

сб. "Проблемы теплообмена при литье", Минск, БПИ, 1960.
2. Новиков П.А., Соловьев В.А. Исследование теплообмена сферы при естественной конвекции в разреженной газовой среде. В сб. "Общие вопросы тепло- и массообмена", Минск, "Наука и техника", 1966. 3. Лыков А.В., Теория сушки. М., "Энергия", 1968.

Д.Н. Худокормов, Е.И. Шитов,
А.Г. Слуцкий, М.М. Бондарев

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ИЗНОСА ЧИСТЫХ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

В качестве объекта исследования был выбран чистый сплав Fe-C. Изменение содержания углерода дало возможность получить материалы с различной металлической матрицей. Испытание на износ проводили в условиях сухого трения скольжения на машине типа МТ-2. Контртелом служил диск, изготовленный из стали 45 с твердостью 62 HRC. Температуру поверхности трения измеряли методом естественной термометрии чугуна-стали 45. Для выяснения роли окисных пленок испытания на износ проводили в окислительной и нейтральной атмосферах. Износ оценивали на образцах диаметром 10 мм при длине пройденного пути 1000 м.

Опыты показали, что увеличение содержания углерода приводит к значительному повышению величины износа при различных скоростях относительного движения пары трения (рис. 1). Это объясняется изменением структуры сплава с добавками углерода. В низкоуглеродистом сплаве перлитная металлическая матрица с мелкими включениями вторичного цементита и пластинчатого графита оказывает значительное сопротивление пластической деформации поверхности. Увеличение скорости скольжения до 1,5 м/сек несколько повышает износ материала. Продукты износа при скорости скольжения 0,5 м/сек представляют коричнево-красный порошок Fe_2O_3 . При скорости скольжения 1,5 м/сек процесс трения сопровождается более активным адгезионным взаимодействием контактирующих поверхностей. Прочность адгезионного чугуна меньше, чем у адгезионного чугуна, образовавшегося на поверхности контртела. Поэтому происходит перенос материала образца на контртело. При скорости скольжения более 1,5 м/сек продолжается

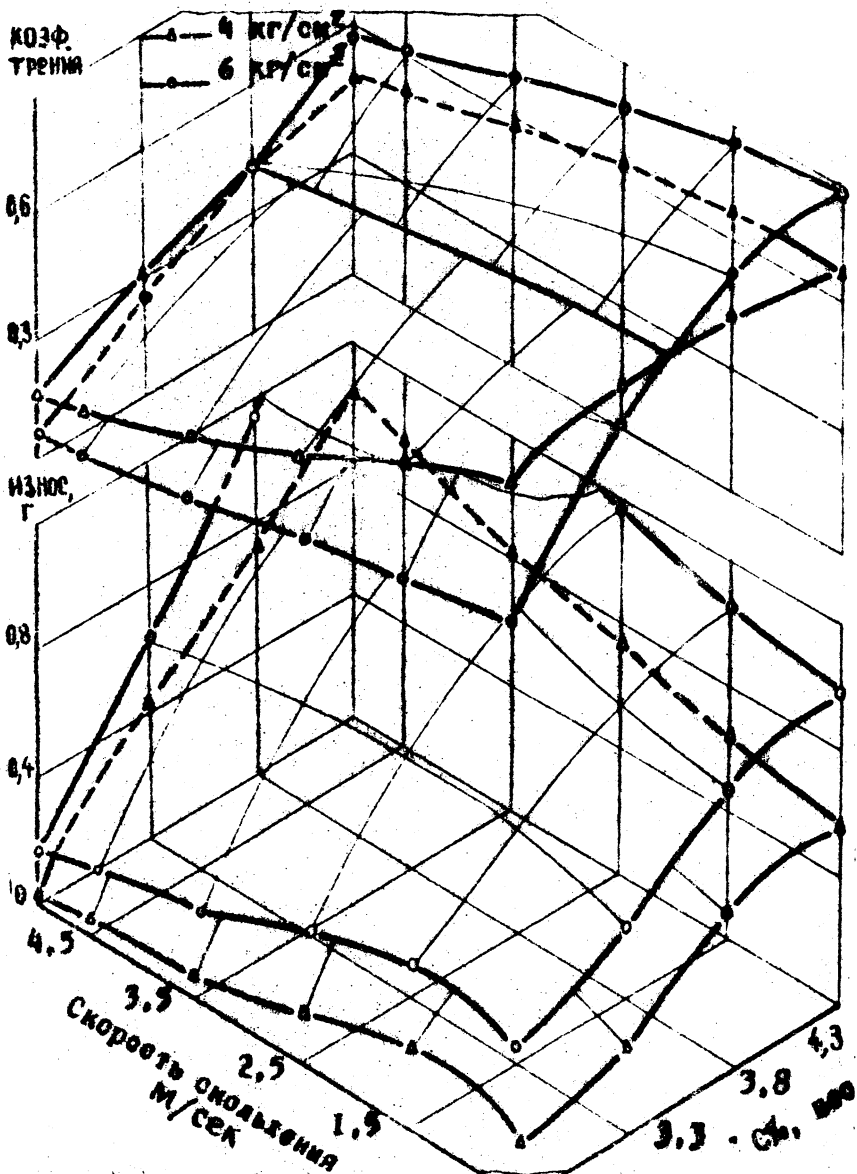


Рис. 1. Влияние углерода на антифрикционные свойства сплава Fe-C при различных режимах испытаний

процесс окисления, температура поверхности трения способствует образованию Fe_3O_4 в виде порошка черного цвета.

Увеличение скорости относительного скольжения повышает степень пластической деформации образцов и приводит к возрастанию температуры поверхности трения (рис. 2).

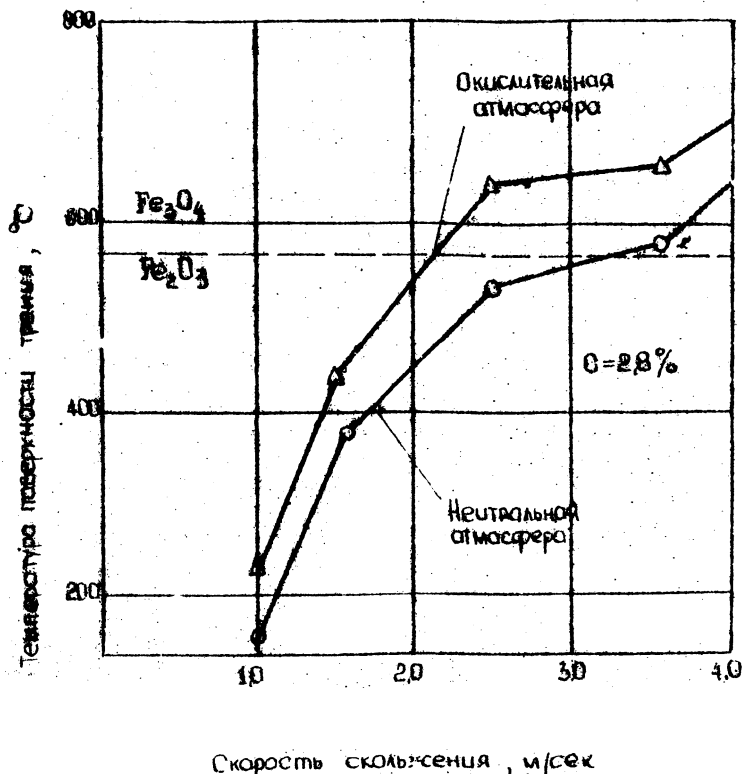


Рис. 2. Влияние скорости скольжения на температуру поверхности трения сплава Fe-C (C=2,8%) в нейтральной и окислительной атмосфере.

В условиях атмосферного давления окись Fe_2O_3 превращается в Fe_3O_4 при температуре $560^{\circ}C$. Однако на поверхности трения под действием больших удельных давлений переход Fe_2O_3 в Fe_3O_4 может происходить при более низких

температурах. Температура поверхности трения материала, работающего в атмосфере аргона, примерно на $10-15^{\circ}\text{C}$ ниже температуры материала, работающего в окислительной атмосфере, что, возможно, связано с выделением тепла при образовании окислов железа на поверхности трения.

Для подтверждения роли окисных пленок, образующихся на поверхности трения, были проведены испытания сплава с содержанием 2,8% углерода в атмосфере аргона при различных скоростях скольжения (рис. 3).

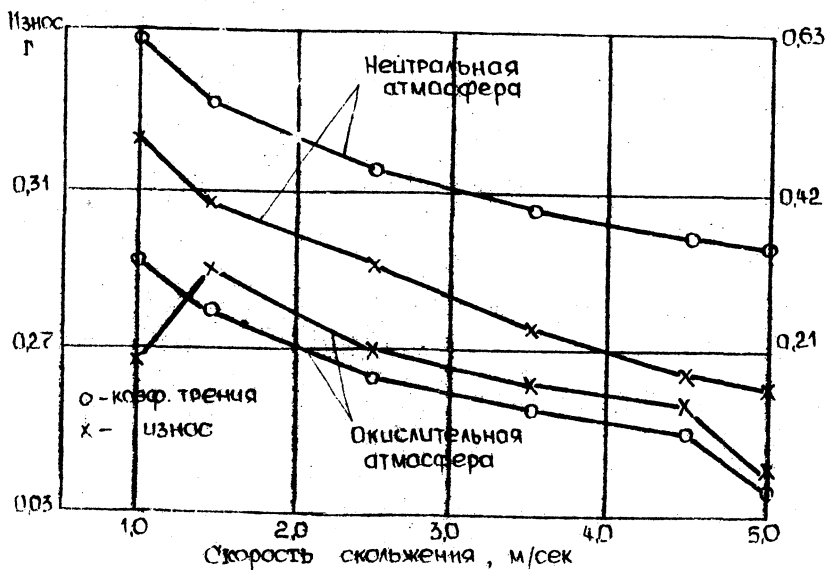


Рис. 3. Влияние скорости скольжения на износ сплава Fe-C (C=2,8%) в нейтральной и окислительной атмосфере.

С увеличением скорости скольжения износ уменьшается, однако его величина значительно выше по сравнению со сплавом, работающим в окислительной атмосфере. На поверхности контртела, работающего в нейтральной атмосфере, обнаружено боль-

шое количество следов адгезии. Анализ поверхности контртела позволяет предположить, что на поверхности гребешков под действием высокой температуры и давления образцов происходит превращение перлита в аустенит, который и налипает на поверхность контртела.

Эксплуатационная шероховатость поверхности трения образца связана со скоростью относительного перемещения контактируемых поверхностей. Максимальная шероховатость трущейся поверхности образца, работающего в окислительной атмосфере, соответствует скорости скольжения 1,5 м/сек, т.е. моменту наиболее сильного молекулярного взаимодействия пары трения. В период преимущественного окислительного износа (при скоростях скольжения менее 1,5 м/сек с образованием Fe_2O_3 и больше 1,5 м/сек — с образованием Fe_3O_4) шероховатость поверхности значительно меньше. Сглаживание трущейся поверхности образца происходит за счет упругой и пластической деформации, механического разрушения, а также интенсивного окисления выступающих гребешков и непрерывного удаления окислов с их поверхности. Уменьшение шероховатости трущейся поверхности и разделение контактируемых поверхностей противoadгезионным слоем (Fe_2O_3 , Fe_3O_4 и графитом) способствует повышению износостойкости материала. Притупление гребешков приводит к увеличению площади контакта трущихся поверхностей, уменьшает удельное давление, значительно снижает коэффициент трения.

В высокоуглеродистом сплаве с ферритной металлической матрицей, которая значительно мягче (HB=70) контртела, преобладающим процессом в механизме износа является микрорезание. Взаимодействие трущихся поверхностей сопровождается сильным адгезионным взаимодействием. Увеличение скорости скольжения и удельной нагрузки пары трения повышает степень деформации поверхности и, как следствие, интенсифицирует износ материала. Снижение коэффициента трения в сплаве, содержащем 4,3% углерода, связано с увеличением температуры на поверхности трения, повышением пластичности материала и уменьшением сопротивления на срез. Критическая нагрузка трения, при которой резко возрастает износ низкоуглеродистого сплава, значительно выше, чем у высокоуглеродистого, что связано с более высокой твердостью последнего.

На изучаемой под микроскопом поверхности трения сплава с содержанием углерода 2,9%, обнаружены белые области, возвышающиеся над основной серой поверхностью. Отдельные

площадки белых пятен значительно больше размеров включений, имеющихся в образцах структурно свободного цементита. Микротвердость белых участков находится в пределах 350 НМ. Для более детального изучения белых участков исследовались два сплава: ферритный и перлитный. Поверхности трения выбранных образцов имели существенные различия, которые особенно хорошо видны при повышенных скоростях скольжения. Белые области были обнаружены только в перлитном сплаве. Данные участки не поддаются травлению ниталем. Образуются о. и, безусловно, под действием пластической деформации при высокой температуре и могут представлять продукты мартенситного превращения. Поверхность трения ферритного сплава является однородной, что подтверждает мартенситную природу белых участков.

Мартенсит на поверхности трения может возникать только в случае равномерной растворимости углерода в объеме, соизмеримом с объемом белого участка. Растворение углерода в твердой фазе происходит диффузионным путем. Из анализа диаграммы Fe-C видно, что процесс превращения феррита-аустенит по метастабильной диаграмме происходит при более низкой температуре, чем по стабильной. Кроме того, для полного растворения высокоуглеродистой фазы необходимо, чтобы она была более дисперсной. Белые участки на поверхности трения образуются также в чугунах, работающих в окислительной атмосфере, но видны они значительно хуже.

Таким образом, повышение износостойкости сплава с содержанием 2,8% углерода, работающего в аргоне, связано с образованием белых участков повышенной твердости, которые воспринимают нагрузку трущейся пары и обладают высокой стойкостью к адгезии. Микротвердость поверхности трения в процессе испытаний в ферритном сплаве увеличивается от 70 до 110 ед. НМ в перлитном - от 140 до 160 ед. НМ, что связано с пластической деформацией поверхности трения.

Процессы окисления и деформация поверхности трения контактирующих материалов оказывают решающее влияние на износостойкость сплава. При выборе чугуна, работающего в условиях трения скольжения, необходимо учитывать технологический режим работы пары трения.