

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ЛАТУНИ

Ю. А. РОЗЕНБЕРГ, В. И. КАРНОВ

Представлена проф. докт. А. Н. Еремичевым

Одной из наиболее важных проблем теории резания металлов, на которой базируется решение других задач, является изучение зависимости величины сил резания от различных условий, т. е. динамика процесса резания. Большинство работ, выполненных как в нашей стране, так и за рубежом, посвящено процессу резания пластичных металлов, хотя обработке резанием подвергается и большая группа малопластичных (хрупких) металлов. Особое место в этой группе занимает малопластичная латунь ЛС-59-1, изучение процесса резания которой позволяет раскрыть ряд закономерностей, трудно уловимых при резании такого сложного металла, как сталь. Имеется сравнительно мало исследований по динамике процесса резания вообще, а латуни ЛС-59-1 в особенности. Различные авторы [1, 2] при резании латуни изучали один какой-либо частный вопрос в общем сложном комплексе вопросов динамики резания, а следовательно, они не объясняют всех явлений, возникающих при резании такого своеобразного металла, как латунь ЛС-59-1.

В лаборатории резания металлов Томского политехнического института было проведено исследование процесса резания латуни, охватывающее широкий круг вопросов: динамику процесса резания, износ режущего инструмента, процесс стружкообразования, распределение деформаций и напряжений в зоне резания, шероховатость обработанной поверхности и т. д. В данной статье рассматриваются основные закономерности влияния различных факторов на силы резания.

Для предварительно сжатых образцов, имеющих различную степень деформации, были определены твердость и эффективное осевое напряжение. Динамические опыты при резании латуни проводились на токарных станках 163, 1К62 и 1Д63А, силы резания измерялись на трех различных динамометрах: гидравлическом и двух электрических — с индуктивными и проволочными датчиками. Хотя все три динамометра имеют различную конструкцию и различную жесткость, силы, замеренные при одинаковых режимах резания на этих трех динамометрах, по своему значению совпадают вполне удовлетворительно (разница не превышает 5%).

Резание латуни производилось резцами с механическим креплением пластин твердого сплава марки ВК-8, имеющих различные передние углы γ (-2° , -13° , 16° , 30°). Для измерения в процессе резания

угла сдвига β_1 использован прибор — „оптический угломер-индикатор“, сконструированный и изготовленный проф. А. Н. Ереминым. Измерение величины износа режущего инструмента по задней грани, а также ширины контакта стружки с передней гранью режущего инструмента производилось переносным микроскопом Бринеля с 10-кратным увеличением. Значения сил в процессе резания рассчитывались по показаниям микроамперметров или по записям на ленту шлейфового осциллографа или на бумагу самопишущего устройства гидравлического динамометра.

Применяемые режимы резания:

скорость резания $V = 5-522$ м/мин,
подача $S = 0,1-0,61$ мм/об,
глубина резания $t = 1-5$ мм.

Одной из интересных особенностей латуни ЛС-59-1 является то, что при ее резании на режущем инструменте отсутствует нарост, который не образуется ни при каких диапазонах скоростей резания.

В результате проведенных опытов было установлено, что силы резания не зависят от скорости резания. Это постоянство сил при измерении их на трех динамометрах и при изменении скорости резания более чем в сто раз наблюдалось при резании латуни инструментами с четырьмя различными передними углами. Значения главной составляющей силы резания в зависимости от скорости и подачи для одного из передних углов $\gamma = 13^\circ$ приведены на рис. 1.

Независимость значения сил от скорости резания объясняется, по-видимому, отсутствием нароста в процессе резания латуни. Как

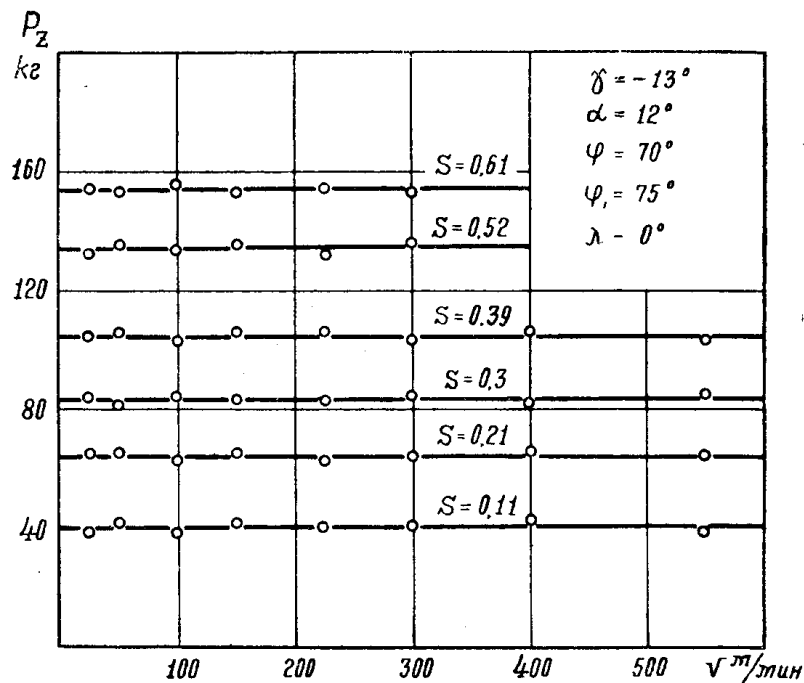


Рис. 1.

известно, только наличие застойной зоны объясняет существование зависимости сил от скорости резания по типичной кривой, имеющей максимум и минимум. А так как нарост при резании латуни отсутствует на всех диапазонах скоростей, то это обстоятельство и приводит к независимости сил от скорости резания.

Проведенные опыты по выяснению влияния глубины на силы резания показали линейную зависимость, что видно из графиков на

рис. 2. В процессе резания кроме сил, действующих на переднюю грань режущего инструмента, возникают еще и силы на задней грани, которые в наших опытах определялись по методике, разработанной А. М. Розенбергом [3]. Так как при резании латуни силы резания не зависят от скорости, то при одинаковых скоростях (то же, что при одинаковых температурах) силы на передней грани инструмента должны быть прямо пропорциональны толщине среза. Общие силы, замеченные в опытах динамометром и являющиеся суммой сил, действующих на передней и задней гранях резца на графике подача—сила ($s-P$), изображаются прямыми линиями, не проходящими через начало

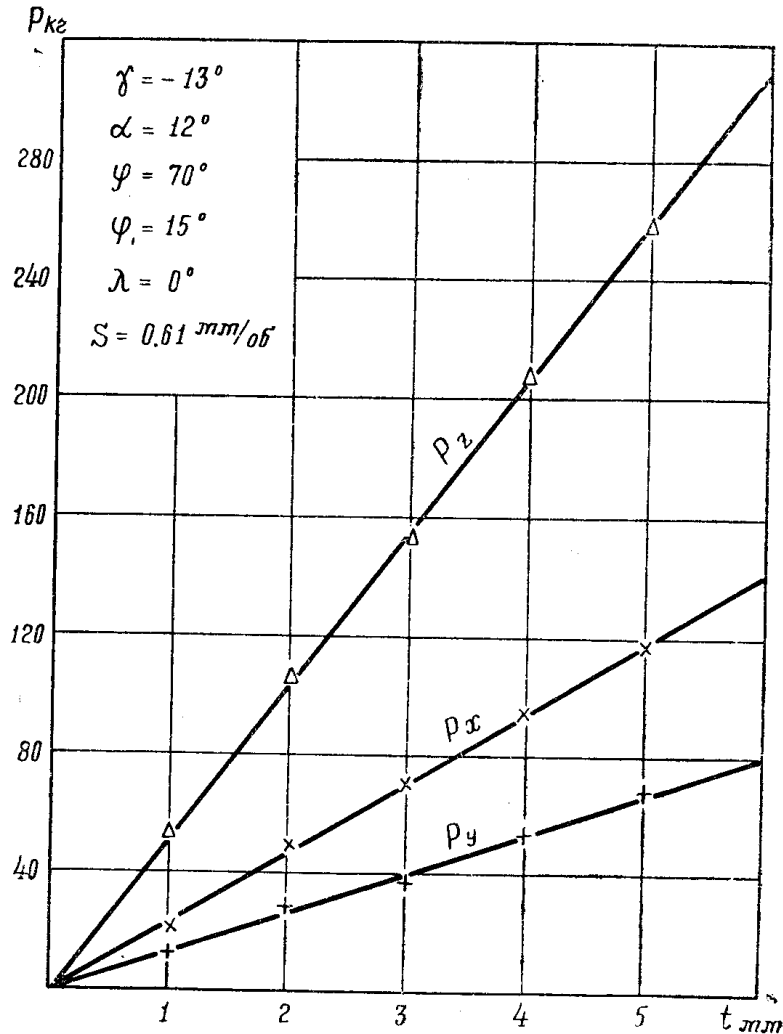


Рис. 2.

координат. На рис. 3 и 4 силы P_z и R_{xy} для различных передних углов выразились прямыми линиями, отсекающими на оси ординат отрезки определенной длины.

Если бы силы на задней грани отсутствовали, то прямые сил должны были бы пройти через начало координат. Поэтому отрезки на оси ординат являются силами на задней грани. Анализ приведенных графиков показывает, что силы на задней грани не зависят от переднего угла инструмента, толщины среза, а также от сил на передней грани. Хотя эти силы для острого резца невелики, их нужно обязательно учитывать при расчете коэффициента трения на передней грани, который получается независимым от толщины среза. Если же

силы на задней грани не исключать из показаний динамометра, то коэффициент трения на передней грани резца уменьшается с увеличением толщины среза, что противоречит элементарным представлениям о механике процесса резания.

Имея экспериментальные данные по силам резания и замеренный в процессе проведения опытов угол сдвига β_1 , можно рассчитать угол наклона равнодействующей ω , угол трения γ , коэффициент трения μ ,

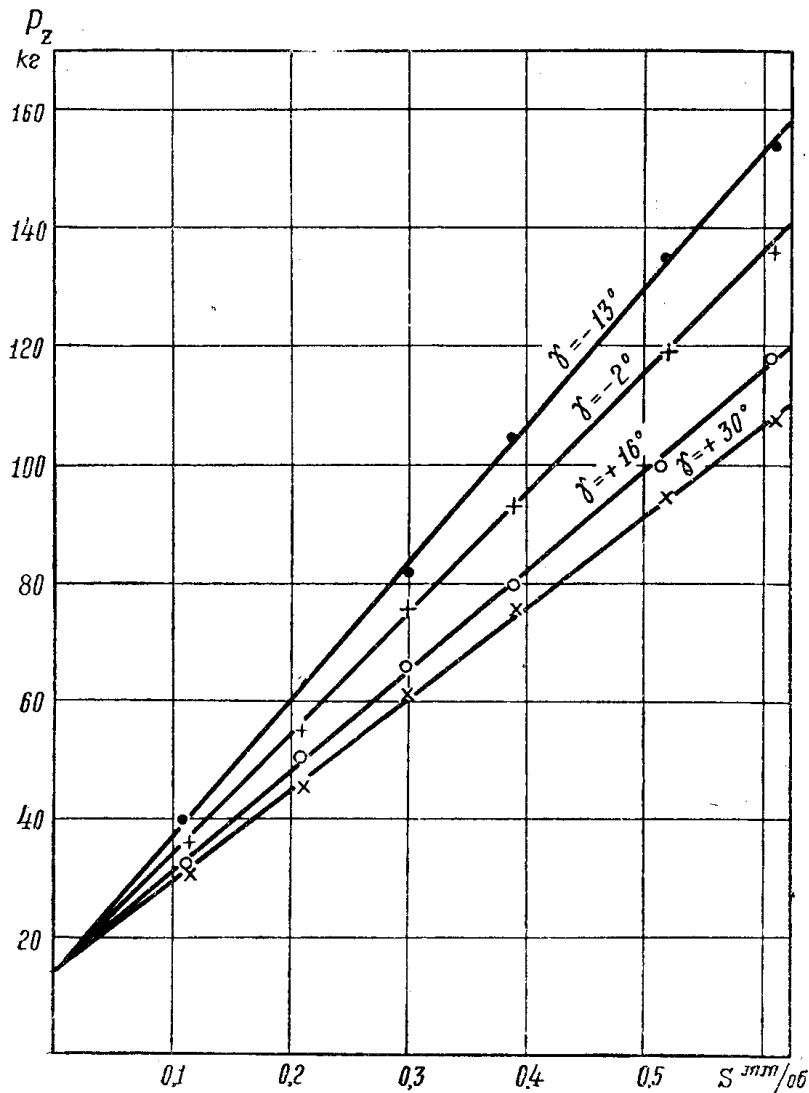


Рис. 3.

касательное напряжение в зоне сдвига τ_p по формулам, приводимым А. М. Розенбергом [3].

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{P_z - F_1}{R_{xy} - N_1}, \quad \eta = \omega + \gamma, \quad \mu = \operatorname{tg} \eta = \operatorname{tg} (\omega + \gamma),$$

$$\tau_p = \frac{P_z - F_1}{s \cdot t} \cdot \frac{\sin \beta_1 \cdot \cos (\omega + \beta_1)}{\cos \omega},$$

где P_z — главная составляющая силы резания,
 R_{xy} — равнодействующая сил P_x и P_y ,
 $F_1 = 14 \text{ кг}$ — сила трения на задней грани,

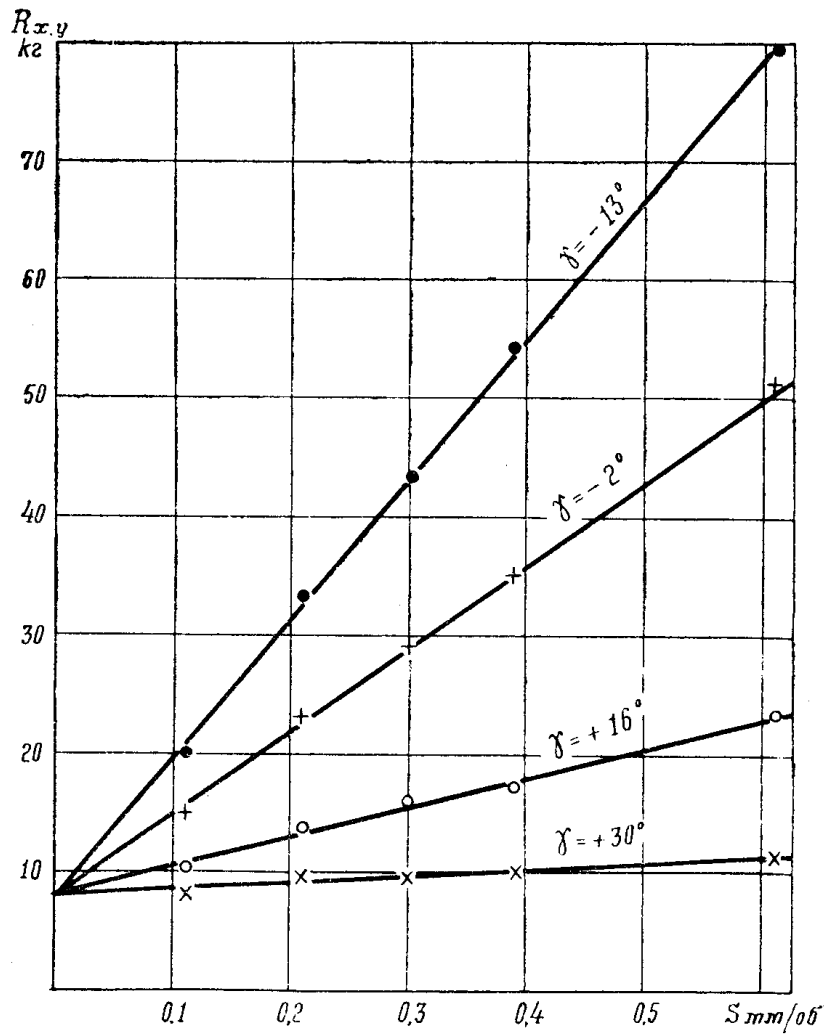


Рис. 4.

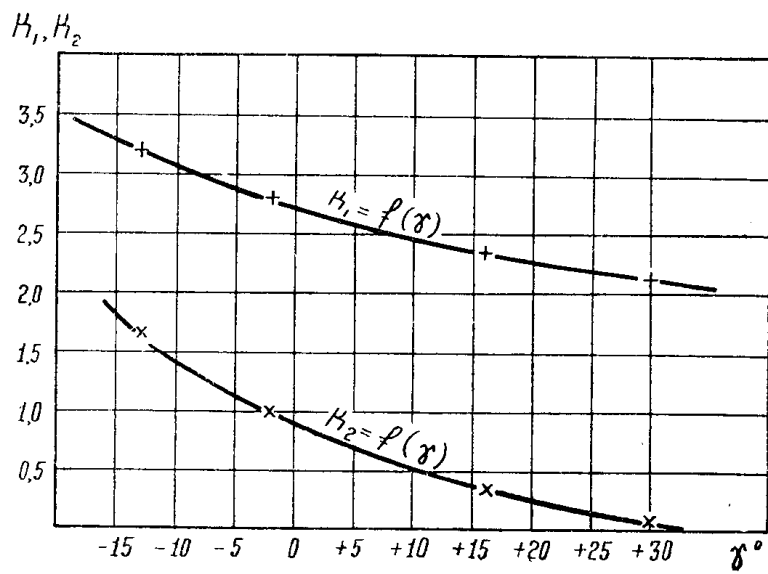


Рис. 5.

$N_1 = 18$ кг — нормальная сила на задней грани,
 s — подача,
 t — глубина резания.

Расчитанные по указанным формулам величины сведены в табл. 1, из которой видно, что касательное напряжение в плоскости сдвига не зависит от переднего угла инструмента, размеров срезаемого слоя, скорости резания и равно в среднем 24 кг/мм².

Таблица 1

γ°	β°	ω°	γ_1°	ρ	$\tau_p \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$
-13	32	27	14	0,25	23,6
-2	36	19	17	0,31	24,0
16	41	8	24	0,44	24,3
30	43	2	32	0,62	24,6

Условие постоянства максимального касательного напряжения позволяет привести формулы для расчета сил резания острым инструментом.

$$P_z = k_1 \cdot \tau_p \cdot s \cdot t + c_1 \frac{t}{\sin \varphi}, \text{ кг}, \quad R_{xy} = k_2 \cdot \tau_p \cdot s \cdot t + c_2 \frac{t}{\sin \varphi} \text{ кг},$$

где $\tau_p = 24$ кг/мм²,
 $c_1 = 4,4$,
 $c_2 = 2,5$;

коэффициенты k_1 и k_2 определяются в зависимости от переднего угла инструмента из графиков на рис. 5.

Такой вид структурных формул физически обоснован, так как первый их член представляет часть силы, приложенной на передней грани инструмента, а второй член — часть силы, приложенной на задней грани. В это второе слагаемое не входит подача, так как силы на задней грани не зависят от толщины среза.

Для выяснения влияния степени износа твердосплавного инструмента на силы резания были проведены специальные опыты. Еще при проведении динамических опытов было замечено, что при резании латуни на всех скоростях лунка износа на передней грани не образуется, износ по передней грани настолько незначителен, что его влиянием на силы резания можно пренебречь. В основном износ протекает по задней грани в виде фаски, которая приводит к значительному возрастанию силы упруго-пластического контакта между фаской износа и поверхностью резания. На пластинках твердого сплава ВК-8 был получен износ по задней грани с различными размерами ширины фаски износа, а именно: $h = 0,2; 0,5; 0,8; 1,0$ мм.

На рис. 6 приведены графики зависимости всех трех составляющих P_z, P_x, P_y от степени износа инструмента для $\gamma = -13^\circ$ и $s = 0,11$ мм/об. Из графиков видно значительное возрастание сил с увеличением износа задней поверхности. Особенно сильно с увеличением фаски износа увеличиваются горизонтальные составляющие силы P_x и P_y . Наблюдаемое приращение сил резания, которое в опытах фиксируется по показаниям динамометра, должно быть отнесено за счет увеличения силы, действующей на задней грани. Именно поэтому при износе инструмента составляющие P_x и P_y возрастают значительно больше, чем P_z , так как в составляющих P_x и P_y большая доля сил на задней грани, чем в составляющей P_z . По этим же причинам при

резании с малыми подачами силы с износом растут относительно больше, чем при резании с большими подачами.

В большинстве случаев при резании латуни получается элементная стружка трапецеидальной или треугольной формы. При образовании элемента стружки происходит его пластическая деформация, охватывающая определенный объем, который расположен как за поверхностью конечного сдвига, так и ниже линии среза. Пластические деформации в элементе не приводят к его разрушению, это целое твердое тело, позволяющее производить измерение его твердости. Твердость стружек, полученных во всех опытах, одинакова и равна

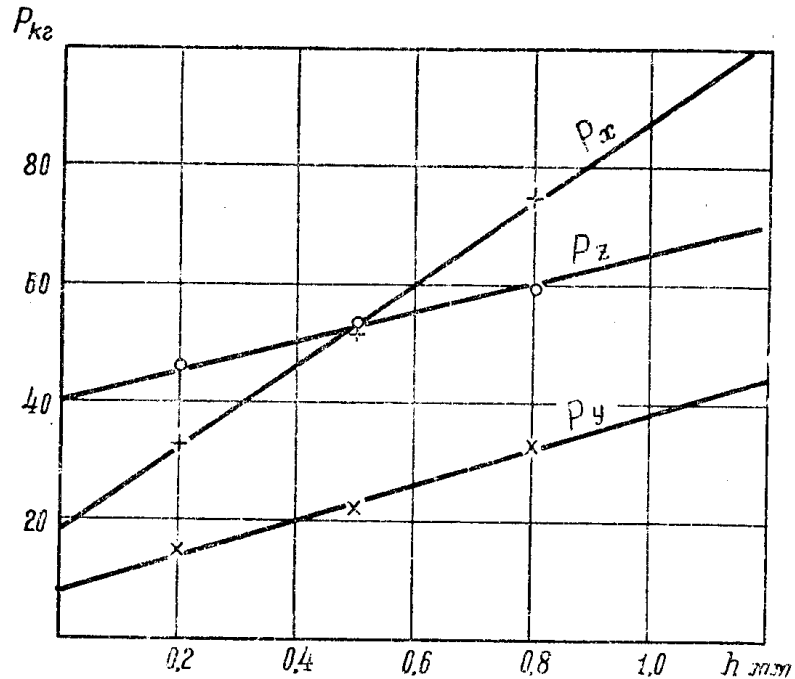


Рис. 6.

твердости образца, находящегося под предельным напряжением при сжатии, т. е. в момент его разрушения.

При увеличении переднего угла и скорости резания, а также при уменьшении толщины среза скалывание элементов становится неполным, соседние элементы остаются связанными друг с другом и образуют более или менее прочную ленту. Однако в получающейся ленте металла отдельные элементы очень резко обозначены, и вся стружка получает вид как бы изогнутой пилы. И только при толщине менее 0,1 мм и при переднем угле более 30° стружка сходит в виде сплошной ленты, в которой отдельные элементы невозможно отличить, следы элементов остаются в виде легких штрихов на наружной поверхности стружки. Особенностью процесса резания латуни является невозможность характеризовать степень ее пластической деформации усадкой. Полученная при резании латуни „сливная стружка“ легко разламывается на отдельные элементы, так что усадка в этом случае есть лишь косвенное выражение степени ее деформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Исаев. Процесс образования поверхностного слоя при обработке металлов резанием. Машгиз, 1950.
2. А. В. Руднев, А. П. Добычина. Точение цветных сплавов и стекло-текстолита алмазными резцами. Станки и инструмент, № 10, 1961.
3. А. М. Розенберг, А. Н. Еремин. Элементы теории процесса резания металлов. Машгиз, 1956.