия чугуна с насыщающей средой в покрытии выделяется шаровидный графит. Термодинамический анализ показал, что графитизация цементита возможна не только в результате взаимодействия цементита с газами-окислителями, как это считается в настоящее время:



но и в результате взаимодействия цементита с газами-восстановителями:



Для формирования графитных включений необходимы зародыши, в роли которых могут выступать поры или химические соединения, образующиеся в покрытии. Кроме того, может происходить достройка графитных включений, выходящих на поверхность металла. Этому также способствует дивация кремния, в результате которой наблюдается локальное повышение его концентрации вокруг выделений шаровидного графита.

Показано, что в слоях покрытия, образованных по механизму внутреннего окисления, происходит сфероидизация цементита эвтектоида. В результате окисления феррита, сопровождающегося значительным увеличением объема, цементитные пластины оказываются сдавленными, что приводит к их растрескиванию по тонким сечениям. Далее рост окисляющегося феррита происходит в направлении наименьшего сопротивления, т.е. в трещины. С увеличением степени окисления давление феррита на цементит возрастает, происходит вторичное дробление цементита по тонким сечениям и т.д. Кроме того, при дроблении суммарная поверхность цементита резко увеличивается, интенсифицируются как процессы вовлечения его в химические реакции, так и диффузионные процессы, что способствует его активному распаду.

Показано, что при окислении молекулы растворенного в воде вещества осаждаются на поверхности, либо экранируя её, что замедляет рост внешних оксидных слоев, либо вступая во взаимодействие с оксидными фазами, что приводит к нарушению классического параболического закона роста, либо не оказывая заметного влияния на процесс роста. Поэтому для окисленных покрытий предложено следующее уравнение для определения толщины нарастающих слоев:

$$x^2 = K \cdot A \cdot \exp(-Q/RT), \quad (21)$$

где  $x$  - толщина слоя;

$K$  - эмпирический коэффициент;

$A, Q$  - постоянные;

$R$  - универсальная газовая постоянная;

$T$  - абсолютная температура.

Эмпирический коэффициент  $K$  характеризует химическую активность растворенного вещества. Для экранирующей соли  $K$  меньше 1, для индифферентной (молибдат аммония) – равен 1, а для химически активной – может принимать значения как больше, так и меньше 1 ( $K=0,85$  для тиосульфата натрия).

Между тем, осаждение растворенного вещества практически не влияет на рост слоев, образованных по механизму внутреннего окисления, что объясняется не прямым окислением чугуна из печной атмосферы, а диффузией окислителя внутри оксидной пленки (от гематита к виститу).

Таким образом, в результате формирования шпинельных фаз, частичной графитизации карбидов поверхностного слоя чугуна, формируется твердосмазочное покрытие, способствующее облегчению приработываемости и повышению износостойкости ЧШГ.

#### ПРОМЫШЛЕННОЕ ОПРОБОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Плавку чугуна и литье заготовок прессующих поршней проводили в литейном цехе Днепропетровского завода прокатных валков (ДЗПВ). Металл, предназначенный для литья заготовок из хромоникелевого чугуна с пластинчатым графитом, плавил в пламенной печи, а для литья валков исполнения СШХН, литники которых использовали в качестве заготовок для изготовления поршней из хромоникелевого ЧШГ, дуплекс-процессом: пламенная печь – ИЧТ-6.

Для науглероживания чугуна в печи ИЧТ-6 использовали электродный бой или пековый кокс фракций 30–50 мм, которые вводили в чугун при температуре выше  $1400^{\circ}\text{C}$ , что позволяло поднимать содержание углерода с 2,8–3,0% до 3,1–3,2% за 30–40 мин.

При производстве опытных отливок глобуляризирующее модифицирование проводили в ковше железо-кремний-магниевого лигатурой МГ-5 (ТУ 14-5-134-86) при температуре  $1360\text{--}1370^{\circ}\text{C}$ . Расход лигатуры составлял 2,0–2,5%.

Графитизирующее модифицирование серого хромоникелевого чугуна для пресс-поршней проводили в ковше дробленным ферросилицием ФС75 в количестве 1,5–2,0%. Литые заготовки получали в 12-ти местной сухой песчано-глинистой форме.

Прессующие поршни из чугуна с пластинчатым графитом изготавливали из литой заготовки, а прессующие поршни из ЧШГ – из питателей валков исполнения СШХН диаметром 60 мм в литом и термообработанном состо-

янии. Химический состав, твердость и микроструктуру чугуна определяли на темплетях, отрезанных от отливок (табл. 1).

Таблица 1 - Химический состав и твердость опытных литых заготовок

Исполнение пресс-поршней	Массовая доля химических элементов, Z							Твер- дость, HSh
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	
СЧ, модифициров. ФС75	2,96	2,46	0,62	0,150	0,015	0,35	0,89	35
экономнолегиро- ванный ЧШГ	3,06	2,08	0,69	0,153	0,011	0,53	0,95	54
	3,09	1,93	0,92	0,160	0,010	0,49	0,90	56
	3,19	1,86	0,64	0,183	0,008	0,34	0,85	56
	3,27	1,63	0,61	0,169	0,014	0,37	0,71	56

Испытания проводили на ХМЗ "ФЭД", для чего изготовление и термическую обработку пресс-поршней проводили там же по регламенту:

- отжиг заготовок;
- порезка заготовок;
- механическая обработка до чистовых размеров.

Химико-термическую обработку прессующих поршней осуществляли после окончательной механической обработки. Для получения окислегирированных покрытий использовали герметизируемую шахтную печь для окислегирирования.

Эксплуатационные испытания опытных прессующих поршней проводили на машинах для литья под давлением алюминиевых сплавов с холодной горизонтальной камерой прессования С100 250/25-В2 при литье сплава АК12 ГОСТ 1585-89, рабочем диаметре камеры прессования 50 мм и постоянной номенклатуре отливок. Прессующие поршни работали без жидкостного охлаждения. В качестве критерия стойкости прессующего поршня принимали количество запрессовок, при которых ещё получались годные отливки.

Пресс-поршни из ЧШГ без покрытия прирабатывали путем постепенного повышения скорости прессования в течение 20-25 запрессовок после выхода плунжерной пары на установившийся тепловой режим.

Установлено, что переход от пластинчатого графита к шаровидному позволяет получить выигрыш в стойкости прессующих поршней для чугунов одного и того же состава и с идентичной матрицей более, чем в 2,0 раза (1260-1300 и 2600-2700 запрессовок, соответственно). В то же время в условиях работы прессующих поршней стойкость экономнолегированного перлитного ЧШГ с оптимальным (7-10%) содержанием карбидной фазы в 3,0-3,2 раза выше, чем СЧ20.

Применение окислегированных покрытий на экономнолегированном перлитном ЧШГ позволило исключить период приработки поршней после выхода плунжерной пары на установившийся тепловой режим и увеличить их стойкость до 3100 запрессовок при одновременном уменьшении расхода смазки на 12.5%, сохранении максимального ресурса наполнительных стаканов из легированной стали и максимальной производительности машин ЛПД.

Результаты испытаний явились основанием для внедрения окислегированного ЧШГ в качестве материала пресс-поршней машин ЛПД алюминиевых сплавов с холодной камерой прессования. Внедрение результатов работы на ХМЗ "ФЭД" позволило получить годовой экономический эффект в 26.4 млн. крб. на одну машину ЛПД в ценах ноября 1994 г.

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Материалы, применяемые в настоящее время для изготовления прессующих поршней машин ЛПД алюминиевых сплавов с холодной камерой прессования, обладают недостаточным уровнем эксплуатационных свойств. В связи с этим необходим поиск нового материала, который при низкой стоимости отличался бы более высоким уровнем служебных характеристик.

2. Таким материалом может быть экономнолегированный чугун с шаровидным графитом при определенных химическом составе, структуре и технологии получения, обеспечивающих требуемый уровень служебных свойств.

3. Доказана целесообразность выплавки выбранного чугуна дуплекс-процессом, что позволяет экономить природный газ, электроэнергию, кислород и исключить ряд технологических операций по подготовке вихты.

4. Показано, что основное влияние на коэффициент массопередачи углерода и скорость науглероживания при выплавке чугуна в индукционных тигельных печах оказывает не интенсивность электромагнитного перемешивания, а температура металла и размер частиц карбидизатора, что важно для оптимизации процесса получения чугуна.

5. Показано, что с целью получения минимальных издержек производ-

ства целесообразно для изготовления прессующих поршней использовать отходы вальцелитейного производства - элементы сифонной литниково-питательной системы отливок валков.

6. Установлено, что предложенные отходы вальцелитейного производства представляют собой экономнолегированный хромоникелевый половинчатый чугуи с шаровидным графитом. Для возможности применения в качестве материала пресс-поршней такой чугуи необходимо подвергать графитизирующему отжигу. Режим отжига выбран с помощью специально проведенных испытаний.

7. Проведенные сравнительные испытания чугуинов с одним и тем же химическим составом и структурой металлической матрицы показывают повышенную в 2-3 раза стойкость ЧШГ, по сравнению с серым чугуином, что доказывает решающее влияние формы графитных включений на служебные свойства чугуна в условиях работы плунжерных пар машин ЛПД.

8. Для улучшения прирабатываемости и повышения износостойкости выбранного чугуна как материала пресс-поршней после его отжига предложена химико-термическая обработка, состоящая в нагреве и выдержке чугуна в атмосфере перегретого пара разбавленных водных растворов солей (окислелирование чугуна).

9. Доказано, что оптимальным является использование в качестве солей для получения водного раствора тиосульфата натрия и молибдата аммония, обеспечивающих формирование на поверхности чугуна защитных покрытий шпинельного типа.

10. Уточнены представления о механизме формирования таких окислелированных покрытий. В частности установлено, что под воздействием перегретого пара водных растворов солей цементитные включения на поверхности чугуна подвергаются частичному распаду, а в результате протекания химических реакций в покрытии выделяется шаровидный графит.

11. Эксплуатационные испытания подтвердили эффективность обработки ЧШГ в среде перегретого пара водных растворов солей, обеспечивающей улучшение прирабатываемости и повышение стойкости пресс-поршней машин ЛПД алюминиевых сплавов при снижении расхода смазки.

12. Внедрение отходов экономнолегированного ЧШГ в условиях литейного цеха Харьковского машиностроительного завода "ФЭД" взамен СЧ20 позволило получить экономический эффект 26,4 млн. крб. на одну машину ЛПД (в ценах ноября 1994 г.), что подтверждает правильность принятых технологических решений и целесообразность применения выбранного материала.

Личный вклад автора:

- доказательство возможности использования экономнолегированного ЧМГ в условиях работы плунжерных пар машин литья под давлением;
- выявление решающего влияния формы графита на стойкость чугуна в условиях работы прессующих поршней машин литья под давлением;
- выявление зависимости коэффициента массопередачи углерода от размера частиц карбуризатора при науглероживании чугуна в индукционной печи;
- обоснование возможности использования отходов вальцелитейного производства в качестве литых заготовок для изготовления пресс-поршней;
- выявление особенностей формирования окислегированных покрытий на перлито-карбидо-графитном ЧМГ.

ПУБЛИКАЦИИ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

1. Билярчик Е.Р., Солнцев Л.А. Совершенствование материалов плунжерных пар машин литья под давлением//Тезисы докладов VII научно-технической конференции "Неметаллические включения и газы в литейных сплавах.- Запорожье: ЗГТУ, 1994.- С.105.
2. Билярчик Е.Р., Солнцев Л.А., Тимофеева Л.А. Легирование и термическая обработка высокопрочного чугуна как материала прессующих поршней машин литья под давлением//Тезисы докладов Всеукраинской конференции "Повышение физико-механических и служебных свойств чугунов в отливках путем их легирования, модифицирования, термической и высокоэнергетической обработки". - Киев: ИМП НАН Украины, 1995.- С.45.
3. Билярчик Е.Р., Солнцев Л.А. Определение скорости твердых частиц в тигле индукционных печей при плавке//Процессы литья.- 1995.- №1.- С.12.
4. Билярчик Е.Р. Усвоение меди и молибдена при индукционной плавке валковых чугунов//Литейное производство.-1995.- №7-8.- С.12.
5. Билярчик Е.Р. Модифицирование чугуна для пресс-поршней машин литья под давлением//Литейное производство.-1995.- №7-8.- С.13.
6. Билярчик Е.Р., Солнцев Л.А. Прессующие поршни машин литья под давлением из высокопрочного хромоникелевого чугуна с шаровидным графитом//Информация и новые технологии.- Киев, 1996.- №1.- С.36

Анотація

Билярчик С.Р. Підвищення стійкості плунжерних пар машин лиття під тиском.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.02.01 – "Матеріалознавство у машинобудуванні (промисловість)". Харківський державний автомобільно-дорожній технічний університет, Харків, 1996 р.

Захищається робота, яка містить докази можливості підвищення стійкості плунжерних пар машин лиття під тиском вляхом використання економічнолегованого чавуну з кулястим графітом як матеріала пресувального поршня. Встановлен рішачий вплив форми графіту на стійкість чавуну в умовах пресуваних поршнів машин лиття під тиском. Виявлені особливості формування окислених покриттів на чавуні з кулястим графітом. Знайдена оптимальна структура чавуну та метод її одержання для пресуваних поршнів.

Робота впроваджена на Харківському машинобудівному заводі "ФЕД" з економічним ефектом 26,4 млн. грн. на одну машину лиття під тиском (за цінами 1994 р.).

**Ключові слова:** ПРЕСУВНИЙ ПОРШЕНЬ, КАМЕРА ПРЕСУВАННЯ, ЧАВУН, СТИЙКІСТЬ, МІКРОСТРУКТУРА, ТВЕРДІСТЬ, КУЛЯСТИЙ ГРАФІТ, ЦЕМЕНТИТ, ПЕРЛІТ, ШАР, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ОКСИЛЕГОВАНЕ ПОКРИТТЯ.

Abstract

Bilyarchik E.R. The timelife increasing of plunger pairs of die casting machines.

A thesis is submitted for candidate's degree of engineering sciences on profession 05.02.01 – "Materials engineering for machine-building (industry)", Kharkov State Automobile and Highway Technical University, Kharkov, 1996.

The possibility of the timelife increasing of plunger pairs of die casting machines through the using of the nodular cast-iron for plunger tips is defended. The main influence of the graphite shape on the timelife of the cast-iron for plunger tips is defined. The particularities of the obtaining of oxide alloyed coatings on the nodular cast-iron is determined. The best structure and the method of obtaining it for the cast-iron for plunger tips is elaborated.

This work is being used on "FED" Kharkov Machine Works and produces an economical effect of 26.4 mln. crb. on every die casting machine (in prices of 1994).

**Key words:** PLUNGER TIP, SLEEVE, CAST-IRON, TIMELIFE, MICROSTRUCTURE, HARDNESS, NODULAR GRAPHITE, CEMENTITE, PERLITE, LAYER, HEAT TREATMENT, OXIDE ALLOYED COATING.







004000.04

Ответственный за выпуск к.т.н. Ищук Ю.А.  
Подписано к печати "23" мая 1996г.  
Формат 60x84/16. Бумага типогр. Печать офсетная.  
Усл. п. л. 1.0  
Тираж 100 экз. Заказ №95.  
Участок оперативной печати ХГАУ.

436157

AB 35.260

Восток  
Телефон 100  
1954 г. 10.10  
Подпись  
Секрет