

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ КРИТЕРИЯ ЗАТУПЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА

Г. Л. КУФАРЕВ, В. И. ЛИВШИЦ

(Представлена научным семинаром кафедр станков и резания металлов
и технологии машиностроения)

Вопрос о критерии затупления инструмента является, пожалуй, самым актуальным для производства и вместе с тем наименее разработанным в исследованиях по обрабатываемости. Нет полного единства взглядов даже по вопросу о том, что считать критерием затупления инструмента и существует ли общий для всех случаев обработки критерий затупления. Большинство из приводимых в литературе критериев затупления носит субъективный характер. Способы расчета критерия затупления инструмента в литературе отсутствуют.

Довольно широко распространена методика выбора критерия затупления ($h_{\text{опт}}$) на основе анализа кривой суммарной стойкости инструмента. За оптимальный принимается износ, соответствующий максимуму кривой. К сожалению, данная методика неприменима во многих случаях ввиду того, что, как показывают эксперименты, максимум кривой $kT=f(h_{\text{зг}})$ появляется лишь тогда, когда на кривой износа инструмента имеется второй перегиб — переход к участку катастрофического износа. Если второй перегиб отсутствует, то кривая $kT=f(h_{\text{зг}})$ монотонно возрастает. А в большинстве случаев обработки труднообрабатываемых материалов кривые износа инструмента не имеют второго перегиба. Возрастание суммарной стойкости при увеличении износа в случае именно такой кривой износа отмечают Н. Н. Зорев [1] и С. С. Рудник [2]. В подобных случаях экономически выгоден возможно больший критерий затупления (Бревер и Руеда [3]).

Естественно, что в таких случаях при назначении критерия затупления на первый план выступают технологические требования — выполнение заданных размеров и чистоты поверхности детали. При обработке высокомарганцевых сталей чистота поверхности деталей остается высокой и при значительных износах инструмента. Изменение размеров детали по мере износа инструмента относительно невелико и позволяет выдержать допуски на получистовую обработку также при значительных износах резца. Таким образом, технологические требования выполняются в течение длительного времени при значительном износе инструмента и не выступают поэтому в качестве лимитирующих.

Лимитирующим признаком при обработке высокомарганцевых сталей являлась потеря резцом способности врезаться под стружку за 1 оборот шпинделя или за 1 двойной ход ползуна. Такое явление наблю-

далось при точении при попытке врезаться изношенным резцом в сильно наклепанную поверхность резания стали Г13Л. При строгании подобные случаи выхода резца из-под стружки на поверхность резания предыдущего хода происходили в конце подавляющего большинства экспериментов и были приняты в качестве устойчивого критерия затупления инструмента. Кроме того, иногда потеря резцом способности врезаться под стружку наблюдалась и в середине эксперимента.

Совершенно очевидно, что степень износа инструмента, при которой теряется способность к врезанию под стружку, в конечном счете определяется жесткостью системы СПИД, ибо само явление потери способности к врезанию под стружку есть не что иное, как отжатие, то есть упругая деформация одного или нескольких элементов системы СПИД под действием сил на передней и задней гранях инструмента. Поэтому возникает возможность расчета критерия затупления как такого износа, при котором нарастающее отжатие системы СПИД делает невозможным процесс врезания резца под стружку.

Рассмотрим процесс строгания резцом с углами $\gamma=0^\circ$, $\varphi=90^\circ$. Нас интересует отжатие y в направлении подачи.

$$y = C P_x = \frac{1}{j} P_x, \quad (1)$$

где j — жесткость системы СПИД, C — коэффициент пропорциональности. Из теории резания известно, что для резца с углом $\varphi=90^\circ$

$$P_x = N_1 + F \cdot \cos \gamma - N \cdot \sin \gamma, \quad (2)$$

где N_1 — нормальная сила, действующая на задней грани инструмента; N — нормальная сила, действующая на передней грани инструмента; F — касательная сила, действующая на передней грани инструмента.

С целью упрощения рассматриваемого расчета полагаем, что нормальная сила на передней грани N пропорциональна толщине среза S :

$$N = C_2 S,$$

а коэффициент трения — величина постоянная.

$$\mu = \frac{F}{N} = \text{const.}$$

Отсюда

$$\begin{aligned} F &= \mu N = \mu C_2 S = C_1 S, \\ y &= C(N_1 + C_1 S \cdot \cos \gamma - C_2 S \cdot \sin \gamma). \end{aligned}$$

Для $\gamma=0$ $y = C(N_1 + C_1 S).$ (3)

В дальнейшем анализируем случай износа инструмента только по задней грани. Такой вид износа часто встречается при строгании высокомарганцевых сталей. Отжатие y по мере роста износа по задней грани возрастает в результате возрастания силы N_1 . Толщина среза, или действительный съем S , уменьшается по мере роста износа, и, наконец, резец теряет способность к снятию стружки ($S=0$). Момент времени, соответствующий этому, следует принять за критический, а износ инструмента — за критерий затупления. По А. М. Даниеляну [4], износ по задней грани может быть выражен зависимостью

$$\delta = p t^q, \quad (4)$$

где δ — износ в мм, t — время в минутах, p и q — постоянные. Таким образом, задача сводится к отысканию критического момента времени,

который может быть найден следующим путем: отыскивается уравнение, связывающее действительный съем S и время работы t ; затем это уравнение решается относительно t для случая $S=0$.

Связь между S и t может быть получена из формулы (3)

$$S = \frac{y - CN_1}{CC_1} \quad (5)$$

В полученном выражении $y=f_1(t)$ и $N_1=f_2(t)$.

Основываясь на данных Н. Н. Зорева [5], можно принять

$$N_1 = N_1^0 + k\delta, \quad (6)$$

где N_1^0 — нормальная сила на задней грани на остром резце;
 δ — износ по задней грани.

С учетом (4)

$$N_1 = N_1^0 + kpt^a. \quad (7)$$

Таким образом, для решения задачи осталось найти связь между y и t .

Выражение для величины отжатия в зависимости от времени можно установить на основе следующих рассуждений. Действительный съем S на каждом двойном ходе ползуна равен поданному под инструмент металлу минус отжатие на данном двойном ходе y_n . Поданный под инструмент металл — это подача стола за один двойной ход S_0 плюс отжатие на предыдущем двойном ходе y_{n-1} . В период работы, когда действительный съем равен подаче, разность между отжатиями на данном (y_n) и предыдущем двойных ходах (y_{n-1}) равна нулю, иными словами, на каждом двойном ходе инструмент получает постоянное отжатие y_k . Если же износ растет, то возрастает и отжатие, причем так, что разность $y_n - y_{n-1}$ растет и стремится к S_0 . Отсюда следует, что действительный съем уменьшается. Табл. 1 построена на основе вышеприведенных рассуждений. Выражения для отжатия на каждом двойном ходе получены на основе формулы (3).

Таблица 1

Нарастающее отжатие	Уменьшающийся съем
$y_1 = C\{N_1 + C_1(S_0 + y_k - y_k)\}$	$S_1 = S_0 + y_k - y_k$
$y_2 = C\{N_1 + C_1(S_0 + y_1 - y_2)\}$	$S_2 = S_0 + y_1 - y_2$
$y_3 = C\{N_1 + C_1(S_0 + y_2 - y_3)\}$	$S_3 = S_0 + y_2 - y_3$
$y_n = C\{N_1 + C_1(S_0 + y_{n-1} - y_n)\}$	$S_n = S_0 + y_{n-1} - y_n$

Рассмотрим выражения для y_n .

$$y_n = CN_1 + CC_1S_0 + CC_1y_{n-1} - CC_1y_n,$$

$$y_n - y_{n-1} = \frac{1}{C_1} N_1 + S_0 - \frac{1}{CC_1} y_n.$$

Обозначим

$$\frac{1}{C_1} = a; \quad \frac{1}{CC_1} = b.$$

Тогда

$$y_n - y_{n-1} = aN_1 + S_0 - by_n.$$

Переходя от дискретного процесса к непрерывному и учитывая, что ранее интервал времени был принят за единицу, имеем право, на основании данных работ [6], написать дифференциальное уравнение

$$\frac{dy}{dt} = S_0 + aN_1 - by,$$

$$\frac{dy}{dt} = S_0 + aN_1^0 + akpt^q - by, \quad (8)$$

$$y' + by = S_0 + aN_1^0 + akpt^q. \quad (9)$$

Полученное уравнение является неоднородным линейным дифференциальным уравнением. Решение его позволяет получить связь между отжатием y и временем t в следующем виде:

$$y = \frac{S_0}{b} + \frac{a}{b} N_1^0 + akpe^{-bt} \int_0^t t^q e^{bt} dt. \quad (10)$$

Интеграл в выражении (10) может быть найден (в случае $q < 1$) методами приближенного интегрирования, например, вычислением конечной суммы по формуле Симпсона. Подставив выражения (7) и (10) в (5) и решая последнее для случая $S=0$, получаем величину критического момента времени, зная которую, определяем критический износ (критерий затупления) по формуле

$$\delta = pt^q.$$

Таким образом, показана возможность расчета критерия затупления инструмента, исходя из явления потери способности инструмента врезаться под стружку. Следует отметить, что рассмотренная выше схема процесса предполагает, что уменьшение съема происходит лишь за счет увеличения разности между предыдущим и последующим отжати-ями, а не за счет разрушения самого режущего лезвия. Иными словами, предполагается, что происходит по мере износа процесс «самозатачивания», то есть сохранения режущей способности кромки инструмента, или радиуса ее скругления, на некотором постоянном уровне. Такое предположение обоснованно, ибо в литературе имеются подтверждающие его экспериментальные данные.

Рассмотренная схема расчета критерия затупления ни в коей мере не претендует на исчерпывающее описание столь сложного явления, как критический износ инструмента. В частности, в ней не нашло отражение такое важное обстоятельство, как различие критического износа для разных скоростей резания, неоднократно отмеченное в экспериментах. По-видимому, для расчета изменения критерия затупления инструмента на различных режимах резания можно избрать тот же путь, что и в приведенной выше схеме расчета, с добавлением аналитического выражения условий врезания инструмента под стружку и изменения этих условий со скоростью резания.

Подобный способ расчета применим для твердосплавного инструмента. Для быстрорежущего инструмента и инструмента из литых композиций типа «Tantung» критическим условием будет являться температура резания, возникающая при врезании под стружку изношенного инструмента.

Таким образом, предложенная схема расчета критерия затупления инструмента способна охватить весь круг явлений, наблюдавшихся при износе различных инструментальных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Зорев. «Станки и инструмент», № 8, 1949.
 2. С. С. Рудник. Производственные критерии затупления инструментов. Сб. «Проблемы резания металлов», материалы конференции, ч. 1, М., 1963.
 3. K. Brewer, R. Rueda. „Werkstattstechnik“, 54, № 6, 257—263, 1964.
 4. А. М. Даниелян. Теплота и износ инструментов в процессе резания металлов. М., Машгиз, 1954.
 5. Н. Н. Зорев. Вопросы механики процесса резания металлов, М., Машгиз, 1956.
 6. Г. Б. Лурье. «Вестник машиностроения», № 5, 1954.
-