

ВНЕШНИЙ КОЭФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ СВАРНОГО МЕТАЛЛА ПО ЧУГУНУ, СТАЛИ И БРОНЗЕ.

В. И. Строкопытов.

Введение.

Метод электродуговой сварки в качестве наплавки металлических поверхностей в машиностроении имеет большое применение. Достаточно указать несколько примеров, чтобы это положение подтвердить. Наплавка электросваркой применяется в качестве основного метода исправления износившихся прокатных валков, вагонных бандажей, шеек валов, рельсов и т. д. До настоящего времени в литературе как советской, а также заграничной нет указаний, как ведет себя металл, наплавленный электродуговым способом с металлическим электродом в отношении истирания. И в частности до настоящего времени нет указаний, каков же коэффициент внешнего трения между металлом наплавки и металлами, не подверженными сварке.

Цель данной работы—определение коэффициента внешнего трения между металлом наплавленным электродуговым способом металлическим электродом, с одной стороны, и сталью, чугуном, бронзой, с другой стороны.

Учитывая сложность вопроса о выборе подходящего метода определения коэффициента внешнего трения, мы ограничились в этой первой части работы лабораторным методом.

Методика исследования и материал.

В качестве прибора для определения коэффициента внешнего трения между металлическими поверхностями была использована видоизмененная конструкция прибора, применявшегося впервые Якоби¹⁾.

Установка, с которой была выполнена настоящая работа, представлена на рис. 1. Горизонтальный диск *A*, изготовленный из стали, чугуна, бронзы или мегалла, наплавленного электродуговым способом с металлическим электродом, диаметром 200 мм, приводился во вращение шунтовым электромотором через посредство зубчатого редуктора и ременной передачи. На вертикальной оси *B*, укрепленной наглухо в диске, была свободно надета втулка *C*, удерживаемая сверху гайкой и контргайкой. На втулке *C*, имеющей небольшой отлив, укреплялся рычаг *D*, в котором имелось отверстие *E*, где вставлялся образец из испытуемого металла и зажимался барашком. Рычаг *D* мог вращаться не только в горизонтальной плоскости, вокруг оси *B*, но также и в вертикальной плоскости *УУ*. В точке *K* с помощью крючка подвешивался груз, прижимающий образец к диску. Для измерения силы трения рычаг *D* соединялся в точке *H* с динамометром посредством нерастягивающейся, практически, нити. Динамометр позволял измерять силу натяжения с точностью до 5 гр, что давало ошибку при подсчете внешнего коэффициента трения до 0.05%. Градуировка динамометра производилась на месте установки после каждого опыта, что обеспечивало получение достаточно точных определений в силе.

Математический закон Амонтона, приписываемый обычно Кулону, формулируется следующим образом:

$$F = \mu P, \quad (1)$$

где F — сила трения, P — нормальная нагрузка (нагрузка на единицу площади), μ — коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом внешнего трения.

Различают статическое трение (трение покоя) и трение кинетическое (трение движения). В первом случае в соотношении (1) под F подразумевается сила, которую нужно приложить для того, чтобы привести в движение одно тело относительно другого. В случае кинетического трения под F подразумевается сила, нужная для того, чтобы поддерживать относительное движение трущихся тел (скольжения) с данной скоростью. Закон Амонтона принято считать основным законом статического и кинетического трения как „сухих“ (несмазанных), так и смазанных поверхностей.

Для нашего случая обозначим нагрузку, приходящуюся на конец рычага K через P_0 ; силу, с которой растягивается пружина динамометра через F_0 ; нагрузку на образец от собственного веса рычага, крючка и проч. через P_1 ; силу нажатия на образец от нагрузки P_0 через P_2 . Тогда, согласно рис. 2, можем написать, что:

$$Fc = F_0 d \quad (2)$$

$$P_0 a = P_1 b \quad (3)$$

$$P = P_1 + P_2 \quad (4)$$

На основании этих равенств, выражение (1) тогда примет следующий вид:

$$\mu = \frac{ad}{bc} \cdot \frac{F_0}{P_0 + \frac{a}{b} P_1} \quad (5)$$

Подставляя значения размеров плеч рычага и $P_1 = 425 \text{ гр}$, найденное экспериментально, получим формулу для определения внешнего коэффициента трения скольжения

$$\mu = 0,771 \frac{F_0}{P_0 + 118,2} \quad (6)$$

При подсчете в формуле (6) мы пренебрегали трением во втулке, так как оно практически не отражалось на показаниях динамометра.

Для изготовления образцов, из наплавленного электросваркой металла, на пластину котельного железа размером $100 \times 100 \times 15 \text{ мм}$ был наплавлен ряд валиков. В качестве электродов была взята стандартная сварочная проволока $d = 5 \text{ мм}$, с меловой обмазкой. Электросварка производилась постоянным током на машине Elin при силе тока 180 А и напряжении 35 в.

После каждого слоя наварки металл наплавки тщательно очищался от шлака и окалины, а затем уже производилось последующее наложение валиков. Наваренная таким образом пластина сострагивалась за подлицо и из оставшегося металла наплавки вырезались круглые образцы диаметром 5 мм и высотой 40 мм. Один конец образца обрабатывался на конус. Острый конец образца слегка затуплялся, отшлифовывался наждачной бумагой № 0000, затем на сукне полировался до зеркального состояния.

В качестве поверхности для скольжения были взяты диски: из серого чугуна, конструкционной стали, бронзы и металла, наплавленного электродуговым способом. Последний диск был изготовлен следующим образом. На стальной диск по окружности было наплавлено три слоя металла, при

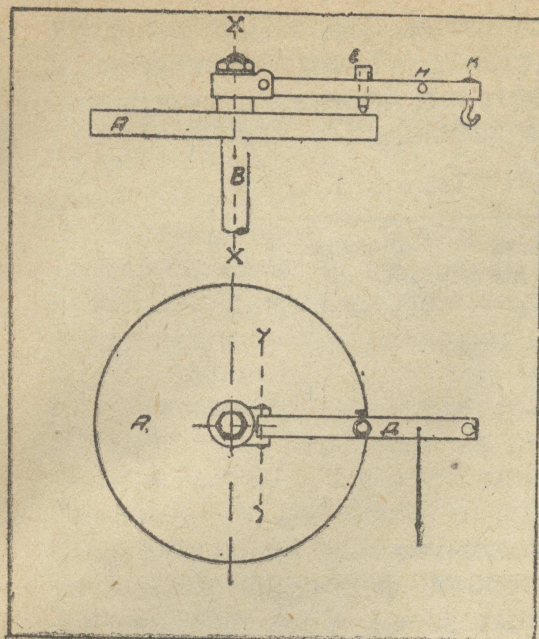


Рис. 1.

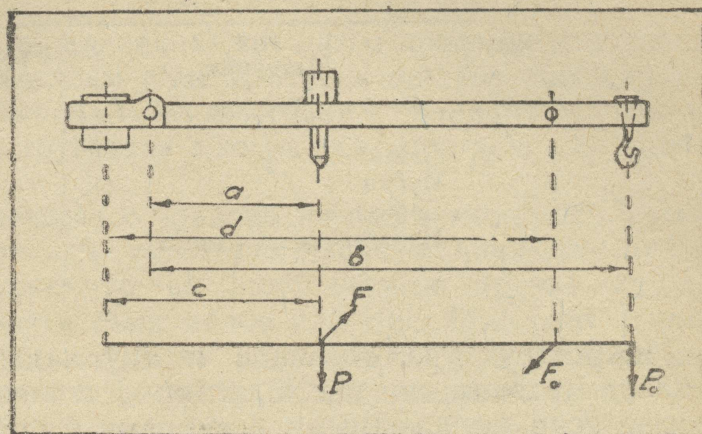


Рис. 2.

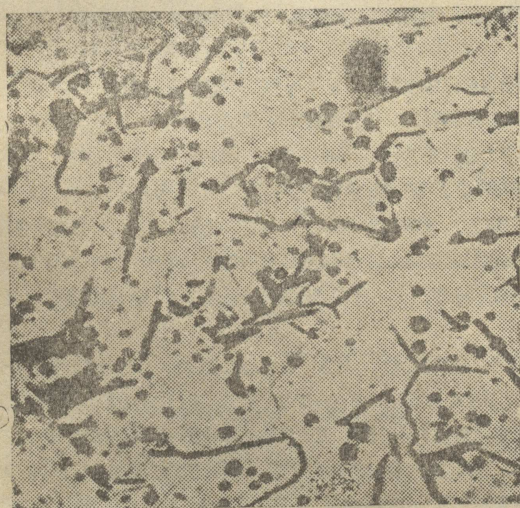


Рис. 3.

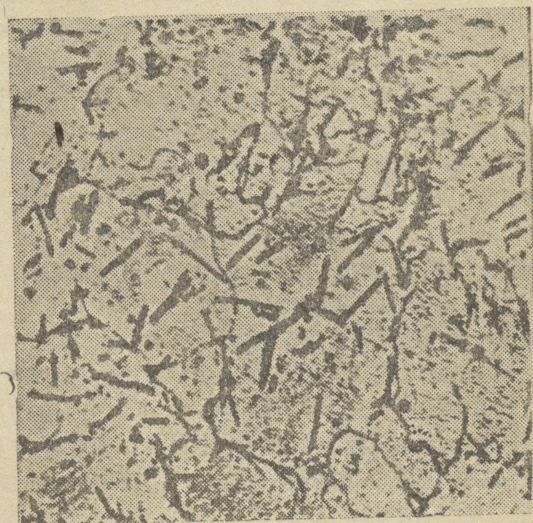


Рис. 5.

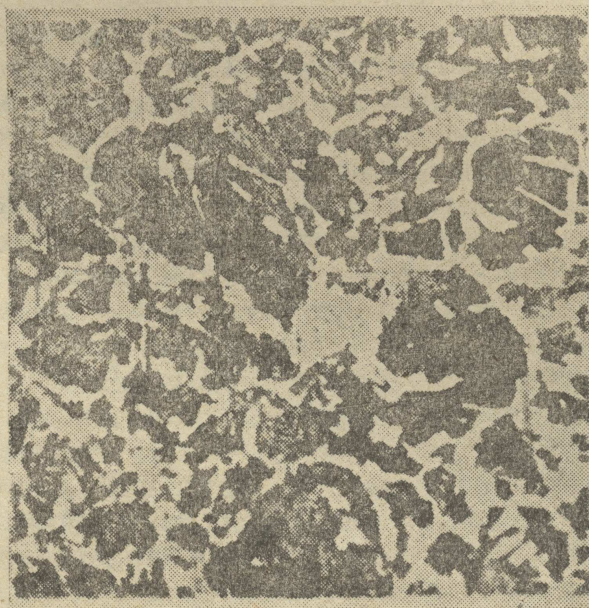


Рис. 4.

тех же условиях и режиме, что и при изготовлении образцов. Верхний слой наплавленного металла был на токарном станке сточен. Поверхности дисков были тщательно отшлифованы. Твердость по Бринеллю, материала, служащего для изготовления дисков, указан в таблице 1.

Таблица 1.

Материал	Твердость по Бринеллю $d=10 \text{ мм } P=3000 \text{ кг.}$
Сталь	185
Чугун	117
Бронза	76
Наплавленный металл	113

Микроструктура образцов и круга, изготовленных из наплавленного металла, указана на рис. 3, и представляет собой ферритное поле с не вполне ясно выраженными границами ферритных зерен. Поле феррита покрыто значительным количеством различно ориентированных по направлению иглами избыточных нитридов Fe_3N различной величины как по длине, а также и по толщине, выделившихся из раствора азота в α -железе. Темные участки, видные на микрофотографии, являются эвтектоидом железо-азотистых сплавов—браунитом.

Микроструктура металла круга, изготовленного из конструкционной стали, изображена на рисунке 4 и представляет собой зерна перлита, окруженные толстой разорванной сеткой феррита. Перлит мелкопластинчатый. Микроструктура металла круга, изготовленного из чугуна, представляет собой характерную структуру для серого чугуна. Основная масса перлито-ферритная с включением прожилок пластинчатого графита. Местами наблюдаются островки глобуидального выделения графита и включения фосфористой эвтектики.

Микроструктура металла круга, изготовленного из бронзы, представляет собой резко выраженное дендритное строение α -твердого раствора. При больших увеличениях, кроме такого дендритного строения структуры α -фазы, заметны и островки эвтектоида в виде пестрых участков, резко отделяющихся от основной α -фазы ясно очерченными границами и более светлым оттенком.

Опыты по определению внешнего коэффициента скольжения проводились следующим образом. Вставлялся испытуемый образец в место закрепления E (рис. 1), затем рычаг вместе с образцом помещался на диск, к крючку K , подвешивался соответствующий груз и включался мотор, в течение десяти минут происходило движение диска, за которое образец достаточно хорошо пришлифовывался к диску и динамометр показывал только небольшие колебания в показаниях силы. По прошествии этого времени делался отсчет силы по динамометру, останавливался мотор, проверялась правильность показаний динамометра и производился промер площади соприкосновения образца с диском. Измерение площади производилось под микроскопом с микрометрическим окуляром (площадь соприкосновения представляла в большинстве случаев правильный круг).

Определение коэффициента внешнего трения при трогании с места определялось аналогичным образом. Образец, закрепленный на рычаге в точке E , опускался на плоскость диска, к крючку K подвешивался груз, затем круг медленно поворачивался вручную. Круг, при вращении, увлекал за собой образец с рычагом до тех пор, пока сила натяжения пружины динамометра не сравнивалась с силой трения, приведенной к точке H рычага, при этом образец соскальзывал с поверхности диска, а максимальное

отклонение стрелки динамометра показывало силу, соответствующую силе трения в момент трогания с места.

Влияние удельного давления и скорости на коэффициент внешнего трения.

Прежде чем приступить к определению внешнего коэффициента трения сварного металла по другим металлам и не впасть в ошибку, были проведены предварительные исследования по выяснению влияния удельного давления и скорости вращения трущихся поверхностей на внешний коэффициент трения.

Имеющиеся в литературе данные о зависимости кинетического трения „сухих“ поверхностей от скоростей их относительного движения весьма противоречивы. Кулон отмечает, что на кинетическое трение металла скорость их движения оказывает весьма малое влияние. Согласно данным Гонда и Ямода (2), коэффициент трения μ_k остается постоянным при изменении скорости относительного движения в интервале от 15 до 40 м в минуту.

Гальтон и Вестингауз (3), а также Смит (4) указывают однако, что по мере убывания скорости относительного движения трущихся поверхностей, внешний коэффициент кинетического трения возрастает.

Нами были проведены опыты по выяснению влияния скорости относительного движения трущихся поверхностей на коэффициент внешнего трения между металлом, изготовленным с помощью электродуговой наплавки. Опыты производились при постоянном удельном давлении и различных скоростях относительного движения. Скорости были взяты от 0.51 до 27.3 см/сек. Результаты опытов приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Скорость см/сек	27.3	17.6	5.2	0.51
Коэффициент внешнего трения	0.475	0.493	0.511	0.542

Из таблицы видно, что с изменением скорости относительного движения трущихся поверхностей меняется и коэффициент внешнего трения.

Однако опыты показали, что степень чистоты трущихся поверхностей оказывает чрезвычайно сильное влияние на величину внешнего коэффициента кинетического трения. А именно: если трущиеся поверхности были очищены, промыты спиртом или эфиром и просушены недостаточно тщательно, то с течением времени или увеличением относительной скорости трущихся поверхностей коэффициент внешнего трения заметно возрастал. Если же поверхности были тщательно очищены и столь же тщательно высушены, то последовательные измерения при скоростях, указанных в таблице 2, во всех случаях давали постоянное значение коэффициента внешнего трения для наплавленного электродуговым способом металла—в этом случае он был равен 0.540. Эти опыты достаточно ясно свидетельствуют о том, что внешний коэффициент кинетического трения непосредственно от скорости не зависит; наблюдающееся же в случае недостаточно чистых поверхностей возрастание коэффициента внешнего трения обусловлено, конечно, не изменением скорости, а постепенным удалением в процессе трения различных загрязняющих поверхности частиц, образующихся в процессе трения одной поверхности по другой. На это обстоятельство указывают также опыты Якоба (5), Биру и Боудена (6), Кунина (7).

Измерения коэффициента внешнего трения тщательно очищенных поверхностей из металла, наплавленного электродуговым способом при различных значениях нормальной нагрузки, приложенной к поверхностям и определенной относительной скорости скольжения для наших опытов приведены в таблице 3. Значения коэффициента внешнего трения для отдельного удельного давления получены, как среднее арифметическое из 40 наблюдений.

Таблица 3.

Удельное давление в кг/мм ²	2.28	8.05	18.00	20.81	25.31
Коэффициент внешнего трения	0.495	0.548	0.583	0.602	0.635

Из таблицы 3 видно, что с увеличением нормальной нагрузки возрастает несколько коэффициент внешнего трения. Но как будет видно ниже, возрастание внешнего коэффициента трения для металла, изготовленного электродуговым способом, обусловлено не возрастанием удельного давления. Отсюда можно сделать вывод, что кинетический коэффициент внешнего трения от удельного давления не зависит; оказывается закон Амонтона на таким образом справедливым и для металла наплавленного электродуговым методом с металлическим электродом.

Кажущееся увеличение внешнего коэффициента с увеличением удельного давления объясняется тем, что при увеличении удельного давления имеет место более интенсивное изнашивание адсорбированных пленок на трущихся поверхностях, а также и весьма интенсивное изнашивание самой твердой поверхности. Можно думать, что в отличие от случая статического трения, при кинетическом трении это изнашивание самой поверхности играет весьма существенную роль. В наших опытах наблюдалось следующее явление. Если на свежеполитированный и протертый хорошо спиртом диск поставить образец, то в начале пуска мотора показания динамометра имеют некоторое наименьшее значение, которое в течение первой же минуты сначала быстро, а затем все медленнее возрастает. Оказалось, что в процессе трения одной поверхности о другую идет интенсивный износ самих трущихся поверхностей. На вращающемся диске можно было наблюдать большое количество твердых крупинок металла, а на трущейся плоскости образца следы царапин.

Сравнение частиц, как продукта истирания, получающихся в наших опытах с частицами металла, получающимися при шлифовании, показало, что между ними есть существенная разница. Частицы металла при шлифовании под микроскопом имеют вид стружки с металлическим оттенком. Те же частицы, которые получились в наших опытах, под микроскопом показывали картину продолговатых с прямыми линиями фигур. Поверхность этих частиц была совершенно гладкая и имела темный цвет.

Было сделано предположение, что эти частицы есть не что иное, как иглы азотистого соединения с железом (Fe_3N). Действительно, металлографические исследования поверхности образцов из наплавленного металла, изготовленного электродуговым способом, подвергающихся кинетическому трению, показали при этом повышенное содержание нитридных включений, по сравнению с тем количеством, которое имелось до шлифования. На рис. 5 представлена микрофотография с плоскости металла, подвергающейся истиранию. На этом рисунке видно большое количество нитридных игол по сравнению с тем количеством, которое было до опыта (см. рис. 3). Характерно отметить, что большая часть нитридных игол

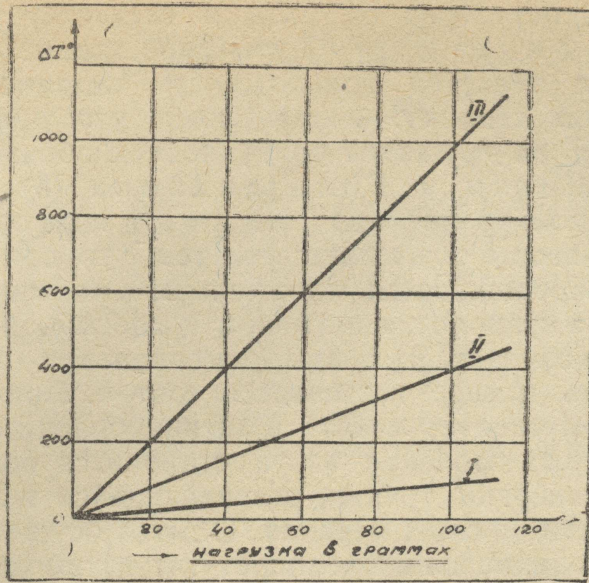


Рис. 6.

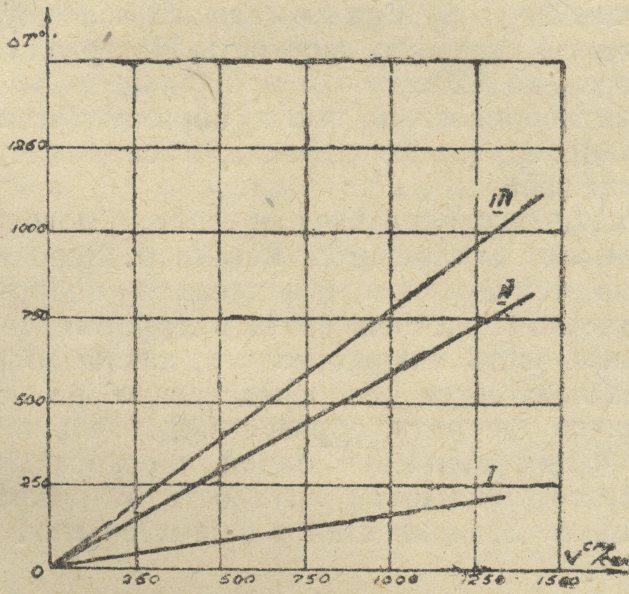


Рис. 7.

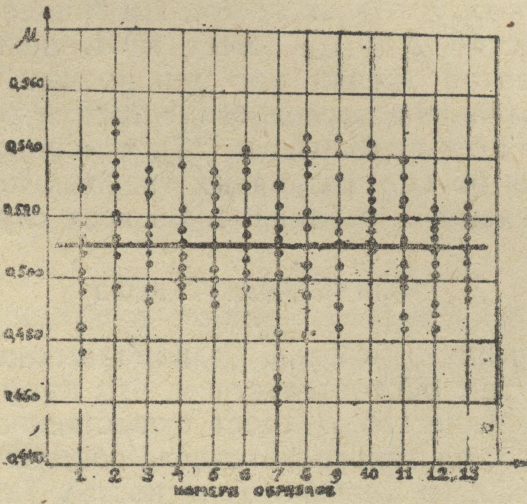


Рис. 8.

расположена в середине зерна феррита и отсутствует по границам его. По исследованиям Финка (1929 г.) взаимное трение сухих поверхностей железа и стали не является только чисто механическим процессом, а имеет и химическую сторону. Финк нашел, что при трении качания в присутствии воздуха на трущихся поверхностях образуется окись железа.

Исследования Шотки и Гильтенкампа (8) показали, что при сильном трении не только кислород, но и азот воздуха вступает в соединение с железом. Авторы объясняют это тем, что при высоком давлении, которое иногда сопровождается значительным повышением температуры, поверхность металла становится активной и способной к реакциям.

Фюстер (9) указывает, что при изготовлении металлографических шлифов, поверхность шлифа насыщается азотом. Причину такого поглощения азота железом следует искать в активировании атмосферного азота. Расщепление инертных молекул азота становится возможным благодаря концентрированию энергии трения, развивающейся в процессе шлифовки в тонком поверхностном слое металла. Опыты, осуществленные в 1936 г. Боуденом (10), по измерению температуры трущихся поверхностей показали, что в плоскости соприкосновения развивается достаточно высокая температура. На рисунках 6 и 7 приведены графики зависимости температуры трущихся поверхностей от нагрузки P и скорости относительного движения V , полученные Боуденом для случая „сухого“ трения цилиндра из константана о стальную плоскость. Интервал скоростей—от 4 до 5000 см/сек., нагрузок—до 120 гр.

Следовательно, активированный таким образом (атомный) азот интенсивно поглощается поверхностью металла, в свою очередь активированного процессом шлифовки.

Металлографическое исследование не дает ясного ответа на вопрос о форме, в которой азот поглощается металлом. Вероятно, под влиянием местного повышения температуры и наклепа в полируемых плоскостях образуется пересыщенный раствор азота в деформированных кристаллах феррита. Значительная часть нитридных игл, как было показано Дорновидовым (11), располагается непосредственно по самим плоскостям скольжения кристаллов феррита, образуя подобие шипов на гладкой поверхности, затрудняющих движение одной плоскости относительно другой. Отсюда становятся понятными хрупкость и выкрашивание поверхностного слоя трущихся поверхностей в наших опытах.

Трение разнородных поверхностей.

Согласно данным ряда авторов, изучавших сухое трение разнородных поверхностей в обычных условиях опыта, коэффициент статического трения вещества A о вещество B $(\mu_s)_{AB}$ имеет значение промежуточное между значениями коэффициентов трения пар однородных поверхностей $[(\mu_s)_{AA}$ и $(\mu_s)_{BB}]$. Особенно тщательное исследование трения разнородных поверхностей было проведено Томлинсоном (12), измерившим коэффициенты статического трения для 55 пар различных твердых поверхностей. Полученные им данные приведены в таблице 4. Во всех случаях удовлетворяется неравенство:

$$(\mu_s)_{AA} < (\mu_s)_{BA} < (\mu_s)_{BB}$$

В случае кинетического трения разнородных поверхностей картина сильно осложняется тем обстоятельством, что коэффициент кинетического трения вещества A о вещество B имеет существенное различное значение в зависимости от того, из какого материала состоит меньшая из трущихся поверхностей, и из какого большая (плоскость). Так, например, в опытах Бир и Боуден (6) при трении никелевых шариков о стальную поверх-

Значения μ_s по Томлинсону.

Материал поверхности	Тверд. сталь	Мягкая сталь	Платина	Никель	Медь	Латунь	Алюминий	Стекло	Олово	Свинец
Твердая сталь	0.393	0.410	0.398	0.428	0.548	0.535	0.649	0.605	0.785	1.955
Мягкая сталь	0.410	0.411	0.427	0.429	0.533	0.506	0.605	0.721	0.786	1.930
Платина	0.398	0.427	0.445	0.386	0.592	0.560	0.796	0.569	0.855	2.070
Никель	0.428	0.429	0.386	0.389	0.562	0.504	0.745	0.775	0.895	2.150
Медь	0.548	0.533	0.592	0.562	0.600	0.618	0.691	0.675	0.857	1.945
Латунь	0.535	0.508	0.560	0.584	0.618	0.634	0.706	0.873	0.752	2.110
Алюминий	0.649	0.605	0.796	0.745	0.695	0.706	0.937	0.845	0.905	2.000
Стекло	0.605	0.721	0.569	0.775	0.675	0.873	0.845	0.940	0.941	2.420
Олово	0.786	0.786	0.855	0.895	0.857	0.752	0.905	0.941	1.110	2.250
Свинец	1.955	1.930	2.070	2.150	1.945	2.110	2.000	2.420	2.250	3.310

ность получились значения $\mu_k = 0.66$, при трении же стальных шариков о никелевую поверхность $\mu_k = 0.49$. Численные значения о трении разнородных поверхностей приведены в таблице 5. Бир и Боуден отмечают, что внешний коэффициент кинетического трения μ_k принимает большие значения в том случае, когда меньшая из трущихся поверхностей состоит из более мягкого материала. Если меньшая из трущихся поверхностей — из мягкого материала, то коэффициент трения возрастает по мере уменьшения твердости второй из трущихся поверхностей. Если же шарик из твердого материала, то наблюдается обратная закономерность — μ_k возрастает по мере увеличения твердости второй поверхности. Действительно, в том случае, когда меньшая из поверхностей из мягкого металла, то она сама полируется в процессе трения; при уменьшении твердости второй поверхности она полируется в меньшей степени, что приводит к увеличению внешнего коэффициента кинетического трения μ_k . В том случае, когда меньшая из поверхностей из твердого металла, сама она при трении не полируется, но полирует вторую поверхность.

Таблица 5.

Материал шарика	Материал плоской поверхности		
	Сталь	Никель	Стекло
Сталь	—	0.49	0.61
Никель	0.66	—	0.56
Стекло	0.51	0.50	—
Медь	0.36	0.49	0.53
Уголь	0.21	0.24	0.18

Коэффициент кинетического трения вещества A о вещество B оказывается, таким образом, отличным от коэффициента трения вещества B о вещество A . Простые закономерности, наблюдающиеся при статическом трении, сильно усложняются в этом случае сопутствующей трению полировкой поверхностей.

Коэффициент внешнего трения металла, наплавленного электродуговым способом, по другим металлам.

Выше было отмечено влияние частиц, образующихся в процессе шлифования на коэффициент внешнего трения. Для получения более устойчивых показаний динамометра мы, в своих опытах, непрерывно удаляли частицы износа замшей, которая в течение всего времени проведения опыта

была прижата к вращающемуся кругу. Задавшись целью определить коэффициент трения в таких условиях; которые были бы обычными для сухого трения, т. е. поверхности, предварительно отшлифованные, подвергались притирке в течение одной минуты. При этом на трущихся поверхностях появлялись мелкие царапины, видимые в микроскоп и делавшие поверхности матовыми. На приготовленных таким образом плоскостях определялся коэффициент внешнего трения, причем линейная скорость трущихся поверхностей при этом была равна 27 см/сек. и удельное давление — 8.3 кг/мм². Опыты производились с 15 образцами для каждой пары трущихся поверхностей, и коэффициент внешнего трения получен как среднее арифметическое из 15 определений.

Вероятная погрешность среднего результата равна $\pm 5\%$. Коэффициент внешнего трения в момент трогания с места определялся, как было выше упомянуто.

Полученные таким образом средние значения коэффициента внешнего трения металла, наплавленного электродуговым способом по другим металлам, приведены в таблице 6.

Таблица 6.

Характер трения	Состояние трущихся поверхностей	Коэффициент внешнего трения сварного металла по:			
		Бронзе	Чугуну	Стали	Сварному металлу
При трогании с места	Поверхности не притертые	0.163	0.406	0.485	0.510
	Поверхности притертые	0.175	0.422	0.508	0.537
Скользящее трение	Поверхности притертые	0.186	0.438	0.553	0.613

Средние значения недостаточно точно характеризуют коэффициент внешнего трения, так как в отдельных случаях последний на много отклоняется от среднего значения. На рис. 8 графически изображены отдельные значения коэффициента трения сварного металла по стали в момент трогания с места. Здесь кружками изображены средние значения из десяти для каждого образца. Из графика наглядно видно, в какой степени различаются коэффициенты трения в различных точках круга и для различных образцов. Среднее значение коэффициента трения здесь 0.510, но местами он достигает максимальных значений 0.550 и падает до минимума 0.480. Таким образом, из этого примера видно, что нельзя указать определенной величины коэффициента внешнего трения сварного металла по другим металлам. Поэтому мы и ограничиваемся тем, что приводим таблицу 7, в которой указаны границы вероятного значения коэффициента внешнего трения металла, наплавленного электродуговым способом по чугуну, стали, сварному металлу и бронзе.

Таблица 7.

Характер трения	Состояние трущихся поверхностей	Коэффициент внешнего трения сварного металла по:			
		Бронзе	Чугуну	Стали	Сварному металлу
При трогании с места	Поверхности не притертые	0.151—0.200	0.388—0.420	0.470—0.506	0.483—0.538
	Поверхности притертые	0.164—0.225	0.402—0.448	0.495—0.528	0.513—0.564
Скользящее трение	Поверхности притертые	0.172—0.234	0.425—0.463	0.520—0.600	0.595—0.632

Сравнение коэффициента внешнего трения металла, наплавленного электродуговым способом и электродной проволоки.

Для того, чтобы выявить влияние нитридных игол, присутствующих в металле, наплавленном электродуговым способом, на коэффициент внешнего трения были проведены сравнительные опыты. Для этого из сварного металла были изготовлены 10 образцов и такое же количество образцов из проволоки, служившей электродом для изготовления сварного металла первых образцов. Опыты проводились на стальном и бронзовом кругах. Точно так же, как было описано выше, перед отсчетом на динамометре производилась предварительная притирка образца к кругу после отшлифовки последнего наждачной шкуркой № 0000. Чтобы избежать влияния повреждения поверхности круга, образцы чередовались: то ставился образец из наплавленного металла, то из металла электродной проволоки.

Таким образом получено по 10-ти отсчетов для скользящего трения и по 100 для коэффициента внешнего трения в момент трогания с места, из коих средние величины приведены в таблице 8.

Таблица 8.

Материал	Коэффициент внешнего трения			
	По бронзе	По стали		
	В момент трогания с места при непритертых поверхностях	Скользящее трение при притертых поверхностях	В момент трогания с места	
При притертых поверхностях			При непритертых поверхностях	
Наплавленный металл	0.168	0.302	0.315	0.292
Металл электродной проволоки	0.170	0.248	0.263	0.236

Приведенные данные показывают с полной очевидностью влияние нитридных игл в металле, наплавленном электродуговым способом, на коэффициент внешнего трения.

Заключение.

1. На основании исследований данной работы выяснено, что коэффициент внешнего трения между плоскостями из металла, наплавленного электродуговым способом, от удельного давления и скорости относительного движения не зависит.

2. Установлен коэффициент внешнего трения между металлом, наплавленным электродуговым способом с одной стороны, и сталью, чугуном, бронзой, с другой.

3. Повышение коэффициента внешнего трения у металла, наплавленного электродуговым способом, вызывается наличием в металле сварки большого количества нитридных игол.

В заключение выражаю благодарность студенту Стрельцову А. В. за участие в экспериментальном проведении некоторых опытов настоящей работы.

Литература.

1. Charlotte Jakob, Ann. d. Phys., **38**, 126, 1912.
2. Honda a. Yamada, Journ. Inst. Metals **1**, 49, 1935.
3. Galtona, Westinghouse. Engineering, **26**, 153, 1873.
4. Archbutta, Deeby, Lubrication and lubricants, 1927.
5. Charlotta Jakob, Diss, Königsberg, 1911.
6. Bearla Bowden, Phil. Trans., A, 234, 329, 1934.
7. Кунин Н. Ф. Журнал Технической Физики, **3**, 1099, 1933.
8. H. Schöttk'у und H. Heltenkamp, St. u. Eis. **15**, 444, 1936.
9. H. Wiester, Archiv f. d. Eisenhüttenwesen, **IV**, 525, 1936.
10. Bowden a. Rideer, Proc. Roy. Soc., A, 154, 640, 1936.
11. Добровидов А. Н. Журнал Прикладной Физики **IV**, 1927.
12. Tomlinson, Phil. Mag., **7**, 905, 1925.