

КОНТАКТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

М. Ф. ПОЛЕТИКА

(Представлена проф. доктором А. М. Розенбергом)

Процессы, происходящие в зоне контакта стружки с резцом, играют при резании решающую роль. Зона контакта является, по существу, тем каналом, через который действуют на процесс стружкообразования такие важнейшие факторы, как температура резания, свойства материала режущего инструмента, свойства среды и др. Условия в зоне контакта определяют характер и интенсивность износа инструмента.

Задавшись целью изучить особенности контактных явлений на передней грани резца в связи с процессом стружкообразования при резании различных металлов, мы провели исследования с 14 обрабатываемыми материалами. В опытах измерялись все основные характеристики стружкообразования: усадка стружки, температура резания, длина контакта стружки с резцом, сила резания. По экспериментальным данным подсчитывались средние контактные напряжения при резании, напряжения в зоне сдвига и другие величины. Ниже излагаются некоторые результаты этих опытов.

На рис. 1 показана зависимость усадки стружки от скорости резания при обработке различных металлов в области сравнительно высоких скоростей резания. Мы убеждаемся, что падение усадки с ростом скорости является общим законом, справедливым для всех исследованных металлов. Однако интенсивность ее падения, равно как и абсолютная величина усадки для разных обрабатываемых материалов, далеко не одинакова. Причем, как можно усмотреть из того же рис. 1, усадка определяется не только механическими свойствами обрабатываемого материала, но и другими факторами. Так, например, усадка стружки при резании технически чистого титана (ВТ1) и кадмия примерно одинакова, хотя по механическим свойствам эти металлы сильно отличаются друг от друга.

Длина контакта стружки с резцом в функции от скорости резания изменяется аналогично усадке стружки. Между этими важнейшими параметрами стружкообразования должна существовать тесная связь, что логически вытекает уже из условия равновесия моментов сил в зоне резания, полученного Н. Н. Зоревым [1], и подтверждается нашими теоретическими и экспериментальными исследованиями.

Наличие такой связи иллюстрируется рис. 2, на котором относительная длина контакта c/a представлена в зависимости от усадки стружки. Беглый взгляд на этот график наводит на мысль об одно-

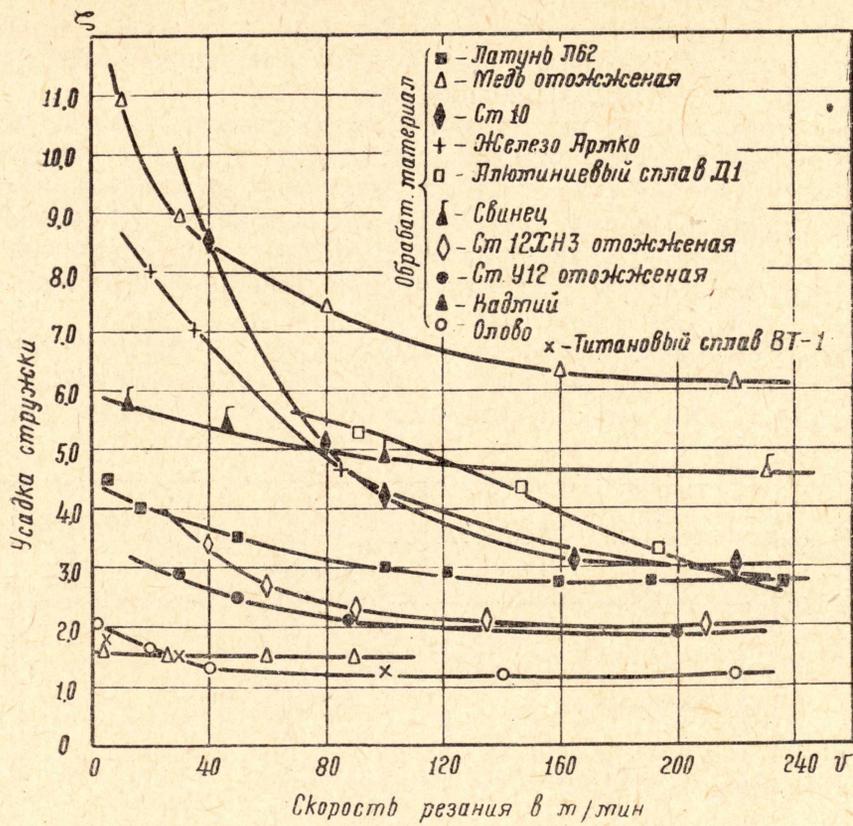


Рис. 1.

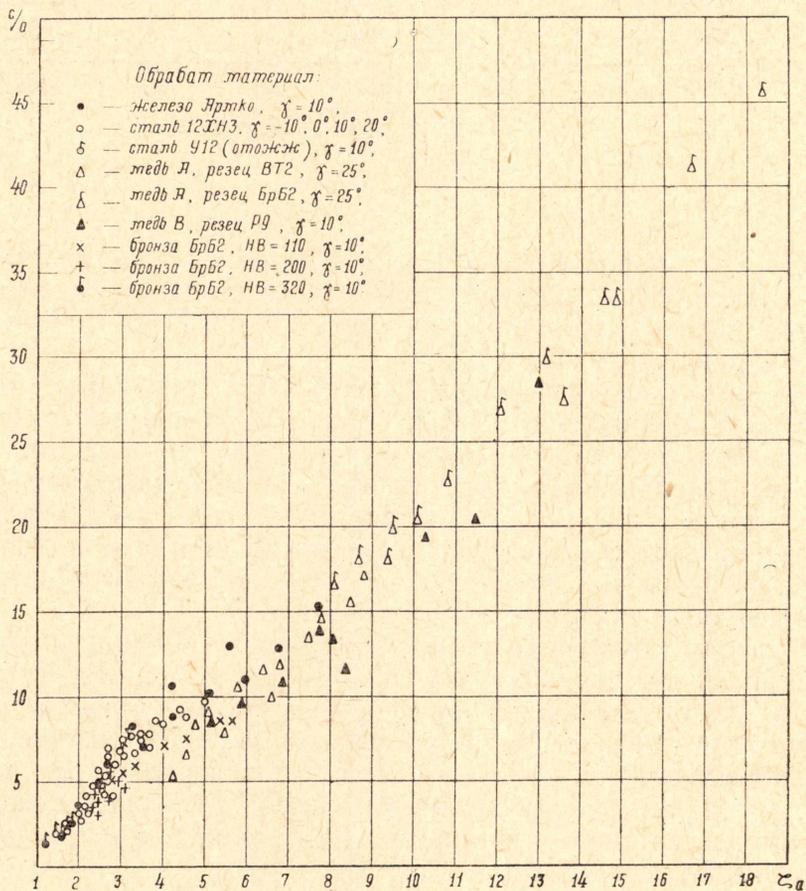


Рис. 2.

значной связи между величиной c/a и усадкой, тем более, что разброс экспериментальных точек в значительной степени объясняется неточностью использованного нами метода измерения длины контакта (по видимому следу износа на передней грани).

Более тщательный анализ показывает, однако, что это не так и полученная зависимость однозначной может считаться лишь весьма приближенно. Кривые $c/a = f(\zeta)$ для различных обрабатываемых материалов и условий резания не совпадают, и причина их несовпадения лежит в отсутствии однозначной связи между углом плоскости сдвига (β_1) и углом действия (ω), определяющим положение равнодействующей сил на передней грани.

На рис. 3 приводятся некоторые результаты исследования среднего касательного контактного напряжения (удельной силы трения) q_F в процессе резания. Они дополнительно нас убеждают в том, что

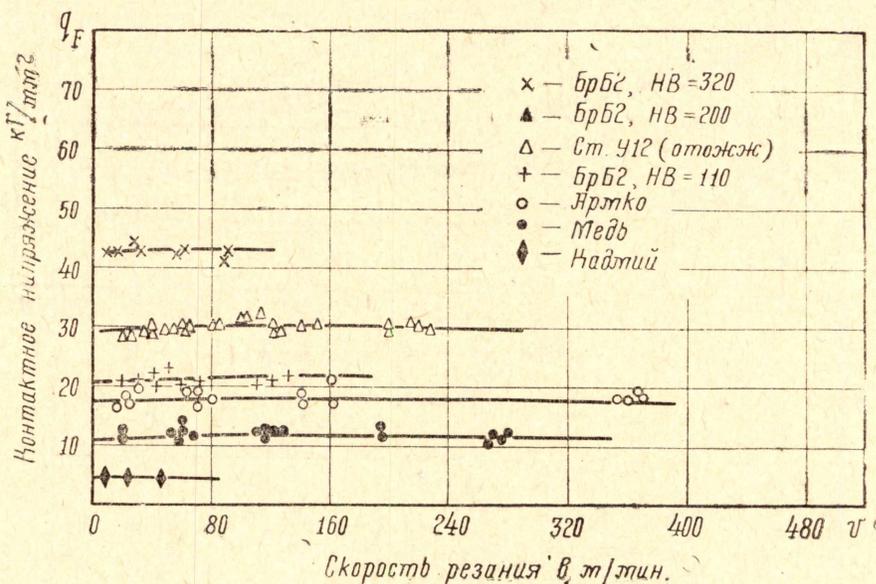


Рис. 3.

постоянство величины q_F , впервые обнаруженное Н. Н. Зоревым при резании сталей [1] и подтвержденное другими нашими опытами для некоторых цветных металлов, является достаточно общим законом процесса стружкообразования.

Иную закономерность для удельной силы трения мы обнаружили только для титановых сплавов [2], причем не исключена возможность, что наблюдаемое в данном случае понижение q_F с ростом скорости резания есть следствие несовершенства принятой методики измерения длины контакта. При резании титановых сплавов след износа по передней грани быстро возрастает сразу после врезания, и при высоких скоростях резания мы, несмотря на кратковременность опыта, получаем завышенные значения длины контакта.

Для разных обрабатываемых материалов величина контактного напряжения q_F неодинакова. Из анализа рис. 4, где представлена зависимость этого напряжения от действительного предела прочности обрабатываемого металла, нетрудно заключить, что механические свойства обрабатываемого материала играют здесь роль, если не единственного, то во всяком случае основного определяющего фактора.

Покажем, что такая взаимосвязь не случайна, а обусловлена особенностями контакта стружки с резцом.

Многочисленными исследованиями доказано, что зона контакта на передней грани состоит из двух участков: пластического и упругого. В пределах первого из них контактный слой стружки подвергается глубокой пластической деформации. В пределах второго преобладают упругие деформации, а пластические локализуются в поверхностных бугорках и точках схватывания, то есть наблюдаются явления, типичные для сухого трения.

Естественно предположить, что в области пластического контакта, где сильно деформированный материал стружки на толщине контактного слоя получает дополнительную деформацию, касательное кон-

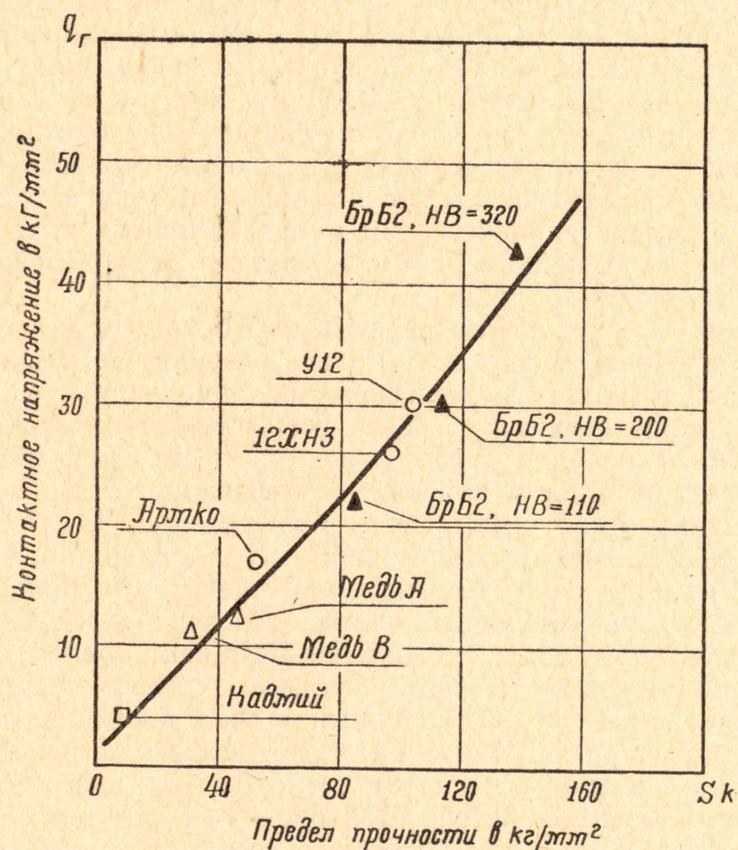


Рис. 4.

тактное напряжение либо примерно постоянно по всей длине пластического участка (упрочнение малозаметно), либо несколько возрастает по мере удаления от режущей кромки (за счет деформационного упрочнения).

В области упругого контакта касательное напряжение непрерывно и плавно уменьшается до нуля в точке отрыва стружки от резца.

Сделанное предположение подтверждается результатами исследований распределения напряжений на контактной площадке резца, выполненных различными способами, в том числе и нашими результатами, полученными с помощью поляризационнооптического метода [3].

Следовательно, среднее касательное контактное напряжение должно определяться величиной касательного напряжения на пластическом участке и соотношением между длиной этого участка и общей длиной контакта. Поскольку же это соотношение в зависимости от условий резания меняется в сравнительно узких пределах (это доказано экспериментом), то между средним контактным напряжением q_f

и касательным напряжением τ_1 (тоже средним) на пластическом участке должна существовать пропорциональная связь.

Величина τ_1 в свою очередь есть функция механических свойств обрабатываемого материала и степени его упрочнения в контактном слое. Поскольку же степень деформации здесь чрезвычайно высока и упрочнение близко к предельному, то основным фактором, влияющим на контактное касательное напряжение, должна быть прочность обрабатываемого материала, что и подтверждается графиком на рис. 4.

В приведенной цепочке рассуждений отсутствуют два важнейших фактора стружкообразования: скорость резания как скорость деформации и средняя температура контакта. Что касается первого из них, то работами А. М. Розенберга и А. Н. Еремина показана незначительность его влияния на напряжения при обычных скоростях резания для большинства металлов [4]. По поводу влияния средней температуры контакта на контактные напряжения в литературе нет единого мнения. Одни считают, что с ростом скорости материал в зоне контакта должен размягчаться. Другие допускают, что вследствие кратковременности пребывания частиц контактного слоя в пределах этой зоны процесс размягчения не будет успевать происходить. Нам представляется, что полученные нами результаты экспериментально подтверждают вторую точку зрения.

Коль скоро для данного обрабатываемого материала удельная сила трения на передней грани от условий резания не зависит, оставаясь постоянной в широком диапазоне их изменения, то средний коэффициент трения стружки о резец есть функция среднего контактного давления на передней грани и не имеет смысла физической константы. На специфичность понятия о коэффициенте трения при резании неоднократно уже указывалось в литературе [1, 8]. Об этом же со всей убедительностью говорят наши исследования [5, 6, 7].

Несмотря на очевидность этих соображений для большинства исследователей, в существующих схемах объяснения взаимосвязи факторов стружкообразования средний коэффициент трения на передней грани по-прежнему играет роль основного управляющего фактора. Нам представляется, что накопленный к настоящему времени экспериментальный материал достаточен, чтобы высказать некоторые новые предположения на этот счет и тем самым внести необходимые изменения в схему взаимодействия факторов при резании, исключив из нее коэффициент трения как некоторый самостоятельный фактор.

Чтобы это сделать, обратимся к схеме стружкообразования (рис. 5) и рассмотрим явления, происходящие на участке пластического контакта. Вблизи режущей кромки на переднюю поверхность резца вступают свежерожденные (ювенильные) поверхностные слои стружки. Весьма высокое нормальное давление в этом месте обеспечивает пластическое состояние контактного слоя и, следовательно, высокую плотность контакта и препятствует проникновению на поверхность контакта частиц окружающей среды. Здесь в полной мере развивается схватывание соприкасающихся поверхностей, препятствующее дальнейшему продвижению стружки.

Непрерывность процесса однако не позволяет стружке задерживаться. Но ее дальнейшее перемещение должно сопровождаться срезом вдоль поверхности контакта, которому будет предшествовать глубокая пластическая деформация контактного слоя.

Так как эта пластическая деформация происходит по всей ширине контактного слоя, то условие ее возникновения будет выражаться неравенством:

$$\Delta f_n \cdot \tau < \Delta f \delta \tau_c, \quad (1)$$

где Δf_n — номинальная площадь контакта на некотором элементарном участке;

Δf_d — фактическая площадь контакта на этом же участке;

τ — сопротивление сдвигу материала стружки;

τ_c — сопротивление срезу связей между соприкасающимися металлами.

Если вблизи режущей кромки фактическая площадь контакта равна номинальной, то по мере отдаления от кромки нормальное контактное давление падает, и она становится меньше номинальной. Контакт происходит уже не по всей видимой площади соприкосновения,

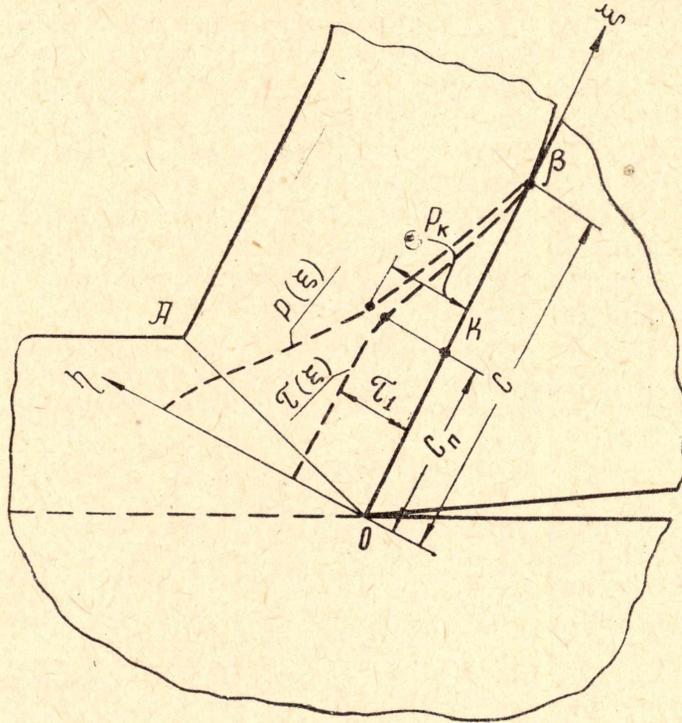


Рис. 5.

а лишь на отдельных ее участках. Дисбаланс в выражении [1] при этом уменьшается. Наконец, в некоторой точке K неравенство (1) превращается в равенство:

$$\Delta f_n \cdot \tau = \Delta f_d \cdot \tau_c. \quad (2)$$

С дальнейшим понижением нормального давления площадь реального контакта станет уже недостаточной, чтобы обеспечить пластические деформации в контактном слое. Следовательно, точка K лежит на границе пластического участка контакта. Реальная площадь контакта (точнее отношение f_d/f_n) является функцией нормального контактного давления, возрастая с его повышением. Поэтому для данной пары контактирующих материалов и при данном состоянии среды в точке K будет соответствовать определенная величина p_k контактного давления.

Поскольку

$$\frac{\Delta f_d}{\Delta f_n} = \varphi(p_k), \quad (3)$$

а из (2) следует

$$\frac{\Delta f_d}{\Delta f_n} = \frac{\tau}{\tau_c},$$

то нетрудно заключить, что указанное давление p_k — назовем его граничным давлением — определяется соотношением сопротивлений сдвигу в материале стружки и срезу в месте контакта:

$$p_k = \psi \left(\frac{\tau}{\tau_c} \right). \quad (4)$$

Чем больше прочность связей τ_c , а она зависит от химических свойств материала инструмента и обрабатываемого друг по отношению к другу, тем граничное давление ниже. С ростом прочности материала стружки оно, наоборот, повышается. Среда оказывает на контактирующиеся металлы химическое (окислительное) действие и потому способствует снижению прочности τ_c связей. Граничное давление при этом будет возрастать. Средняя температура контакта определяет интенсивность химического взаимодействия среды и соприкасающихся металлов. Поэтому рост температуры резания всегда должен вести к повышению граничного давления p_k .

Так как принципиальный характер эпюры контактных давлений на передней грани ни от одного из указанных факторов не зависит, то всякое увеличение давления p_k должно вести к уменьшению длины s_n пластического контакта и наоборот.

С другой стороны, как выше отмечалось, соотношение между длиной s_n пластического контакта и длиной s полного контакта слабо зависит от факторов резания. Поэтому всякое изменение длины пла-

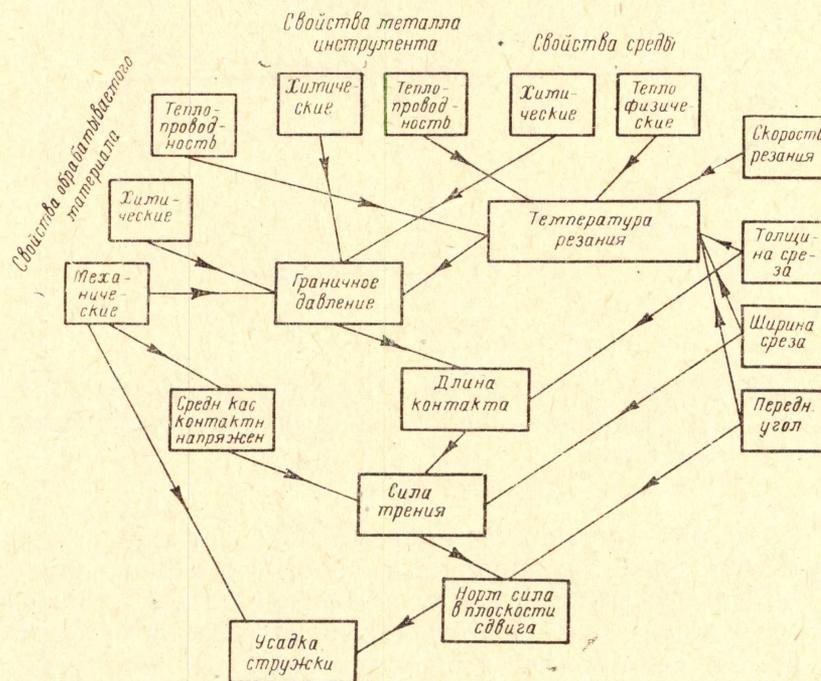


Рис. 6.

стического контакта будет сопровождаться примерно пропорциональным изменением полной длины контакта.

Далее. Так как удельная сила трения от условий резания практически не зависит, то сила трения F на передней грани будет изменяться пропорционально длине контакта. Все факторы, вызывающие рост длины контакта, будут приводить к увеличению силы трения. Факторы, действующие в противоположную сторону, будут способствовать ее уменьшению.

Если теперь рассматривать резец как единое целое со стружкой, уподобляя его штампу, давящему на пластическую область в срезаемом слое перед резцом, то сила трения F будет основным компонентом, определяющим силу, которая принимает этот „штамп“. Усадка же стружки, являясь некоторой средней оценкой степени деформации металла под „штампом“, есть функция силы F .

Описанная выше цепочка взаимосвязей иллюстрируется схемой на рис. 6.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Зорев. Вопросы механики процесса резания металлов. Машгиз, М., 1956.
2. М. Ф. Полетика. Исследование процесса резания титановых сплавов. В сб. „Обработываемость жаропрочных и титановых сплавов“, Куйбышев, 1962.
3. М. Ф. Полетика, М. Х. Утешев. К расчету на прочность режущей части резца. В настоящем сборнике.
4. А. М. Розенберг, А. Н. Еремин. Элементы теории процесса резания металлов. Машгиз, 1956.
5. М. Ф. Полетика, М. Х. Утешев. Исследование процесса резания кадмия. Изв. ТПИ, т. 109, 1963.
6. М. Ф. Полетика. Исследование процесса резания бериллиевой бронзы. В настоящем сборнике.
7. М. Ф. Полетика. Влияние материала режущего инструмента на процесс резания. В настоящем сборнике.