

Ю. Г. КАРАПЕТЯН

ОСОБЕННОСТИ НЕСИММЕТРИЧНОГО ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

При несимметричном торцевом фрезеровании, вследствие переменных условий входа (врезания), выхода и процесса резания, циклически изменяются термомеханические нагрузки и контактные явления на рабочих поверхностях режущего инструмента. Эти изменения особенно сильно выражаются при фрезеровании труднообрабатываемых материалов, в частности, жаропрочных, нержавеющей сталей и титановых сплавов, обладающих высокими прочностными и низкими теплофизическими характеристиками.

В связи с этим исследование закономерностей изменения физических параметров прерывистого процесса резания при фрезеровании труднообрабатываемых материалов, с целью повышения стойкости инструмента за счет снижения его напряженного состояния, представляет определенный интерес.

Для экспериментального изучения поставленного вопроса были выбраны материалы, резко отличающиеся физико-механическими свойствами. К ним относятся титановый сплав ВТ14, нержавеющая сталь IX18Н9Т и сталь 45. В качестве режущего инструмента была выбрана торцевая однозубая фреза диаметром $D = 110$ мм, оснащенная твердосплавными пластинками ВК8 для сплава ВТ14 и стали IX18Н9Т и Т5К10 для стали 45. Заготовки, шириной $t = 60$ мм, в состоянии поставки обрабатывались на вертикально-фрезерном станке без охлаждения. Геометрия режущей части инструмента: $\gamma = 5^\circ$, $\lambda = 5^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$. Параметры режимного поля ($v = 80$ м/мин, $s_z = 0,106$ мм/зуб, $B = 2$ мм) в течение всего эксперимента оставались постоянными.

На рис 1 представлена схема несимметричного торцевого фрезерования. Как следует из рис. 1, условия входа (врезания) и выхода зависят от толщины среза ($a_{вх}$, $a_{вых}$), которые определяются по формуле:

$$a_{вх} = s_z \sin \psi_1 \cdot \sin \varphi, \quad a_{вых} = s_z \sin \psi_2 \cdot \sin \varphi.$$

Угол выхода ψ_2 определяется из зависимости:

$$\cos \psi_1 = \frac{B + K - R}{R} = \frac{2(B + K)}{D} - 1.$$

Угол выхода ψ_2 определяется через угол ψ_1 :

$$\psi_2 = 180^\circ - \psi_3,$$

причем угол ψ_3 , согласно рис 1, определяется из зависимости

$$\cos \psi_3 = \frac{R-K}{R} = 1 - \frac{2K}{D},$$

где K характеризует (рис. 1) расположение фрезы относительно заготовки. Одновременно K является расстоянием от зуба до боковой поверхности заготовки со стороны выхода, который измеряется в осевой плоскости фрезы перпендикулярно направлению подачи. В общем случае K может изменяться от нуля до $(D-t)$. В данной работе величина K варьировалась в пределах от 5 до 45 мм.

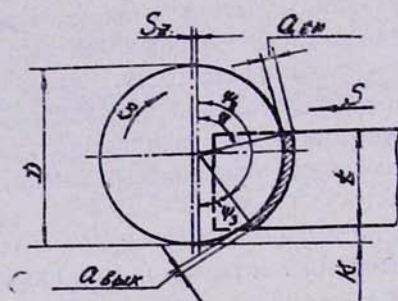


Рис. 1. Схема установки фрезы относительно заготовки.

На рис 2 показана зависимость стойкости инструмента от расположения заготовки относительно фрезы. При этом за критерий заступления инструмента принят износ по задней грани $h = 0,5$ мм. Как видно из приведенных графиков (рис. 2), с увеличением K стойкость инструмента монотонно снижается с различной интенсивностью. В частности, эти изменения наиболее сильно проявляются при фрезеровании сплава ВТ14 и стали IX18H9T. Наблюдения, проведенные во время экспериментов, показывают, что при $K=5$ мм (преобладает схема попутного фрезерования), хотя врезание происходит при наличии механического удара, тем не менее процесс резания протекает более стабильно, без заметной вибрации. Вследствие большой склонности сплава ВТ14 и стали IX18H9T к адгезионному схватыванию стружка приваривается к передней поверхности инструмента и при повторном врезании отрывается, не вызывая серьезных повреждений контактной площадки инструмента. По-видимому, это объясняется низкой прочностью «мостиков» схватывания. Износ по задней поверхности протекает равномерно, без выкрашивания. Превалирующим в этом случае является адгезионный износ, в частности при фрезеровании сплава ВТ14 и стали IX18H9T.

С увеличением K природа и интенсивность износа изменяются. Так, при $K=45$ мм (преобладает схема встречного фрезерования) процесс

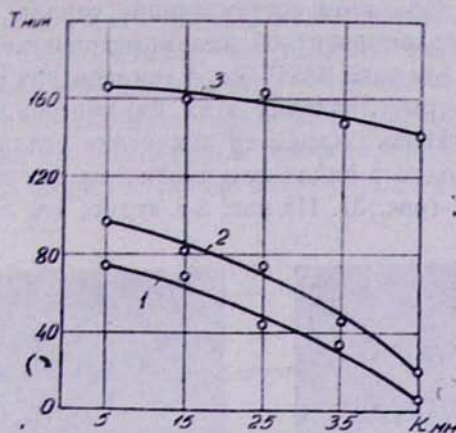


Рис. 2. Зависимость стойкости от установки фрезы относительно заготовки 1—ВТ14, 2—IX18Н9Т, 3—ст45.

($v=80$ м/мин, $s_z=0,106$ мм/зуб., $B=2$ мм)

врезания, а затем и процесс стружкообразования происходит в трудных условиях, вследствие чего сильно упрочняется поверхность резания, возрастает ее упругое последствие, повышается интенсивность вибрации и неравномерности обработки. Эти явления наиболее ярко проявляются при резании сплава ВТ14, отличающегося низким модулем упругости ($E=11250$ кгс/мм²) и сдвига ($G=3900$ кгс/мм²), высокой твердостью и прочностью.

Аналогичная картина наблюдается и у стали IX18Н9Т, имеющей высокую пластичность и повышенную склонность к упрочнению. Наряду с этим, выход инструмента из металла происходит резко. Стружка приваривается к инструменту с такой силой, что при повторном врезании ее отрыв вызывает отслаивание твердого сплава по передней поверхности инструмента. Этот факт свидетельствует о высокой прочности адгезионных связей.

Наблюдения за развитием износа по задней поверхности показывают, что и здесь решающим являются прогрессирующие адгезионные явления, приводящие к интенсивному микро- и макровыкрашиванию режущей кромки инструмента. Вместе с тем на выходе образуется толстый и прочный заусениц, способствующий интенсификации износа.

По данным [2], интенсивность и характер адгезионного взаимодействия (схватывания) в контакте между двумя металлическими телами, в том числе и между инструментом и стружкой, определяется величиной и характером воздействия тепловых и динамических нагрузок. Следовательно, с целью выяснения физической сущности износа при несимметричном торцевом фрезеровании, с точки зрения оценки влияния показателей термомеханических нагрузок на режущую часть инструмента, проводилась вторая серия экспериментов.

Для полноценности опытов усилия и температура резания изуча-

лись одновременно. При этом составляющие усилия резания измерялись с помощью трехкомпонентной динамометрической головки, тензометрического усилителя типа 8АНЧ-7м, а температура резания—методом естественной термопары. Значения этих параметров фиксировались на осциллографе типа Н105. Характер изменения усилия резания и температуры за время одного цикла при различных значениях K показаны на осциллограммах (рис. 3). Из рис. 3 а видно, что когда преобладает

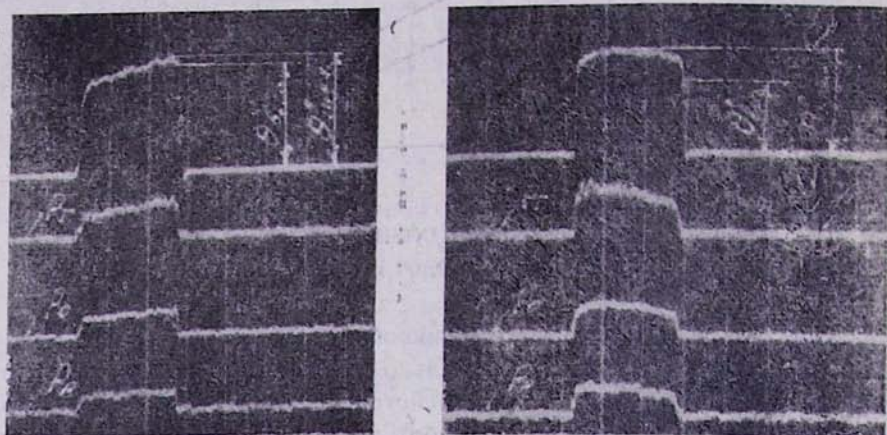


Рис. 3. Осциллограммы температуры резания сплава ВТ14.

а) $K = 5$ мм, б) $K = 45$ мм,

$v = 80$ м/мин, $s_z = 0,106$ мм/зуб., $B = 2$ мм.

схема попутного фрезерования, усилия резания и температура, возникающие в период врезания, приобретают максимальные значения. При переходе от попутного к встречному фрезерованию (рис. 3 б) получается другая картина—наиболее тепловое напряженное состояние инструмента имеет место в конце процесса резания (в момент выхода). Затем, по результатам опытных данных, были построены графики зависимости температур ($\theta_{\max}$ и $\theta_{\text{вых}}$) от взаимного расположения фрезы и заготовки (рис. 4).

При этом:

$\theta_{\max}$ — температура, соответствующая максимальной толщине среза;

$\theta_{\text{вых}}$ — температура, возникающая при выходе инструмента из заготовки.

Прежде всего отметим, что с увеличением K температуры $\theta_{\max}$ и $\theta_{\text{вых}}$ возрастают с различной интенсивностью, причем интенсивность возрастания $\theta_{\text{вых}}$ больше $\theta_{\max}$. Как показывают сопоставление обрабатываемых материалов по уровню температуры и интенсивности ее паразитирования, при прочих равных условиях резания, наиболее высокая температура наблюдается при обработке сплава ВТ14. Очевидно, это обусловлено весьма низкими теплофизическими характеристиками и неко-

торыми специфическими особенностями стружкообразования сплава ВТ14, таких, как элементная стружка, малая продольная усадка (иногда отрицательная), что вызывает повышенную скорость скольжения стружки, уменьшение ширины контакта стружки с передней поверхностью, снижение интенсивности теплоотвода. Следовательно, высокая температура резания при выходе зуба фрезы из контакта ($\theta_{\text{вых}}$) является одним из источников наиболее сильно влияющих на изнашивание инструмента.

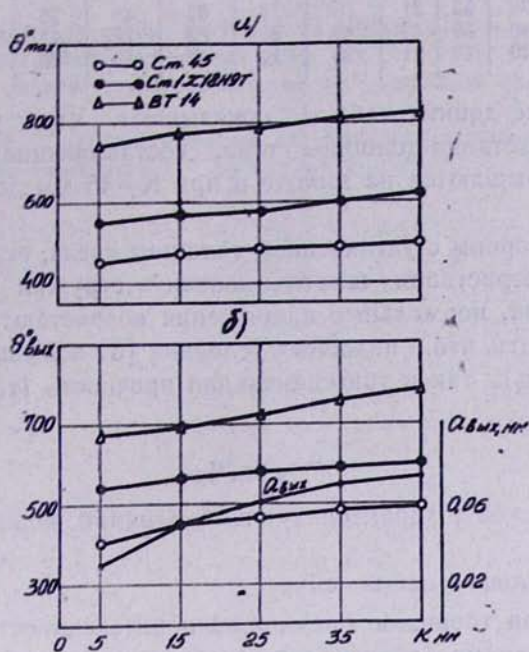


Рис. 4. Зависимость максимальной температуры (а) и температуры выхода (б) от установки заготовки относительно фрезы.

($v=80$ м/мин, $s_z=0,106$ мм/зуб., $B=2$ мм).

В [1] подобное влияние температуры объясняется тем, что когда твердосплавный инструмент циклически подвергается кратковременному прогреву и интенсивному охлаждению, то на его режущей части возникают растягивающие напряжения и микротрещины. Развитие этих микротрещин, вследствие многократного врезания снижает его циклическую прочность. Свидетельством этого является выкрашивание режущей кромки инструмента. Вместе с тем интенсивное охлаждение контакта стружки с инструментом при нерабочем цикле, повышает прочность адгезионных связей [3] и при повторном врезании отрыв стружки еще больше усугубляет износ. Эти явления, как следует из рис. 2, наиболее ярко выражаются при резании сплава ВТ14 и стали 1Х18Н9Т.

Как было упомянуто выше, наряду с температурой, другим важным физическим параметром, определяющим характер протекания адгезионного взаимодействия, является динамическая нагрузка.

Таблица 1

Обрабатываемый материал	K=5 мм ($\Delta_{\text{вых.}}=0,03$)						K=45 мм ($\Delta_{\text{вых.}}=0,075$)					
	P_T , кг		P_θ , кг		P_R , кг		P_T , кг		P_θ , кг		P_R , кг	
	вх.	вых.	вх.	вых.	вх.	вых.	вх.	вых.	вх.	вых.	вх.	вых.
BT14	50	30	30	21	19	13	35	45	23	25	16	20
CT1 18H9T	80	40	58	40	40	30	52	72	47	50	33	38
CT45	70	40	40	21	28	14	48	65	26	36	17	25

Приведенные данные табл. 1 показывают, что с увеличением K , вследствие возрастания толщины среза, составляющие силы резания значительно повышаются на выходе и при $K=45$ мм достигают своего максимума.

С другой стороны с увеличением толщины среза, вследствие непропорционального возрастания ширины контакта стружки с передней поверхностью резца, нормальные напряжения возрастают. Это дает основание заключить, что в подобных условиях [3] повышается как прочность на срез (τ_0), так и тангенциальная прочность (τ_a) адгезионного шва, т. е.

$$\tau_a = \tau_0 + \beta q_N,$$

где β — коэффициент, характеризующий влияние нормальных напряжений,

q_N — нормальное напряжение.

Отметим, что при торцевом фрезеровании интенсивность изнашивания инструмента во время рабочего цикла обусловлена напряжением τ_a , а при холостом пробеге (в момент врезания при отрыве стружки) — τ_0 . При этом $q_N = 0$.

Следовательно, можно предполагать, что контактные явления, связанные главным образом адгезионными свойствами металлов, значительно выше у аустенитной нержавеющей стали 1X18H9T, затем у сплава BT14 и меньше у стали 45.

Выводы

1. При несимметричном торцевом фрезеровании труднообрабатываемых материалов стойкость твердосплавного инструмента при прочих равных условиях, в зависимости от установки фрезы относительно заготовки, может существенно изменяться.

2. Характер износа зависит от интенсивности адгезионного взаимодействия между инструментом и стружкой. В то же время интенсивность адгезионных явлений обуславливается уровнем циклически повторяющихся тепловых и динамических нагрузок, действующих на контактных площадках инструмента.

3. Чем больше амплитуда колебаний термомеханических нагрузок, тем меньше термолпрочность и усталостная прочность инструмента, вследствие чего интенсивно происходит хрупкое разрушение его режущей части.

4. Стойкость инструмента при переходе от встречного к попутному фрезерованию достигает высоких показателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Зорев. Влияние установки заготовки на стойкость фрез при торцевом фрезеровании. «Вестник машиностроения», 1958, № 8.
2. В. Н. Подураев. Резание труднообрабатываемых материалов. М., «Высшая школа», 1974.
3. Л. Ш. Шустер, А. А. Исупов. Исследование прочности адгезионной связи на срез при различных температурах. Труды УАИ, вып. 34.