

### Л и т е р а т у р а

1. К л у ш и н М.И. Алгоритм расчета сил и скоростей резания. В сб. : Труды института, Проектный, технологический и научно-исследовательский институт. ОНТИ, Горький, 1963.
2. Резание металлов и технологическая точность деталей в машиностроении. Под ред. Ю.А. Розенберга, Курган, 1968.
3. З о р е в Н.Н. Механика процесса резания металлов. М., Машгиз, 1956.
4. Н а л и м о в В.В., Ч е р н о в а Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М., " Наука", 1965.

А.И. Афонасов, В.А. Красильников, М.Ф. Полетика

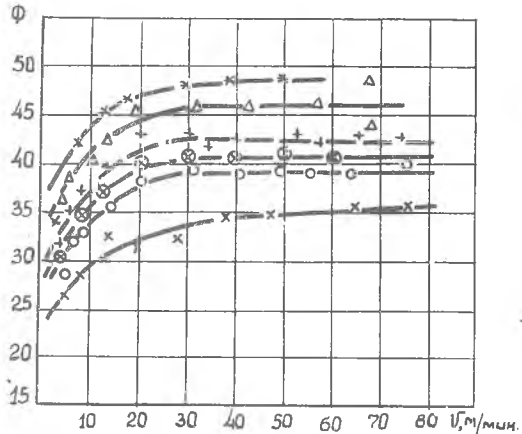
#### НАПРЯЖЕНИЯ И НЕКОТОРЫЕ ДРУГИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ РЕЗАНИИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Как показали многочисленные исследования, отличительной особенностью титановых сплавов является склонность к элементному стружкообразованию. При этом образуются элементы с резкой дифференциацией деформации по объему: наиболее деформированы слои, прилегающие к поверхности раздела элементов и к их контактной поверхности. При резании титановых сплавов с оптимальными режимами типичным является образование суставчатой стружки, у которой элементы связаны воедино сравнительно тонким, но сильно продеформированным контактным слоем.

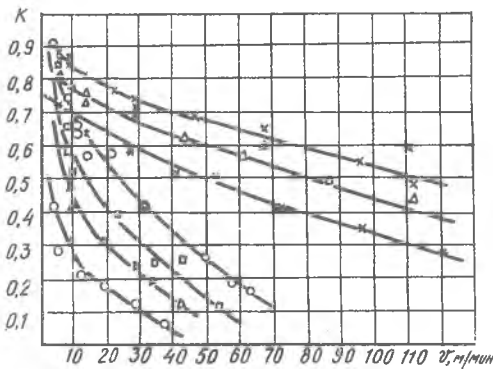
Основными параметрами, характеризующими деформацию при элементном стружкообразовании, являются угол скалывания  $\varphi$ , шаг элементов по контактной поверхности  $m$  и характеристика сплошности стружки  $k = \frac{a_2}{a_1}$ , где  $a_1$  - толщина суставчатой стружки, измеренная по выступающим кромкам элементов;  $a_2$  - толщина ее сплошного слоя. Рис.1 и 2 иллюстрируют зависимость наиболее важных параметров  $\varphi$  и  $k$  от условий резания. Мы видим, что с увеличением как скорости резания, так и толщины среза угол  $\varphi$  растет, а показатель сплошности  $k$ , напротив, уменьшается - стружка приобретает все более выраженный элементный характер.

Создание специального четырехкомпонентного динамометрического прибора позволило провести методом разрезного реза исследование

распределения контактных напряжений на передней поверхности инструмента при резании титановых сплавов. Оказалось, что в отличие от сливного стружкообразования (без нароста), когда кривая контактных давлений на передней поверхности имеет четко выраженную горизонтальную площадку, при резании малопластичных материалов, дающих элементную стружку, в том числе и титановых сплавов, эта кривая плавно снижается от режущей кромки к границе контакта стружки с резцом.



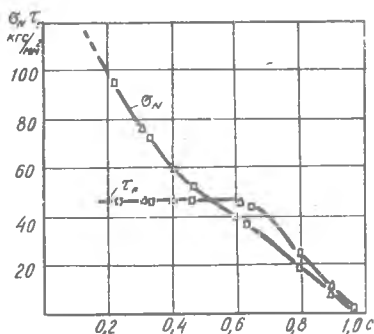
Р и с.1. Влияние скорости резания и подачи на угол скалывания: резец ВК8,  $\gamma = +10^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\alpha = 10^\circ$ ; сплав ВТЗ-1  $\circ - s = 0,145$  мм/об.,  $+\Delta - s = 0,265$  мм/об.,  $\Delta - s = 0,370$  мм/об.,  $* - s = 0,470$  мм/об.; сплав ВТ6  $\square - s = 0,265$ ; сплав ВТ1  $x - s = 0,265$



Р и с.2. Влияние скорости резания и подачи на показатель сплошности:

Сплав ВТ1, резец ВК4,  $\gamma = +10^\circ$ ,  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\varphi = 70^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ,  $x - s = 0,265$  мм/об.,  $\Delta - s = 0,37$ ;  $* - s = 0,47$ ; сплав ВТЗ-1, резец ВК8,  $\gamma = +10^\circ$ ,  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\lambda = +50^\circ$ ,  $\circ - s = 0,145$  мм/об.;  $\square - s = 0,265$ ;  $\Delta - s = 0,37$ ;  $\circ - s = 0,47$

На рис. 3 показаны эпюры контактных напряжений на передней поверхности, полученные при резании титанового сплава ОТ4, который по своим механическим свойствам и соответственно по склонности к образованию элементной стружки занимает промежуточное положение между



Р и с.3. Эпюры контактных напряжений на передней поверхности инструмента сплава ОТ4,  
 $v = 4,4 - 4,7$  м/мин;  $a = 0,2 - 0,32$  мм;  
 $\delta = 1,5$  мм.

сплавами ВТ1 и ВТЗ-Г. Длина пологого участка эпюры  $\tau(F)$  касательных контактных напряжений, отождествляемая с длиной пластического участка контакта

$C_1$ , в данном случае составляет не менее  $0,6C$  ( $C$  - общая длина контакта стружки с резцом), в то время как для всех прочих исследованных материалов (сталь, латунь, медь, чугун) она мало отличается от  $0,5C$ .

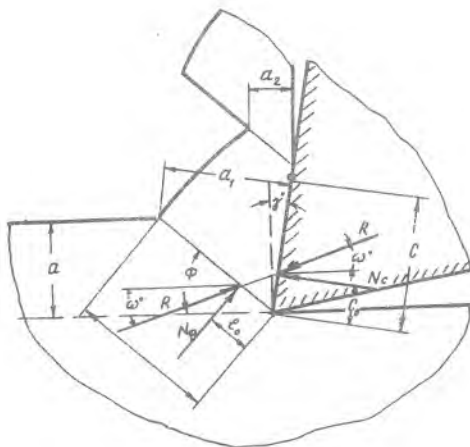
Таким образом, измерения длины пластического кон-

такта по следу износа на передней поверхности, выполненные для различных по своим свойствам титановых сплавов (при их обработке в широком диапазоне изменения условий резания), показали, что отношение  $\frac{C_1}{C}$  для титановых сплавов не остается постоянным, а меняется в пределах от  $0,3$  до  $0,7$ . Это отношение тем меньше, чем менее пластичен обрабатываемый материал. Существенно уменьшается оно с повышением скорости резания.

Причины такого изменения величины  $\frac{C_1}{C}$ , по-видимому, кроются в том, что с ростом скорости резания и снижением пластичности обрабатываемого материала уменьшается величина показателя сплошности  $k$  (см. рис.2). При этом, естественно, уменьшается и толщина  $a_2$  сплошного слоя, а, следовательно, и жесткость стружки. Зависимость отношения  $\frac{C_1}{C}$  от скорости резания, возможно, связана еще с другой особенностью титановых сплавов - сильным влиянием на трение стружки о резец высокой активности титана по отношению к атмосферным газам. Температурно-скоростной фактор повышает активность.

Имея эпюры контактных давлений, нетрудно путем их обмеров определить координату точки приложения нормальной силы, т.е. положение так называемого центра давления стружки на резец. Оказалось, что для полученных нами эпюр (для сплава ОТ-4) относительная координата центра давления равна (рис.4)

$$\frac{C_D}{C} = 0,26 - 0,28.$$



Р и с.4. Приложение нормальной силы при элементарном стружкообразовании

Поскольку эпюра  $\sigma(F)$ , приведенная на рис.3, типична для малопластичных обрабатываемых материалов, то величина  $\frac{\omega}{c}$  не должна существенно изменяться с изменением условий резания.

При известной координате центра давления на передней поверхности можно определить точку приложения нормальной силы  $N_\varphi$  на плоскости скальвания элемента. Так, из рис.4 следует, что

$$c_0 = c_0 \frac{\cos(\omega + \varphi)}{\sin(\omega + \varphi)}, \quad (1)$$

откуда несложно найти, что относительное расстояние точки приложения силы  $N_\varphi$  от режущей кромки равно

$$\frac{c_0}{c} = \frac{c_0}{a} \frac{\sin \varphi \cos(\omega + \varphi)}{\sin(\omega + \varphi)}, \quad (2)$$

Используя имеющиеся экспериментальные данные и приняв  $\frac{c_0}{a} = 0,27$  мы произвели расчеты по формулам (1) и (2), результаты которых приведены в таблице. Анализ таблицы показывает, что при переходе от относительно вязкого сплава ВТ I к малопластичному сплаву ВТЗ-I точка приложения силы  $N_\varphi$  резко смещается к режущей кромке. Подобное смещение, но слабое, мы наблюдаем и при увеличении толщины среза и (еще более слабое) при повышении скорости резания. Но здесь уместно напомнить, что в расчетах относительная координата центра давления

принималась неизменной. Если же учесть ее предполагаемое уменьшение с ростом скорости резания, то влияние скорости будет гораздо существеннее.

Т а б л и ц а

Марка сплава и инструменты	Толщина среза $a$ , мм	Скорость резания $V$ , м/мин	Координата $l_0$ , мм	Координата $l_1$ , мм	Относительная координата $\frac{l_0}{l}$
Сплав ВТИ Резец БМ4	0,249	20	0,167	0,192	0,488
		40	0,154	0,187	0,473
		80	0,140	0,173	0,465
		120	0,135	0,168	0,460
Сплав ВТИ Резец ВК4	0,431	20	0,248	0,291	0,398
		40	0,215	0,262	0,387
		80	0,185	0,231	0,367
		120	0,158	0,197	0,330
Сплав ВТЗ-1 Резец ВК8	0,178	10	0,073	0,067	0,248
		20	0,069	0,065	0,230
		30	0,065	0,062	0,224
		40	0,060	0,058	0,220

Смещение точки приложения силы  $N_p$  вдоль плоскости скалывания свидетельствует об изменении характера распределения нормальных напряжений на этой плоскости. Известные экспериментальные данные о закономерностях распределения этих напряжений противоречат между собой, что связано и с несовершенством методов их определения и, в еще большей степени, в неодинаковости эпюр нормальных напряжений, полученных в различных условиях резания. Тем не менее можно утверждать, что при столь значительном уменьшении величины  $\frac{l_0}{l}$ , которое следует из таблицы уровень сжимающих напряжений у свободной поверхности зоны резания будет намного меньше, чем у режущей кромки.

Расчеты, выполненные применительно к конкретным условиям в предположении линейной эпюры нормальных напряжений на плоскости скалыва-

ния, показали, что уже при  $\frac{c_0}{c} < 0,4$  вблизи наружной поверхности зоны резания нормальные напряжения становятся растягивающими.

Наличие растягивающих или недостаточно высоких сжимающих напряжений у наружной поверхности зоны резания приводит к тому, что трещины и другие дефекты, неизбежно возникающие при больших пластических сдвигах, на этом участке плоскости скалывания не заживают, что ускоряет отделение элемента. Поэтому смещение точки приложения силы  $N_p$  к режущей кромке влечет за собой уменьшение показателя сплошности. Это подтверждается хорошей согласованностью данных таблицы с изменениями  $k$ , приведенными на рис.2 (с учетом сделанных оговорок о зависимости координаты  $\frac{c_0}{c}$  центра давления от скорости резания).

С.И. Тахман, Ю.А. Розенберг, В.К. Волк

#### УПРАВЛЕНИЕ ТОЧНОСТЬЮ ПРИ КОНТУРНОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ НА ОСНОВЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ СИЛ РЕЗАНИЯ ОТ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ

Отклонение замыкающих звеньев размерной цепи технологической системы СПИД друг от друга в условиях контурного фрезерования концевыми фрезами на 95-98% определяется упругими отжатыми под действием сил резания [1]. Поэтому вопросы точности контурного фрезерования и управления процессом, когда в качестве критерия используется точность, решаются с помощью модели упругого взаимодействия концевой фрезы и заготовки в направлении отсчета точности в этом виде обработки, т.е. по нормали к обрабатываемому контуру (рис.1). Для решения этих задач необходимо знать величину и точку приложения силы отжима фрезы по нормали к контуру  $P_N$ , закономерности влияния факторов процесса резания на характеристики этой технологической составляющей силы и податливость технологической системы на уровне приложения нагрузки. Надежные функциональные связи любых составляющих сил на фрезе с условиями обработки дают структурные уравнения с раздельным учетом сил, действующих на передних и задних поверхностях инструмента [2], [3]. Упругая податливость технологической системы "Деталь-приспособление-фрезерный станок с ПУ - узел крепления хвостовика фрезы - концевая фреза" на любом уровне приложения нагрузки может быть рассчитана по упрощенной схеме линейного распределения отжатий вдоль оси фрезы. При расчете по средней силе отжима можно считать, что точка приложения нагрузки располагается посередине ширины фрезерования.