

О ДВУХ ВИДАХ ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

Л. Ф. КАМСКОВ

При обработке металлов резанием внешнее трение стружки о переднюю грань и обработанной поверхности о заднюю грань оказывает существенное влияние на весь процесс резания. Силы резания, степень пластической деформации срезаемого слоя (усадка стружки), чистота обрабатываемой поверхности, теплообразование, стойкость резца и т. д. зависят от коэффициента трения между стружкой, обрабатываемым изделием и соответствующими гранями резца. Совершенно очевидно, что детальное изучение трения в значительной степени облегчит проблему построения современной теории резания и позволит наметить пути дальнейшего увеличения производительности труда.

В момент врезания резца в обрабатываемом металле возникает концентрация напряжений у вершины резца, вследствие чего определенный объем металла вначале приходит в упругое состояние, а затем, по мере дальнейшего продвижения резца, в пластическое состояние.

Из исследований А. И. Исаева [1] вытекает, что при сходе стружки на передней грани резца существует две зоны контакта стружки: первая зона (рис. 1, протяженность ab) — зона, в которой резец трется о металл, приведенный в пластическое состояние; вторая (протяженность bc) — зона контакта передней грани резца непосредственно с самой стружкой, находящейся в твердом отдеформированном состоянии.

Исследованиями советских ученых С. И. Губина, В. Д. Кузнецова, И. В. Крагельского и других доказано, что коэффициент трения при пластических деформациях и коэффициент кинетического трения (трения двух упругих тел) должны отличаться между собой как по своей природе, так и количественно.

Существовало предположение М. М. Ламма [2], Н. Н. Зорева [3] о том, что при резании металлов существует два вида внешнего трения и что эти виды трения (трение при пластических деформациях и кинетическое трение) также должны между собой отличаться как по своей природе, так и количественно.

Мы ставили перед собой задачу: экспериментально изучить процесс трения при резании металлов, а также выявить и изучить качественное

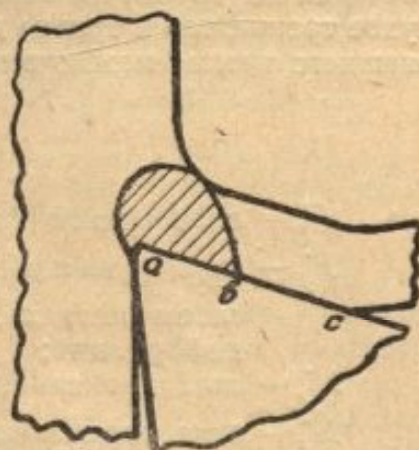


Рис. 1. Схема контакта стружки с передней гранью резца: ab — протяженность контакта пластически деформированного металла; bc — протяженность контакта собственной стружки.

различие двух видов внешнего трения при резании металлов. Наша методика исследования в общих чертах заключается в следующем.

Прежде всего, необходимо было найти и расчленить на передней грани резца участки каждого из двух видов трения, а также исключить влияние на них задней грани. С этой целью резание производилось с помощью двух резцов, имеющих передний угол $\gamma = 0^\circ$ и приставленных друг к другу с некоторым зазором, как показано на рисунке 2.

Производя резание при $f = \text{const}$ и $a \neq \text{const}$, или же при $f \neq \text{const}$ и $a = \text{const}$ (a — толщина среза, f — протяженность передней грани резца A (рис. 2), можно добиться такого положения, что зона пластической деформации, а следовательно, соответствующий ей вид трения не выходили бы за пределы передней грани резца A . Тогда на передней грани резца B будет только лишь сухое трение; в этом случае коэффициент трения можно выразить следующим образом:

$$\mu = \frac{F}{N}. \quad (1)$$

В общем же случае на передней грани резца B могут наблюдаться как сухое трение, так и трение деформации (рис. 2). При этом коэффициент внешнего трения можно выразить

$$\mu = \frac{F'_B + \alpha_F F'_A}{N'_B + \beta_N N'_A}, \quad (2)$$

где F'_B — сила сухого трения;

F'_A — сила трения между передней гранью резца A и срезанным слоем металла, приведенным в состояние пластических деформаций;

N'_A — сила нормального давления, вызывающая силу трения F'_A ;

N'_B — сила нормального давления, вызывающая силу трения F'_B ;

α_F, β_N — коэффициенты, соответственно учитывающие, какая часть силы F'_A и силы N'_A приходится на долю передней грани резца B .

Если о коэффициенте трения в зоне контакта самой стружки с передней гранью резца B , т. е. о коэффициенте сухого трения, можно сказать, что он подчиняется экспериментальному закону Амонтона — Кулона, то о коэффициенте трения деформации этого сказать нельзя; закономерности трения при пластических деформациях пока что неизвестны.

При определенных условиях резания наличие сухого трения на передней грани резца B можно обнаружить следующим образом. Мы уже сказали, что коэффициент сухого трения, т. е. коэффициент трения в Кулоновом понимании не зависит от скорости относительного скольжения двух твердых тел. Коэффициент же трения деформации с изменением скорости не будет оставаться постоянным. Поэтому, найдя зависимость $\mu = f(v)$, мы можем судить о наличии того или иного вида трения. Предположим, что на резце B существует только сухое трение. В этом случае величина коэффициента трения определится как отношение сил трения к нормальному давлению. С изменением скорости резания коэффициент трения должен оставаться, согласно закону Амонтона—Кулона, постоянным, не зависящим от скорости резания, т. е. в этом случае мы получим, что $\mu = f(v) = \text{const}$. Если же часть пластически деформированного металла будет контактировать с передней гранью

резца B , то в этом случае постоянства коэффициента трения, определяемого по формуле (2), мы не получим.

Для определения коэффициента трения при резании металлов нами был сконструирован и изготовлен специальный прибор, принципиальная схема которого показана на рисунке 3.

При помощи двухкомпонентного суппорта (1), в котором устанавливался резец B , замерялись нормальное давление и сила трения на передней грани резца B . В свою очередь двухкомпонентный суппорт вместе с резцом B и резец A устанавливались во второй суппорт 2, с помощью

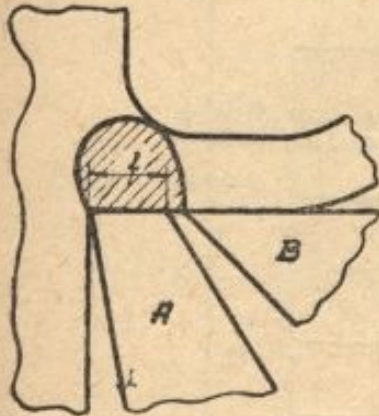


Рис. 2. Схема рабочего положения резцов (A и B).

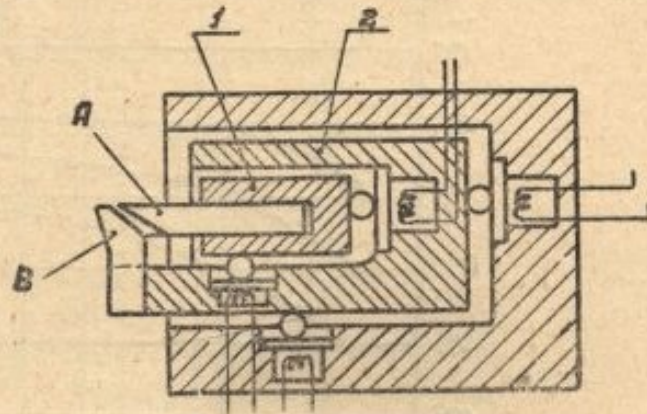


Рис. 3. Принципиальная схема прибора для определения коэффициента трения при резании металлов.

которого замерялось общее нормальное усилие N_0 и общая сила трения F_0 . Сконструированный и изготовленный нами прибор позволил экспериментально определить коэффициент трения в любом месте передней грани резца в процессе резания.

Насколько нам известно, экспериментального метода и приборов для определения коэффициента трения непосредственно при резании металлов до сих пор не существовало.

Резцы A и B устанавливаются из условия нормальной их работы. Для обеспечения этого необходимо, во-первых, чтобы резец A и резец B не имели превышения друг относительно друга; во-вторых, величину зазора между резцами выбирать так, чтобы пластически деформированный металл не только не мог затекать в щель в виде стружки, но даже проседать между резцами. В противном случае будут искажаться усилия резания и весь процесс стружкообразования. Однако нельзя устанавливать резцы и без зазора между ними: под действием сил по задней грани резца A и его прогиба по направлению действия сил трения на передней грани резца B могут исказиться измеряемые усилия N_B и F_B ; совершенно недопустимо, чтобы под действием нормальных сил и прогиба резца B по направлению действия нормальных сил зазор выбирался полностью, так как измеряемые усилия при этом будут резко искажаться.

Таким образом, в случае отсутствия указанных зазоров раздельная работа резцов будет нарушаться; сдвоенный резец A и B будет работать как цельный резец. Определение указанных зазоров производилось тарировками прогибов резцов при соответствующих им усилиях. Возникает законный вопрос: не будет ли искажаться при работе составным резцом A и B процесс стружкообразования и общие составляющие усилия резания, а следовательно и силы, измеряемые на резце B ?

Ужесточение всего прибора, применение электроконтактного приспособления для контроля прогиба резца B и фотоконтроля зазора

между резцами и угла резания, а также контроль процесса резания по усадке стружки и метод динамометрирования, позволили нам получить точные и достоверные данные при экспериментировании, а также позволили установить, что независимо от того, работаем ли мы обычным цельным или же составным резцом (A и B), никакой разницы в общих составляющих усилий резания, форме поперечного сечения снимаемых стружек и в их усадке практически нет.

Основные эксперименты были проведены на красной меди. Этот материал был выбран потому, что он обладает достаточной пластич-

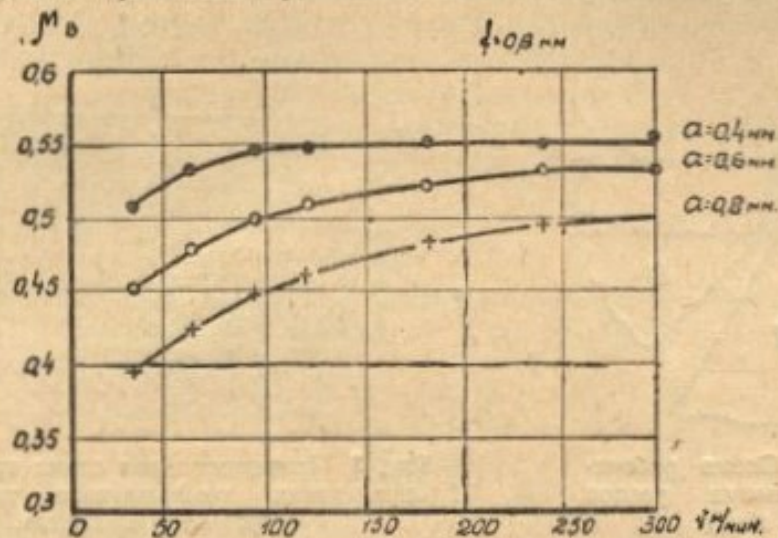


Рис. 4. Изменение коэффициента трения на передней грани резца B в зависимости от скорости резания.

ностью и малой склонностью к наростообразованию и, следовательно, мы могли рассчитывать на сравнительно небольшой разброс опытных точек. Толщина среза изменялась от 0,1 мм до 0,9 мм через каждые 0,1 мм. Для каждой подачи скорости резания менялись от 30 м/мин до 300 м/мин.

В данной статье мы приводим только результаты отдельных экспериментов: данные при резании красной меди для протяженности передней грани резца A $\hat{f}=0,8$ мм и для толщин $a=0,4$ мм; $a=0,6$ мм; $a=0,8$ мм. По этим данным были построены графики $N_B = f(v)$ и $F_B = f(v)$. Эти графики позволили нам установить случайные точки, уточнить силы N_B и F_B и вычислить значения коэффициентов трения на передней грани резцов. По вычисленным значениям коэффициентов трения построены зависимости $\mu_B = f(v)$ (рис. 4).

Одновременно с этим была определена поперечная усадка стружки при различных скоростях резания и толщинах. На рисунке 5 показано изменение поперечной усадки (K_q) стружки в зависимости от скорости резания при различных толщинах среза.

Из графика $\mu_B = f(v)$ (рис. 4) видно, что с увеличением скорости резания коэффициент трения на резце B возрастает. Этот факт может говорить о том, что на передней грани резца B кроме сухого трения имеется трение пластически деформированного металла.

Построенные кривые зависимости $\mu_B = f(v)$ для различных толщин показывают, что коэффициент трения μ_B с уменьшением толщины среза возрастает. Это можно объяснить, нам кажется, тем, что с умень-

шением толщины возрастает удельное давление, а в связи с этим должно произойти увеличение и коэффициента трения.

Интересно отметить, что для $a = 0,4$ мм коэффициент трения, начиная со скорости резания $v = 100$ м/мин и выше, остается постоянным, не зависящим от скорости резания. Это указывает на то, что, начиная со скорости $v = 100$ м/мин и при толщине $a = 0,4$ мм, на передней грани резца B имеется только лишь сухое трение, т. е. трение твердого тела о твердое. При всех же остальных толщинах имеется как сухое трение, так и трение деформации. Чем объяснить, что при $a = 0,4$ мм

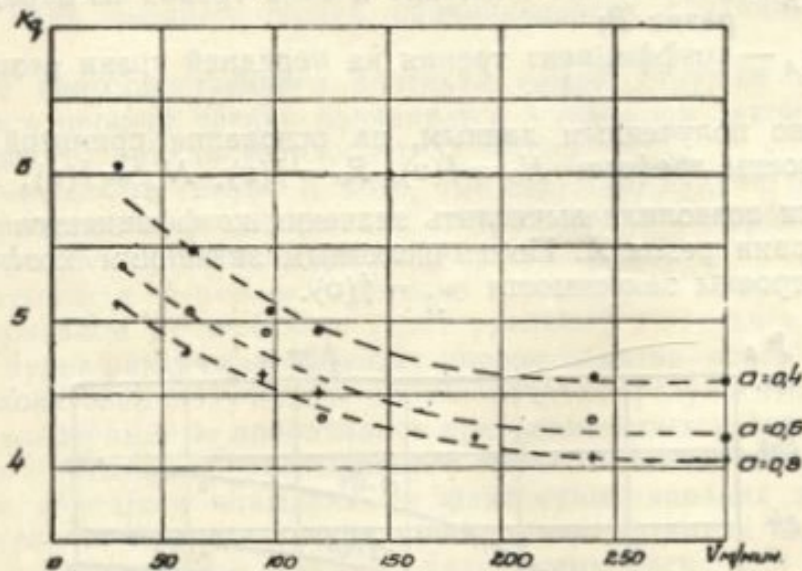


Рис. 5. Изменение поперечной усадки стружки в зависимости от скорости резания.

коэффициент трения остается постоянным не на всем диапазоне скоростей? Это объясняется тем, что с увеличением скорости резания усадка стружки (рис. 5), а следовательно, зона и размеры пластической деформации, не остаются постоянными. При малых скоростях резания усадка стружки, а следовательно, и зона пластической деформации таковы, что часть пластически деформированного металла переходит на переднюю грань резца B ; вследствие этого на передней грани его и наблюдается при этих скоростях наличие как сухого трения, так и трения деформации. Начиная же со скорости $v = 100$ м/мин, зона пластической деформации в основном располагается на передней грани резца A и поэтому на передней грани резца B наблюдается только сухое трение.

Необходимо отметить, что приведенных экспериментов еще недостаточно для доказательства высказанного предположения. Быть может, одновременно с этим на передней грани резца A имеет место такой же характер изменения коэффициента трения, что и на резце B . Если это так, то предположение о двух видах внешнего трения, очевидно, не будет справедливым.

Основное предположение можно считать правильным только в том случае, если будет доказано одновременное существование при одних и тех же условиях работы трения деформации на передней грани резца A и сухого трения на передней грани резца B .

Нормальное давление и сила трения на передней грани резца A определялись как разность соответствующих усилий на цельном резце и на резце B , т. е.

$$N_A = N_0 - N_B; \quad F_A = F_0 - F_B$$

и

$$\mu_A = \frac{F_0 - F_B}{N_0 - N_B} \quad (3)$$

где N_A, F_A — соответственно нормальное давление и сила трения на передней грани резца A ;

N_0, F_0 — нормальное давление и сила трения на передней грани цельного резца;

N_B, F_B — нормальное давление и сила трения на передней грани резца B ;

μ_A — коэффициент трения на передней грани резца A .

Согласно полученным данным, на основании принятой методики были построены графики $N_0 = f(v)$, $F_0 = f(v)$, $N_A = f(v)$, $F_A = f(v)$. Эти графики позволили вычислить значения коэффициентов трения на передней грани резца A . По вычисленным значениям коэффициентов трения построены зависимости $\mu_A = f(v)$.

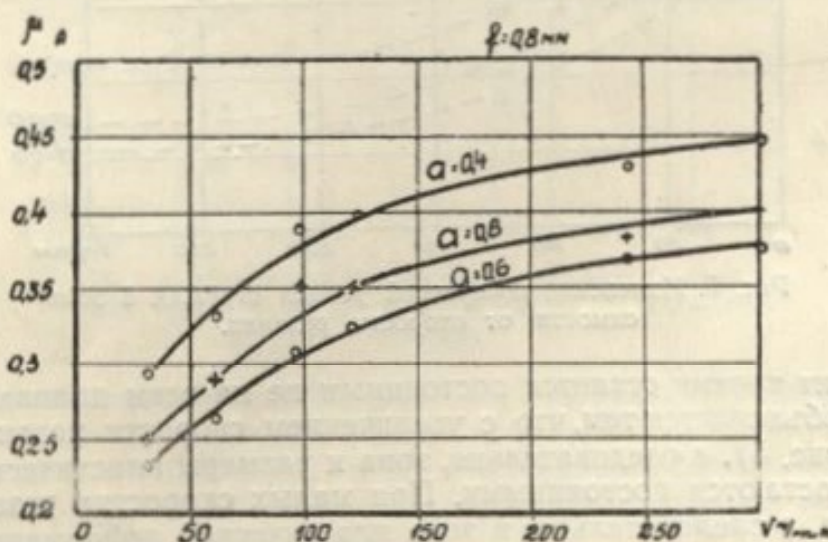


Рис. 6. Изменение коэффициента трения на передней грани резца A в зависимости от скорости резания.

Из графика $\mu_A = f(v)$ (рис. 6) видно, что коэффициент трения на передней грани резца A при увеличении скорости резания непрерывно возрастает для всех толщин среза.

Необходимо обратить внимание на очень важный факт, что при любых режимах резания коэффициент трения μ_A на передней грани резца A значительно ниже коэффициента трения μ_B на передней грани резца B . Так, например, для $a = 0,4$ мм и $v = 30$ м/мин $\mu_A = 0,292$, а $\mu_B = 0,506$; для $a = 0,6$ мм и при той же скорости резания $\mu_A = 0,232$, а $\mu_B = 0,449$, т. е. коэффициент трения на передней грани резца B почти вдвое выше, чем коэффициент трения на резце A .

Характерно, что коэффициент трения μ_A при определенной скорости резания зависит от подачи. Однако в отличие от коэффициента трения μ_B с увеличением толщины μ_A возрастает. Это можно объяснить тем, что с увеличением подачи возрастает температура резания. Согласно исследованиям Губкина С. И. и Орлова Н. М. [41] и исследованиям

некоторых других ученых, с повышением температуры, при которой протекает процесс трения, коэффициент трения деформации должен увеличиваться.

Обращает на себя внимание также тот факт, что с увеличением скорости резания сила трения в зоне пластической деформации не падает, как это наблюдается для случая сухого трения, а возрастает.

Таким образом, наши исследования показывают, что в процессе резания красной меди на передней грани резца одновременно существует два вида внешнего трения, подчиняющиеся различным закономерностям.

В зоне непосредственного контакта самой стружки с передней гранью резца процесс трения подчиняется в основном законам кинетического (сухого) трения твердого тела о твердое.

Закономерности трения в зоне, где стружка, будучи приведена в состояние пластических деформаций, соприкасается с передней гранью резца, отличаются от закономерностей сухого трения.

В зависимости от режимов резания и геометрии режущего инструмента (в основном от переднего угла) удельный вес сухого трения деформации будет различный. Поэтому вполне понятно, почему у различных исследователей получились противоречивые результаты, несмотря на то, что эксперименты проводились при одинаковых условиях и даже для одного и того же обрабатываемого металла. Большинство исследователей не обращали внимания на факт существования двух видов внешнего трения. Процесс трения при резании металлов ими характеризовался коэффициентом трения, определяемым расчетным путем (при целом ряде допущений и упрощений), усредненным по всей длине контакта стружки с передней гранью резца.

Более детальное изучение двух видов внешнего трения при резании металлов даст возможность научно подойти к вопросу о назначении рациональной геометрии режущего инструмента, а также к вопросу об отыскании дальнейших путей увеличения производительности труда.

Нами в основном были проведены эксперименты по красной меди в широком диапазоне скоростей (30—300 м/мин) и толщин среза (0,1—0,9 мм), а также при различной протяженности передней грани резца (0,4; 0,6; 0,8; 1,0 мм). Кроме того, были проведены эксперименты по мягкой стали и свинцу.

Все эксперименты полностью подтвердили справедливость высказанного предположения о двух видах внешнего трения.

На основании данного исследования можно сделать вывод о том, что дальнейшее детальное изучение двух видов внешнего трения представляет большой интерес не только с чисто теоретической, но и с практической точки зрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Исаев. Процесс образования поверхностного слоя при обработке металлов резанием. Машгиз, 1950.
2. М. М. Ламм. Скоростное тяжелое строгание. Харьковское книжно-газетное изд-во, 1952.
3. Н. Н. Зорев. Исследование элементов механики процесса резания. Машгиз, 1952.
4. С. И. Губкин, Н. М. Орлов. Влияние температуры и скорости деформирования на коэффициент внешнего трения дуралюмина. Экспериментальные вопросы пластической деформации металлов, ОНТИ, вып. 1, 1934.