

МАШИНОСТРОЕНИЕ

М. В. КАСЬЯН, М. М. СИМОНЯН

ОЦЕНКА ХРУПКОЙ ПРОЧНОСТИ  
 ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА  
 В УСЛОВИЯХ ПРЕРЫВИСТОГО РЕЗАНИЯ

В производственных условиях число отказов, вызванных хрупкой прочностью инструмента, при прерывистом резании преобладает над отказами при обычном резании, имеющем непрерывный характер. Вместе с тем необходимо отметить большое число вариантов обработки, которые совершаются прерывистым резанием (горцевое фрезерование, шлифование, зубошлифование и зубодолбление и др.), и разрушение может быть результатом однократного нагружения при превышении действующей нагрузки над прочностью отдельных зон инструмента, когда напряжения растяжения, обусловленные охлаждением при холостом ходе, сочетаются с напряжениями от прогиба корпуса инструмента или пластины. Свое воздействие оказывает также превышение нормальной скорости резания при начальном контакте вследствие ударных явлений [1]. Такое сочетание напряжений требует производить расчеты на прочность режущей кромки при динамических нагрузках.

В связи с этим представляет интерес определение максимальных напряжений, возникающих в контактной зоне и за пределами этой зоны, учитывая, что инструмент является составным телом при разнице модулях упругости пластины и корпуса, а пластинку из твердого сплава можно рассматривать как пластинку на упругом основании с заделанным концом. Зону стружкообразования, переходящую в стружку с упрочнением, можно рассматривать как одну опору, а ее продолжение, контактирующую с передней поверхностью пластины и оказывающую давление на нее как полубесконечную упругую полосу, опирающуюся на упругое основание [2].

Предположим, что прямоугольная пластина или балка закреплена своей длиной на сплошном упругом основании, которое при изгибе пластины будет оказывать на нее давление посредством непрерывно распределенных реактивных сил, величины которых в каждом сечении стружки будут пропорциональны прогибу пластины. Эти силы, действующие на единицу длины, обозначим через  $k_y$ , где  $y$  — прогиб, а  $k$  — коэффициент упругости основания и представляет реактивную силу на

единицу длины пластины при прогибе, равном единице. Предположение, что реактивные силы упругого основания пропорциональны прогибам, освобождает от дополнительных трудностей и для решения подобных задач является вполне достаточным [3].

При изучении упругой линии пластины воспользуемся дифференциальным уравнением балки (пластины):

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -M \frac{1}{EI}, \quad (1)$$

Дважды дифференцируя (1), получим общий вид дифференциального уравнения для пластины на упругом основании:

$$EI \frac{d^4y}{dx^4} = q = -ky, \quad (2)$$

общий интеграл которого представляется в виде:

$$y = e^{-\beta x} (A \cos \beta x + B \sin \beta x) + e^{-\beta x} (C \cos \beta x + D \sin \beta x), \quad (3)$$

где  $\beta = \sqrt{\frac{k}{4EI}}$ ;  $E$  — модуль упругости;  $I$  — момент инерции пластины;  $A, B, C, D$  — произвольные постоянные. Подставляя крайние значения  $A, B, C, D$  в (3) и дважды дифференцируя для упругой кривой и изгибающего момента, получим:

$$y = \frac{D}{8\beta^2 EI} \cdot e^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x); \quad (4)$$

$$M = -EI \frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{P}{4\beta} e^{-\beta x} (\sin \beta x - \cos \beta x). \quad (5)$$

Теперь рассмотрим случай, когда пластина по опорной поверхности плотно закреплена на упругом основании и частично на длине  $l$ , нагружена по какому-то закону. При этом принимаем, что длина нагруженного участка весьма мала (как при резании). Пусть  $a$  и  $b$  будут расстояния рассматриваемой точки от концов нагруженного участка. В этом случае прогиб данной точки от распределенной нагрузки определяется из выражения:

$$y = \frac{q}{2k} (2 - e^{-\beta a} \cdot \cos \beta l - e^{-\beta b} \cdot \cos \beta a). \quad (6)$$

Беря рассматриваемую точку по середине ( $\beta a = \beta b = \frac{\beta l}{2}$ ), получим:

$$y = \frac{q}{k} \left( 1 - e^{-\frac{\beta l}{2}} \cdot \cos \frac{\beta l}{2} \right). \quad (7)$$

Имея закон распределения контактных давлений по передней поверхности инструмента, вышесказанным методом можем найти величину

ны прогибов и изгибающих напряжений в любой точке. Максимальные прогиб и изгибающий момент в контактной зоне определяются по (6), (7).

Максимальные напряжения изгиба пластины в контактной зоне будут [3]:

$$\sigma_{\max} = \frac{qL}{W^2} \sqrt{\frac{4EI}{k}} \quad (8)$$

где  $W$  — момент сопротивления сечения пластины (в контактной зоне). Выражение (8) через коэффициент  $k$  отражает влияние модулей упругости и моментов инерции элементов рабочей части реза.

Действующие усилия и напряжения, возникающие в инструменте при динамическом приложении сил, могут быть определены умножены соответствующих сил и напряжений при статическом приложении нагрузки на коэффициент динамичности  $k_d$ . По данным [4, 5], при сравнительно больших значениях параметров режимного поля:  $k_d = 1,1 - 1,9$ .

Для оценки хрупкой прочности режущей части твердосплавного режущего инструмента необходимо иметь следующие величины:

$k$  — коэффициент усадки стружки;  $l_k$  — длина контакта стружки с твердой поверхностью инструмента;  $\omega$  — угол действия, т. е. угол между векторами силы стружкообразования и скорости резания;  $\theta$  — угол сдвига;  $\tau_y$  — касательное напряжение на плоскости сдвига;  $\sigma_n$  — максимальное нормальное напряжение, действующее на кромку реза;  $\sigma_c$  — среднее нормальное контактное напряжение, действующее на переднюю поверхность.

Коэффициент усадки стружки определяется экспериментально, при постоянной геометрии инструмента ( $\gamma = 12^\circ$ ,  $\alpha = 6^\circ$ ,  $\varphi = 60^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ,  $\varphi_b = 20^\circ$ ), а остальные величины — аналитическим путем [6, 7].

В табл. 1 приведены данные для вычисления  $\sigma_m$  и  $\sigma_c$ , а в табл. 2 — значения  $\sigma_{\text{кн}}$  и  $\sigma_{\text{изг}}$ , определяемые в середине контакта по методу Тимошенко. При этом коэффициент упругости основания определялся как

$$k = \frac{P}{\delta}$$

где  $P$ ,  $\delta$  — нагрузка, приложенная на вершину реза и упругое перемещение его вершины;  $l$  — вылет реза.

В нашем случае:

$$k = \frac{1000}{4,63 \cdot 10^{-2} \cdot 50} = 430 \text{ кг/мм}^2$$

Из табл. 2 следует, что нормальные напряжения, возникающие от изгиба твердосплавной пластины в момент первоначального контакта инструмента с заготовкой, не превышают предела прочности инструментального материала на растяжение. В данном случае для стали

40X:  $\frac{\sigma_{\text{н.д.}}}{[\sigma_{\text{н.д.}}]} = 0,6$ . Вероятность крупного разрушения в контакте не от местных сколов увеличивается с течением времени, когда максимальные напряжения изгиба режущего клина суммируются с нормальными напряжениями, обусловленные охлаждением при холостом пробеге.

Таблица 1

Расчетные элементы	Обрабатываемый материал			Скорость резания $V$ , м/мин
	сталь 40X	сталь 45	ж. Армо	
$a$ , мм	0,433	—	—	—
$b$ , мм	1,7	—	—	—
$\sigma_{\text{нр}}$ , кг/мм <sup>2</sup>	79,80	61	30	—
$k_{\Gamma}$	2,25	2,58	7,25	24
	2,11	2,35	6,52	48
$J_k$ , мм	1,47	1,87	3,42	24
	1,37	1,68	3,2	48
$\omega$	24°24'	27°36'	38°09'	24
	22°44'	25°24'	37°10'	48
$\theta$	25°36'	22°21'	7°51'	24
	27°16'	24°36'	8°50'	48
$\tau_{\text{у}}$ , кг/мм <sup>2</sup>	73,41	54,29	38,94	—
$\sigma_{\text{н}}$ , кг/мм <sup>2</sup>	157,81	116,74	83,63	—
$\sigma_{\text{с}}$ , кг/мм <sup>2</sup>	57,4	42,5	30,4	—

Таблица 2

Расчетные элементы	Обрабатываемый материал		
	Сталь 40X	Сталь 45	ж. Армо
$[\sigma_{\text{н}}]$ , кг/мм <sup>2</sup>	74	—	—
$[\sigma_{\text{ндр.}}]$ , кг/мм <sup>2</sup>	120	—	—
$E_{\text{гндр.10}}$ , кг/мм <sup>2</sup>	$4,2 \cdot 10^4$	—	—
$k$ , дин	1,75	1,8	1,65
$k$ , кг/мм <sup>2</sup>	$4,3 \cdot 10^2$	—	—
$\beta$ , мм <sup>-1</sup>	$9 \cdot 10^{-2}$	$8,4 \cdot 10^{-2}$	$7,3 \cdot 10^{-2}$
$\sigma_{\text{ндр.}}$ , кг/мм <sup>2</sup>	25,30	20,5	14,5
$\sigma_{\text{ндр. д.}}$ , кг/мм <sup>2</sup>	41,27	36,9	23,92

Нами для прерывистой обработки металлов резанием, в частности при строгании, выведена математическая модель силы в зависимости от режимов резания в момент первоначального контакта с заготовкой.

Этой зависимости вытекает, что наибольшее влияние на силу резания в переходном периоде оказывает скорость резания, что и учитывается при расчете прочности реза в контактной зоне.

Для расчета главных напряжений в опасных точках за пределами контакта на передней поверхности предлагается использовать формулу [6]

$$\sigma_{1,2} = \frac{2P}{bk_0c} \left[ \frac{\sin \frac{\beta}{2} \cdot \sin \left[ \nu_0 - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta - \sin \beta} - \frac{\cos \frac{\beta}{2} \cdot \cos \left[ \nu_0 - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta + \sin \beta} \right] \quad (9)$$

Все параметры, кроме геометрических, определяющие величину наибольших напряжений, в основном, зависят от суммарной силы резания  $P$ . Следовательно, при прерывистом резании расчет хрупкой прочности реза по предельным толщинам среза можно привести к расчету прочности реза по допускаемым и критическим скоростям резания, с учетом коэффициента динамичности, или при данной скорости резания — к определению допускаемых толщин среза.

### Выводы

1. С помощью выражений (8), (9) можно рассчитать максимальные напряжения в режущей части реза, как в пределах контакта, так и в законтактной зоне, с учетом динамичности нагружения.

2. Расчеты напряжений в контактной зоне показали, что напряжения в зоне исследуемых скоростей (до 48 м/мин) не превосходят предела прочности твердого сплава. Следовательно, разрушение пластины происходит, в основном, за пределами контактной зоны.

Харьковский филиал  
ВНИИ им. К. Маркса

Поступило 11.XII.1979

У. А. ЧАУШАУ, И. В. ИИГОУАУ

ԸՆԴՀԱՆ ԿՏՐՄԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ԿԱՐԹԻ ՀԱՄԱԶՈՒՎԱԾՔԻՑ  
ԿՈՐԾԻՔԻ ՓԵՐՈՒՆ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ԳԵՍՀԱՏՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հաստատված է, որ ընդհանուր կարման ժամանակ կտրիչը նախապատրաստվածքի մեջ ներխուժելու պահին դռնվում է դինամիկ բեռնվածության ազդեցության տակ, որը բացասաբար է անդրադառնում կարծր համաձուլվածքի կտրիչի տրոսթյան վրա: Կատարված են կտրիչի ամրության հաշվարկները կոնստիտուցիոն գոտում և գոտուց դուրս, դինամիկության պորժակցի հաշվառումով: Հաշվարկները ժամանակ կտրիչը դիտարկվել է որպես առածղական հիմքի վրա հեռան:

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Подурнев В. Н.* Резание труднообрабатываемых материалов. М., «Высшая школа», 1974.
2. Под ред. проф. А. М. Розенберга. Резание металлов и инструмент. М., «Машиностроение», 1964.
3. *Тимошенко С. П., Мещеряев Д. Я.* Прикладная теория упругости. Л., Гостехиздат, 1930.
4. *Касьян А. В., Григорян М. Х., Симонян М. М.* О некоторых силовых явлениях при прерывистом резании «БОМА». Сб. «Оптимальные режимы резания», вып. 2, 1979, Ереван. Изд. АН АрмССР.
5. *Касьян А. В., Григорян М. Х., Симонян М. М.* Об импульсном характере прерывистого резания. «Промышленность Армении», 1978, № 12.
6. *Бегамели А. И.* Прочность и надежность режущего инструмента. Тбилиси, «Сабур Сакартвелო», 1973.
7. *Зорев Н. И.* Расчет проекции силы резания. М., Машиноз, 1958.