

К РАСЧЕТУ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ РЕЗЦА НА ПРОЧНОСТЬ

М. Ф. ПОЛЕТИКА, М. К. УТЕШЕВ

(Представлена проф. докт. А. М. Розенбергом)

Вопросы прочности режущей части резцов становятся в настоящее время актуальными, с одной стороны, благодаря преимущественному распространению высокопроизводительных режущих материалов: твердых сплавов и минералокерамики, стойкость которых зачастую лимитируется преждевременным хрупким износом; с другой стороны, этому же способствует все более широкое применение в машиностроении твердых и сверхтвердых материалов.

Одной из причин хрупкого износа является неравномерность распределения напряжений на рабочих гранях инструмента.

Изучение распределения напряжений на рабочих гранях резца возможно как теоретическим, так и экспериментальным путем.

Из экспериментальных методов определения напряжений известны 2 метода: метод разрезного резца и поляризационно-оптический метод.

Нами были проведены исследования по определению напряжений в режущей части резца при разных условиях резания поляризационно-оптическим методом.

Исследования были проведены на токарном станке модели I K62. Поляризационно-оптическая установка была смонтирована прямо на станке. В процессе резания производилось фотографирование оптических картин и запись сил резания.

Опыты проводились в условиях свободного прямоугольного резания. Резцы изготовлялись из оптически чувствительного материала на основе эпоксидной смолы, а обрабатываемым материалом являлся свинец.

В результате обработки оптических картин (методика подробно описана в работе [5]) было полностью определено напряженное состояние точек контакта резца со стружкой.

На рис. 1 приведены круги Мора для различных точек контакта резца с $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 7^\circ$, построенные по результатам эксперимента. Размещение точек по длине контакта показано на рис. 2, где

τ_{Fi} — соответствующее касательное напряжение в различных точках контакта;

σ_{Ni} — нормальные напряжения в тех же точках контакта;

σ_{Xi} — нормальное напряжение в сечениях перпендикулярных к передней грани резца;

α_i — угол наклона площадки передней грани рассматриваемой точки к главной площадке.

Как видно из рис. 1, в точках резца, находящихся на поверхности контакта со стружкой, мы имеем линейное напряженное состояние, только у вершины резца, очевидно, напряженное состояние будет плоским. Величины напряжений в вершине резца экспериментально определить трудно, поэтому круг Мора под номером 12 для вершины резца показан условно.

Так были определены все компоненты напряжений для различных условий резания. На рис. 2 — 4 приведены эпюры распределения касательных и нормальных напряжений в зависимости от подачи, переднего угла и скорости резания.

Анализ полученных эпюр напряжений показывает, что нормальные напряжения распределяются крайне неравномерно от нуля до максимума, изменяясь приблизительно по закону экспоненты, а поэтому всякая аппроксимация распределения напряжений по закону треугольника, тем более по прямоугольнику или трапеции, является сомнительной и может привести к большим ошибкам.

Касательные напряжения распределяются более равномерно, причем участок кривой, примыкающей к вершине, почти выполаживается. Пологий участок соответствует длине пластического контакта, а остальной участок ветви соответствует упругому контакту.

Интересно отметить, что при разных передних углах резца величины касательных напряжений на режущей кромке почти равны между собой, при различных подачах эти напряжения несколько отличаются друг от друга. При изменении скорости резания напряжения на вершине резко отличаются по своему значению вследствие влияния фактора упрочнения.

Надо указать на то обстоятельство, что полученные нами кривые распределения касательных напряжений хорошо согласуются с экспериментальными результатами Гордона М. Б.

Зная нормальные и касательные напряжения в каждой точке, нетрудно определить коэффициент трения как отношение

$$\mu_i = \frac{\tau_{Fi}}{\sigma_{Ni}}.$$

На рис. 2 — 4 приведены кривые изменения коэффициента трения по длине контакта резца со стружкой.

Как видно из фигур, кривая коэффициента трения непрерывно увеличивается от вершины резца к концу контакта, причем на некоторых кривых видны характерные точки „излома“ кривой. По всей вероятности эти точки являются границей между пластической и упругой зоной контакта.

Следует отметить, что в упругой зоне мы не видим постоянства коэффициента трения, хотя здесь мы имеем кинетическое трение.

Особый интерес представляют напряжения, примыкающие к вершине резца. Знание напряжений на вершине чрезвычайно важно с двух точек зрения: во-первых, эти напряжения являются действительными напряжениями в околорезионной точке зоны стружкообразования; во-вторых, от величин этих напряжений зависит прочность режущей кромки резца.

На рис. 5, 6 приведены экспериментальные графики изменения этих величин в зависимости от переднего угла, подачи, здесь же приведены и некоторые интересные соотношения. Как видно из графика, с увеличением переднего угла максимальное нормальное напряжение σ_m падает, в то время как τ_m остается постоянным.

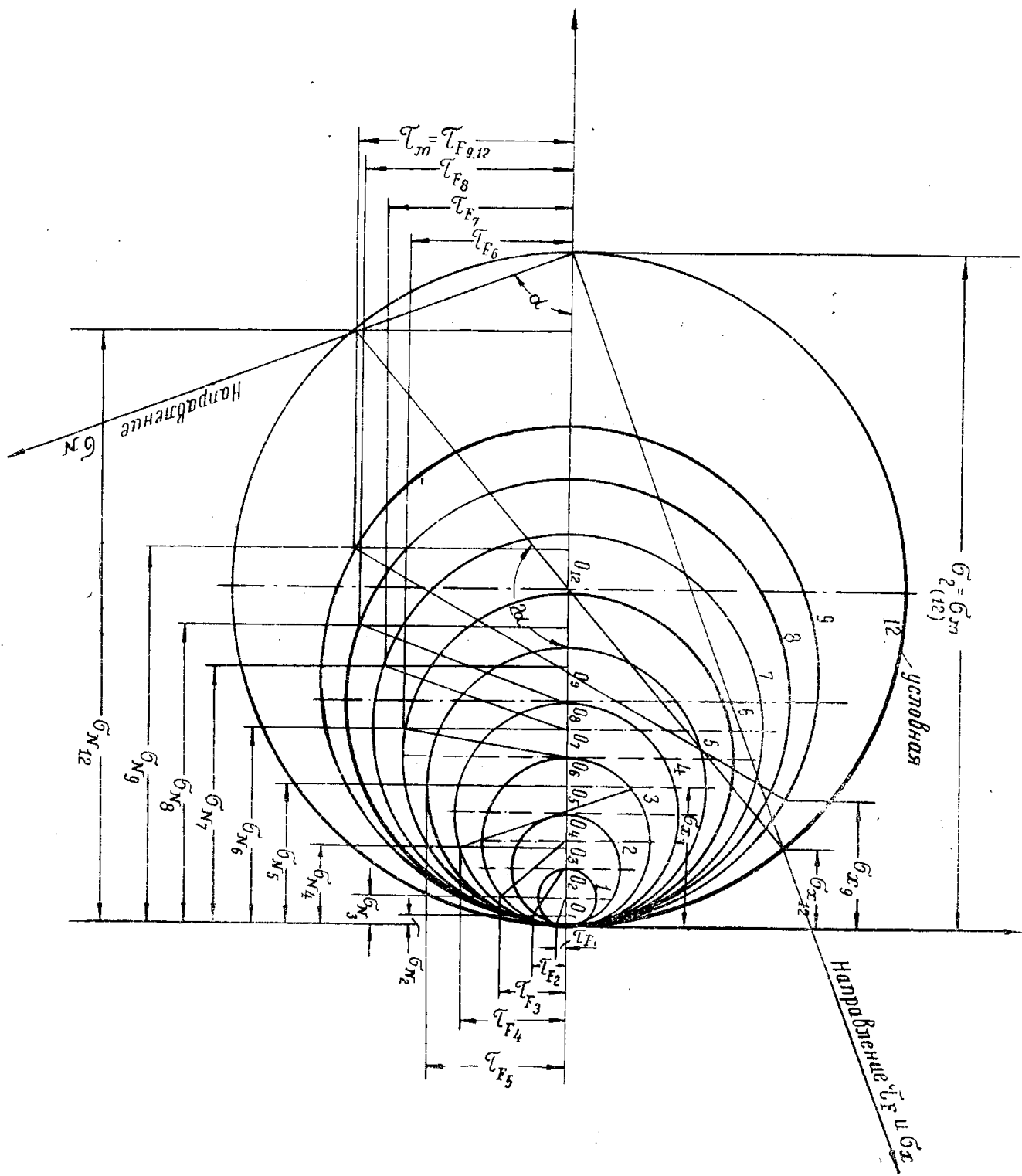


Рис. 1.

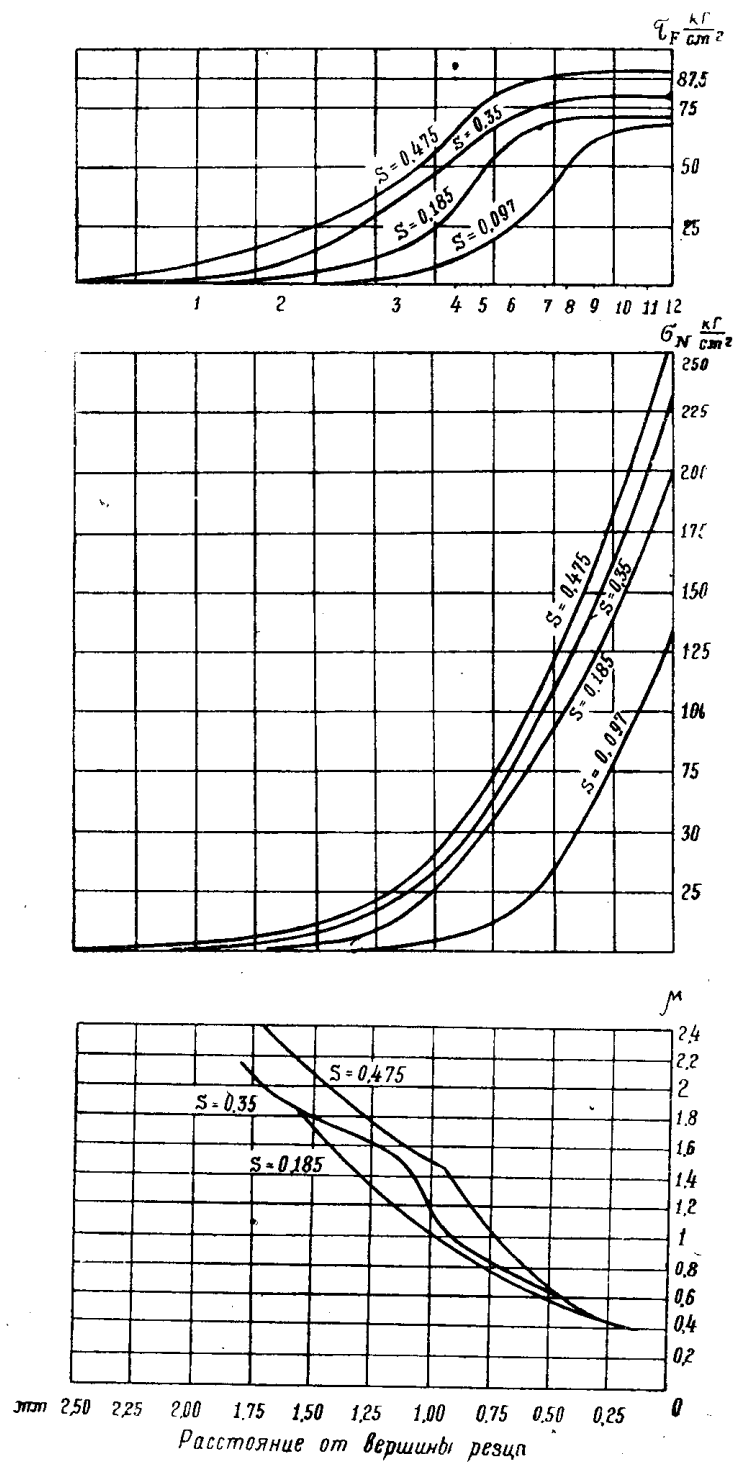


Рис. 2.

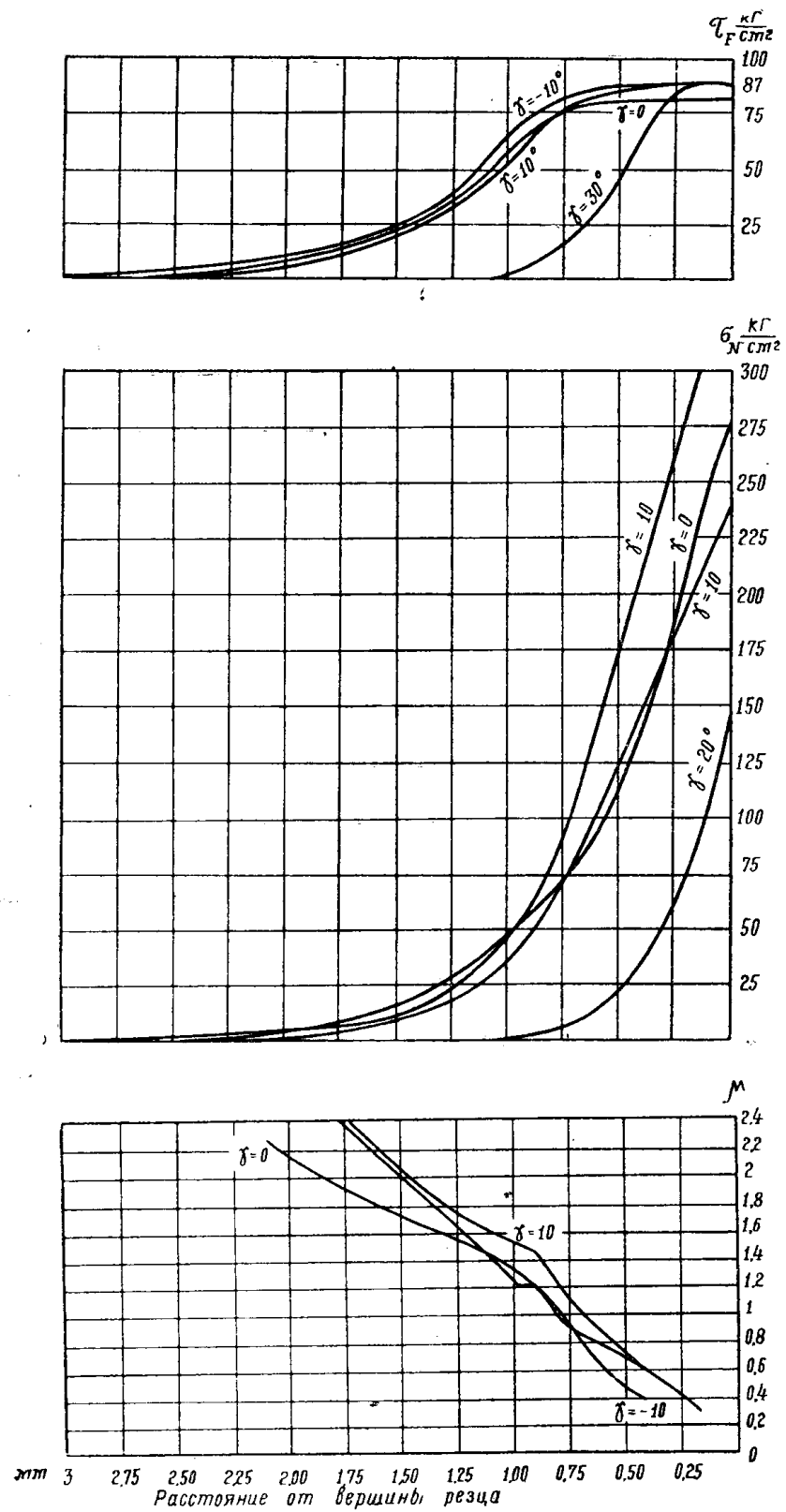
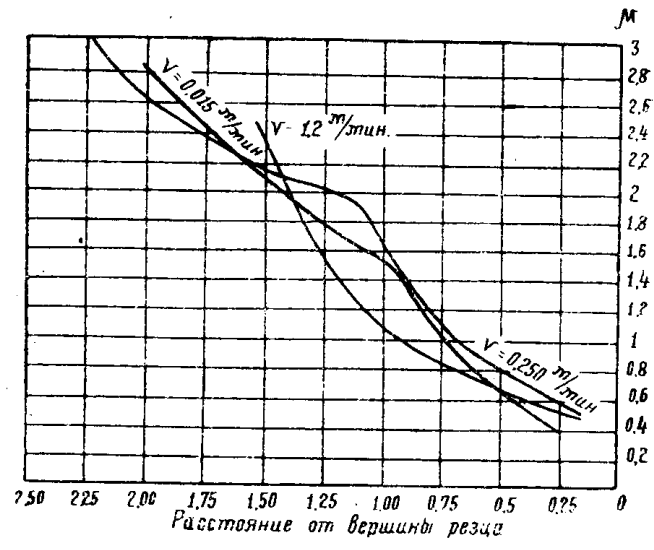
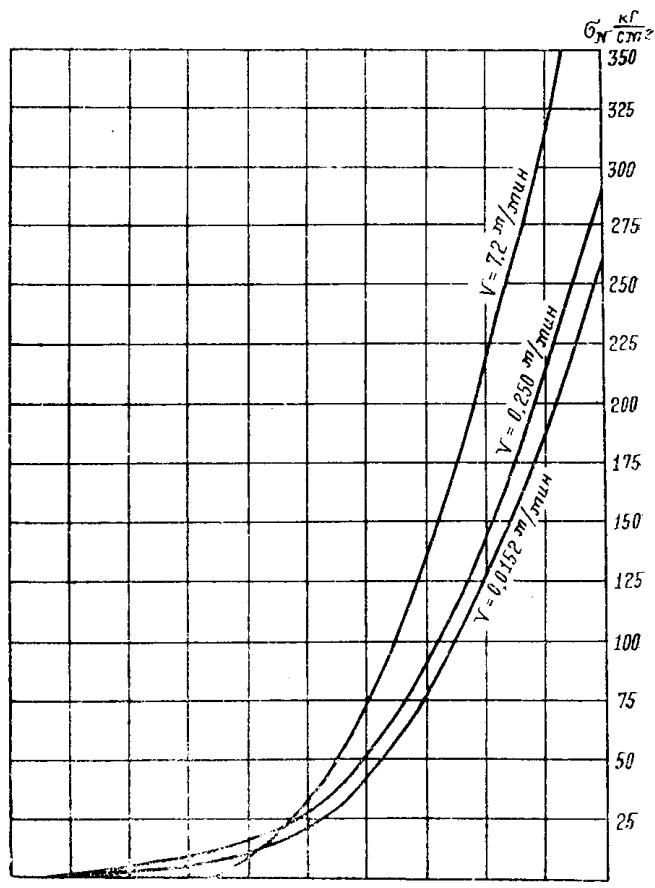
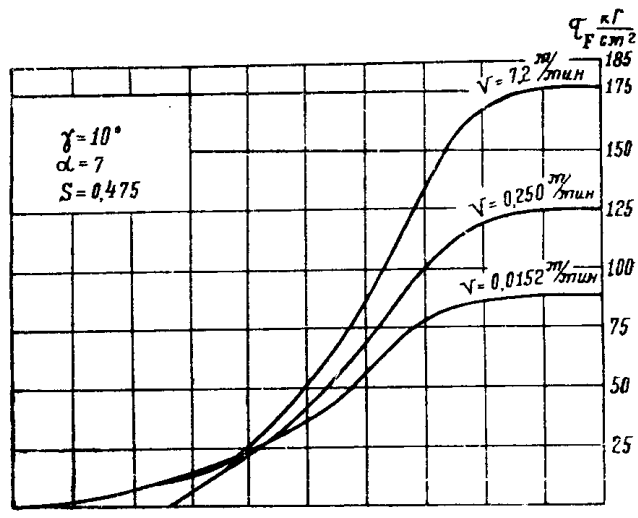


Рис. 3.



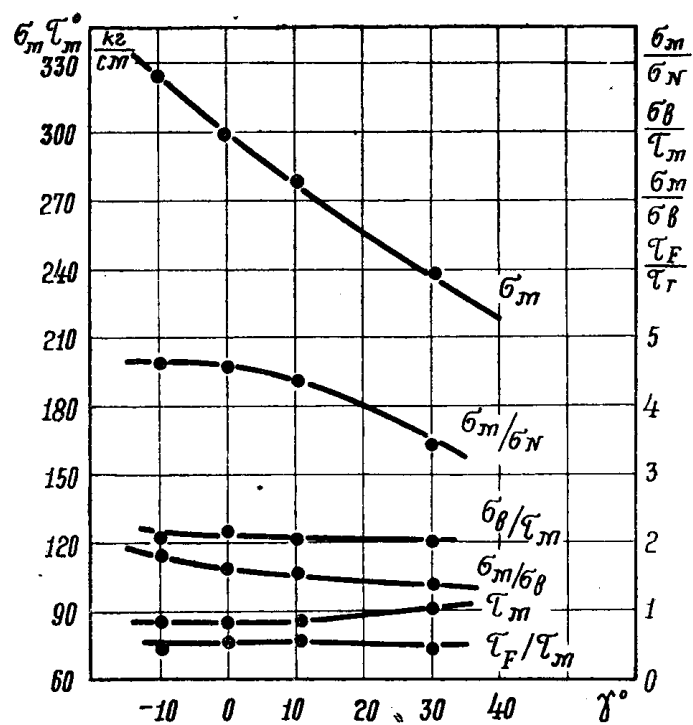


Рис. 5.

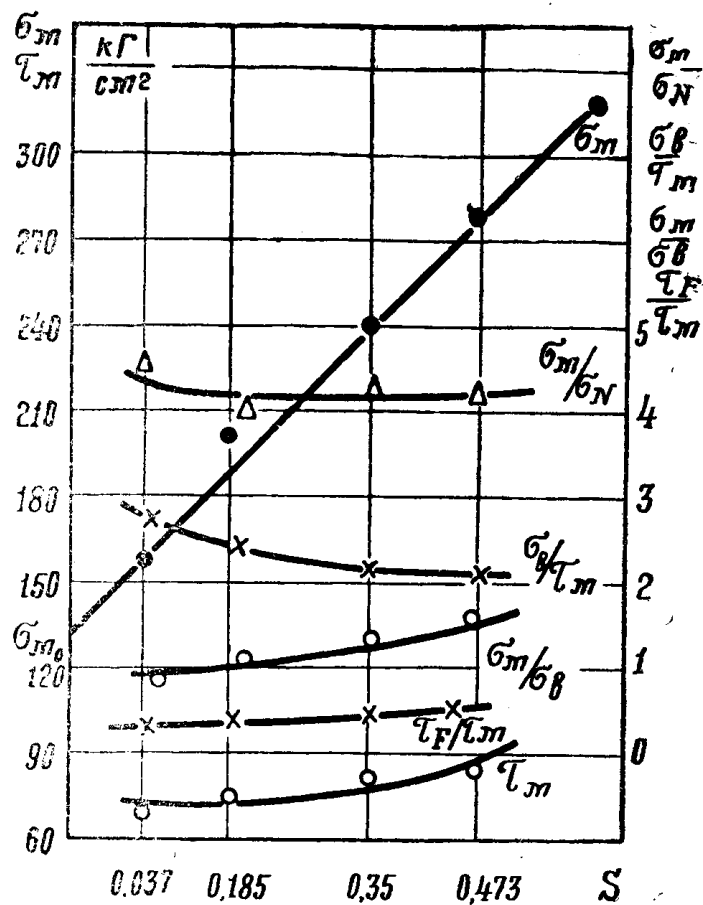


Рис. 6.

С увеличением подачи σ_m очень сильно возрастает, а τ_m увеличивается незначительно.

На графиках приводятся кривые, связывающие максимальные напряжения с механическими характеристиками обрабатываемого металла. В качестве механической характеристики взят предел прочности σ_b при растяжении свинца. Интересно отметить, что отношение $\frac{\tau_m}{\sigma_m} \cong 0,5$ остается постоянным с увеличением переднего угла и подачи, что возможно в данном случае, если $\tau_m = \tau_T$, где τ_T есть предел текучести материала, а для нормальных напряжений соотношение

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_b} = 1,5 \div 2.$$

Несколько средние величины напряжений не могут характеризовать степень нагружения режущей кромки, видно из отношения максимальных напряжений к средним; так, для нормальных напряжений это отношение $\frac{\sigma_m}{\sigma_N} \cong 4$, а для касательных $\frac{\tau_m}{\tau_F} \cong 2$.

Таким образом, максимальные напряжения достаточно точно связываются с механическими характеристиками обрабатываемого материала при постоянной температуре резания.

$$\sigma_m \cong (1,5 \div 2) \sigma_b; \quad \tau_m = 0,5 \sigma_b. \quad (1)$$

Нами были исследованы распределения напряжений на задней грани резца, для чего искусственно была создана площадка износа по задней грани. Напряженное состояние точки на площадке износа задней грани будет таким, как это показано на рис. 7, а.

Распределение напряжений здесь также неравномерное, причем эпюра распределения нормальных и касательных напряжений получилась одинаковой, а поэтому коэффициент трения в каждой точке является величиной постоянной и равной единице, т. е. в этом случае коэффициент трения подчиняется закону Аммонтона — Кулона.

Сопоставляя данные по коэффициенту трения на передней и задней гранях, следует сказать, что такое различие коэффициентов трения, очевидно, объясняется различными условиями контакта и различной схемой нагружения.

Таким образом, в процессе резания мы имеем на рабочих гранях инструмента неравномерное распределение контактных напряжений.

Распространение результатов опытов, выполненных с резцом из пластмассы и свинцом в качестве обрабатываемого материала, на обычные условия резания часто встречает возражения, из которых главные могут быть сформулированы следующим образом:

1. Свинец — материал не упрочняющийся, в то время как в обычных случаях резания мы имеем дело с упрочняющимися металлами.
2. Закономерности стружкообразования для резца из пластмассы могут существенно отличаться от таковых для металлического резца.
3. Условия резания при малых скоростях, с какими обычно проводятся поляризационно-оптические исследования, иные, нежели при обычных скоростях резания.

В связи с этим нужно заметить следующее. Отсутствие деформационного упрочнения у свинца, как известно, объясняется превалирующей ролью явлений отрыва при деформировании свинца с небольшой скоростью. При значительном увеличении скорости деформации отрыв протекать не успевает, и свинец в процессе деформирования начинает себя вести так же, как и упрочняющиеся металлы. Приме-

нительно к резанию это убедительно показано исследованиями А. М. Розенберга и А. Н. Еремина [4]. Поэтому то обстоятельство, что увеличение скорости резания не меняет принципиального характера эпюр распределения напряжений (рис. 4), мы считаем достаточным, чтобы отвести как первое, так, по существу, и последнее из отмеченных возражений.

Что касается влияния материала инструмента на процесс стружкообразования, то по этому поводу можно было сослаться на ряд работ, показывающих, что изменение материала инструмента не вно-

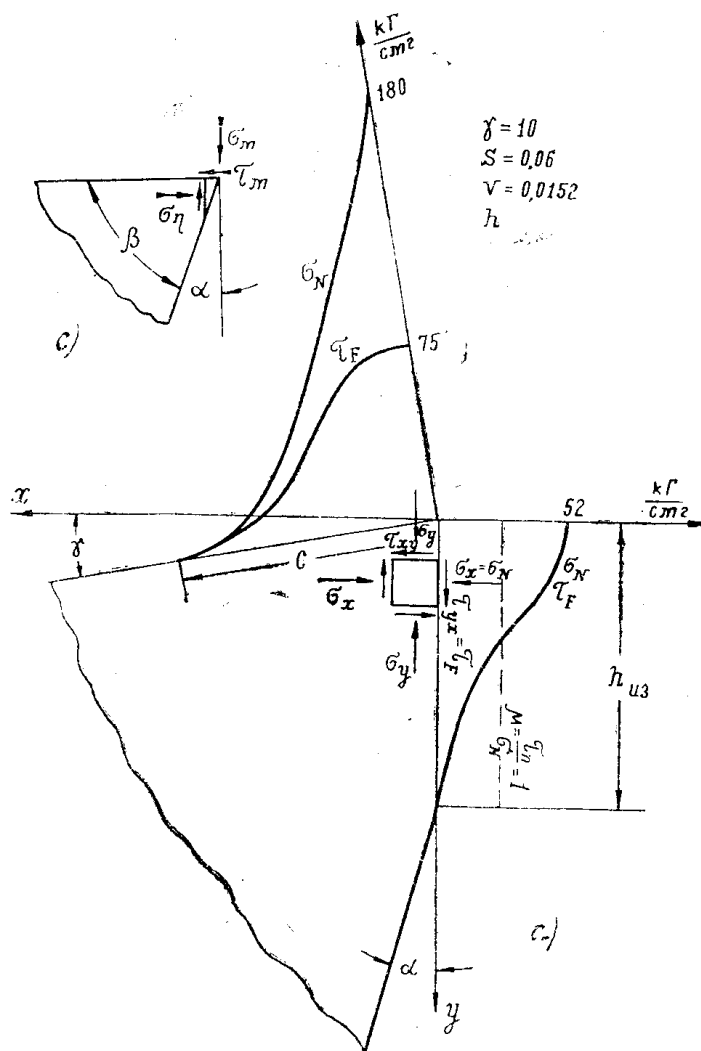


Рис. 7.

сит принципиальных изменений в процесс стружкообразования, а порой и вовсе не сказывается на параметрах этого процесса. Тем не менее для большей убедительности мы провели специальный опыт с биметаллическим резцом.

На переднюю грань пластмассового резца была наклеена тонкая стальная пластинка толщиной, равной 0,08 мм. Опыт показал, что в этом случае характер распределения напряжений не изменился, изменились силы резания в сторону увеличения, так как изменились контактные условия.

Были проведены исследования по резанию более твердых металлов кадмия, алюминия, меди резцами с наклеенными стальными пластинками, и резцами, изготовленными из оптически чувствительных

стекло. Характер кривых распределений напряжений получился аналогичным кривым при резании свинца со скоростью резания $V = 7,2 \text{ м/мин}$.

На основании обработки результатов опытов были выведены эмпирические уравнения кривых распределения контактных напряжений.

Кривые распределения напряжений выражаются экспоненциальными функциями.

Для нормальных напряжений уравнение имеет вид

$$\sigma_{N_x} = \sigma_M e^{-b_1 c_x}, \quad (2)$$

для касательных напряжений

$$\tau_{F_x} = \tau_M e^{-3\left(\frac{c_x}{c}\right)^2}, \quad (3)$$

где σ_{N_x} , τ_{F_x} — текущие напряжения,

σ_M , τ_M — максимальные напряжения на вершине,

c_x — текущая координата рассматриваемой точки контакта,

b_1 — некоторый коэффициент.

Уравнение (2) в полулогарифмических координатах представляет уравнение прямой, где тангенс угла наклона будет равен коэффициенту „ b_1 “.

Таким образом, распределение нормальных напряжений по закону треугольника будет в полулогарифмических координатах.

Формулы (2) и (3) были проверены во всех случаях и показали удовлетворительные результаты.

Интересно отметить, что уравнение (3) впервые было предложено Н. А. Резниковым в результате своих исследований и исследований М. Б. Гордона, причем эти исследования были проведены методом разрезного резца при резании меди и стали.

Как было указано выше, с точки зрения прочности режущей кромки наибольший интерес представляют максимальные напряжения на вершине резца.

В результате некоторых преобразований эти напряжения можно получить из формул (2) и (3).

$$\sigma_M = -\frac{c \cdot \sigma_N \cdot b_1}{(e^{-b_1 c} - 1)}, \quad (4)$$

$$\tau_M = \frac{\tau_F \cdot c}{\int_0^c e^{-3\left(\frac{c_x}{c}\right)^2} dc_x}, \quad (5)$$

где σ_N , τ_F — средние контактные напряжения,

c — длина контакта резца со стружкой.

Интеграл в формуле (5) берется приближенно, тогда после интегрирования получим

$$\tau_M \cong \frac{\tau_F}{0,55}. \quad (5a)$$

Иначе говоря, площадь эпюры касательных напряжений равна приблизительно площади треугольника.

Таким образом, определение напряжений действующих на вершине при разных условиях резания не представляет трудности.

Для полного определения напряженного состояния режущей кромки недостаточны напряжения σ_M и τ_M , необходимо еще знать нормальное напряжение в сечении перпендикулярном передней грани S (рис. 7).

Это напряжение можно легко определить с помощью функции напряжения Эри.

Для оценки прочности режущей кромки необходимо привлечь то или иное условие прочности. По нашему мнению, таким подходящим условием для хрупких материалов является обобщенная теория Мора, несомненно, при этом необходимо знать механические характеристики материала режущей части резца.

Здесь мы не останавливаемся на этих вопросах, так как они являются предметом самостоятельного исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Зорев. О взаимозависимости процессов в зоне стружкообразования и в зоне контакта передней поверхности инструмента. Вестник машиностроения, № 12, 1963.
 2. М. Б. Гордон. Распределение сил трения на передней грани резца в зоне контакта со стружкой. Вестник машиностроения, № 5, 1953.
 3. М. И. Клушин. Резание металлов, Машгиз, 1958.
 4. А. М. Розенберг, А. Н. Еремин. Элементы теории резания металлов. Машгиз, 1956.
 5. Резание металлов и инструмент. Под редакцией проф. докт. А. М. Розенберга. Машгиз, 1964.
 6. А. Уорсинг, Д. Геффнер. Методы обработки экспериментальных данных. Москва, 1953.
-