

76.07
М684

Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

МИРЗАЕВА Наталья Михайловна

ИЗЫСКАНИЕ МАТЕРИАЛА И РЕЖИМОВ
ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЛИТОГО ИНСТРУМЕНТА
ДЛЯ РЕЗАНИЯ ГРАФИТА

Специальность 05.16.01—
"Металловедение
и термическая обработка металлов"

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание
ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск, 1976

ЧПИ

Работа выполнена в Челябинском политехническом институте и Государственном научно-исследовательском и проектно-технологическом институте электродной промышленности.

Научный руководитель - профессор, доктор технических наук ШТЕЙНБЕРГ М.М.

Официальные оппоненты: профессор, доктор технических наук ГОЛЬДШТЕЙН Я.Е.,
кандидат технических наук БЕРЕЗИНА Т.Г.

Ведущее предприятие - Государственный научно-исследовательский и проектно-технологический институт электродной промышленности.

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 1976 г. в 15 часов в ауд. _____ на заседании специализированного совета К-597/3 по присуждению ученой степени кандидата технических наук в Челябинском политехническом институте им. Ленинского комсомола по адресу: 454044, г. Челябинск-44, проспект им. Ленина, 76, тел. 39-39-64.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института. Автореферат разослан " _____ " _____ 1976 г.

Ученый секретарь специализированного совета доцент, канд. техн. наук

О.К. Токовой (О.К. ТОКОВОЙ)



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ. В настоящее время электродные заводы расходуют большое количество дефицитных твердых сплавов, применение которых для обработки мягкого и хрупкого графита с низкой температурой резания нельзя признать рациональным. Многие типы твердосплавного инструмента изготавливаются сборными. Опыт эксплуатации такого инструмента (фрезы, протяжки) показал, что его сборка, пайка режущих лезвий, их заточка и переточка требуют повышенных затрат, а конструкция инструментов не гарантирует необходимой точности обработки, особенно ниппельных гнезд.

Интенсивный рост объема производства электродной продукции, повышенные требования к точности, качеству и экономической эффективности механической обработки выдвинули в число первостепенных задач электродного производства /1/ проблему создания литого режущего инструмента взамен применяемого твердосплавного. Изготовление инструмента литьем из относительно недорогих сплавов не только экономично само по себе, но и позволяет получать инструмент сложных конфигураций. В частности, это имеет первостепенное значение для внедрения прогрессивного метода обработки угольных и графитированных электродов протягиванием, обеспечивающим десятикратное увеличение производительности труда /2/.

Изготовление протяжного инструмента литьем позволяет также решить задачу качественной обработки электродов больших диаметров (550 и 610 мм) для мощных сталеплавильных печей.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Разработать оптимальные составы и режимы термообработки литого режущего инструмента, предназначенного для механической обработки графитированных изделий. Для решения этой задачи необходимо изучить закономерности износа инструмента при обработке графита и его зависимость от состава сплавов, условий кристаллизации, режима термической обработки и направления резания с учетом текстурированности графитированных изделий.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Впервые исследована износостойкость основных современных инструментальных материалов и большой группы хромистых чугунов при обработке электродного графита. Получены данные о влиянии типа, дисперсности и ориентировки карбидов, химического, фазового состава и структуры на износостойкость закаленных и отпущенных хромистых чугунов.

Установлена причина высокого износа инструмента при обработке графита, тесно связанная с резкой анизотропией твердости графита и заключающаяся в микрорезании кромки инструментов пакетами плоскостей (001) графита, имеющими в направлении осей α и β твердость (по Моосу), близкую к твердости алмаза. Отмечено сильное влияние на износ степени текстурирования графита и ориентировки направления резания относительно оси текстуры электрода. Впервые для анализа текстуры графитов развит и применен метод шаровых образцов.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РАБОТЫ. Разработаны составы хромистых чугунов для литого инструмента, предназначенного для обработки графитированных изделий. Выяснено влияние условий кристаллизации на износостойкость литого инструмента. Найдены оптимальные режимы термической обработки. Установлена зависимость стойкости инструмента от направления резания текстурированных графитированных электродов.

РЕАЛИЗАЦИЯ. На основе учета текстурированности графитированных электродов в цехах Челябинского электродного завода (ЧЭЗ) на некоторых операциях изменено направление резания, что привело к снижению износа инструмента, повышению чистоты поверхности и обеспечило годовой экономический эффект 50 тыс. рублей. На основании результатов исследования были изготовлены из хромистых чугунов литые резьбообразующие фрезы для ниппельных гнезд, ротационные фрезы для обработки угольных электродов и протяжки для обработки пазов графитовых блоков. Испытания этих инструментов в цехах ЧЭЗа дали положительные результаты.

Ожидаемый общий экономический эффект от внедрения результатов работы на ЧЭЗе составляет 111 тыс. рублей.

Внедрение литого инструмента на всех отечественных электродных заводах включено в отраслевой план объединения "Союзуглерод" на 1975-77 гг.

АПРОВАЦИЯ. Результаты работы докладывались на второй Башкирской областной научно-технической конференции "Современные проблемы металловедения и термообработки" в апреле 1975 г. и неоднократно на научных конференциях и семинарах ЧПИ.

ПУБЛИКАЦИЯ. По теме диссертации опубликовано 11 статей и тезисов докладов.

ОБЪЕМ. Диссертация изложена в шести главах на 123 страницах машинописного текста, содержит 75 рисунков, 18 таблиц и 137 литературных ссылок.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Взаимодействие графита с твердосплавными резами изучено слабо, хотя большинство инструментов в электродном производстве изготовлено из сплавов ВК6 и ВК8. Опыт механических цехов и немногочисленные исследования показали, что электродный графит интенсивно изнашивает резы, несмотря на низкую температуру в зоне резания и малые силы резания. Износ инструмента преимущественно проходит по задней грани и слабо зависит от скорости резания.

Природа столь высокой истирающей способности мягкого графита неизвестна. Существует мнение, что она обусловлена абразивными включениями SiO_2 , Al_2O_3 и т.д. Не изучена износостойкость легированных сплавов и чугунов, которые могут быть использованы для изготовления массивных литых инструментов или их режущих частей.

Среди литых сплавов, стойких при абразивном износе, многие исследователи (Гарбер М.Е., Цыпин И.И., Богачев И.Н., Бобух Ж.С., Народницкий Д.В. и др.) отмечают хромистые чугуны, нашедшие широкое применение в горнорудной промышленности СССР, США и др. стран. Возможность использования этих материалов для режущего инструмента систематичес-

ки не изучалась, хотя, как отметил Э.Гудремон, в отдельных работах наблюдалась очень высокая стойкость литых закаленных резов из хромистых сталей в условиях работы без нагрева. Все это дало основание нам обратить особое внимание на хромистые чугуны как на дешевые, удобные для литья и износостойкие материалы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Обрабатываемый материал. В качестве обрабатываемого материала исследовали твердые сплавы ВК6, ВК8, кованные инструментальные стали промышленной выплавки P13, X12, X12M, 9X13, У3, У10; У12 и большую группу из сорока литых сплавов, выплавленных в лабораторных условиях на железо-хром-углеродистой основе. Содержание углерода в этих сплавах варьировали от 0,9 до 4%, а хрома от 12 до 33%.

Некоторые хромистые чугуны дополнительно легировали молибденом, ванадием, кобальтом, бором и марганцем.

Средняя скорость охлаждения отливок в интервале температур кристаллизации составляла примерно $6,4^{\circ}/\text{мин}$. В некоторых случаях для повышения скорости кристаллизации проводили разливку в графитовые формы диаметром 20 мм или засасывали расплав в кварцевые трубки диаметром 6 мм. Скорость охлаждения в этих случаях равнялась соответственно 40 и $600^{\circ}/\text{мин}$.

Обрабатываемый материал. В качестве основного обрабатываемого материала использовался электродный графит ЭГ-0 производства ЧЭЗ. В некоторых опытах обрабатывали высокочистый графит ГМЗ (графит малозольный), электроды, изготавливаемые фирмами США, ФРГ и Японии и серый чугун СЧ-12-23, содержащий 3% углерода и имеющий твердость $HB=160 \text{ кг}/\text{мм}^2$. Для изучения текстуры графитов использовали метод двух цилиндрических образцов, вырезанных перпендикулярно друг другу вблизи данной точки электрода. Более подробные данные о пространственном распределении плотности нормалей плоскостей (001) графита получены дифрактометрическим методом шаровых образцов, впервые примененном к графитам в данной работе.

Исследование износа проводили точением цилиндрических электродов при следующих неизменных параметрах резания: скорость резания 10 или 400 м/мин, подача 1 мм, передний угол $\gamma' = 15^\circ$, задний угол $\alpha = 0^\circ$, глубина резания 1 мм. Резцы имели либо прямоугольное сечение 7x13 мм, либо круглое с диаметром 8 мм. В отдельных опытах использовали строгание.

Износ резцов оценивали по ширине ленточки износа по задней грани (h_z), которую измеряли на инструментальном микроскопе с точностью $\pm 0,005$ мм.

Для анализа структурных изменений в изношенной зоне резца на дифрактометре УРС-50ИМ изучалось уширение дифракционных отражений от кобальтовой и карбидной фаз твердых сплавов.

Для некоторых хромистых чугунов проводили испытания на абразивный износ при истирании по методу Бринеля-Хаворта кварцевым песком при нагрузке 10 кг.

Контактные параметры пары графит-твердый сплав (коэффициент трения, температура, термо э.д.с., износ) изучали на машине трения по схеме графитовый диск-твердосплавный палец при скоростях движения диска от 20 до 720 м/мин.

Фазовые превращения при нагреве и охлаждении изучали на dilatометре Шевенара. Исследование низкотемпературных превращений при закалке и отпуске проводили на магнитометре Д.С.Штейнберга, с помощью которого оценивали также количество α -фазы.

Фазовый состав сплавов определяли рентгеноструктурным анализом образцов или карбидных осадков после анодного растворения.

Исследование микроструктуры проводили под микроскопом МИМ-8 на шлифах, протравленных 4% спиртовым раствором азотной кислоты. Отдельные результаты фазового анализа контролировали методом секущих.

Прокаливаемость определяли на цилиндрических образцах диаметром и высотой 20 мм. Их нагревали до температур, обеспечивающих после закалки максимальную твердость, выдерживали 30 мин и охлаждали с различными скоростями, которые измеряли термопарами, приваренными к торцевой поверхности образ-

цов. После охлаждения образцов вблизи зоны приварки термопары измеряли твердость и строили график зависимости твердости от скорости охлаждения. За критическую скорость охлаждения при закалке принималась такая скорость, при которой твердость, измеренная на торце цилиндра, достигает значения 60 HRC. Значения критических скоростей были использованы затем для расчетов по номограммам М.Е.Блантера критических диаметров цилиндров, которые после охлаждения в масле или на воздухе принимают в центре твердость 60 HRC.

Механические испытания на изгиб проводили по стандартной методике в соответствии с ГОСТ 2055-43. Твердость измеряли на прессе Роквелла алмазным конусом при нагрузке 150 кг. Микротвердость определяли на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 50 г. Каждое значение микротвердости принято как среднее десяти измерений.

Изучение износа твердосплавного инструмента при обработке электродного графита

Взаимодействие резец-графит изучалось на твердосплавном инструменте. При скоростях резания до 400 м/мин температура режущей кромки T_p не превышает 250°C, в то время как при обработке серого чугуна, дающего такую же стружку надлома, T_p выше 500-600°C. Благодаря низкой T_p при обработке графита не наблюдается стадии катастрофического износа. За начальной стадией приработки, характеризующейся повышенным износом режущей кромки, наступает стадия установившегося истирания, протекающего, главным образом, по задней грани. Несмотря на низкую твердость графита он изнашивает режущий инструмент гораздо сильнее, чем серый чугун, хотя силы и температура резания в последнем случае несравнимо выше.

Как показал рентгеноструктурный анализ, в процессе износа наблюдалась значительная пластическая деформация как кобальтовой, так и карбидной фаз твердого сплава. Эти измерения, а также полученные нами данные о низких термо э.д.с. и температуре резания, наблюдения за изношенной поверхностью позволили сделать вывод об абразивном износе на установившейся стадии.

Абразивный износ инструмента при резании мягкого графита приписывают часто наличию в нем твердых зольных частиц. Наши исследования показали, что износ инструмента в малой мере зависит от содержания в графите зольных включений.

Гораздо более сильное действие на износ оказывает текстура электродов и соотношение между направлением резания и осью текстуры. Износ оказывается минимальным, если нормаль к плоскости резания совпадает с направлением максимальной плотности нормалей к плоскостям (001). Поэтому износ резцов при строгании вдоль радиуса электродов намного выше, чем при строгании вдоль оси, причем анизотропия износа увеличивается с ростом степени текстурированности графита, которую характеризует коэффициент кристаллографической анизотропии K_1 (табл.1).

Таблица 1

Износ инструментов при обработке вдоль и поперек оси прессования графитированных электродов различного производства

Графит производства фирм	Коэффициент анизотропии, K_1	Износ h_3 на пути 15 км. мм		h_3 попер. h_3 прод.
		продольное: направлен.	поперечное: направлен.	
США	2,8	0,20	0,47	2,3
ЧЭЗ (СССР)	1,9	0,37	0,54	1,49
ФРГ	1,5	0,43	0,53	1,2
ДЭЗ (СССР)	1,5	0,49	0,57	1,17

Отсюда следует, что изделие на станке нужно ориентировать так, чтобы направление движения резца совпадало с осью текстуры. При таком направлении обработки не только уменьшается износ инструмента, но и улучшается чистота поверхности. Внедрение только этой рациональной технологии на операции обработки глубоких пазов химических анодов позволило получить на ЧЭЗе годовой экономический эффект 50 тыс. рублей.

Эти результаты, а также литературные данные о резкой анизотропии твердости монокристаллов графита привели к выводу, в отличие от выводов других исследователей, что износ инструментов обусловлен абразивным действием на них кромок

плоскостей (001), расположенных перпендикулярно к плоскости резания. В этом направлении графит имеет твердость по Моосу, близкую к твердости алмаза.

Износ резцов, изготовленных из инструментальных сталей и хромистых чугунов

Износостойкость закаленного инструмента при обработке электродного графита, как и при других видах абразивного износа, зависит от содержания углерода в сплавах причем, как видно из рис.1, наивысшую износостойкость имеет высокохромистые стали и чугуны с 12% хрома, содержащие карбиды $(Fe, Cr)_{23}C_6$. Обработка сталей P18 и X12 на вторичную твердость не выявила преимуществ этой обработки по сравнению с закалкой на максимальную твердость.

Износостойкость литых хромистых сплавов хотя и уступает твердым сплавам, но выше, чем у P18 (износ по задней грани для них соответственно равен: 0,6мм для 250X12; 0,35 мм для ВкВ и 0,92 мм для P18).

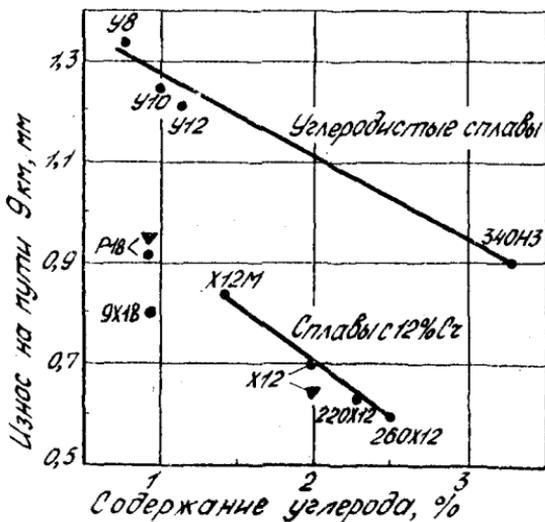


Рис. 1.

Износ резцов из различных сплавов при обработке электродного графита: ● — закалка на максимальную твердость; ▼ — обработка на вторичную твердость

Полученные результаты указывали на целесообразность подбора состава, условий кристаллизации и термической обработки литых хромистых чугунов с целью повышения их износостойкости.

Влияние состава и структуры
на износостойкость закаленных
литых хромистых чугунов

В литых хромистых чугунах с различным содержанием углерода и хрома исследовали состав карбидной фазы, температуры фазовых превращений и твердость в зависимости от температуры закалки и отпуска, продолжительности отпуска и числа отпусков. Определяли также мартенситные точки, прокаливаемость, износостойкость и проводили испытания на изгиб.

На закаленных*¹) образцах сплава 250X12 были изучены износостойкости в условиях резания графита и истирания кварцевым песком. В обоих случаях максимумы твердости и износостойкости совпадают. Однако при обработке графита наблюдается еще один максимум износостойкости после закалки от 1150°C, когда сплав находится в "чисто" аустенитном состоянии (рис.2). Такой же характер изменения износа при резании наблюдали и для сплавов 250X18 и 330X12 (рис.3). В большинстве работ повышенную износостойкость сплавов с аустенитно-карбидной структурой связывают либо с образованием мартенсита деформации, либо с высокой прочностью аустенита. Однако для исследованных сплавов на поверхности изношенной режущей кромки не удалось обнаружить α -фазы или значительного повышения микротвердости. Возможно, что наклепанный слой настолько тонок, что алмазная пирамида продавлиывает его при испытаниях. По-видимому, природа "аустенитного максимума" нуждается в дополнительных исследованиях.

Систематические исследования износостойкости хромистых чугунов проведены для случая закалки на максимальную твердость. Твердость сплавов после закалки изменялась в зависимости от состава от 63 до 67 HRC.

При отношении концентраций хрома и углерода в сплавах

*¹) Отпуск при 170°C, 2 часа.

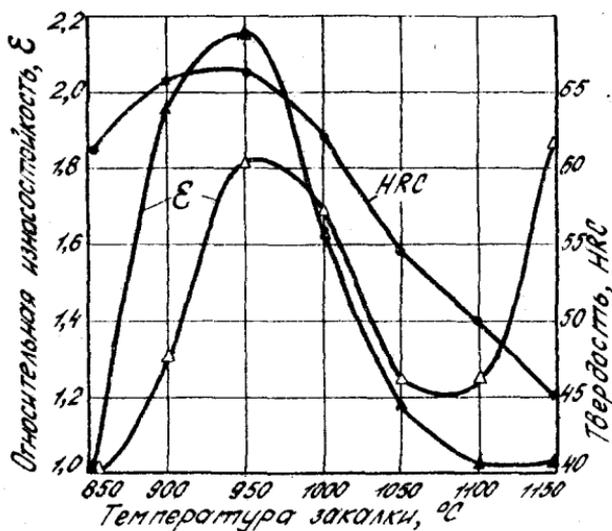


Рис.2.

Зависимость твердости (●) и износостойкости сплава 250X12 в условиях абразивного износа (▲) и обработки графита (Δ) от температуры закалки

от 3,8 до 9,3 возникает карбид $(Fe, Cr)_7C_3$, при более высоких значениях этого отношения появляется кубический карбид $(Fe, Cr)_{23}C_6$, а при более низких – легированный хромом цементит.

Износ резов сплавов, охлаждавшихся в интервале температур кристаллизации с обычной скоростью (6,4 °/мин) имеет минимум как в зависимости от содержания углерода, так и хрома (рис.4, кривые 1–4). Наиболее высокую износостойкость имеют сплавы с содержанием углерода 2,8–3,2% и хрома 17–24%. Их износ на пути 15 км составляет около 0,6 мм, что всего на 0,1 мм больше, чем у ВК3.

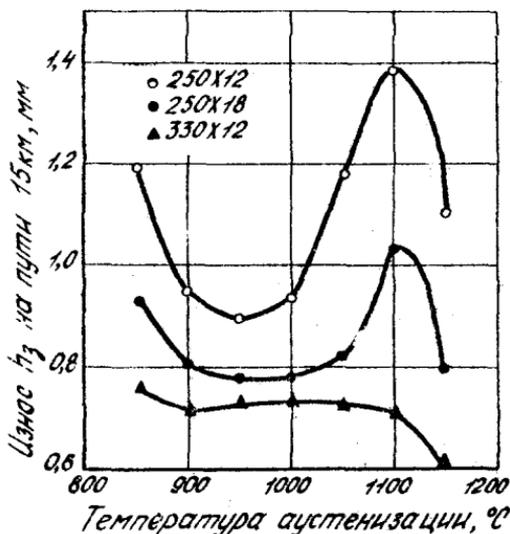


Рис. 3.

Зависимость износа резов из некоторых хромистых чугунов от температуры закалки

При указанном составе чугуны содержат карбиды $(Fe, Cr)_7C_3$, обладающие наивысшей твердостью среди карбидов системы $Fe - Cr - C$. Предельное содержание в них углерода 3,2% оказывается близким к эвтектическому для сплавов с 12% Cr . Вблизи этой концентрации начинается сильное снижение прочности и пластичности в связи с охрупчивающим действием заэвтектических карбидов. Характерно, что увеличение износа у заэвтектических сплавов получается, главным образом, за счет хрупких выкрашиваний режущей кромки на начальной стадии износа.

Существенное влияние на величину износа оказывает дисперсность карбидов и их ориентировка по отношению к режу-

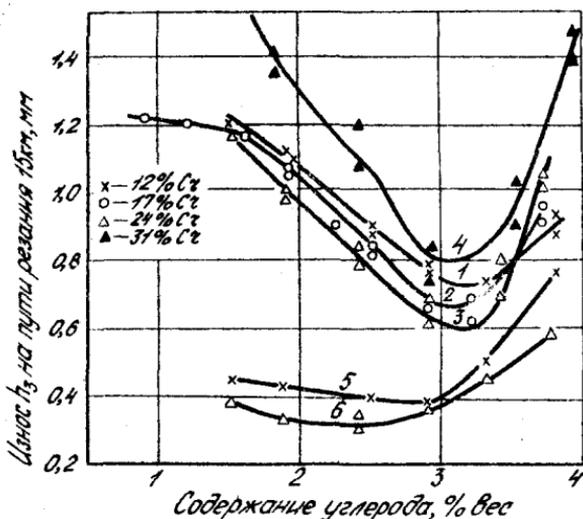


Рис.4.

Износ закаленных резцов из хромистых чугунов в зависимости от их состава

щей кромке. Увеличение скорости охлаждения при кристаллизации до $600^{\circ}/\text{мин}$ измельчает карбидную фазу и резко уменьшает износ (рис.4, кривые 5,6). Например, резцы из сплава 250X24 имели износ 0,3 мм, который оказался почти в 1,5 раза ниже, чем у ВК-8.

Карбид $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}_2$ склонен к образованию кристаллов карандашной формы. В поверхностных слоях отливок оси этих карбидов расположены вдоль направления теплоотвода. Самую высокую износостойкость имеет резец, у которого оси карбидов перпендикулярны плоскости резания. Самую низкую износостойкость показал резец, карбиды в котором располагались параллельно плоскости резания и направления трения. Для объяснения этих результатов были измерены микротвердости карандашных карбидов на боковых и торцевых поверхностях (рис.5).

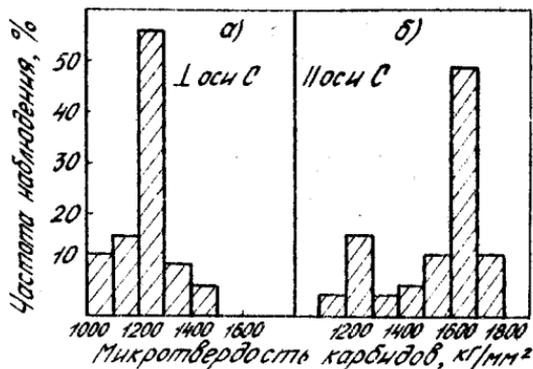


Рис.5.

Гистограммы микротвердости

Оказалось, что карбид $(Fe, Cr)_7C_3$ имеет свойственную гексагональным кристаллам анизотропию твердости: в направлении оси С гексагональной решетки микротвердость составляла 1650 кг/мм^2 , а в перпендикулярном направлении — 1250 кг/мм^2 . Таким образом, для получения наивысшей износостойкости заточка резцов должна производиться так, чтобы направление осей С карандашных карбидов было перпендикулярно режущей кромке и задней грани резца.

Легирование хромистых чугунов ванадием, молибденом и бором увеличивает износостойкость инструмента, а молибден одновременно повышает и прокаливаемость сплавов (табл.2).

Таблица 2

Износ и прокаливаемость резцов из легированных чугунов

Сплав	Износ h_3 на пути 15 км, мм	Критический диаметр при закалке в масле, мм
240X25	0,82	80
240X25T3	0,69	50
240X25M3	0,63	> 300
240X25Г3	0,91	> 300
250X25К3	0,87	60
250X25В	0,70	95
290X18	0,64	60
290X18M3	0,53	240
300X25M3	0,50	> 300
300X25Г3	0,50	60

В связи с тем, что молибден существенно увеличивает прокаливаемость хромистых чугунов, его использование может быть рекомендовано для изготовления массивного режущего инструмента.

Марганец также увеличивает прокаливаемость и, что немаловажно, еще снижает температуру закалки на максимальную твердость, однако, он оказывает отрицательное влияние на износостойкость.

Ванадий, напротив, снижает прокаливаемость, но увеличивает износостойкость чугунов. Легированные ванадием хромистые чугуны можно рекомендовать для изготовления инструментов небольших размеров. Как показано ниже, особо положительное влияние ванадия выявилось для чугунов, обработанных на вторичную твердость.

Износ литых хромистых чугунов, обработанных на вторичную твердость

При обработке некоторых угольных изделий и деталей из силицированного графита наблюдается заметный разогрев инструмента. Поэтому представлялось целесообразным исследовать износостойкость резцов из хромистых чугунов, закаленных от повышенных температур и подвергнутых отпуску на вторичную твердость. С этой целью закалка производилась от температур 1000–1200°C, а отпуск – в интервале 450–590°C.

Специфическая особенность явления вторичной закалки для хромистых чугунов заключается в том, что оно не может быть реализовано без некоторого изотермического распада остаточного аустенита в процессе отпуска. Поэтому отпуск необходимо производить при возможно более низкой температуре, достигая эффекта вторичной закалки либо путем увеличения продолжительности отпуска, либо путем увеличения числа отпусков. В результате вторичной закалки может быть достигнута примерно такая же твердость (61–62 HRC), как и после закалки на максимальную твердость. Однако эта сложная обработка не дает значительных преимуществ в износостойкости по сравнению с закалкой на максимальную твердость и последующим низким отпуском, и поэтому не может быть ре-

комендована для инструментов с низкой температурой резания. Теплостойкость хромистых чугунов растет по мере увеличения в них концентрации хрома. В сплавах с 2,5% углерода максимальной теплостойкостью обладает чугун 240X25. Дальнейшего роста сопротивления отпуску можно достигнуть легированием кобальтом, бором, молибденом и особенно ванадием. Сплав 240X25ФЗ после закалки от 1200° и трехкратного двухчасового отпуска при 590° имеет твердость 64-65 HRC. Резец из этого сплава имел износ на пути 15 км такой же, как у ВК-8 (0,55-0,57 мм). Достигнутое высокое значение твердости здесь обеспечивается не только явлением вторичной закалки, но и эффектом дисперсионного твердения

Промышленное опробование

Все испытания литого режущего инструмента и новой технологии обработки графитированных изделий протягиванием проведены в цехах механической обработки Челябинского электродного завода.

На основании установленного в данной работе влияния текстуры графита на износ инструмента и чистоту обработанных поверхностей была предложена рациональная технология обработки глубоких пазов вдоль оси текстуры графита. Основываясь на этих данных, ГОСНИИЭП разработал протяжной инструмент, который был внедрен на операции обработки пазов в цехах ЧЭЗа. Экономический эффект от внедрения по нашей части работы составил 50000 руб.

Из хромистых чугунов 290X18M2, 230X18M2 и 250X24ФЗ были отлиты соответственно 1) режущие элементы (кольца) для протяжек, обрабатывающих отверстия диаметром 114 мм в графитовых блоках для атомных реакторов; 2) резабразующие фрезы диаметром 200, 250 и 300 мм для обработки гнезд ниппельных соединений электродов; 3) режущие диски ротационных фрез, применяемых для обработки плоских поверхностей угольных блоков с повышенной температурой в зоне резания.

После отжига, механической (токарной и фрезерной) обработки режущие кольца протяжек и диски ротационных фрез подвергались термообработке по режимам: нагрев до 1000°С (290X18M2)

или 1100°C (250X24Ф3), выдержка 1 час, закалка в масле и низкий отпуск 200°C в течение 2 часов. Твердость инструмента после закалки составляла 63-64 HRC.

Для резцообразующих фрез применяли более мягкую ступенчатую закалку: загрузка в печь с температурой 600°C, нагрев с печью до температуры 1000°C, выдержка 1 час, охлаждение в масле до температуры (массивных частей) 450-500°C, дальнейшее охлаждение проводили на воздухе. После термообработки зубья фрезы имели в среднем твердость 57 HRC.

Испытания показали, что все три вида инструментов обеспечивают повышенную чистоту и точность обработки, имеют намного более низкую стоимость, чем у существующих твердосплавных инструментов или инструментов из Р6М5, превосходят по износостойкости инструменты из стали Р6М5 и в некоторых случаях (ротационные фрезы) имеют износостойкость, равную твердосплавным. Однако и в тех случаях, когда инструменты из хромистого чугуна уступают по износостойкости в 1,5-2 раза твердосплавным (резцообразующим фрезам), вероятно, из-за пониженной твердости или несовершенства конструкции, их применение оказалось экономичным благодаря низкой стоимости сплава, повышению чистоты обработки изделий и снижению затрат на изготовление инструмента.

В ы в о д ы

1. Абразивный износ резцов при обработке электродного графита вызывается "кромками" плоскостей (001), расположенными перпендикулярно поверхности резания и имеющими в этом направлении твердость, близкую к твердости алмаза. Десятикратное изменение содержания твердых зольных включений в графите не оказывает заметного влияния на износ инструмента.

2. В силу специфики производства графитированные электроды всегда текстурированы и износ инструмента в сильной мере зависит от ориентировки направления резания по отношению к оси текстуры. Различие в износе инструмента при обработке вдоль и поперек направления прессования электродов увеличивается по мере увеличения степени их текстурированности.

3. Оптимальным направлением резания является такое, при котором движение обрабатывающего инструмента совпадает с осью электрода.

4. Из исследованных инструментальных сплавов наивысшей износостойкостью обладают твердые сплавы, а наименьшей — углеродистые стали. Износостойкость хромоуглеродистых сплавов как в кованом, так и, тем более, в литом состояниях превосходит износостойкость как углеродистых сталей, так и стали P18.

5. Износ резцов из хромистых чугунов при обработке графита находится в сложной зависимости от температуры закалки: сначала он уменьшается и становится минимальным при достижении максимальной твердости, затем повышается вследствие увеличения количества остаточного аустенита и снижения твердости, однако, затем вновь уменьшается, когда структура матрицы становится, в основном, аустенитной, несмотря на относительно низкую твердость.

6. При всех исследованных содержаниях хрома (12, 17, 24 и 31%) и углерода (2,5–3,2%) наибольшая износостойкость резцов достигается в сплавах с 2,8–3,2% углерода при 17–24% хрома.

7. Износостойкость резцов при обработке графита в сильной мере зависит от ориентации карбидов ($Fe, Cr)_3C_3$ карандашной формы по отношению к режущей кромке: наибольшая износостойкость достигается в случае, когда оси карбидов расположены перпендикулярно к режущей кромке и задней грани резца.

8. Увеличение скорости охлаждения при кристаллизации, приводящее к диспергированию карбидов ($Fe, Cr)_3C_3$, существенно повышает износостойкость резцов. Увеличение скорости охлаждения в интервале температур кристаллизации от 6,4 до 600°/мин повысило износостойкость сплава 250X24 по отношению к ВКЗ от 0,6 до 1,4.

9. Обработка по оптимальным режимам на вторичную твердость не дает преимуществ в износостойкости резцов из всех исследованных сплавов (за исключением сплава, содержащего ванадий 240X18F2) по сравнению с закалкой на максимальную твердость с последующим низким отпускком.

10. Значительно повышают прокаливаемость хромистых чугунов марганец, молибден и слабее бор, а кобальт и особенно ванадий заметно ее уменьшают.

11. В сплавах с основой 250X12 и 250X25 молибден, ванадий и в меньшей степени бор повышают износостойкость резов, а кобальт и марганец несколько ее понижают. Наиболее высокая и примерно равная износостойкость, не уступающая таковой для твердосплавного инструмента, достигается при 2,9-3,0% углерода в сплавах, легированных молибденом или ванадием (290X18M3, 300X25M3, 300X25Ф3).

12. Для повышения прокаливаемости сплава с ванадием необходимо повышение температуры закалки до 1200°C.

13. Сплав 240X25Ф3, закаленный от 1200°C и многократно отпущенный при 590°C, приобретает твердость 64 HRC, а резы, обработанные по такому режиму, не уступают по износостойкости твердосплавному инструменту.

14. Промышленное опробование показало технологическую и экономическую целесообразность использования литого инструмента и хромистых чугунов для обработки графитированных изделий взамен дорогого и дефицитного твердосплавного инструмента.

Основное содержание диссертации
опубликовано в следующих работах

1. Маргулис Д.К., Рогов А.А., Мирзаева Н.М. Исследование износа твердосплавного инструмента при протягивании графита. "Вестник машиностроения", 1972, №11.

2. Маргулис Д.К., Мирзаева Н.М., Рогов А.А. Изменение тонкой структуры твердосплавных резов при обработке ими чугуна и графита. Сб. "Прогрессивная технология листовой и отделочной обработки", №114, Челябинск, Юж.-Ур.изд., 1972.

3. Караунова Р.В., Мирзаева Н.М. Взаимосвязь текстуры с анизотропией теплового расширения графита. Сб. "Совершенствование технологии и улучшение качества электродной продукции", №5, Юж.-Ур.изд., Челябинск, 1973.

4. Маргулис Д.К., Мирзаева Н.М., Рогов А.А. Дифрактометрическое исследование текстуры графита. Сб. "Совершенствование

ние технологии и улучшение качества электродной продукции", №5, Дл.-Ур.изд., Челябинск, 1973.

5. Мирзаева Н.М., Штейнберг М.М. и др. Исследование износа резов из различных материалов при обработке электродного графита. Сб. трудов ЧПИ "Вопросы производства и обработки стали", №133, Челябинск, 1974.

6. Мирзаева Н.М., Рогов А.А. Связь текстуры с анизотропией физических свойств электродного графита. Сб. трудов ЧПИ "Вопросы производства и обработки стали", №133, Челябинск, 1974.

7. Маргулис Д.К., Мирзаева Н.М., Рогов А.А. О некоторых закономерностях износа твердосплавного инструмента при обработке электродного графита. Сб. "Образование поверхностного слоя при протягивании", Рига, изд. "Зинанте", 1974.

8. Мирзаева Н.М., Маргулис Д.К., Рогов А.А. Исследование износа инструмента из хромистого чугуна при обработке графита. Сб. трудов ЧПИ "Вопросы производства и обработки стали", №147, Челябинск, 1974.

9. Мирзаева Н.М., Штейнберг М.М. и др. Изыскание состава сплава и режима термообработки для резов, обрабатывающих графитированные материалы. Тезисы докладов на научно-техн. конф. "Современные проблемы металлостроения", Уфа, 1975.

10. Карзунова Р.В., Мирзаева Н.М., Сухоруков И.В. Исследование текстуры электродного графита. Сб. "Совершенствование технологии и улучшение качества электродной продукции", №7, Дл.-Ур.изд., Челябинск, 1975.

11. Штейнберг М.М., Мирзаева Н.М., Коидратенко Е.В. Явление вторичной закалки в хромистом чугуне. Сб. трудов ЧПИ "Вопросы производства и обработки стали", №163, Челябинск, 1975.

Материалы диссертации докладывались и обсуждались на:

1. XXVI, XXVII и XXIX научно-технических конференциях Челябинского политехнического института, апрель 1973, 1975 и 1976 гг.

2. Научных семинарах кафедры металлостроения ЧПИ и Госуд. научно-исслед. института электродной промышленности, 1973, 1974, 1975, 1976 гг.

3. Второй Башкирской областной научно-технической конференции "Современные проблемы металловедения и термообработки", 15-16 апреля 1975 г., г.Уфа.

Мирзаева Наталья Михайловна

ИЗЫСКАНИЕ МАТЕРИАЛА И РЕЖИМОВ
ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЛИТОГО ИНСТРУМЕНТА
ДЛЯ РЕЗАНИЯ ГРАФИТА

Техн. редактор А.В.Миних

ФБ 02501. Подписано в печати 26/XI-76 г. Формат бумаги 60x90/16.
Объем 1,25 в.л., 1 уч.-изд.л. Отпечатано на ротаринте ЧПИ. Ти-
раж 100 экз. Заказ № 337/1273.