

УДК 621.9.01.014.2

А.Н.Волков

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ РЕЗАНИЯ И ВИБРАЦИЙ
ПРИ ВСТРЕЧНОМ И ПОПУТНОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ
ТИТАНОВОГО СПЛАВА

Исследование проводилось при обработке сплава OT4 комплектом из двух дисковых пазовых фрез ВК8, смещенных друг относительно друга на полшага между зубьями. Основные параметры режима резания и геометрии инструмента: $D_{фр} = 70$ мм; $B = 3$ мм; $t = 5$ мм; $V = 82$ м/мин; $S_x = 0,03-0,125$ мм/зуб; $\lambda = 16$; $\gamma = 5^\circ$; $\alpha = 15^\circ$; $\alpha_1 = 1^\circ 30'$; $\varphi_1 = 2^\circ$.

По найденным в результате обработки осциллограмм максимальным значениям P_{Hmax} и P_{Vmax} определены равнодействующая P_{Rmax} , окружная $P_{окр.max}$ и радиальная P_{zmax} составляющие силы резания, представленные на рис.1.

Из приведенных графиков видно, что при фрезеровании против подачи P_{Hmax} во много раз превосходит P_{Vmax} , которая при $S_x > 0,07$ мм/зуб принимает даже отрицательные значения, то есть изменяет свое направление. При фрезеровании по подаче P_{Vmax} , наоборот, несколько превосходит P_{Hmax} . В связи с этим направление равнодействующей P_{Rmax} при встречном фрезеровании является более пологим, что вызывает изменение угла наклона главной оси эллипса перемещений фрезерной оправки. Это видно по значительному увеличению амплитуд A_H в горизонтальном направлении и уменьшению амплитуд A_V в вертикальном направлении при фрезеровании против подачи (рис.2).

Непосредственные снимки траекторий движения центра фрезерной оправки, полученные с экрана электронного осциллографа СГ-19А, показали, что изменение угла наклона главной оси эллипса перемещений составило приблизительно 20° при величине подачи $S_x = 0,1$ мм/зуб.

Определение по замеренным значениям P_{Hmax} и P_{Vmax} величин сил P_{Rmax} , $P_{окр.max}$ и P_{zmax} показало, что максимальные значения радиальной силы P_{zmax} при фрезеровании против подачи приблизительно в 2 раза больше, чем при фрезеровании по подаче.

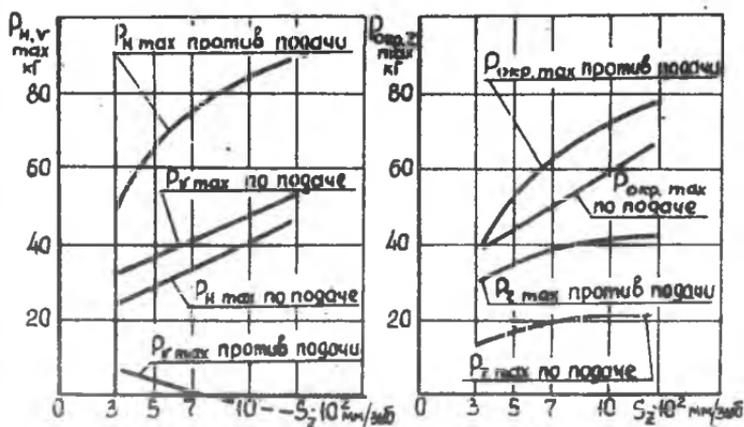


Рис. I. Изменение максимальных значений горизонтальной $P_{н max}$, вертикальной $P_{в max}$, окружной $P_{окр max}$ и радиальной $P_{р max}$ составляющих силы резания при встречном и попутном фрезеровании в зависимости от подачи

Сравнительные опыты, проведенные четырехзубой фрезой, когда в работе одновременно участвовал только один зуб, подтвердили значительное отличие величин $P_{г max}$ при двух методах фрезерования. Отношение $P_{г max}$ при встречном фрезеровании к $P_{г max}$ при попутном изменялось от 1,2 до 2 при изменении подачи S_z от 0,03 до 0,2 мм/зуб. При величине $S_z = 0,1$ мм/зуб это отношение составляло 1,8. При увеличении числа одновременно работающих зубьев неблагоприятные условия резания при встречном фрезеровании, по сравнению с попутным, еще более усиливаются. Врезание зуба при фрезеровании по подаче, вызывая стлам справа, облегчает выход предыдущего зуба, который в это время снимает стружку малой толщиной. Наоборот, при фрезеровании против подачи врезание очередного зуба происходит в момент, когда предыдущий зуб снимает стружку значительной толщины, причем теоретически уже при угле контакта $\varphi_0 > 19^\circ$ фреза стремится оторвать надежде

от стола станка и оправка с обрабатываемой деталью как бы связаны, зуб до врезания скользит по обрабатываемой поверхности, испытывая большие контактные нагрузки по задней поверхности. Равнодействующая сила резания $P_{R \max}$ при фрезеровании против подачи в 1,3 - 1,5 раза больше, чем при фрезеровании по подаче.

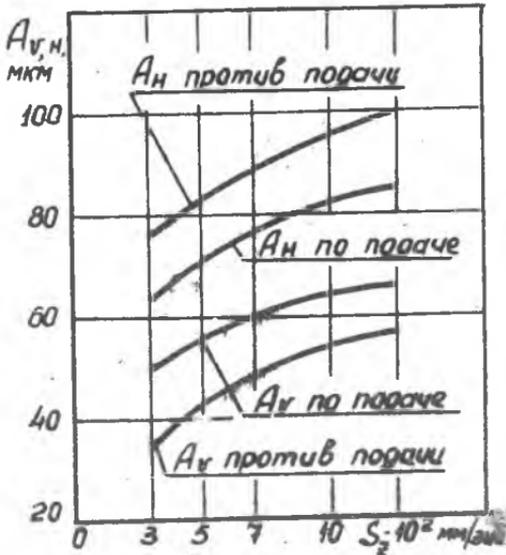


Рис. 2. Изменение амплитуд вибраций фрезерной оправки в горизонтальном (A_n) и вертикальном (A_v) направлениях при встречном и попутном фрезеровании в зависимости от подачи

Уменьшение значения $P_{2 \max}$ при попутном фрезеровании способствует снижению контактных нагрузок и сил трения на задних поверхностях зубьев фрез, что ведет к уменьшению износа инструмента. Одновременно снижаются циклические нагрузки, а следовательно, повышается и усталостная прочность лезвия инструмента. В этом заключается одна из основных причин высокой эффективности фрезерования титановых сплавов по подаче.

Большое влияние на интенсивность вибраций и колебания сил резания оказывает жесткость фрезерной оправки.

Проведены две серии опытов с различными изменениями жесткости оправки. Для первой серии оправка протачивалась по всей длине, так что имело место одновременное уменьшение жесткости и массы оправки. Для второй серии опытов производилась подрезка оправки вблизи шпинделя, в результате чего с уменьшением

жесткости масса оправки практически оставалась неизменной. Все оправки перед проведением опытов протачивались по диаметру на месте после закрепления в шпинделе станка, что полностью исключало влияние неуравновешенности массы оправок на характер колебаний в процессе резания.

Амплитуды вибраций A_V и A_H , амплитуды высокочастотных (происходящих с частотой вибраций) колебаний сил резания A_{pV} и A_{pH} , а также величины частот вибраций f при различных жесткостях оправок в указанных сериях опытов представлены в виде графиков на рис.3. Из этих графиков видно, что уменьшение жесткости фрезерной оправки с 2000 до 300 кг/мм приводит к увеличению амплитуд вибраций в 20-30 раз. Увеличение массы фрезерной оправки приводит к увеличению амплитуд вибраций и колебаний сил резания, что особенно заметно при значениях жесткости $j < 1000 \frac{\text{кг}}{\text{мм}}$. Так, при $j = 300 \text{ кг/мм}$ амплитуды вибраций во 2-ой серии опытов были в среднем в 1,5 раза, а амплитуды высокочастотных колебаний сил резания в 2 раза выше, чем в 1-ой серии опытов. При этом масса оправки во 2-ой серии была в 8 раз больше массы оправки в 1-ой серии опытов. Большая величина массы вызвала также более быстрое снижение частот собственных колебаний оправок по мере уменьшения их жесткости. При значениях собственных частот оправок, приблизительно кратных числу врезаний зубьев фрез, наблюдалось резкое увеличение амплитуд вибраций вследствие наступления резонанса соответствующего порядка.

Зависимости амплитуд вибраций и колебаний сил резания от жесткости оправок имеют гиперболический характер и приблизительно для обеих серий опытов могут быть представлены в виде

$$A = \frac{C}{j^{2,3}} ; \quad A_p = \frac{C}{j^{2,1}} \quad \text{при } 2000 \geq j \geq 1000 \text{ и}$$

$$A = \frac{C}{j^{1,1}} ; \quad A_p = \frac{C}{j^{0,8}} \quad \text{при } 1000 \geq j \geq 300.$$

Из рассмотрения формул следует, что влияние жесткости на амплитуды вибраций и колебаний сил резания проявляется наиболее значительно в пределах изменения жесткости от 2000 до 1000 кг/мм. При дальнейшем снижении жесткости оправок ($j < 1000 \text{ кг/мм}$) рост амплитуд вибраций замедляется, но сами амплитуды автоколебаний достигают настолько больших величин, что работа без применения виброгасителей становится практически невозможной в виду интенсивного выкрашивания твердосплавного инструмента и его малой стойкости.

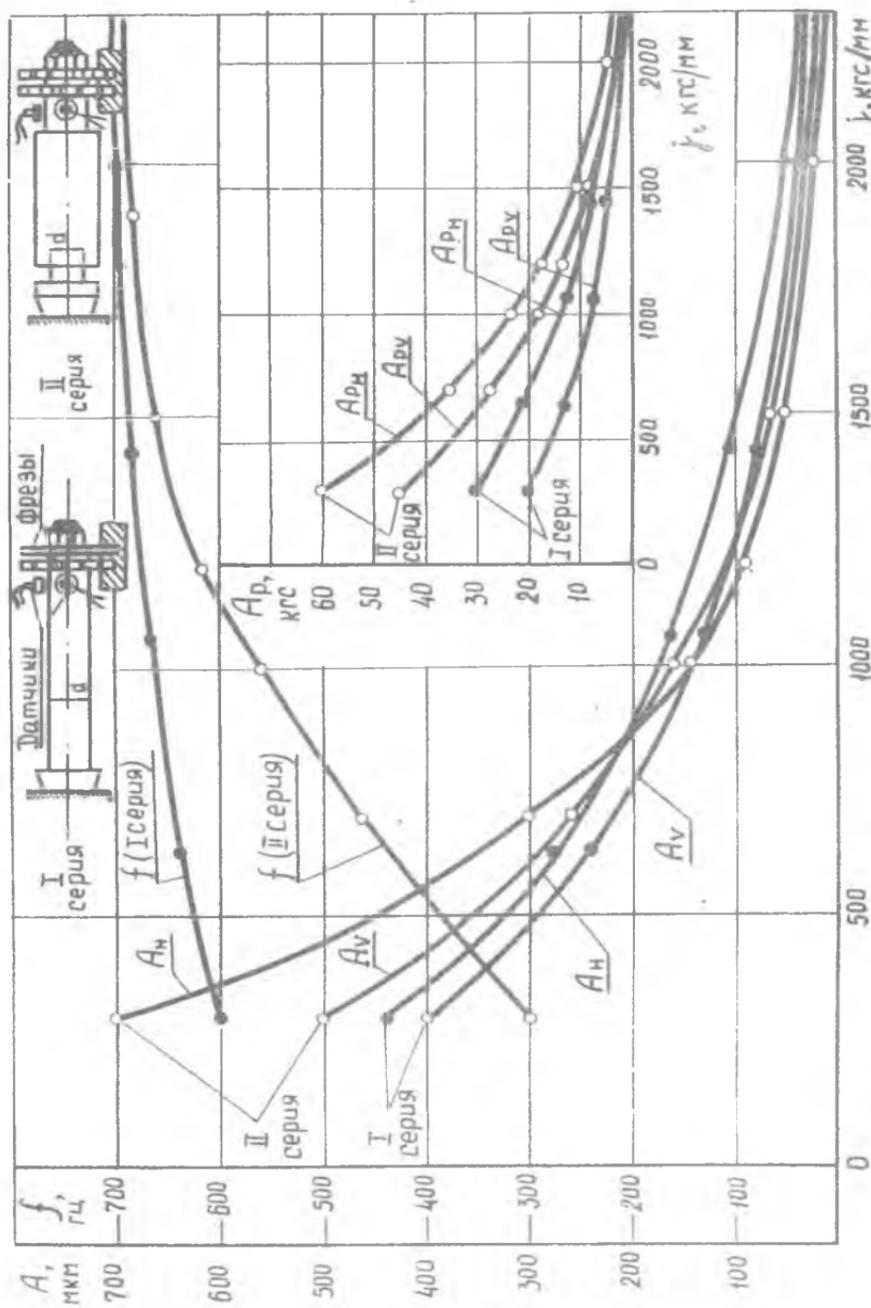


Рис. 3. Кривые зависимости частот, амплитуд вибраций и колебаний сил резания от жесткости фрезерной оправки

Таким образом, жесткость фрезерной оправки является решающим фактором, от которого зависит интенсивность вибраций при фрезеровании. Увеличение массы оправки при неизменной ее жесткости, вызывающее увеличение сил инерции и снижение затухания в системе, ведет к увеличению амплитуд вибраций и, в еще большей степени, к увеличению амплитуд колебаний сил резаний.

УДК.621.9.01.014.2

Г.Т.Авдошин

ИЗМЕРЕНИЕ АМПЛИТУД ВИБРАЦИЙ И БЫСТРОМЕНЯЮЩИХСЯ СИЛ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ

Исследование динамики процессов резания при точении и расточке консольно закрепленных деталей или при дисковом и пазовом фрезеровании представляет значительные трудности в связи с тем, что обрабатываемая деталь или режущий инструмент совершают вращательное движение. Известные контактные методы измерения вибраций в данном случае мало эффективны. Поэтому особого внимания заслуживает создание новых и усовершенствование существующих приборов для измерения с достаточной точностью и надежностью быстроменяющихся сил резания и вибраций при автоколебаниях [2, 3].

Наиболее перспективным является бесконтактный метод, основанный на применении вихретоковых преобразователей.

Принцип действия вихретоковых преобразователей основан на том, что при наличии вблизи проводящей поверхности возбуждающей высокочастотной катушки (датчика) ее параметры изменяются в зависимости не только от электромагнитных свойств металла (удельной проводимости - σ_2 и магнитной проницаемости - μ_2), но и от величины зазора δ - расстояния от датчика до проводящей поверхности, то есть активное сопротивление увеличивается на величину $R_{\delta n}$ - вносимого активного сопротивления, а индуктивность катушки уменьшается на величину $L_{\delta n}$ - вносимой индуктивности. При измерении зазоров и перемещений частота тока, питающего датчик, выбирается такой, чтобы обеспечить минимальное проникновение вихревых токов в проводящую среду, что характеризует-