

601
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

ЕМЕЛЮШИН Алексей Николаевич

УДК 669.13.018.256:621.78

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ И ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ
ХРОМОВАНАДИЕВЫХ ЧУГУНОВ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ РЕЖУЩЕГО
ИНСТРУМЕНТА ПО ГРАФИТУ ВЗАМЕН ДЕФИЦИТНЫХ
БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ И ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Специальность 05.16.01 – Металловедение и термическая
обработка металлов

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

Челябинск – 1984

Работа выполнена на кафедре металловедения и термической обработки Магнитогорского горно-металлургического института имени Г.И.Носова.

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент Ольховой Л.С.

Официальные оппоненты : доктор технических наук

Гольдштейн Я.Е.;

кандидат технических наук, доцент

Клёцкин Б.Э.

Ведущее предприятие - Златоустовский металлургический завод.

Защита состоится " " 1984г. на заседании специализированного совета К 053.13.03 по присуждению учёной степени кандидата технических наук металлургического факультета Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола по адресу: 454044, г.Челябинск, пр. им. В.И.Ленина, 76, ауд. 244.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " " 1984г.

Учёный секретарь специализированного совета доцент
кандидат технических наук

ольхова О.К.ТОКОВОЙ

Актуальность темы. В свете решений 26 съезда КПСС повышение эффективности и качества производства является важнейшей задачей одиннадцатой пятилетки. В связи с бурным развитием атомной энергетики, металлургической и химической промышленности в одиннадцатой и последующих пятилетках резко возрастёт потребность в изделиях из графитированных материалов. Из них изготавливаются электроды для электродуговых печей, блоки алюминиевых электролизеров, блоки для атомных электростанций и многие другие изделия.

Как правило, окончательным этапом производства графитированных изделий является механическая обработка, проводимая точением, фрезерованием, протягиванием и т.д. Механическая обработка многих видов изделий проводится на современных автоматических линиях высокой производительности. Несмотря на невысокую твёрдость графитированных материалов, их механическая обработка сопровождается интенсивным износом инструментов, поэтому режущие элементы всех типов инструмента изготавливаются либо из твёрдых сплавов (ВК6, ВК8 и др.), либо из быстрорежущих сталей (Р18, Р6М5 и др.), крепящихся пайкой или механически к корпусу инструмента, но даже и у такого инструмента износ довольно высок.

Поскольку твёрдые сплавы и быстрорежущие стали содержат в больших количествах такие дорогостоящие и остро дефицитные легирующие элементы как вольфрам и кобальт, то в последнее время появилась острая потребность в замене этих материалов на безвольфрамовые сплавы.

Задача всемерной экономии твердых сплавов и замены их на некоторых операциях дешевым режущим инструментом указывалась в решениях партии и правительства. Госплан СССР также неоднократно обращал внимание на необходимость экономии и замены вольфрамоодержащих сплавов.

Главными достоинствами твёрдых сплавов и быстрорежущих сталей являются высокая красностойкость и износостойкость. Однако применение их для механической обработки мягкого и хрупкого графита с низкой температурой резания нельзя признать рациональным. Кроме того, технология изготовления твердосплавного инструмента (напайка, отдельных пластин твёрдого сплава, заточка и сборка) весьма трудоёмка и дорога. Изготовление инструмента литьём из относительно недорогих сплавов не только экономично само по себе, но и позволяет

получать инструмент сложных конфигураций, что имеет особенно большое значение для расширения обработки углеродистых материалов (УГМ) таким прогрессивным методом, как протягивание. Поэтому исследования по замене дорогих и дефицитных быстрорежущих сталей и твёрдых сплавов на относительно дешёвые ледебуритные стали (чугуны) и разработка технологии изготовления из них литого режущего инструмента для обработки УГМ приобретают особую актуальность.

Цель работы. Разработать оптимальные составы и режимы термообработки литого режущего инструмента, предназначенного для механической обработки УГМ взамен инструмента из быстрорежущих сталей и твёрдых сплавов. В связи с этим были поставлены и решены следующие задачи:

1. Исследование износостойкости литых и закалённых хромистых и хромованадиевых чугунов различного состава при абразивном изнашивании и при резании электродного графита.

2. Изучение влияния состава, режимов термической обработки и легирования на износостойкость хромистых чугунов с целью отыскания оптимальных вариантов.

3. Исследование влияния ускоренной кристаллизации и модификации на структуру, твёрдость и износостойкость хромованадиевых чугунов.

4. Разработка технологии изготовления литого режущего инструмента для механической обработки УГМ.

5. Испытание и внедрение литого режущего инструмента из легированного чугуна на электродных заводах в цехах механической обработки УГМ.

Научная новизна.

1. Исследована износостойкость большой группы хромистых и хромованадиевых чугунов при резании электродного графита и при абразивном изнашивании незакреплёнными частичками абразива.

2. Впервые изучено совместное влияние углерода, хрома и ванадия на износостойкость хромованадиевых чугунов и определены оптимальные составы износостойких чугунов в условиях резания электродного графита.

3. Получены данные о влиянии ускоренной кристаллизации, модификации, дисперсности и ориентировки карбидов на износостойкость литых и закалённых хромованадиевых чугунов как при абразивном изнашивании, так и при обработке электродного графита.

Практическая ценность. Установлено, что хромованадиевые чугуны обладают высоким сопротивлением износу как в условиях абразивного изнашивания, так и при использовании их в качестве инструментальных сплавов для изготовления инструментов, обрабатывающих УГИ. Разработаны составы хромованадиевых чугунов и выяснено влияние условий кристаллизации на износостойкость литого инструмента. Установлено, что дорогой, дефицитный и трудоёмкий в изготовлении инструмент с режущими элементами из твёрдых сплавов и быстрорежущих сталей, используемый для механической обработки графитированных материалов может быть успешно заменён литым инструментом из хромистых и хромованадиевых чугунов.

Реализация работы в промышленности. На Московском и Челябинском электродных заводах (МЭЗ и ЧЭЗ) в 1979 г. были внедрены протяжки с режущими элементами из хромованадиевого чугуна, предназначенные для механической обработки внутренних отверстий в графитовых блоках, что позволило увеличить стойкость протяжного инструмента в 5,2 раза (на МЭЗе) и 3,3 раза (на ЧЭЗе) по сравнению с протяжками из быстрорежущей стали. Общий годовой экономический эффект от внедрения составил 22,7 тыс. рублей.

На защиту выносятся:

1. Экспериментальные данные исследования износостойкости литых и термически обработанных хромистых и хромованадиевых чугунов различного состава при абразивном изнашивании незакреплёнными частицами абразива и при резании электродного графита.

2. Результаты исследования совместного влияния углерода, хрома и ванадия на износостойкость резцов из хромованадиевых чугунов при резании электродного графита.

3. Результаты исследования влияния ускоренной кристаллизации, модификации титаном, дисперсности и ориентировки карбидов на микроструктуру, твёрдость и износостойкость хромованадиевых чугунов при абразивном изнашивании, а также при резании электродного графита.

4. Разработка технологии изготовления литого режущего инструмента для механической обработки углеграфитовых материалов.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены и обсуждены:

- на II Всесоюзной научно-технической конференции "Перспективы развития режущего инструмента и повышение эффективности его применения в машиностроении" (Ленинград, 1978 г.);

- на IV Всесоюзной научно-технической конференции "Мероприятия по повышению качества и эксплуатационной стойкости углеродной продукции" (Челябинск, 1978 г.);
- на II Всесоюзной научно-технической конференции "Пути повышения эффективности обработки протягиванием" (Челябинск, 1978 г.);
- на Всесоюзной научно-технической конференции "Металловедческие резервы повышения качества металлоизделий, надёжности и долговечности деталей машин" (Челябинск, 1981 г.);
- на отраслевой школе передового опыта "Обмен опытом работы по повышению срока службы горного и обогатительного оборудования за счёт применения деталей из белых износостойких чугунов и совершенствованию технологии производства фасонных отливок из этих сплавов" (Кемерово, 1980 г.);
- на Всесоюзной научно-технической конференции "Новое в металловедении и термической обработке металлов и сплавов" (Челябинск, 1983 г.);
- на научно-технических конференциях МГИИ (Магнитогорск, 1982, 1983 г.г.);
- на научно-технической конференции ЧИИ (Челябинск, 1979 г.).
Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 работ.
Объём работы. Диссертационная работа изложена на 110 страницах машинописного текста, содержит 63 рисунка, 12 таблиц, список литературы из 143 наименований и приложение на 9 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложения.

Во введении обоснована актуальность темы, определены цели работы, её научная и практическая ценность, а также изложены основные положения, которые выносятся на защиту.

Первая глава диссертации посвящена обзору литературы, в котором, в соответствии с целью данной работы, рассмотрены особенности износа инструмента при механической обработке графитированных материалов, основные закономерности абразивного износа, износостойкость различных материалов при абразивном изнашивании, влияние химического состава, структуры и термической обработки сплавов на износостойкость при абразивном изнашивании, обсуждается влияние структуры металлической основы на износостойкость сплавов.

На основании анализа литературных данных сформулированы задачи настоящего исследования.

Во второй главе приведены составы исследованных чугунов и сведения о методах исследования.

Исследованы три группы чугунов: хромистые; хромистые, легированные 3% ванадия; хромистые, легированные 5% ванадия. Каждая группа чугунов состояла из трёх подгрупп (12, 18 и 25% хрома). Содержание углерода в каждой подгруппе изменялось от 2,5 до 3,9%.

Сплавы были выплавлены в пятидесятикилограммовой индукционной печи из низкоуглеродистой стали (0,2...0,3% углерода), электродного графита ЭГ-0, безуглеродистого феррохрома ФХ-001, феррованадия ФВА-35В и ферротитана Ти-70. Разливку металла проводили в земляные формы и алюминиевые кокили (средняя скорость охлаждения при кристаллизации 0,1 град/с и 30...50 град/с, соответственно).

Исследование износстойкости резцов при резании электродного графита проводили точением на токарно-винторезном станке ТК62 при скорости резания 100 м/мин и подаче 1 мм/об. Все резцы имели одинаковую геометрию ($\gamma = 15^\circ$, $\lambda = 10^\circ$, $\varphi = 90^\circ$, $\rho_1 = 10^\circ$, $z = 2$ мм). В качестве обрабатываемого материала использовали электродный графит ЭГ-0 производства Челябинского электродного завода.

Так как механические свойства графитированных электродов колеблются в значительных пределах не только в партии, но и по сечению одного электрода, то, чтобы исключить влияние колебаний на износ резцов, точение электродов проводили блоком из шести резцов, каждый из которых выступал над предыдущим на расстояние, равное глубине резания. Пять резцов были из исследуемых сплавов, а шестой – эталонный резец из твёрдого сплава ВК8.

Износ резцов определяли по ширине ленточки износа (h_f) на задней грани резца при помощи инструментального микроскопа МПБ-2 с погрешностью $\pm 0,005$ мм.

Испытания на абразивное изнашивание проводили по ГОСТ 23.208-79. В этом случае изнашивание осуществляется незакреплёнными частичками абразива (электрокорунд), прижимаемыми к образцу с силой 44 Н вращающимся резиновым роликом диаметром 50 мм. Скорость вращения ролика 60 об/мин.

Относительная износостойкость при абразивном изнашивании (ξ_a) определяется отношением потерянной массы эталонного образца (сталь 45 с твёрдостью 200 НВ) к потерянной массе исследуемого сплава.

Исследование микроструктуры проводили на микроскопе МИМ-8 на шлифах, протравленных 4% спиртовым раствором азотной кислоты.

Количество карбидной фазы в закалённых хромистых чугунах определяли электролитическим растворением матрицы в растворе лимонной кислоты и хлористого натрия.

Фазовый состав некоторых сплавов и карбидных осадков определяли на дифрактометре ДРОН-2,0.

В третьей главе рассмотрено влияние химического состава и термической обработки хромистых и хромованадиевых чугунов на их структуру, твёрдость и износостойкость при резании электродного графита и при абразивном изнашивании.

При сравнительном исследовании износостойкости резцов, изготовленных из поковок некоторых промышленных сталей, прошедших стандартную термическую обработку и литых резцов из белых чугунов, закалённых на максимальную первичную твёрдость, показано, что наименьшей износостойкостью при резании электродного графита обладают резцы из сталей У8 и У12, затем в порядке возрастания износостойкости идут резцы из стали Р18, из чугуна 340Н3, сталей 95Х18, Х12, чугунов 250Х12 и 250Х18 и твёрдого сплава ВК8. Высокая износостойкость белых хромистых чугунов определяется высокой твёрдостью карбидной составляющей.

Исследования показали, что при закалке хромистых чугунов, содержащих 2,5...3,8% углерода и 12...25% хрома, твёрдость при увеличении температуры austенитизации изменяется по кривой с максимумом и может достигать 67 единиц НРС₃ (в зависимости от концентрации углерода). Наиболее высокую износостойкость при обработке электродного графита имеют сплавы, содержащие 2,8...3,2% углерода и 18...24% хрома. Их износостойкость в 2...3 раза больше, чем у инструмента из быстрорежущих сталей и лишь на 30...35% меньше по сравнению с твердосплавными резцами из ВК8.

При введении в хромистые чугуны 3% ванадия максимальная твёрдость увеличивается на 2...3 ед. НРС₃ (рис. I), что связано

с увеличением общего количества карбидной фазы и возрастанием её твёрдости.

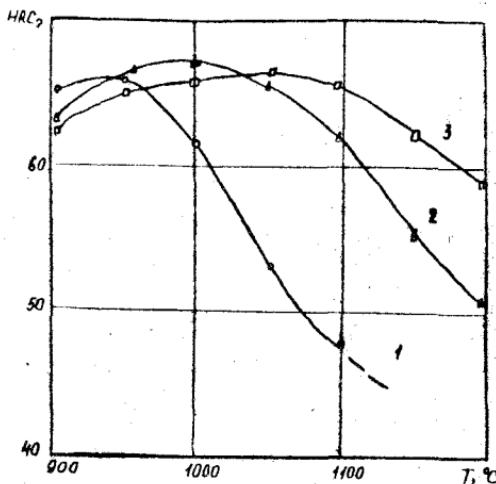
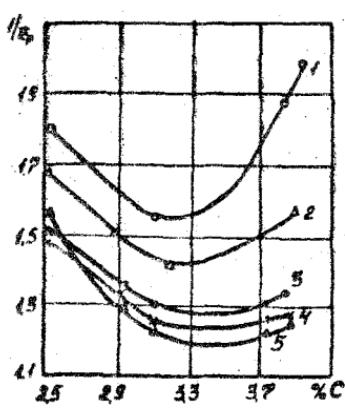


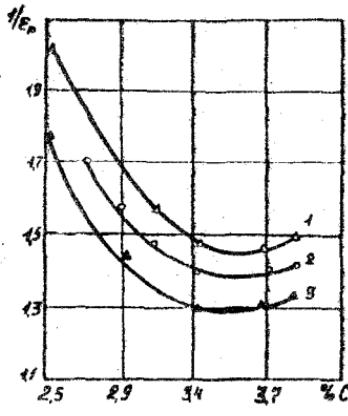
Рис.1. Влияние температуры закалки на твёрдость хромистых чугунов с различной концентрацией ванадия:
1 - 280X12; 2 - 280X12Ф3; 3 - 280X12Ф5.

При введении 5% ванадия твёрдость хромистых чугунов, содержащих менее 3,3...3,5% углерода, понижается (из-за обеднения углеродом металлической основы) до 65 ед.НРС, и становится равной максимальной твёрдости нелегированного сплава. В сплавах с большей концентрацией углерода мартенсит обедняется углеродом в меньшей степени и поэтому введение 5% ванадия может дать такой же рост твёрдости, как и трёхпроцентная добавка. Температура закалки на максимальную твёрдость с увеличением концентрации хрома и, особенно, ванадия повышается.

Износстойкость хромистых и хромованидиевых чугунов, закалённых на максимальную твёрдость и отпущенных при 180...200°C, как при резании электродного графита, так и при абразивном изнашивании зависит от концентрации углерода, хрома и ванадия в сплаве и изменяется в соответствии с изменением твёрдости: чем выше твёрдость, тем меньше износ (при сходной микроструктуре), и только при концентрации углерода более 3,5% в заэвтектических сплавах, несмотря на высокую твёрдость чугунов, их износ несколько увеличивается из-за выкрашивания крупных первичных карбидов из зоны износа (рис.2).



α



β

Рис.2. Относительный износ чугунов при резании электродного графита в зависимости от их состава.

- а - хромистые (1,2) и хромованадиевые чугуны с 3% ванадия (3,4), содержащие 12 (1,3), 18 (4) и 24% хрома (2,5);
- б - хромованадиевые чугуны с 5% ванадия, содержащие 12 (1), 18 (2) и 24% хрома (3)

Для хромистых чугунов всех составов добавки ванадия увеличивают износостойкость при обработке графита. Особо благотворное влияние ванадия оказывает на высокоуглеродистые хромистые чугуны. Его добавки в количестве 3...5% подавляют образование крупных звездчатых карбидов, выкрашивающихся из режущей кромки, и резко увеличивают стойкость инструмента. Наивысшую износостойкость при резании графита (всего на 10...15% меньшую, чем у твёрдого сплава ВК8 и в 4...6 раз большую по сравнению с быстрорежущими сталью) имеют инструменты, изготовленные из хромованадиевых чугунов, содержащих 3,0...3,3% углерода, 18...24% хрома и 3% ванадия.

В четвёртой главе рассмотрено влияние вторичной закалки на структуру, твёрдость и износостойкость хромистых и хромованадиевых чугунов.

При механической обработке твёрдых сортов углеграфитовых материалов и при обработке силицированного графита режущая

кромка инструмента разогревается до высоких температур. В этом случае повышение теплоустойчивости инструмента является важной задачей. С этой целью закалку проводили от температур 1000...1200⁰С, а отпуск - в интервале 450...650⁰С.

Особенность вторичной закалки для хромистых чугунов заключается в том, что она не может быть реализована без некоторого изотермического распада остаточного аустенита в процессе отпуска. Поэтому отпуск необходимо проводить при возможно более низкой температуре, достигая необходимого эффекта вторичной закалки либо увеличением продолжительности отпуска, либо увеличением числа отпусков.

Для всех изученных хромистых и хромованадиевых чугунов наибольшая твёрдость, полученная после вторичной закалки также же или на 1...4 ед. HRC, ниже, чем после закалки на максимальную твёрдость. Теплостойкость чугунов возрастает по мере увеличения концентрации хрома и, особенно, ванадия. Так, для хромистых чугунов температура отпуска, при которой твёрдость остаётся выше 60 ед. HRC, лежит в районе 500...540⁰С (в зависимости от концентрации хрома), при добавлении 3 и 5% ванадия этот интервал повышается до 570...610 и 600...630⁰С, соответственно.

Наивысшей износостойкостью после вторичной закалки при резании электродного графита обладает хромованадиевый чугун ЗИОХ18Ф3, закалённый от 1170⁰С и отпущенный при 570⁰С в течение часа. Этот сплав сохраняет твёрдость выше 60 ед. HRC, при нагреве до 600...610⁰С, хотя при резании электродного графита, когда нет разогрева режущей кромки, он немного уступает в износостойкости хромованадиевым чугунам, закалённым на максимальную твёрдость.

В пятой главе приведены результаты экспериментов по влиянию ускоренной кристаллизации и модифицирования титаном на структуру и износостойкость хромованадиевых чугунов при абразивном изнашивании и при резании электродного графита. Исследована структура, твёрдость и износостойкость наплавленных хромистых и хромованадиевых чугунов.

На рис.3 показана твёрдость и износостойкость при абразивном изнашивании литых и закалённых хромованадиевых чугунов, содержащих 18% хрома, 3% ванадия и 2,5...3,9% углерода, отлитых в

земляные формы и алюминиевые кокили (средняя скорость охлаждения при кристаллизации составляла 0,1 и 30...50 град/с, соответственно).

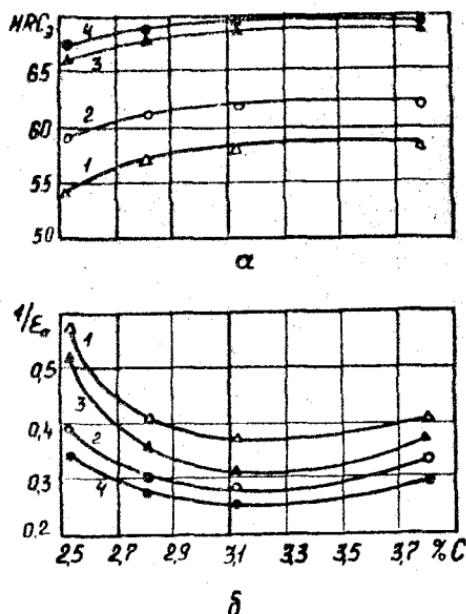


Рис.3. Твёрдость и износ при абразивном изнашивании хромо-ванадиевых чугунов, содержащих 18% хрома и 3% ванадия, залитых в земляную форму (1,2) и алюминиевый кокиль (3,4) в зависимости от содержания углерода.

1,3 - литые, 2,4 - закалённые на максимальную твёрдость.

Микроструктурные исследования показали, что при кристаллизации в алюминиевом кокиле резко возрастает дисперсность структурных составляющих, в результате чего и возрастает твёрдость сплавов. Особенно сильно уменьшаются размеры эвтектических карбидов.

Ускоренное охлаждение при кристаллизации значительно увеличило износостойкость при абразивном изнашивании. Так, износостойкость незакалённых хромованидиевых чугунов, залитых в алюминиевый кокиль, оказалась выше, чем у закалённых чугунов аналогичного состава, но залитых в земляную форму (см.рис.3).

В соответствии с характером изменения твёрдости износ всех чугунов закономерно понижается при увеличении концентрации углерода. И только при концентрациях углерода более 3,2...3,3% износ заэвтектических сплавов несколько возрастает, что можно объяснить выкрашиванием крупных заэвтектических карбидов. Минимальный износ имеют чугуны, содержащие 3,0...3,3% углерода (при 18% хрома и 3% ванадия).

Модицирование хромованадиевых чугунов титаном (0,2%) также привело к диспергированию структуры и повышению твёрдости и износостойкости при абразивном изнашивании, хотя и не столь значительному как при заливке в алюминиевый кокиль. Наибольшее диспергирование структуры и повышение износостойкости наблюдается при совместном воздействии модицирования и ускоренного охлаждения при кристаллизации (табл. I).

Таблица I
Относительный износ при абразивном изнашивании ($\frac{1}{E_a}$)
и при резании электродного графита ($\frac{1}{E_p}$) сплава
310Х18Ф3

Технологические операции	Твёрдость	Относительный износ	
		абразивное изнашивание, $\frac{1}{E_a}$	резание электродного графита, $\frac{1}{E_p}$
M + K + S	70,5	0,251	0,64
K + S	69,5	0,270	0,73
M + Ф + S	69	0,288	0,86
M + K	63	0,293	1,04
K	61,5	0,297	1,12
Ф + S	68,5	0,341	1,21
M + Ф	60	0,356	-
Ф	58	0,398	-

Обозначения: M - модицирование титаном,
 К - заливка в алюминиевый кокиль,
 Ф - заливка в земляную форму,
 S - закалка на максимальную твёрдость.

Диспергирование структуры привело и к значительному увеличению износостойкости резцов при резании электродного графита. Так, резцы из хромованадиевого чугуна 310Х18Ф3, модифицированного титаном, залитые в алюминиевый кокиль, после закалки на максимальную твёрдость, показали при резании электродного графита стойкость, более чем на 30% превосходящую стойкость резцов из твёрдого сплава ВК8 (см.табл. I).

При заливке хромованадиевых чугунов в алюминиевый кокиль в результате значительного градиента температур наблюдается чёткая ориентировка гексагональных речевых карбидов (Fe,Cr,C_3) (как эвтектических, так и первичных) в направлении теплоотвода. Износостойкость в значительной мере зависит от ориентации карбидов по отношению к изнашивающей поверхности. Наибольшая износостойкость достигается в тех случаях, когда оси карбидов расположены перпендикулярно изнашивающей поверхности, поскольку наибольшая твёрдость карбида (Fe,Cr,C_3) наблюдается вдоль его гексагональной оси, а межкарбидное расстояние в этом случае минимально.

Наплавка хромистых и хромованадиевых чугунов также позволяет увеличить дисперсность структуры и твёрдость по сравнению с чугунами, залитыми в земляную форму, за счёт ускоренной кристаллизации наплавленного металла. Закалённые наплавки из хромованадиевых чугунов имеют высокую износостойкость при абразивном изнашивании (хотя и меньшую, чем у образцов из модифицированных или залитых в алюминиевый кокиль чугунов). Но при резании электродного графита наплавленный инструмент показал низкую стойкость, поскольку имевшиеся в наплавленном слое микропоры и закалочные трещины приводили к повышенному износу резцов.

Таким образом, для использования на электродных заводах в цехах механической обработки углеграфитовых материалов может быть рекомендован инструмент из модифицированного титаном хромованадиевого чугуна 310Х18Ф3, залитый в алюминиевый кокиль и закалённый на максимальную твёрдость. Такой инструмент способен заменить не только инструмент из быстрорежущих сталей, но и из твёрдых сплавов.

В шестой главе рассматривается технология изготовления и приводятся данные промышленного опробования литого режущего инструмента из хромистого и хромованадиевого чугуна.

На основании проведённых исследований для промышленного опробования были выбраны сплавы 310Х18Ф3 и 330Х18Ф3, из которых были изготовлены режущие элементы протяжек для обработки внутренних отверстий графитовых блоков для атомных реакторов и режущие элементы фрез, используемых для нарезания резьбы в графитовых электродах.

Сплавы были выплавлены в индукционной печи и разлиты в графитовые формы. Средняя скорость охлаждения составляла 1 град/с, что на порядок выше, чем в земляной форме. После отжига, механической (токарной и фрезерной) обработки изделия подвергали закалке на максимальную твёрдость по режимам: нагрев до 1000°С (310Х18Ф3) или 980°С (330Х18Ф3), выдержка 1,5 ч, закалка в масло и отпуск при 180°С в течение 2 ч. Затем проводили шлифовку режущих элементов, сборку инструмента и заточку режущих кромок.

Промышленные испытания, проведённые на Московском и Челябинском электродных заводах в цехах механической обработки углеграфитовых материалов показали, что протяжки с режущими элементами из сплавов 310Х18Ф3 и 330Х18Ф3 обеспечивают:

- 1) необходимую точность обработки отверстий;
- 2) качество поверхности в соответствии с требованиями технических условий;
- 3) стойкость в 4...6 раз выше стойкости протяжек с режущими элементами из быстрорежущей стали Р6М5 (при гораздо меньшей стоимости).

В 1979 году протяжки с литыми режущими элементами из хромованадиевого чугуна были внедрены на Московском и Челябинском электродных заводах.

Испытания фрез с режущими гребёнками из хромованадиевого чугуна также показали их пригодность к эксплуатации.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

I. Износстойкость закалённых хромованадиевых чугунов как при абразивном изнашивании, так и при резании электродного графита зависит от концентрации углерода, хрома и ванадия в сплаве и изменяется в соответствии с изменением твёрдости. Чем выше твёрдость, тем меньше износ (если дисперсность структурных составляющих в сплавах примерно одинакова). И только при концентрациях углерода более 3,2...3,5% износ увеличивается из-за вы-

крашивания крупных заэвтектических карбидов.

2. Введение ванадия в хромистые чугуны привело к увеличению износостойкости как при абразивном изнашивании, так и при резании электродного графита. Особенно сильно возросла износостойкость заэвтектических чугунов, так как ванадий подавляет образование крупных заэвтектических карбидов, выкрашивающихся из режущей кромки.

3. Малые и большие добавки ванадия по-разному влияют на твёрдость и износостойкость закалённых чугунов. Введение в хромистые чугуны до 3% ванадия приводит к увеличению максимальной твёрдости и износостойкости. Большие количества ванадия несколько понижают твёрдость в мало- и среднеуглеродистых чугунах за счёт обеднения твёрдого раствора углеродом при образовании большого количества карбидов ванадия. Износостойкость при этом также несколько уменьшается, но остаётся выше, чем в нелегированных хромистых чугунах.

4. Наивысшей износостойкостью при резании электродного графита обладают литье инструменты, изготовленные из хромованадиевых чугунов, содержащих 3...3,5% углерода, 18...24% хрома и 3% ванадия. Они в 4...6 раз превосходят по стойкости инструмент из быстрорежущих сталей и лишь немного (всего на 15%) уступают по стойкости твердосплавному инструменту.

5. Во всех сплавах с наиболее высокой износостойкостью карбидная фаза состоит преимущественно из гексагонального карбида $(Fe,Cr)_3C$ и карбида ванадия VC . Наибольшая износостойкость достигается тогда, когда карбиды $(Fe,Cr)_3C$, имеющие карандашную форму, располагаются перпендикулярно к изнашиваемой поверхности.

6. Закалка на вторичную твёрдость не привела к дополнительному повышению износостойкости при резании электродного графита до сравнению с закалкой на максимальную первичную твёрдость, но при увеличении температуры в зоне резания (при увеличении скорости резания или при механической обработке более твёрдых углеродистовых материалов) закалка на вторичную твёрдость может оказаться целесообразной. С увеличением концентрации хрома и, особенно, ванадия, теплостойкость чугунов возрастает.

7. Ускоренное охлаждение при кристаллизации и модифицирование приводят к измельчению литой структуры, повышению твёрдости и износостойкости. Особенно сильное влияние оказывает совместное

воздействие этих факторов. Так, износостойкость закалённых на максимальную твёрдость резцов из модифицированного титаном сплава ЗТХ18Ф3, залитого в алюминиевый кокиль, оказалась почти на 30% выше износостойкости резцов из твёрдого сплава ВК8.

8. Результаты, полученные в настоящем исследовании, убедительно показывают целесообразность использования литого инструмента из хромованадиевых чугунов для механической обработки углеграфитовых материалов вместо очень дорогого и трудоёмкого в изготовлении твердосплавного инструмента и инструмента из быстрорежущих сталей.

9. Результаты промышленных испытаний подтвердили эффективность применения инструмента из хромованадиевых чугунов (резцы, фрезы, протяжки) при обработке графита вместо инструмента из быстрорежущих сталей и твёрдых сплавов.

В 1979 году протяжки с литыми режущими элементами из хромованадиевого чугуна (3,1...3,3% углерода, 18...20% хрома и 3% ванадия) были внедрены в цехах механической обработки на Московском и Челябинском электродных заводах.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Влияние состава и структуры инструментов из хромистых чугунов на их износостойкость при обработке электродного графита /Н.М.Мирзаева, М.М.Штейнберг, А.Н.Емельюшин и др.- Вестник машиностроения, 1979, № 7, с.48-51.

2. Мирзаева Н.М., Емельюшин А.Н., Мирзаев Д.А. Влияние ориентировки и дисперсности карбидов на износостойкость литого инструмента из хромистых чугунов. Известия вузов. Чёрная металлургия, 1983, № 4, с.72-75.

3. Исследование структуры и износостойкости литых инструментов из хромованадиевого и ванадиевого чугуна /Ю.Н.Гойхенберг, А.Н.Емельюшин, Н.М.Мирзаева и др.- В кн.: Вопросы производства и обработки стали. Челябинск: ЧПИ, 1982, № 265, с.93-98.

4. Применение хромистого чугуна как эффективного заменителя твёрдых сплавов и быстрорежущих сталей для изготовления инструмента, обрабатывающего электродный графит /А.Н.Емельюшин, Д.А. Мирзаев, А.К.Ольховецкий и др.- Тез.докл. II Всесоюзн.конфер. Перспективы развития режущего инструмента и повышение эффектив-

ности его применения в машиностроении. Ленинград, 1978, с.380-381.

5. Емельшин А.Н., Мирзаев Д.А., Ольховацкий А.К. Перспективы использования в электродной подотрасли литого режущего инструмента из хромистых чугунов.- В кн.: Мероприятия по повышению качества и эксплуатационной стойкости углеродной продукции. Тез.докл. ИУ Всесоюзн.конфер. Челябинск, 1978, с.131-132.

6. Разработка нового класса инструментальных режущих материалов на базе хромистых чугунов для обработки графитовых изделий/ Н.М.Мирзаева, А.Н.Емельшин, А.К.Ольховацкий и др.- В кн.: Мероприятия по повышению качества и эксплуатационной стойкости углеродной продукции. Тез.докл. ИУ Всесоюзн.конфер. Челябинск, 1978, с.129-130.

7. Износостойкость инструмента из ледебуритных сплавов при обработке электродного графита/ Д.А.Мирзаев, Ю.Н.Гойхенберг, А.Н. Емельшин и др.- В кн.: Повышение качества металлопродукции и эффективности производства. Тез.докл.научно-техн.конфер. Металловедческие резервы повышения качества металлопродукции, надёжности и долговечности машин, Челябинск, 1981, с.27-28.

8. Износостойкость литых инструментов из легированных хромистых чугунов, обработанных на вторичную твёрдость/ А.Н.Емельшин, Н.М.Мирзаева, Д.А.Мирзаев и др. - В кн.: Теория и практика производства метизов. Свердловск, 1982, с.103-108.

9. Износостойкость литых инструментов из хромистого чугуна, обработанных на вторичную твёрдость при резании электродного графита/ Н.М.Мирзаева, М.М.Штейнберг, А.Н.Емельшин и др.- Рукопись представлена редакцией журн. Станки и инструмент. Деп.в НИИМаше, 1980, № 80-80.

10. Износостойкость инструмента из хромованадиевого чугуна при обработке графита/ А.Н.Емельшин, Д.А.Мирзаев, Ю.Н.Гойхенберг и др.- В кн.: Новое в металловедении и термической обработке металлов и сплавов. Тез.докл. Всесоюзн. научно-техн.конфер. Челябинск: УДНТИ, 1983, с.17-18.

Н.А.Смирнов