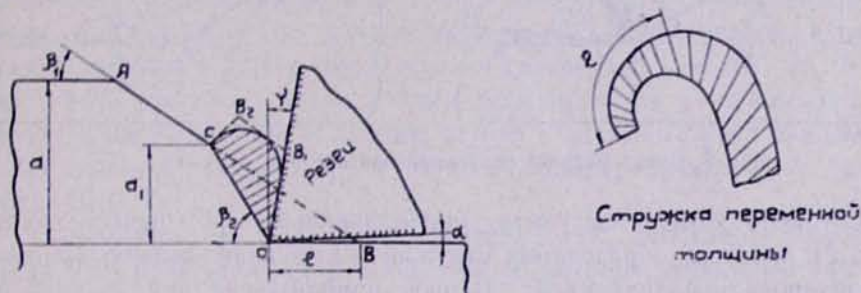


МЕХАНИКА ОБРАЗОВАНИЯ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ СТРУЖКИ ПРИ СТРОГАНИИ

Наблюдение за процессом строгания показывает, что сечение стружки на длине $l=8-10$ мм получается значительно меньше, чем ее продолжение. Это явление предлагается объяснить как с точки зрения физики процесса резания, так и устойчивостью процесса строгания, связанной с системой СПИД. Исследование данного вопроса можно разбить на две части:

- а) определение длины начальной части стружки,
- б) определение причины изменения сечения стружки.

При определении длины начальной части стружки предполагается, что движущийся резец со скоростью V ударяет обрабатываемый материал и уже в первый момент удара в месте соприкосновения возникают упругие деформации, которые при переходе предела текучести материала



Фиг. 1. Схема резания по Филду и Мэрченту.

создают условия для протекания процесса пластической деформации. Предполагается также, что в первоначальный момент образования стружки неравномерно скалывается объем металла, переходящего в стружку. Для объяснения этих предположений рассматривается схема резания по Филду и Мэрченту [1].

Согласно этой схеме (фиг. 1), процесс резания рассматривается в двух стадиях.

В первой стадии резания резец не доходит до полного значения глубины резания, а толщина a_1 соответствует мгновенному значению этой глубины. Во второй стадии глубина резания постоянна и равна t . Это значит, что резец доходит до полного значения глубины резания и толщина стружки получает свое действительное значение. Толщина в

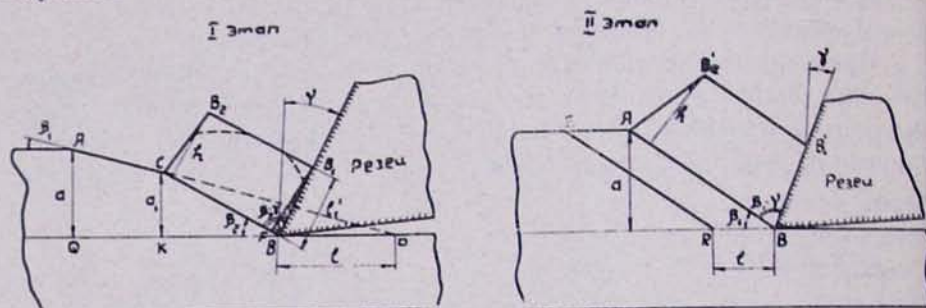
двух стадиях определяется, исходя из углов скалывания β_2 и β_1 . В первой стадии сдвиг элементов стружки рассматривается вдоль плоскости, наклоненной к вектору скорости резания под углом $\beta_2 > \beta_1$.

Предполагаем, что после внедрения резца на некоторую глубину плоскость сдвига развивается по ACO , составляя некоторый угол β_2 по отношению к линии среза. Применяя принцип минимума энергии, Филд и Мэрчент предлагают определять β_2 по следующему выражению:

$$\beta_2 = \frac{C - \rho + \gamma + \beta_1}{2}, \quad \operatorname{tg} \beta_1 = \frac{\cos \gamma}{\xi - \sin \gamma}, \quad (1)$$

где C — механическая постоянная Мэрчента, ρ — угол трения, γ — передний угол резца, β_1 — угол скалывания второй стадии процесса резания, ξ — коэф. усадки стружки.

Для определения длины начальной части стружки рассчитываются значения β_2 , β_1 по уравнению (1) и принимается постулат Филда и Мэрчента.



Фиг. 2. Схема расчета начальной части длины стружки.

Согласно этому постулату криволинейный горб первой стадии (фиг. 2) процесса образования стружки скалывания можно заменить идеализированной трапецией. Первое приближение для данного постулата имеет вид

$$BB_1 + B_1B_2 = CB. \quad (2)$$

Целью дальнейших исследований является создание связи между параметром l'_1 с мгновенной толщиной $a_1[l'_1 = f(a_1)]$. Как указывается в работе [1], такое приближение не повлияет на справедливость постулата и принятый несколькими исследователями простой закон, сформулированный в [2], дает удовлетворительные результаты. Для определения связи между l'_1 и a_1 необходимо определить площадь идеализированной трапеции BCB_2B_1 , обозначая при этом $BB_1 = l'_1$ и $CK = a_1$. Согласно этому получается, что $B_1B_2 = CB - l'_1$. Из треугольника BCK имеем, что

$$CB = \frac{a_1}{\sin \beta_2},$$

Следовательно,

$$B_1B_2 = \frac{a_1}{\sin \beta_2} - l'_1. \quad (3)$$

Площадь трапеции BCB_1B_2 будет равна

$$S_1 = \left(\frac{CB + B_1B_2}{2} \right) h. \quad (4)$$

Подставив значения CB , B_1B_2 в уравнение (4), получим

$$S_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{a_1}{\sin \beta_2} + \frac{a_1}{\sin \beta_2} - l'_1 \right) h$$

или

$$S_1 = h \left(\frac{a_1}{\sin \beta_2} - \frac{l'_1}{2} \right). \quad (5)$$

Значение h определяется из треугольника BB_1F

$$h = l'_1 \cos(\beta_2 - \gamma). \quad (6)$$

Площадь трапеции будет

$$S_1 = \left(\frac{a_1}{\sin \beta_2} - \frac{l'_1}{2} \right) l'_1 \cos(\beta_2 - \gamma). \quad (7)$$

Трапеция BCB_1B_2 является результатом образования мгновенной толщины a_1 и угла скалывания первой стадии β_2 . Сторона данной трапеции $B_1B = l'_1$ является длиной начальной части стружки в первой стадии, которая в конце второй стадии становится уже $BB'_1 = l_1$. В данной задаче интересен конец стадии резания, когда a_1 принимает свое окончательное значение a . В этом случае мгновенный угол скалывания β_2 уменьшается до угла β_1 и площадь BCB_2B_1 превращается в площадь $ABB'_1B'_2$.

Обращаясь снова к фиг. 1, отметим, что при таком положении линия BCA превращается в линию AB , по которой начинается скалывание элементов стружки при резании данного материала. Следовательно, новая площадь (фиг. 2) $BAB'_2B'_1 = S_2$ будет

$$S_2 = \lim_{\substack{\beta_2 \rightarrow \beta_1, \\ a_1 \rightarrow a, \\ l'_1 \rightarrow l_1}} S = \left(\frac{a}{\sin \beta_1} - \frac{l_1}{2} \right) l_1 \cos(\beta_1 - \gamma). \quad (8)$$

Отметим, что ту же самую площадь имеет и недеформированная стружка $EABR$. Если считать, что рассматриваемая нами задача является задачей о плоской деформации, то можно написать, что площадь $BAB'_2B'_1 =$ площади $EABR$ или

$$la = \left(\frac{a}{\sin \beta_1} - \frac{l_1}{2} \right) l_1 \cos(\beta_1 - \gamma), \quad (9)$$

отсюда

$$\frac{l}{l_1} = \frac{\left(\frac{a}{\sin \beta_1} - \frac{l_1}{2}\right) \cos(\beta_1 - \gamma)}{a} \quad (10)$$

Разделив l и l_1 на время образования стружки скалывания τ , получим

$$\frac{\frac{l}{\tau}}{\frac{l_1}{\tau}} = \frac{\left(\frac{a}{\sin \beta_1} - \frac{l_1}{2}\right) \cos(\beta_1 - \gamma)}{a} \quad (11)$$

или

$$\frac{V_{\text{рез}}}{V_{\text{ср}}} = \frac{\left(\frac{a}{\sin \beta_1} - \frac{l_1}{2}\right) \cos(\beta_1 - \gamma)}{a}$$

Введем следующие обозначения: $\frac{V_{\text{рез}}}{V_{\text{ср}}} = \frac{1}{m}$; $\Theta = \beta_1 - \gamma$
и в результате получим

$$l_1 = 2a \left(\frac{1}{\sin \beta_1} - \frac{1}{m \cos \Theta} \right) \quad (12)$$

Ввиду малого значения отношения $\frac{1}{m \cos \Theta}$, можно им пренебречь, и в конечном итоге получается

$$l_1 = \frac{2a}{\sin \beta_1} \quad (13)$$

Предполагаем, что ударная нагрузка в первый момент играет большую роль при образовании мгновенной толщины или тонкой части стружки. Таким образом, для полного отражения начального удара на обрабатываемый материал вводим в формулу безразмерный коэф. γ_0 , характеризующий удар при строгании

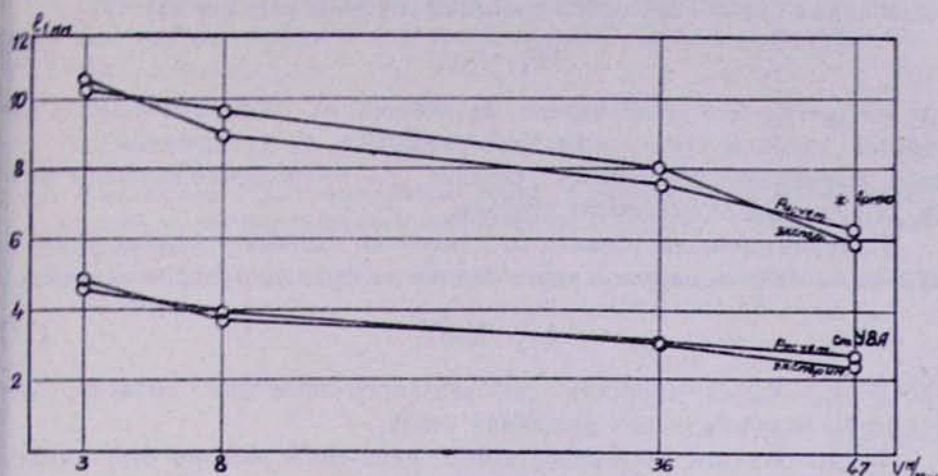
$$l_1 = \gamma_0 \frac{2a}{\sin \beta_1} \quad (14)$$

Окончательная формула для сталей при $\gamma_0 = 1,5$ будет:

$$l_1 = \frac{3a}{\sin \beta_1} \quad (15)$$

Длину начальной тонкой части стружки определили также экспериментальным путем. Опыты проводили на материалах стали У8А и железа Армко, при изменении скорости резания от 3–36 м/мин. Результаты исследований приведены на графике, фиг. 3.

График показывает, что с увеличением скорости резания уменьшается длина l_1 . Это объясняется увеличением β_1 и, следовательно,



Фиг. 3. Влияние скорости резания на начальную часть длины стружки (экспериментальные и расчетные данные).

уменьшением длины поверхности AB . Известно, что с уменьшением поверхности AB уменьшается цикл образования стружки скалывания и тем самым начальная часть стружки получается меньше. Анализ графика показывает (фиг. 3) также, что чем тверже материал, тем больше угол β_1 и тем меньше l_1 .

Во второй части наших исследований определялись причины уменьшения сечения среза по устойчивости системы СПИД.

Исследованиями установлено, что при меньших и средних значениях скорости резания, при обработке постоянно новой поверхности (или в момент соударения резца с обрабатываемым материалом) возникают автоколебания системы, которые приводят к перемещению основных узлов станка, а именно к перемещению резца, вследствие чего уменьшается глубина резания. Перемещение узлов продолжается до тех пор пока не начнется вторая стадия резания, что означает начало затухающего процесса автоколебания. Чем короче время затухания, тем больше угол β_1 или меньше длина начальной части стружки. Следовательно, при большой скорости и твердости материала автоколебания затухают быстрее. Такой подход к решению вопроса достаточно облегчает определение длины начальной тонкой части стружки, ввиду того, что рассматриваются только колебания, близкие к пределу устойчивости, то есть ко второй стадии резания.

Практический интерес представляет рассмотрение устойчивости при малой скорости, что позволяет упростить теоретический анализ критериев устойчивости путем линеаризации движения системы. При колебаниях изменяется глубина резания t , а следовательно, и значение силы резания P . Обозначим приращение силы резания при изменении глубины резания через ΔP_1 . В дальнейшем рассматриваем приращение силы резания ΔP_1 как линейную функцию глубины резания, что при

колебаниях около некоторого значения глубины резания дает [2]

$$\Delta P_1 = K_p u, \quad (16)$$

где $u = y_0 - y_1$, K_p — коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала, ширины среза, геометрии резца и т. д., y_0 — приращение детали, нормальное к плоскости резания, y_1 — приращение вершины резца, нормальное к плоскости резания.

Приращение силы резания от изменения скорости резания обозначим через ΔP_2 и выразим через линейную функцию скорости резания

$$\Delta P_2 = K_v \dot{Z}, \quad (17)$$

где $\dot{Z} = \dot{Z}_2 - \dot{Z}_0$, $\dot{Z}_2$ — скорость колебательного движения ползуна, $\dot{Z}_0$ — скорость колебательного движения стола.

Таким образом, суммарное приращение силы резания будет иметь следующий вид:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2, \quad \Delta P = K_p(y_0 - y_1) + K_v(\dot{Z}_2 - \dot{Z}_0). \quad (18)$$

Следовательно, сила резания в любой момент может рассматриваться как разность двух сил

$$P = P_{cp} - \Delta P. \quad (19)$$

Выражение (19) показывает, что при автоколебаниях, ввиду одновременного перемещения хобота и стола станка, уменьшается сечение среза, а это в свою очередь приводит к уменьшению силы резания. Исследование на материалах сталь У8А и железо Армко при строгании со скоростью $V = 8$ м/мин показывает, что сила резания в начальной части осциллограммы на некоторую длину имеет переменное значение, а потом стабилизируется. Это подтверждает вышесказанное. В свою очередь, меньшее сечение стружки приводит к уменьшению силы резания до тех пор, пока не затухает автоколебательный процесс. Осциллограмма также показывает, что процесс автоколебания не продолжительный и после его затухания силы резания стабилизируются и, следовательно, стружка получает свое нормальное сечение.

Таким образом, установлено.

1. Длина l_1 зависит от свойства обрабатываемого материала, которое в основном отражается на значениях β_1 . Чем тверже материал, тем больше β_1 и меньше l_1 .

2. Длина l_1 зависит от скорости резания, а последняя отражается на коэффициенте η_0 и на значениях угла сдвига β_1 .

3. В момент удара резца с обрабатываемым материалом возникают автоколебания, которые уменьшают ширину стружки и, следовательно, сечение среза.

4. Процесс автоколебания не продолжителен и затухает в начале второй стадии резания.

5. Чем больше скорость резания и тверже обрабатываемый материал, тем быстрее затухает автоколебательный процесс и меньше длина тонкого сечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лак В. К., Брюер Р. С. Энергетический подход к механике образования стружки скалывания. «Конструирование и технология машиностроения США», т. 86, серия В, № 2, 1964.
2. Селюков Ю. З. Анализ виброустойчивости поперечно-строгального станка. ИВУЗ, № 12, 1959.