

Увеличение глубины фрезерования вызывает значительное увеличение сил резания. Особенно сильное влияние глубина фрезерования оказывает на составляющую силы резания $P_{H \max}$ при работе затупленной фрезой. Так, увеличение t с 3 мм до 14 мм вызывает увеличение $P_{V \max}$ в 1,5 раза, а $P_{H \max}$ - в 4 раза.

На основании проведенных динамических исследований были получены экспериментальные формулы для определения максимальных значений составляющих силы резания при фрезеровании в режиме вибраций, которые для случая работы притупившимися фрезами имеют вид

$$P_{V \max} = 3,3B^{0,71} t^{0,41} S_z^{0,4} V^{0,29};$$

$$P_{H \max} = 0,3B^{0,23} t^{0,62} S_z^{0,2} V^{0,56}$$

Максимальные значения составляющих силы резания при работе острыми фрезами в 1,3 - 1,5 раза меньше, чем рассчитанные по приведенным формулам.

С целью облегчения и ускорения нахождения составляющих силы резания $P_{V \max}$ и $P_{H \max}$ были построены номограммы, которые переданы производству для практического применения.

Полученные на основании формул или номограмм максимальные значения составляющих силы резания позволяют определить запас прочности инструмента при назначении оптимальных режимов фрезерования сплава В93.

А.Е.Вишняков

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ И ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Для изготовления многих ответственных деталей и узлов ГТД широко используются титановые сплавы. Обработка этих сплавов связана с известными трудностями, вытекающими из их механических и теплофизических характеристик (относительно высокая механическая прочность, малая пластичность, низкая теплопроводность, склонность к схватыванию и др.). Очень часто наиболее эффективным методом обработки, обеспечивающим требуемую высокую точность и чистоту, является протягивание. А в ряде случаев, например, при изготовлении пазов в дисках турбин

и компрессоров, протягивание, по сути дела, является единственно приемлемым методом обработки.

Силовой и температурный факторы оказывают существенное влияние на различные стороны процесса протягивания и являются определяющими при формировании поверхностного слоя. Настоящая работа посвящена исследованию сил и температуры резания при различных режимах протягивания двухфазных титановых сплавов BT8, BT9 и OT4.

Эксперименты проводились на горизонтально-протяжном станке модели 7A510, модернизированном для работы со скоростью до 30 м/мин. На специально созданной установке [1] осуществлялись замеры вертикальной P_y и горизонтальной P_z составляющих силы резания. Температура резания измерялась методом естественной термопары. Указанные параметры записывались на ленту осциллографа. В качестве режущего инструмента применялись специально изготовленные двухзубые плоские протяжки из быстрорежущей стали P18 ($HRC = 64-66$, $\gamma = 12^\circ$, $\alpha = 4^\circ$), оснащенные пластинками твердого сплава ВК8 [2] ($\gamma = 8^\circ$, $\alpha = 4^\circ$). Последние доводились по задней грани алмазным кругом. Образцы изготавливались из прутков и перед окончательной обработкой подвергались двойному отжигу по режимам ВИАМ. Были проделаны опыты с образцами (сплав BT8), которые подвергались закалке и старению. В качестве смазывающе-охлаждающей жидкости применялся сульфофрезол [3].

На рис. 1 показан характер зависимости составляющих P_y и P_z от подъема на зуб S_x при работе протяжками из быстрорежущей стали P18. Из графиков видно, что увеличение подъема на зуб в исследуемом диапазоне вызывает непрерывный рост горизонтальной составляющей P_z . Что касается вертикальной составляющей P_y , то здесь наблюдаются два характерных участка: $S_x = 0,01-0,03$ мм и $S_x > 0,03$ мм. Такой характер изменения составляющей силы P_y может быть объяснен на основании уравнения механики резания.

Проектируя все силы, действующие на зуб протяжки (рис. 2), на направления сил P_z и P_y , получим

$$P_y = N_n + F_{Tn} \cos \gamma - N_n \sin \gamma, \quad (1)$$

$$P_z = N_n \cos \gamma + F_{Tn} \sin \gamma + F_{Tz}, \quad (2)$$

где N_n - сила нормальная к передней поверхности и представляющая, в основном, сопротивление пластической деформации;

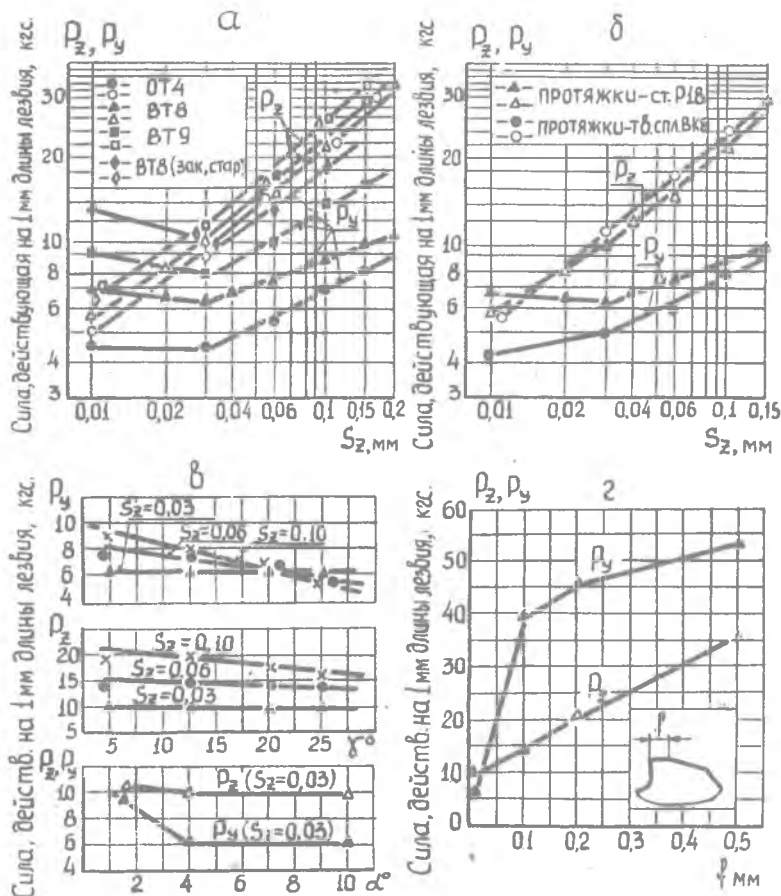


Рис.1. Влияние подъема на зуб S_z и геометрии протяжек на составляющие силы резания P_z и P_y при протягивании титановых сплавов BT8, BT9, OT4:

- а - протяжки - Ст.Р18, $V=1,5$ м/мин, СОЖ - сульфозфрезол;
- б - титановый сплав BT8, $V=1,5$ м/мин, СОЖ - сульфозфрезол;
- в, г - титановый сплав BT8, протяжки - Ст.Р18, $V=1,5$ м/мин, СОЖ - сульфозфрезол

- $F_{Т.п}$ - сила трения по передней поверхности;
 $F_{Т.з}$ - сила трения по задней поверхности;
 $N_{з}$ - сила сопротивления поверхностному внедрению зуба
 протяжки;
 γ - передний угол.

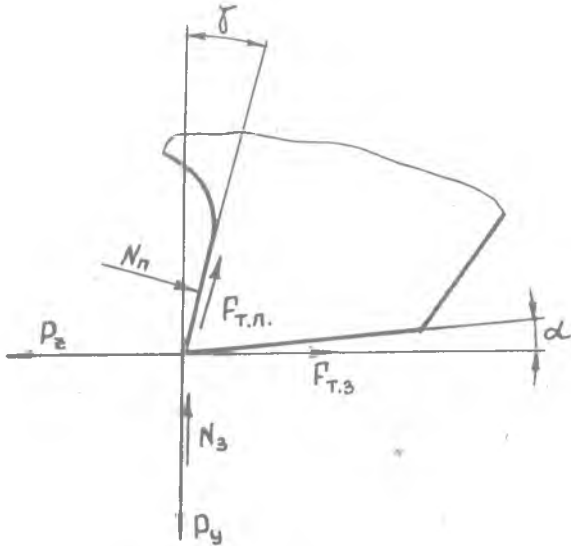


Рис.2. Схема сил, действующих на зуб протяжки

Выражая в уравнениях (1) и (2) силу $N_{п}$ через соответствующую силу трения $F_{Т.п}$ и средний коэффициент трения $\mu_{п}$ на передней поверхности, а также заменяя силу $F_{Т.п}$ выражением

$$F_{Т.п} = q_{п} l_{п} b,$$

где $q_{п}$ - удельная касательная нагрузка на передней поверхности;
 $l_{п}, b$ - соответственно длина и ширина контакта стружки с передней поверхностью, будем иметь

$$P_{y} = N_{з} + q_{п} l_{п} b \left(\cos \gamma - \frac{\sin \gamma}{\mu_{п}} \right). \quad (3)$$

$$P_z = F_{Tz} + q_n l_n b \left(\frac{\cos \gamma}{\mu_n} + \sin \gamma \right) \quad (4)$$

При рассмотрении полученных выражений для составляющих силы резания необходимо учесть особенность работы протяжки в условиях съема тонких стружек, когда величина радиуса скругления режущей кромки сопоставима с толщиной среза. На скругленном участке режущей кромки имеют место большие отрицательные передние углы. Расчеты показывают, что, например, для радиуса скругления режущей кромки $\rho = 0,008$ мм (неизношенная протяжка) на длине контакта, ограниченной точками, удаленными от обработанной поверхности на $0,004$ мм и $0,002$ мм, величины передних углов изменяются соответственно от -30° до -49° . Естественно, что с увеличением радиуса скругления ρ , связанным с износом режущей кромки, фактические передние углы будут изменяться в сторону увеличения отрицательных значений, оказывая неблагоприятное влияние на процесс резания при малых толщинах среза.

Немаловажным фактором, ухудшающим работу режущей кромки, является и то, что при малых толщинах среза порядка $0,005-0,015$ мм зубья протяжки работают по упроченному (наклепаному) слою, наибольшая интенсивность которого для титанового сплава ВТ8 по нашим данным распространяется на глубину $0,015-0,02$ мм.

На основании изложенного можно утверждать, что при протягивании с подъемами на зуб $S_z = 0,01 - 0,03$ мм решающее влияние на величину силы P_y оказывает фактический передний угол γ . В указанном диапазоне с уменьшением толщины среза увеличивается доля той части площадки контакта на передней поверхности, где имеют место большие отрицательные передние углы, значительно растет величина множителя $\left(\cos \gamma - \frac{\sin \gamma}{\mu_n} \right)$ в уравнении (3) и сила P_y увеличивается, так как удельная касательная нагрузка q_n по данным [4] является практически постоянной величиной при различных условиях резания для данного обрабатываемого материала, а коэффициент трения μ_n с уменьшением подъема на зуб изменяется незначительно. Что касается длины контакта l_n стружки с передней поверхностью, то, хотя она и несколько уменьшается с уменьшением толщины среза, но это не может существенно изменить общую картину.

Влияние силы N_z на составляющую P_y в зоне очень малых толщин среза направлено на усиление описанной закономерности.

При подъемах на зуб $S_x > 0,03$ мм в связи с увеличением длины контакта l_n стружки с передней поверхностью роль участка контакта с большими отрицательными углами, прилегающего к режущей кромке инструмента, уменьшается, и с увеличением подъема на зуб составляющая сила P_y увеличивается.

Приведенный характер зависимости P_y от подъема на зуб S_x является общим при протягивании различных марок титановых сплавов протяжки из быстрорежущей стали P18. График для силы P_y при протягивании сплава BT8 в закаленно-состаренном состоянии расположен заметно выше соответствующего графика для того же материала, но в отожженном состоянии, имеет несколько более крутой наклон левой и правой ветвей. Это объясняется более высокими показателями механической прочности закаленно-состаренного материала, более интенсивным износом режущей кромки инструмента и увеличением работы пластической деформации.

При протягивании титанового сплава BT8 доведенными твердосплавными протяжками (ВК8) наблюдается иной характер зависимости составляющей P_y от подъема на зуб S_x (рис.1б), что объясняется лучшей остротой режущей кромки инструмента, меньшим радиусом ее скругления и подтверждает справедливость приведенных выше соображений о роли радиуса скругления ρ .

Влияние переднего γ и заднего α углов на составляющие силы резания P_x и P_y представлено на рис. 1в. Из него видно, что передний угол γ начинает оказывать заметное влияние на силы P_y и P_x при подъемах на зуб, превышающих 0,03 мм. Это хорошо согласуется с ранее приведенными выводами о роли радиуса скругления режущей кромки при протягивании титановых сплавов в условиях малых толщин среза.

Уменьшение величины заднего угла α до $1^\circ - 1^\circ 30'$ приводит к заметному увеличению силы P_y . Причем, как показали опыты, при этом происходит довольно сильное налипание обрабатываемого материала на заднюю поверхность инструмента.

Специально проведенные опыты с протяжками, имеющими на задней поверхности фаску с нулевым задним углом, показали, что в этом случае даже при малой величине фаски происходит резкое возрастание сил резания, в особенности составляющей P_y (рис.1г), сопровождаемое весьма сильным налипанием обрабатываемого материала на задней поверхности инструмента.

Исследование характера изменения сил P_y и P_x в зависимости от скорости протягивания V показало, что с ростом скорости от 1,5 до 30 м/мин силы уменьшаются на 10-20%. Однако для протяжек из быстрорежущей стали P18 при малых подъемах на зуб $S_x = 0,01-0,02$ мм и повышенных скоростях резания ($V \geq 20$ м/мин для BT9, $V \geq 25$ м/мин для BT8 и OT4), как правило, наблюдается заметный рост силы P_y , что можно объяснить быстрым износом (завалом) режущей кромки. Твердосплавные протяжки в пределах исследуемых значений V и S_x работают устойчиво для всех трех марок титановых сплавов, включая образцы, подвергнутые закалке и старению.

Опыты по изучению влияния охлаждения на силы резания показали следующее. Работа без охлаждения приводит к росту P_x и P_y на 10-15% по сравнению с применением сульфифрезоло. Применение 10%-ой эмульсии оказывает менее эффективное воздействие на силу P_y , чем сульфифрезол.

На рис.3 приведены графики изменения температуры резания в зависимости от скорости протягивания при различных подъемах на зуб. Как видно из графиков, при протягивании титановых сплавов BT8, BT9 и OT4 возникают высокие температуры. При $S_x = 0,1$ мм и $V = 30$ м/мин для быстрорежущих протяжек температура резания может достигать значений, заметно превышающих красностойкость быстрорежущей стали P18.

Высокий уровень температур при относительно малых толщинах срезов, характерных для протягивания, связан, в основном, с весьма низкой теплопроводностью титановых сплавов, в результате чего ухудшается отвод тепла в обрабатываемый материал.

Сопоставление температур резания при протягивании различных марок титановых сплавов (рис. 3а,б,в) показывает, что более высокие температуры соответствуют сплаву BT9, а наименьшие - сплаву OT4. Это согласуется с разницей физико-механических и теплофизических характеристик исследуемых титановых сплавов.

Сопоставление рис. 3а и 3г показывает, что при работе протяжки из быстрорежущей стали P18 возникает более высокая температура резания, чем при работе твердосплавными протяжками. Разница составляет в среднем около 25%. Это является, главным образом, следствием различной теплопроводности указанных инструментальных материалов (коэффициент теплопроводности стали P18 в два раза меньше, чем у твердого сплава BK8). Поэтому интенсивность отвода тепла в инструмент при работе быстрорежущей протяжкой меньше, а, следовательно, контактные температуры в зоне резания выше.

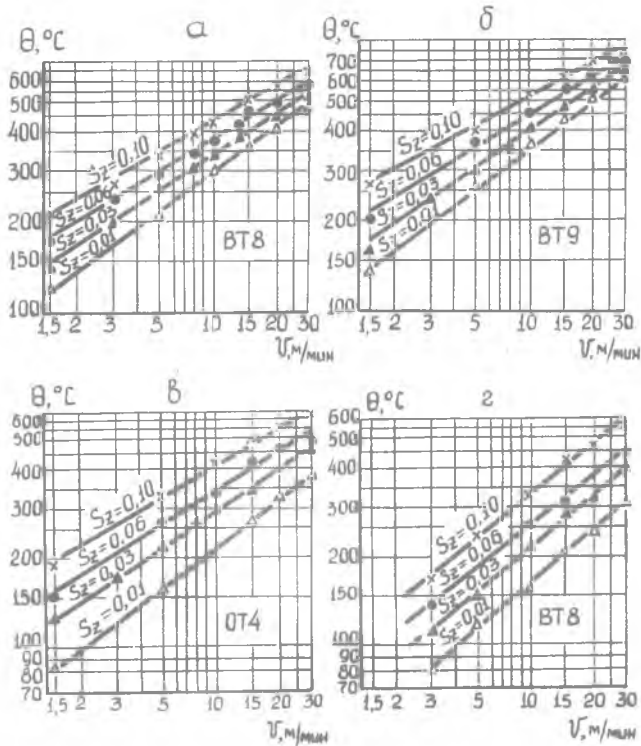


Рис.3. Влияние скорости резания V и подъема на зуб S_z на температуру резания θ при протягивании титановых сплавов BT8, BT9, OT4:
 а, б, в - протяжки - Ст.Р18, СОЖ - сульфозфрезол; г - протяжки - твердый сплав ВК8, СОЖ - сульфозфрезол

Опыты, проведенные с протяжками, имеющими на задней поверхности фаску с нулевым углом, показали, что с ростом величины фаски до 0,5 мм наблюдается увеличение температуры резания в 1,5-2 раза. Сравнение этих данных с характером изменения составляющих P_y и P_z показывает, что интенсивность роста температуры резания заметно ниже, чем рост сил P_y и P_z в одинаковых условиях (рис.1г) в связи

с одновременным увеличением теплоотвода в инструмент через контактную поверхность фаски.

Применение в качестве смазывающе-охлаждающей жидкости 10%-ой эмульсии обеспечивает по сравнению с сульфидфрезолом несколько лучший теплоотвод, а работа без охлаждения приводит к увеличению температуры резания в среднем на 5-15%.

Л и т е р а т у р а

1. Вишняков А.Е., Шведов Ю.Г., Шмелев А.Н. Установка для исследования процесса резания при протягивании. Труды КуАИ ХХХШ, 1968.
2. П р о н к и н Н.Ф. Протягивание протяжками из твердых сплавов. М., "Машиностроение", 1966.
3. Б о б р о в В.Ф. О роли смазывающе-охлаждающих жидкостей при резании титана. "Вестник машиностроения", 1961, № 5.
4. П о л е т и к а М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. "Машиностроение", 1969.