

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Г. Л. КУФАРЕВ, А. И. АФОНАСОВ

(Представлена научным семинаром кафедры станков и резания металлов)

Процесс резания титановых сплавов характеризуется рядом особенностей, отличающих эти сплавы от сталей и многих цветных металлов. Основными из них являются: высокая температура резания, малая площадка контакта стружки с резцом, низкая усадка стружки (в отдельных случаях меньше единицы), малые коэффициенты и удельные силы трения, слабая чувствительность процесса резания к действию смазывающе-охлаждающих жидкостей, активное взаимодействие с окружающей средой. В связи с этим изучение физико-механических явлений, возникающих в зоне резания, силовых зависимостей, износа инструмента, влияния геометрических параметров резцов и их материала на силы резания, действия среды (окислительной, нейтральной, восстановительной, смазывающе-охлаждающей) и ряда других явлений, возникающих в процессе резания, является первоочередной задачей исследователей, занятых вопросами обрабатываемости труднообрабатываемых, жаропрочных и титановых сплавов.

В настоящей статье приведены результаты дальнейших исследований по обработке титановых сплавов, которые проводятся в лаборатории резания ТПИ.

По обработке резанием отдельные сплавы титана можно отнести к труднообрабатываемым. В частности, к труднообрабатываемым относится и титановый сплав ВТЗ-1, который имеет двухфазную структуру  $\alpha + \beta$ . По своим механическим характеристикам он относится к малопластичным титановым сплавам.

$$\sigma_{вр} = 105 \frac{кг}{мм^2}; \quad \delta = 13\%; \quad HB = 380 \frac{кг}{мм^2}.$$

В опытах по обработке титанового сплава ВТЗ-1 исследовались следующие вопросы:

1. Влияние скорости резания, подачи, глубины на силы резания в связи с износом резца.
2. Влияние материала инструмента на силы резания.
3. Влияние геометрии инструмента на силы резания.

Опыты по резанию титанового сплава ВТЗ-1 были поставлены на токарном станке модели 1Д63А. Для определения сил резания был применен трехкомпонентный упругоэлектрический динамометр с проводочными тензодатчиками. Динамометр использовался в комплекте с трехканальным тензометрическим усилителем ИДД-2. Запись сил

резания велась с помощью осциллографа МПО-2. На основании данных, полученных Урывским Ф. П. [1], и наших исследований оптимальная геометрия резцов для опытов была принята следующей:  $\gamma = +10^\circ$ ;  $\alpha = +10^\circ$ ;  $\alpha_1 = +10^\circ$ ;  $\varphi = 45^\circ$ ;  $\varphi_1 = 15^\circ$ ;  $\lambda = +5^\circ$ . В качестве режущего материала принимались пластинки твердого сплава ВК8 с механическим креплением в головке динамометра.

Глубина резания была постоянной и равнялась 3 мм. Подачи изменялись от 0,145 ÷ 0,47 мм/об. Скорость резания изменялась от минимально допустимой станком (4 м/мин) до максимальной скорости, которую выдерживал резец, не сгорая.

Первые результаты измерения сил резания, на вышеуказанных режимах, показали, что в процессе опыта резец изнашивается и дает завышенные показания по силам резания, причем на различных режимах интенсивность износа резца, а следовательно, и величина сил резания не сравнимы с предыдущими. Нами был испробован метод предварительного износа с различными способами износа. Однако добиться постоянства износа в процессе даже кратковременного опыта (3 ÷ 5 сек.) не удалось. Отсюда и объясним интенсивный рост сил с ростом скорости резания, который непосредственно связан с ростом износа резца по задней грани, а следовательно, и изменением первоначальной геометрии.

После ряда поисков была разработана новая методика проведения опытов по выявлению силовых зависимостей при резании труднообрабатываемых сплавов. Суть этой методики заключается в том, что на постоянной скорости и подаче острозаточенным и тщательно доведенным резцом с постоянной геометрией проводятся опыты через нарастающие промежутки времени с записью сил резания, температуры и времени опыта на осциллографе МПО-2. После каждого опыта замеряются микроскопом МИР-1 площадки контакта по передней и задней граням инструмента. На малых скоростях резания мы не имели возможности проводить эксперимент до полного износа инструмента из-за недостаточного количества титанового сплава ВТЗ-1. Но уже на скоростях порядка 20 ÷ 50 м/мин (в зависимости от подачи) стойкости инструмента оказались незначительными и опыты по вышеописанной методике проводились до полного разрушения режущей кромки.

Для того, чтобы получить картину силовых зависимостей от скорости, подачи и износа инструмента, опыты проводились на четырех подачах (0,145; 0,265; 0,370; 0,470 мм/об), причем на каждой подаче бралось минимум шесть скоростей. Для примера на рис. 1 приведены опытные данные, полученные при обработке титанового сплава ВТЗ-1 на подаче 0,265 мм/об. После обработки всей серии опытов мы получили возможность сопоставить величины сил резания, температуры резания на различных ступенях износа инструмента для разных скоростей резания и подач (рис. 2). Зависимости силы от скорости резания получились плавными, без характерных для стали «горбов» и «впадин», что лишнее свидетельствует об отсутствии нароста при обработке титановых сплавов.

Главная составляющая  $P_z$  очень мало меняется с ростом скорости, однако с ростом подачи она значительно возрастает (так, с увеличением подачи в три раза сила  $P_z$  возрастает в 2,5 раза). Большое влияние на величину силы резания оказывает износ режущего инструмента, который преимущественно идет по задней грани. Так, при износе резца по задней грани только до величины  $h_{3,z} = 0,15$  мм главная составляющая возрастает на 15 ÷ 20%, а равнодействующая  $R_{xy}$  горизонтальных сил  $P_x$  и  $P_y$  сильно возрастает как с ростом скорости и подачи, так и с ростом износа резца. При износе резца до

$h_{3,2} = 0,15$  мм равнодействующая горизонтальных сил  $R_{xy}$  возрастает на 200 ÷ 250%. На этих же рисунках можно видеть интенсивный рост равнодействующей горизонтальных сил  $R_{xy}$  даже при постоянном износе по задней грани. Последнее не увязывается с обычной картиной зависимости сил резания от скорости, когда мы имеем уменьшение

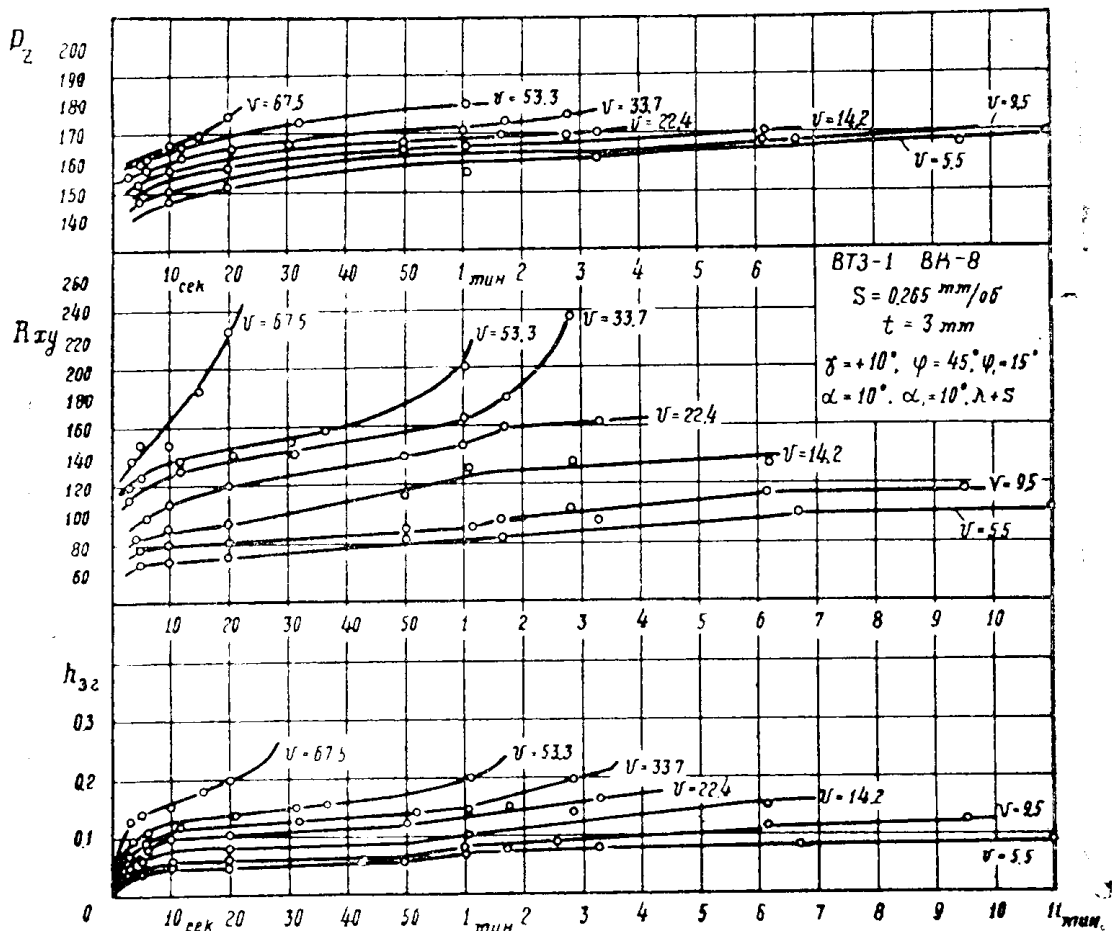


Рис. 1

сил резания с ростом скорости. Такая особенность роста равнодействующей горизонтальных сил  $R_{xy}$  при постоянном износе, но изменяющейся скорости резания объясняется завалом режущей кромки резца и изменением геометрии задней поверхности резца (подробно об этом сказано в статье Наумова В. А. «Износ твердосплавного резца по задней грани и его влияние на силу резания», напечатанной в этом же сборнике).

Вышеописанная методика позволила получить силовые зависимости при различных степенях износа резца и на определенных режимах установить зависимость стойкость — скорость.

По этой же методике был исследован вопрос влияния материала инструмента, а также геометрии инструмента на силу резания при обработке титановых сплавов. Для исследования влияния материала инструмента были отобраны пластинки твердого сплава марки BK8: BK6M; BK4; T15K6; T5K12B и TT7K12. Сравнительные опыты проводились на одной подаче  $S = 0,265$  мм/об и скорости  $V = 11$  м/мин при постоянной геометрии инструмента, использованной в основной серии опытов. По результатам этих опытов можно сделать вывод, что

двухкарбидные и трехкарбидные твердые сплавы совершенно непригодны для обработки титановых сплавов, что подтверждает мнение ряда исследователей [1, 2, 4] о химическом сродстве твердых сплавов титано-кобальтовой группы с обрабатываемым материалом — титановыми сплавами, вследствие чего происходит взаимодействие между контактными поверхностями резца и обрабатываемого металла.

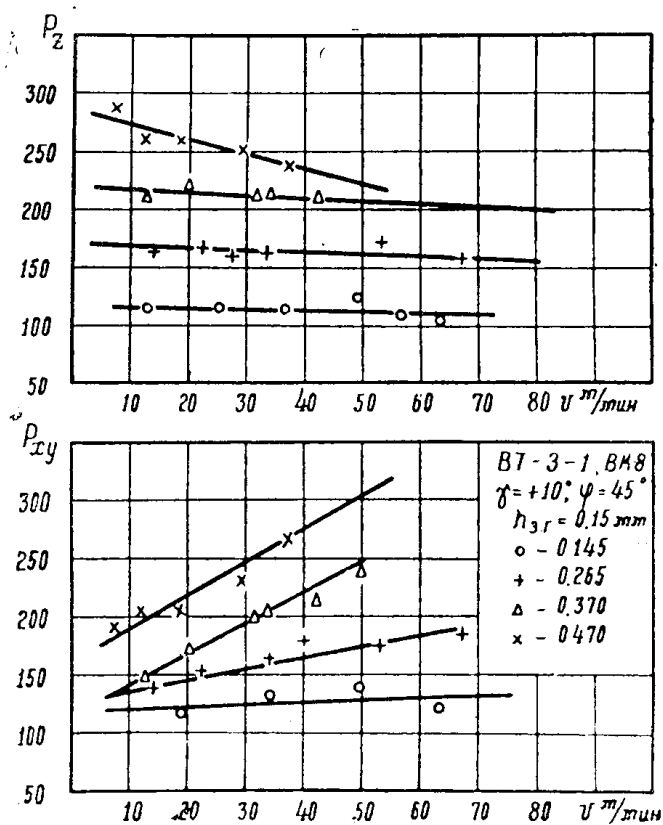


Рис. 2

В качестве инструментальных материалов при обработке титановых сплавов иногда используют и резцы из быстрорежущих сталей (отрезные, обдирочные, фасонные и др.). Поэтому аналогичные опыты были проведены с различными марками быстрорежущей стали: P18, P14Ф4, P9К10, минералокерамикой ЦМ332 и литым сплавом на основе вольфрама, кобальта, содержащим карбиды тантала (сплав А). Опыты проводились при постоянной скорости резания  $V = 11 \text{ м/мин}$ , подаче  $S = 0,265 \text{ мм/об.}$ , глубине  $t = 3 \text{ мм}$ . Из быстрорежущих сталей для обработки титановых сплавов наиболее пригодными можно считать кобальтовые стали и литой сплав А. Минералокерамические резцы по некоторым своим свойствам (красностойкость, износостойкость, отсутствие сродства по химическому составу) оказались бы очень ценным инструментальным материалом при обработке титановых сплавов, но одно отрицательное качество минералокерамики — повышенная хрупкость — тормозит применение этого инструментального материала при обработке малопластичных титановых сплавов. Плохая стойкость резцов из быстрорежущей стали P18 и вольфрам-ванадиевой быстрорежущей стали P14Ф4 объясняется тем, что при обработке титановых сплавов в зоне резания выделяется большое количество тепла и режущая часть инструмента сильно разогревает-

ся, а при таких условиях вольфрамованадиевые быстрорежущие стали не имеют преимущества перед быстрорежущей сталью P18. В этих случаях следует применять кобальтовые быстрорежущие стали, твердость которых при температуре  $500 \div 550^\circ\text{C}$  на несколько единиц по Роквеллу выше, чем стали P18, что и подтверждается нашими опытами.

В процессе резания отвод стружки, трение и степень пластической деформации снимаемого слоя, а тем самым нагрузка на резец, температура резания и стойкость его зависят от правильно выбранных геометрических параметров. В существующей литературе по результатам обрабатываемости титановых сплавов даны противоречивые рекомендации по выбору оптимальной геометрии твердосплавных резцов.

Для выяснения влияния геометрии инструмента на износ резцов и силовые зависимости при обработке титанового сплава BT3-1 были поставлены опыты по вышеуказанной методике. В качестве инструментального материала были взяты твердосплавные пластинки марки ВК8 одной партии. Исследовалось влияние переднего угла, так как остальные геометрические параметры не вызывали особого интереса и были приняты равными  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 15^\circ$ ,  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\alpha_1 = 10^\circ$ ,  $\lambda = +5^\circ$ . Пластинки затачивались с передними углами  $\gamma = +20^\circ$ ;  $\gamma = +10^\circ$ ;  $\gamma = 0^\circ$ ;  $\gamma = -10^\circ$ ;  $\gamma = -20^\circ$  и с фаской  $\gamma_\phi = -10^\circ$ , ширина фаски 0,2 мм, передний угол резца с фаской  $\gamma = +10^\circ$ .

Сравнительные испытания проводились с постоянной скоростью  $V = 21,6$  м/мин и подачей  $S = 0,265$  мм/об. Опыты проводились только до начала интенсивного износа резцов по задней грани.

Из опытов следует, что износ резцов с большими положительными углами идет более интенсивно, нежели с отрицательными, но зато величина главной составляющей силы резания  $P_z$  и равнодействующей горизонтальных сил  $P_{xy}$  существенно увеличивается с переходом от положительных передних углов к отрицательным. В этом отношении резец с отрицательным передним углом на фаске и положительным передним углом занимает промежуточное положение. Отсюда вытекает резонный вывод о целесообразности применения резцов с отрицательным передним углом на фаске и общим положительным передним углом при обработке труднообрабатываемых титановых сплавов на обдирочных режимах. При чистовых режимах большие значения силы резания при отрицательных передних углах, а также существенный рост сил при интенсивном затуплении на больших положительных передних углах могут вызвать недопустимые упругие деформации изделия, снижающие точность обработки и увеличивающие остаточные напряжения, что в свою очередь отрицательно сказывается на циклической прочности деталей из титановых сплавов. Поэтому на чистовых режимах обработки титановых сплавов целесообразно применение резцов с небольшими положительными передними углами  $\gamma = 8^\circ \div 10^\circ$ .

## Выводы

1. Главная составляющая силы резания  $P_z$  и равнодействующая горизонтальных сил  $R_{xy}$  при обработке титанового сплава BT3-1 заметно зависят от подачи, но еще более интенсивный рост равнодействующей  $R_{xy}$  наблюдается при износе резца по задней грани, а последний сильно увеличивается с ростом скорости.

2. Для обработки титановых сплавов в качестве твердосплавных резцов пригодны только пластинки твердого сплава вольфрам-ко-

бальтовой группы (ВК). В качестве инструментальных материалов возможно применение быстрорежущей кобальтовой стали марки Р9К5; Р9К10. Однако с применением быстрорежущих сталей режимы резания значительно снижаются.

3. Исходя из анализа влияния геометрии режущего инструмента на силы резания, можно сказать, что для тяжелых обдирочных работ нужно применять резцы с отрицательными передними углами или отрицательным передним углом на фаске в сочетании с положительным передним углом.

На чистовых операциях для повышения точности изготовления деталей из титановых сплавов и улучшения качества обрабатываемой поверхности следует применять режущий инструмент с положительными передними углами  $\gamma = +8^\circ \div +10^\circ$  без фаски.

4. При обработке титановых сплавов предъявляются повышенные требования к жесткости системы СПИД.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. П. Урывский, Б. С. Коротин. Исследование обрабатываемости титанового сплава ВТЗ-1. Тр. Всесоюзной межвузовской конференции, Куйбышев, 1962.
  2. М. Ф. Полетика. Исследование особенностей процесса резания титанового сплава ВТ-2. Изв. вузов СССР — Машиностроение, № 11, 1961.
  3. М. Ф. Полетика, А. И. Афонатов. Исследование процесса резания технического титана. Изв. ТПИ, т. 114, Томск, 1964.
  4. А. Ш. Шифрин, Л. М. Резницкий. Обработка резанием коррозионностойких жаропрочных и титановых сталей и сплавов. Машиностроение, 1964.
-