

М126757

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана

П. Л. НАГОРНЫЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ
ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ ЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОГНЕУПОРОВ

(Специальность 05.320 — Металловедение и термическая
обработка металлов)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Запорожском машиностроительном институте имени В. Я. Чубаря.

Научный руководитель к. т. н., доцент В. С. Попов.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор М. А. Тылкин,
кандидат технических наук, доцент В. И. Макарова.

Ведущее предприятие: Запорожский огнеупорный завод.

Автореферат разослан «...» 1971 г.

Защита диссертации состоится «...» 1971 г.
на заседании Ученого Совета факультета «Автоматизации и
механизации производства» МВТУ имени Н. Э. Баумана.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке училища.

Отзывы рецензентов и отзывы научных работников
печатать, просить подписать и заверить
манская, 5. 2-я Бау-

M126757

Увеличение срока службы деталей, которые подвержены абразивному воздействию, возможно путем создания новых материалов и способов их обработки. Однако сложность и недостаточная изученность процессов, протекающих в поверхностных слоях деталей при абразивном изнашивании, затрудняют объективную оценку требований к составу и структуре при выборе материала деталей для конкретных условий эксплуатации.

Недостаточно исследовано поведение металлов в условиях изготовления огнеупоров. Не полностью выяснено влияние тонкой структуры на процесс изнашивания, роль основы и упрочняющей фазы, а также связь износостойкости с физико-механическими свойствами контактирующих тел. Интенсивный износ облицовок прессформ из применяемых материалов является причиной частой смены оснастки, что вызывает простой оборудования; кроме того, снижается качество огнеупорных изделий и сокращается срок их службы в металлургических агрегатах.

Интенсификация металлургического производства требует высокоплотных огнеупоров. Они прессуются при повышенных давлениях, что увеличивает износ деталей прессформ.

Проблема повышения износостойкости деталей прессформ огнеупорного производства может успешно решаться при удовлетворении и других требований к материалу оснастки — прочности, пластичности, технологичности и экономичности. Целью диссертации являлось исследование характера и последствий взаимодействия абразивных тел со структурными составляющими металлов при давлении 1140 кг/см^2 , влияния типа, количества, размеров и формы первичных и вторичных карбидов железа и некоторых легирующих элементов на износостойкость сплавов с различной основой, а также роли матрицы в сопротивлении материалов изнашиванию.

Диссертация содержит 160 стр. машинописного текста с 26 таблицами, 55 иллюстрациями и приложениями. В библиографии приведено 183 литературных источника.

Н. П. И. У. им. Н. С. Даумана



1126757

Нагорный П. П. Исследования

Исследовалось 125 партий сплавов с различным количеством (от 4 до 47 %) карбидов железа, хрома, вольфрама, ниобия и ванадия, распределенных в ферритной и аустенитной основах, а также аустенитной с продуктами неполного распада.

Опытные образцы — боковые и торцовые пластины прессформ размерами 225 x 120 x 30, 265 x 170 x 25, 180 x 155 x 20 и 390 x 180 x 20 мм были получены отливкой в подогретые до 300–350°C и холодные стальные кокилы. Металл (83 сплава в диапазоне составов 0,5–4,3 %C, 4–18 %Cr, 10–22 %Mn, 3,5–10,1 %W, 0,8–10,8 %V и 0,8–6,8 %Nb) выплавлялся в индукционной печи типа ИСТ-0,06.

Испытания пластин на изнашивание проводились в литом и термически обработанном состоянии в цехах Запорожского огнеупорного завода при прессовании хромомагнетитовых нормальных изделий марки ХМ-1 и высокоглиноземистых регенераторных марки ПМ-49 на прессах мод. П907 и ПК-630 с усилием прессования соответственно 1000 и 630 тонн. От каждой партии металла испытывалось по 3–12 образцов. Шихта для прессования огнеупоров обеих марок состояла из гранул размером не более 3 мм.

Термическая обработка заключалась в нагреве литых деталей до 1100–1200°C за 5–6 часов, товлении при этих температурах в течение 0,5–4,5 часа и закалке — непрерывной и изотермической (ступенчатой) с выдержкой 15–90 мин при 500 и 300°C, при которой в структуре опытных сплавов не происходит образования немартенситных продуктов распада аустенита.

Количество карбидов, задаваемое содержанием углерода и легирующих элементов и режимом охлаждения сплавов, проверялось карбидным анализом. Для оценки влияния разнородных карбидов на износостойкость опытные сплавы сравнивались по площади, которую карбидная фаза занимает на поверхности изнашивания. Тип карбидной фазы определялся рентгеноструктурным анализом на установке УРС-70.

Уровень износостойкости оценивался по удельному износу — утонению пластин за один цикл прессования. Величина суммарного износа за период испытания измерялась с точностью 0,01 мм. Относительная износостойкость находилась из сравнения величин удельного

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

ИЗДА
И. И. З.
БИБЛИОТЕКА

износа отожженной промышленной стали Х12Ф1 и исследуемого металла.

Воздействие огнеупорной шихты на поверхность металла в процессе единичного акта изнашивания изучалось на микрошлифах с помощью специального устройства, воспроизводящего условия работы прессформ. В качестве абразивного материала использовалась смесь зерен магнезита и хромовой руды размером менее 0,06 мм с твердостью соответственно II60 и 2100 кг/мм².

На склерометре ИМАШ устанавливался характер взаимодействия структурных составляющих с алмазным индентором.

Исследование рабочей поверхности до и после изнашивания проводилось с помощью металлографического анализа. Фазовый состав матрицы контролировался на дифрактомере УРС-50ИМ.

II. ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПРЕССФОРМ

Данные о характере взаимодействия структурных составляющих с абразивными телами могут служить основанием для выбора системы легирования износостойких материалов. Для получения сравнимых результатов исследовались двухфазные сплавы — аустенитная основа + первичные карбиды ванадия, ниобия, хрома и вольфрама.

Металлографическое исследование рабочей поверхности образцов после единичного акта изнашивания показало, что карбиды оказывают значительное сопротивление абразивным зернам.

Карбиды ванадия и ниобия типа MeC (округлой и прямоугольной формы) с твердостью соответственно 2600–2740 и 2445–2620 кг/мм² представляют собой препятствия, способные затормозить перемещение близких к ним по размерам абразивов. Однако в этих карбидах образуются трещины и отколы.

Столкновение абразивных тел с карбидами хрома типа Me₇C₃ с твердостью 850–1100 кг/мм² заканчивается частичным или полным разрушением последних. При сравнительно небольшом заглублении абразива в металл, в карбидах хрома, имеющих форму пластинок, появляются трещины и линии сдвига.

Комплексные карбиды вольфрама типа Me₆C не оказывают сильного сопротивления абразивным телам: перемещение их по основе может продолжаться почти с такими же разрушительными последствиями, как и до встречи с карбидом.

Ш. ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА РАЗНОРОДНОЙ КАРБИДНОЙ ФАЗЫ И ТИПА МАТРИЦЫ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЛИТЫХ СПЛАВОВ

Наличие в структуре специальной упрочняющей фазы часто считается обязательным при выборе износостойкого материала. Однако сопротивление сплавов изнашиванию в значительной степени зависит от основы. Поэтому представляло интерес изучить сплавы с разнородными карбидами, распределенными в различной основе.

Сплавы феррито-карбидные

Исследовались сплавы с содержанием углерода 1,5-3,1 %. Для получения в структуре специальных карбидов добавлялись порошки и совместно 5-13 % Cr , 0,8-1,5 % Nb и 10 % V . Пластины отливались в подогретых кокилях.

Наименее износостойкими из этой группы материалов являются нелегированные при содержании углерода до 2 %. Введение в них до 8 % Cr слабо отражается на износостойкости. Увеличение одновременно количества хрома до 13 % и углерода до 2,6 % сопровождается возрастанием твердости сплава за счет карбидов $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$. Однако износостойкость при этом повышается незначительно; она остается низкой при наличии в структуре до 45 % карбидов хрома и железа, в то время как углеродистые сплавы при таком содержании карбидов железа сопротивляются абразивам в 2 раза лучше.

Некоторый рост износостойкости сплавов с преобладающей карбидной фазой типа Me_7C_3 происходит при дополнительном введении более сильных, чем хром, карбидообразующих элементов. Добавка ванадия и ниобия в железоуглеродистый сплав в количестве, достаточном для образования собственных карбидов этих элементов, повышает сопротивление изнашиванию.

Сплавы с аустенито-мартенситной основой

В Fe-C сплавы (1,5-4,2 % C) вводилось 12 % Cr и добавки V , Nb и W в количестве 0,8-9 %.

Сопротивление разрушению исследованных сплавов обуславливается характером распределения хрома и углерода между матрицей и карбидной фазой. Количество образующихся в процессе кристаллиза-

ции карбидов и распределение их в карбидной эвтектике, а также количество скрытоугольчатого мартенсита, зависят от состава и температуры заливаемого в форму металла.

Зависимость величины износа от количества первичных карбидов в интервале от 10 до 43 % проявляется четко в сплавах с 15–25 % мартенсита, залитых в холодный кокиль от температур перегрева 1550–1600°C и содержащих в твердом растворе около 0,5 % С и 5 % Cr. Повышение содержания мартенсита, достигаемое при заливке металла с меньших температур, приводит к снижению износостойкости, т.к. количество образующихся при кристаллизации карбидов хрома типа Me_7C_3 увеличивается и матрица соответственно обедняется хромом и углеродом. В равной степени увеличение концентрации этих элементов в основе сверх оптимального (заливка с повышенных температур) не способствует росту износостойкости из-за возрастания объемной доли аустенитной составляющей и уменьшения мартенситной.

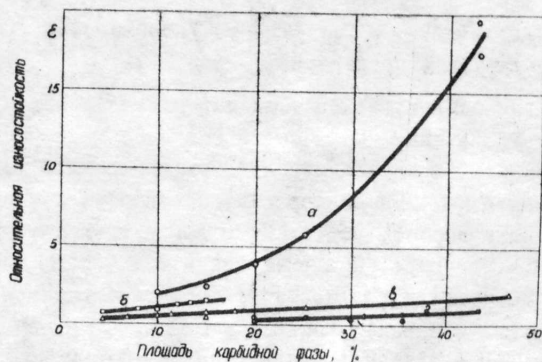


Рис.1. Влияние количества карбидов на износостойкость литых сплавов с различным типом основы (изделие ХМ-1, пр.П907):

- а) аустенито-мартенситной (количество мартенсита 15–25 %);
- б) аустенитной, содержащей карбиды ниобия и ванадия типа MeC ;
- в) аустенитной, содержащей комплексные карбиды хрома Me_7C_3 и вольфрама Me_6C ; г) ферритной

Среди легирующих добавок положительное влияние на износостойкость оказывает ванадий. Присадка его до 3 % весьма эффективна. Если же из этого количества часть ванадия расходуется на образование его собственных карбидов, сплав не проявляет повышенной износостойкости из-за наличия искажений на участках сопряжения крупных карбидов ванадия и хрома с мартенситной составляющей. В условиях абразивного воздействия на таких участках легко образуются микротрещины, приводящие к выкрашиванию карбидов.

При содержании 4,2 % C и 9 % V хромистые сплавы оказываются весьма износостойкими. Это связано с особенностью их микроструктуры, в которой карбиды ванадия и хрома равномерно чередуются с прослойками аустенито-мартенситной матрицы.

Двухфазные аустенито-карбидные сплавы

Образование различного количества однотипных карбидов в структуре сплавов достигалось введением 0,5-4,3 % C, 10-18 % Cr, 3,5-10 % W, 1,5-7 % Nb и 2,3-11 % V. Устойчивость аустенитной основы обеспечивалась присадкой 10-22 % Mn.

Износостойкость исследованных материалов в общем закономерно повышается с увеличением количества карбидов и твердости. Однако такая зависимость справедлива только внутри каждой из групп сплавов. В сплавах с 4-7 % карбидов износостойкость и твердость определяются главным образом содержанием легирующих элементов и углерода в твердом растворе. При увеличении количества карбидов до 10-15 % эти показатели больше зависят от типа карбидной фазы: лучшее сопротивление изнашиванию в этом случае оказывают сплавы с карбидами ниобия и ванадия; менее износостойкими являются сплавы с комплексными карбидами хрома и вольфрама (рис.1).

IV. СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗНАШИВАНИЮ ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННЫХ КАРБИДОСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВОВ С БОЛЬШИМ КОЛИЧЕСТВОМ МАРТЕНСИТА И ОСТАТОЧНОГО АУСТЕНИТА

Известно, что для получения сплава высокой прочности необходимо создать равномерно распределенную микроскопическую неоднородность строения, которая достигается с помощью термической об-

работки. Материалом для экспериментов служили сплавы с ферритной, аустенито-мартенситной и аустенитной основами в литом состоянии.

Сплавы с ферритной основой в литом состоянии

Для определения влияния термической обработки на износостойкость были исследованы две серии сплавов: хромистые — 1,5–2,8 % Cr и 5–13 % Cr и комплекснолегированные — 2,2–2,7 % Cr, 5 % Cr, 3 % V и 1–1,5 % Nb. Карбидная фаза сплавов обеих серий в литом состоянии представлена карбидами хрома типа Me_7C_3 , железа Me_3C , ниобия и ванадия MeC .

Сопротивление сплавов воздействию абразивов, помимо состава, существенно зависит от температуры закалки, времени томления при этой температуре и режима охлаждения.

Пребывание сплавов первой серии при 1100–1150°C в течение 0,5–1 часа недостаточно, чтобы могли раствориться крупные первичные карбиды хрома. Ступенчатая закалка с выдержкой 15–30 мин при 300°C сплавов, содержащих 1,5–2,2 % Cr и 5–12 % Cr, позволяет зафиксировать состояние, при котором структура состоит из 40–50 % мартенсита, 25–45 % остаточного аустенита и 15–25 % карбидов, распределенных по границам первичных зерен аустенита. Износостойкость таких сплавов в 1,5 раза превышает износостойкость применяемой на заводе стали 20X после цементации при 960–980°C и закалки от 840°C на мартенситную структуру.

Изучение поведения сплавов с 2,4–2,8 % Cr и 12 % Cr показало, что эти сплавы могут обеспечить наиболее существенный рост износостойкости (в 8 раз по отношению к стали 20X), если температуру закалки повысить до 1200°C, а продолжительность томления увеличить до 3–4 часов. Наилучшие свойства приобретаются этими сплавами после интенсивного охлаждения в масле до потемнения (500–400°C) и выдержки при 500°C с последующим охлаждением на воздухе.

Исследованием влияния времени выдержки при 500°C на свойства сплава 260X12 установлено, что максимальная износостойкость облицовок прессформ достигается после одночасовой выдержки. При этом в структуре содержится 25 % карбидов, 45 % скрытоиглочатого мартенсита и 30 % остаточного аустенита. В таком состоянии сплава матрица содержит 0,6 % Cr и 7 % Cr и имеет микротвердость 700 кг/мм² (рис. 2).

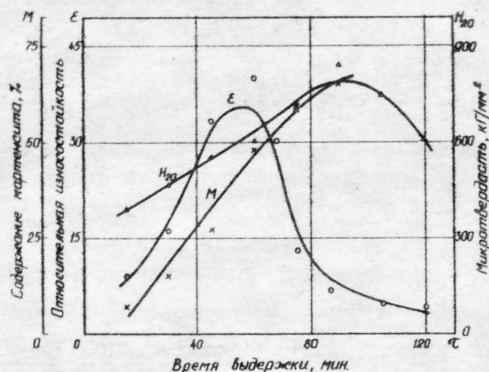


Рис.2. Зависимость износостойкости, количества мартенсита и микротвердости матрицы от времени выдержки при 500°С сплава 260XI2, обработанного по режиму изотермической закалки после 3-4 часового томления при 1200°С (изделие ПМ-49, пр.ПК-630)

В микроструктуре сплава 260XI2, закаленного по оптимальному режиму, кроме 15 % равномерно распределенных карбидов $(C, Fe)_7C_3$ размером 10^{-4} см, до 10 % объема занимают вторичные карбиды, представляющие собой пластинки и глобулы размером 10^{-6} – 10^{-5} см.

Известно, что основное влияние мелкодисперсных выделений при увеличении их количества проявляется в сильном торможении пластической деформации металла за счет увеличения поверхности препятствий, по которой движущимся дислокациям может быть оказано сопротивление. В грубой литой структуре первичные карбиды хрома имеют размеры $(5-10) \times 10^{-4}$ см и более. При зафиксированных размерах вторичных выделений в объеме исходного первичного карбида может быть заключено около 10^6 частиц, суммарная поверхность которых превышает поверхность первичного карбида примерно на два порядка.

Увеличение времени выдержки до 1,5 часа хотя и приводит к выделению из переохлажденного аустенита большего количества карбидов и образованию 60 % мартенсита, однако износостойкость при этом снижается. Причина такого поведения сплава связана с коагу-

ляцией и переходом легированных карбидов железа в карбиды хрома, на образование которых расходуется дополнительное количество углерода и хрома из твердого раствора, и уменьшением доли аустенитной составляющей до 15%, что при большом содержании карбидов и мартенсита уменьшает прочность связи карбидной фазы с матрицей.

Дальнейшее снижение износостойкости (выдержка свыше 1,5 часа) объясняется появлением в структуре немартенситных продуктов распада аустенита.

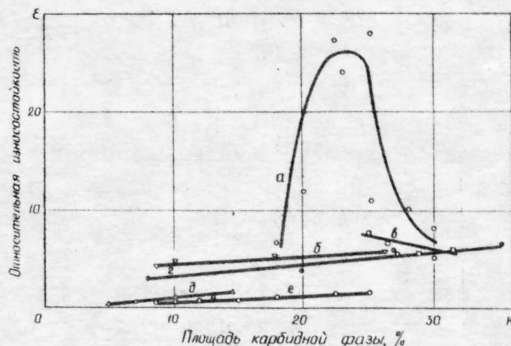


Рис. 3. Зависимость износостойкости от количества карбидов в сплавах с большим содержанием мартенсита и остаточного аустенита после закалки от 1200°С по различным режимам (изделие ХМ-1, пр. П907)

1) сплавы с ферритной основой в литом состоянии: а — 2,4–2,8 % С и 12 % Сг (закалка изотермическая с выдержкой 15–120 мин при 500°С); б — 2,2–2,7 % С, 5 % Сг, 3 % V и 1–1,5 % Nb (закалка ступенчатая от 1200 и 1130°С с выдержкой 15 мин при 300°С);

2) сплавы с аустенито-мартенситной основой в литом состоянии: в — 1,8–2,4 % С, 12 % Сг + 3–5 % V, 1 % Nb или 7 % W (закалка изотермическая с выдержкой 60 мин при 500°С); г — 1,5–2,5 % С, 12 % Сг + 1 % V или 9 % W (закалка непрерывная);

3) сплавы с аустенитной основой в литом состоянии (закалка непрерывная): д — 1,3–2,3 % С, 20 % Мп и 1,5–6 % Nb; е — 1,5–2,2 % С, 18 % Мп и 12 % Сг

Нагрев сплавов с 2,2-2,7 % С, 5 % Сг, 3 % V и 1-1,5 % Nb до 1200°C и томление в течение 0,5 часа приводят к полному растворению карбидов железа и хрома; поэтому в процессе ступенчатой заковки с выдержкой 15 мин при 300°C в структуре образуется только 20-25 % мартенсита. Несмотря на наличие в аустенито-мартенситной матрице 8-10 % карбидов ванадия и ниобия, сохраняющих свою первичную форму, размеры и характер распределения, сопротивление изнашиванию этих сплавов находится на одинаковом уровне со сплавами с 1,5-2 % С и 8-10 % Сг, обработанными по такому же режиму.

При снижении температуры нагрева до 1130°C количество мартенсита увеличивается на 20 %. При наличии в структуре 25 % нерастворившихся карбидов ванадия, ниобия и хрома износостойкость заметно возрастает, значительно уступая, однако, сплаву 260Х12 (рис.3, линии "а" и "б").

Сплавы с аустенито-мартенситной и аустенитной основами в литом состоянии

Термически обработанные комплекснолегированные сплавы с аустенито-мартенситной основой в литом состоянии, содержащие 12 % Сг с добавками V, Nb и W, превышающими предельную растворимость их в аустените, отличаются большим количеством нерастворенных первичных карбидов хрома. Наличие в структуре также собственных карбидов этих элементов не позволяет в процессе термической обработки добиться однородности распределения структурных составляющих.

Износостойкость термически обработанных комплекснолегированных сплавов с общим содержанием карбидов от 8 до 35 % исследовалась на сплавах после непрерывной и изотермической заковки с выдержкой 1 час при 500°C. Температура нагрева сплавов для обоих способов - 1200°C, продолжительность томления - 3 часа.

При изотермической заковке комплекснолегированных сплавов содержание мартенсита составляет 50-65 %, при непрерывной - не превышает 12 %. Вследствие такого различия в фазовом составе матрицы существенно различной является и износостойкость, пред-

ставленная в зависимости от количества карбидов в структуре линиями "в" и "г" (рис.3).

В сплавах с большим количеством остаточного аустенита, полученного путем непрерывной закалки, увеличение содержания карбидов до 35 % способствует некоторому росту износостойкости, т.к. карбиды достаточно надежно закреплены в матрице. Непрочная связь первичных карбидов ниобия, ванадия, вольфрама и хрома с мартенсито-аустенитной основой в сплавах, обработанных по режиму изотермической закалки, приводит к сравнительно легкому выкрашиванию карбидов при взаимодействии с абразивами. Поэтому уменьшение содержания карбидов в сплавах с такой матрицей и большим количеством карбидной фазы ведет к возрастанию износостойкости.

Изучение комплекснолегированных сплавов с 12 % Сг позволило определить влияние каждой добавки на формирование структуры и износостойкость.

Положительное влияние ванадия на сопротивление разрушению сплавов с аустенито-мартенситной матрицей в литом состоянии сводится на нет стабилизацией хромистых карбидов при температуре закалки 1200°C. Поэтому в хромованадиевых сплавах с добавками 3-5 % V основная часть хрома и ванадия остается связанной в карбидах, в связи с чем сопротивление рабочего слоя воздействию составляющих огнеупорной шихты оказывается невысоким.

Присадка до 9 % вольфрама не способствует заметному росту износостойкости: введение вольфрама вызывает образование большого количества крупных карбидов, которые вследствие коагуляции при нагреве и томлении сплавов увеличивают свои размеры.

Более износостойкими являются сплавы с добавками ниобия. Как известно, ниобий обладает высокой карбидообразующей способностью, что предопределяет малое содержание его в карбидах хрома и аустените. Этот фактор оказывает благоприятное влияние на растворимость карбидов хрома в процессе томления. С помощью изотермической закалки хромониобиевых сплавов можно получить большое количество мелкодисперсных карбидов, равномерно распределенных в мартенсито-аустенитной основе.

Исследование поведения аустенито-карбидных сплавов после не-

прерывной закалки показало, что износостойкость их практически не отличается от износостойкости в литом состоянии (рис.1, линии "в", "г", рис.3, "д", "е"), поскольку в процессе закалки почти не происходит перераспределения легирующих элементов и углерода между матрицей и карбидной фазой.

Таким образом, наибольшую износостойкость деталей прессформ можно обеспечить за счет применения высокоуглеродистых высокохромистых сплавов (до 2,8 % С, до 13 % Cr) без дополнительного введения других элементов.

Изготовление деталей прессформ

В настоящее время применяются прессформы, быстроизнашиваемые детали которых – пластины, стаканы, штыри и т.п. изготавливаются на большинстве огнеупорных заводов из стали 20Х с цементацией на глубину 0,8–1 мм и закалкой на максимальную твердость. Средняя эксплуатационная стойкость прессформ из этой стали обычно не превышает 10–12 тыс. изделий.

Причина выхода прессформ из строя – образование на изделиях трещин при выталкивании их из формы. Трещины образуются вследствие появления зоны максимального износа в средней части облицовок.

На основании проведенного исследования на Запорожском огнеупорном заводе для изготовления облицовок прессформ принят сплав 260Х12. Технологический процесс изготовления пластин толщиной 10–30 мм состоит в отливке чушек из электродуговой печи, переплава чушек в индукционной печи и отливке деталей в стальных кокилях, термической обработке на твердость 53–55 HRC – изотермической закалке от 1200°C (после 3–4 часового томления) с выдержкой 1 час при 500°C, шлифовке рабочих поверхностей. В случае установки облицовок в термически неупрочняемые блоки, с целью увеличения пластичности и избежания поломок облицовок (из-за деформации стенок блоков в процессе прессования), содержание углерода в сплаве необходимо снижать до 1,5 %.

Промышленные испытания термически обработанного сплава 260Х12 показали увеличение износостойкости пластин прессформ при прессовании хромомagneзитовых и высокоглиноземистых огнеупоров в

8-10 раз по отношению к средней эксплуатационной стойкости пластин из стали 20Х после цементации и закалки.

В Ы В О Д Ы

1. Интенсивность изнашивания облицовок прессформ из высокоуглеродистых легированных сплавов зависит прежде всего от типа матрицы, а также от типа и количества упрочняющей фазы.

2. Установлено, что при взаимодействии первичных карбидов ванадия и ниобия (округлой и прямоугольной формы) с соизмеримыми частицами огнеупорной шихты, в первых образуются трещины и отколы. Первичные карбиды хрома и железа (в виде пластинок), а также комплексные карбиды вольфрама, прорезаются абразивными телами и оказывают им меньшее сопротивление по сравнению с карбидами ванадия и ниобия.

3. Результаты металлографического исследования взаимодействия составляющих огнеупорной шихты с карбидами в процессе единичного акта изнашивания согласуются с результатами производственных испытаний двухфазных сплавов: по износостойкости аустенито-карбидные сплавы с карбидами ниобия и ванадия оказались лучше сплавов с карбидами хрома и вольфрама.

4. Увеличение количества карбидной фазы до 50 % в литой структуре связано с износостойкостью сплавов с ферритной и аустенитной основами прямолинейной зависимостью. При равном содержании карбидов двухфазные аустенито-карбидные сплавы превосходят по износостойкости феррито-карбидные; повышенным сопротивлением изнашиванию обладают сплавы с аустенито-мартенситной матрицей, в которой находится оптимальное количество мартенсита (15-25 %).

5. Неравномерное распределение структурных составляющих в литом металле не позволяет исчерпать его возможности полностью, т.к. разрушение рабочего слоя зернами огнеупорной шихты происходит избирательно, начинаясь с разрушения мягких составляющих металла и выкрашивания упрочняющей фазы под воздействием крупных частиц огнеупорной шихты.

6. Износостойкость литых феррито-карбидных сплавов существенно повышается термической обработкой, проводимой с целью размельчения карбидов и увеличения легированности металлической мат-

рицы, повышения ее твердости и прочности.

7. Определена оптимальная структура износостойкого металла, представляющая собой сочетание высоколегированной мартенсито-аустенитной матрицы с равномерно распределенными выделениями карбидов в виде пластинок и глобул размерами 10^{-6} - 10^{-4} см.

8. Разработан режим термической обработки литых в кокиль деталей прессформ толщиной до 30 мм из сплава 260Х12, состоящий в изотермической закалке от 1200°C в масле (после 3-4-х часов томления) с выдержкой 1 час при 500°C и дальнейшим охлаждением на воздухе. Структура сплава состоит из 25 % мелкодисперсных карбидов, 45 % мартенсита и 30 % остаточного аустенита.

9. Термически обработанные высокоуглеродистые высокохромистые сплавы в оптимальном состоянии обладают повышенной износостойкостью по сравнению с исследованными сплавами других систем легирования вследствие равномерного распределения структурных составляющих, которое достигается томлением сплавов при температуре на $20-30^{\circ}\text{C}$ ниже линии солидус и последующей изотермической закалкой.

10. Введение более сильных, чем хром, карбидообразующих элементов в термически упрочняемые высокоуглеродистые высокохромистые сплавы нецелесообразно, т.к. затрудняется или почти полностью исключается растворение первичной карбидной фазы при температуре закалки и распределение карбидов в структуре мало отличается от распределения их в литом состоянии. Поэтому рабочий слой не оказывает сильного сопротивления воздействию абразивов из-за низкой легированности матрицы и выкрашивания карбидов.

11. Внедрение результатов исследования позволило значительно сократить простои прессового оборудования, повысить качество огнеупоров и снизить расходы на изготовление оснастки. Экономический эффект от внедрения сплава 260Х12 взамен стали 20Х только по ЗОЗ составит примерно 150 тыс.руб. в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих статьях:

1. Износостойкость легированных сплавов в абразивной среде. "Технология и организация производства", К., № 6, 1968 (совместно с В.С.Поповым).

2. Разрушение карбидов при абразивном изнашивании легированных сталей. "Вестник машиностроения", № 7, 1969 (совместно с В.С.Поповым и Г.И.Василенко).

3. Влияние карбидной фазы на абразивную износостойкость сплавов. "Литейное производство", № 8, 1969 (совместно с В.С.Поповым).

4. Удельная энергия разрушения карбидов и износостойкость сплавов. "Физика металлов и металловедение", том 28, вып.2, 1969 (совместно с В.С.Поповым и А.С.Гарбузовым).

5. Сопротивляемость абразивному изнашиванию хромистых сплавов с добавками карбидообразующих элементов. "Технология и организация производства", К., № 6, 1969 (совместно с В.С.Поповым).

6. Абразивный износ хромистых сплавов. "Литейное производство", № 3, 1970 (совместно с В.С.Поповым).

7. Абразивное изнашивание некоторых высокоуглеродистых сплавов. "Металловедение и термическая обработка металлов", № 5, 1970 (совместно с В.С.Поповым и Г.И.Василенко).

Материалы диссертации докладывались на межвузовской научно-технической конференции "Исследование износа с целью выявления путей повышения срока службы и качества выпускаемых машин" в МВТУ им. Н.Э.Баумана, 1968 г.; на научных семинарах кафедр "Материаловедения" и "Технологии материалов" МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1969 и 1970 г.г.; на Всесоюзном совещании главных специалистов предприятий МЧМ СССР в г.Запорожье, 1969 г.; на юбилейной научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава Запорожского машиностроительного института им.В.Я.Чубаря, посвященной 100-летию со дня рождения В.И.Ленина, 1970 г.; на техническом совещании главных механиков огнеупорных заводов треста "Огнеупорне-руд" МЧМ УССР в г.Донецке, 1970 г.