

СИЛОВЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

М. Ф. ПОЛЕТИКА, А. И. АФОНАСОВ

Изучение процессов обработки металлов резанием неразрывно связано с исследованием сил, возникающих при стружкообразовании. Величина и направление силы, возникающей при резании металлов, являются важными характеристиками этого процесса. Знание величин силы резания и ее составляющих необходимо для успешного разрешения многих практических вопросов. Например, при конструировании металлорежущих станков, оснастки и приспособлений, при разработке конструкций режущих инструментов, для разработки нормативных материалов по режимам резания. Кроме этого, точное определение силы резания и знание характера ее изменения в зависимости от различных факторов процесса резания совершенно обязательны во многих экспериментальных исследованиях процесса обработки металлов резанием (изучение напряженно деформированного состояния в зоне резания, изучение контактных явлений, исследование динамики износа инструмента и т. п.). Тем более актуальным становится вопрос изучения силовых зависимостей при точении трудно обрабатываемых сталей и сплавов.

Высокие механические характеристики некоторых сплавов титана в сочетании с особенностями, характеризующими процесс резания этих сплавов (малая длина контакта стружки с резцом, высокая температура в зоне резания и т. д.) приводят к быстрому износу инструмента. Это, в свою очередь, усложняет изучение силовых зависимостей и в ряде случаев делает необходимым применение специальных методик исследования.

Титановые сплавы ВТЗ-1 и ВТ6 относятся к числу трудно обрабатываемых сплавов. На основании данных, полученных Ф. П. Урывским и Б. С. Коротиним при исследовании обрабатываемости титанового сплава ВТЗ-1 [1] и наших наблюдений, в качестве режущего инструмента для проведения опытов по точению сплавов ВТЗ-1 и ВТ6 был взят твердый сплав марки ВК8 и ВК6М. Геометрия инструмента была выбрана близко к оптимальной и характеризовалась следующими параметрами: передний угол $+10^\circ$, задний угол $+10^\circ$, вспомогательный задний угол $+10^\circ$, главный угол в плане 45° , вспомогательный угол в плане 15° , угол наклона главной режущей кромки $0^\circ \div 5^\circ$. Поддача изменялась от 0,145 до 0,47 мм/об. Скорость резания изменялась от 4 м/мин до скорости, допускающей кратковременную работу резца,

на данной подаче без значительного затупления. Для измерения составляющих силы резания был использован трехкомпонентный упруго-электрический динамометр с проволочными тензодатчиками [2]. Динамометр использовался в комплекте с трехвалентным тензометрическим усилителем ИДД-2 и осциллографом МПО-2. Помимо силы резания измерялись температура резания (методом естественной термопары) с записью термоэлектродвижущей силы на тот же осциллограф МПО-2, длина контакта стружки с резцом, износ инструмента, время опыта. Сначала методика проведения опытов была обычной. Длительность каждого опыта не контролировалась. Результаты измерений показали, что с увеличением скорости резания и подачи изменения составляющих силы резания не имеют четкой закономерности, а контрольные опыты не повторяют предыдущих. Для раскрытия причин такой аномалии в силовых зависимостях был проанализирован износ инструмента по задней грани. Оказалось, что на разных режимах интенсивность износа инструмента не одинакова, а величины износа не сопоставимы. С целью получения устойчивых результатов при измерении силы резания пришлось отказаться от опытов с «острым» резцом и предусматривать некоторое предварительное естественное затупление инструмента на большой подаче и скорости резания. Этим обеспечивалось постоянство износа по заданной грани на меньших подачах и скоростях. Подобной методикой пользовался Р. Ф. Макаров [3] и М. Ф. Полетика [4]. В последующем был испробован метод искусственного и естественного предварительного износа. Однако добиться постоянства износа на значительных скоростях резания и больших подачах, даже в процессе кратковременного опыта, не удалось.

Результаты предварительных опытов свидетельствуют о том, что получение четких силовых зависимостей на разных режимах при точении трудно обрабатываемых сплавов очень затруднительно из-за износа инструмента. После ряда поисков была разработана новая методика исследования силовых зависимостей при интенсивном износе инструмента. Суть этой методики описана ранее [5].

Для сплава ВТ6 механические характеристики прочности немного ниже, чем для сплава ВТЗ-1. Сплав ВТ6 пластичнее, чем сплав ВТЗ-1. Изучение силовых зависимостей при точении сплава ВТ6 проводилось по той же методике, что и для сплава ВТЗ-1.

Поскольку сплав ВТ6 обладает лучшей обрабатываемостью, чем сплав ВТЗ-1, то это позволило провести исследования на более высоких скоростях резания. Для изучения износа инструмента и определения качественного и количественного влияния его на составляющие силы резания на всех исследуемых режимах и степенях износа брались слепки с режущего лезвия инструмента. Процесс резания сплава ВТ6 протекает аналогично рассмотренному для сплава ВТЗ-1. Превалирующим износом инструмента является износ по задней грани. До величины $h_{зг} = 0,2$ мм износ нарастает плавно. В полном соответствии с величиной износа изменяются и составляющие силы резания. Наиболее чувствительна горизонтальная составляющая R_{xy} . Опытные данные, показывающие изменение составляющих силы резания P_z и R_{xy} в зависимости от скорости резания и износа инструмента, представлены на рис. 1. Для экономии места приводятся данные только для подачи $s = 0,26$ мм/об. Из подобных зависимостей для разных подач (от 0,15 — 0,47) можно получить общую картину изменения составляющих силы резания на всех исследуемых режимах при каком-то постоянном износе по задней грани. На рис. 2 приводится график, отражающий изменение составляющих P_z и R_{xy} для случая точения сплава

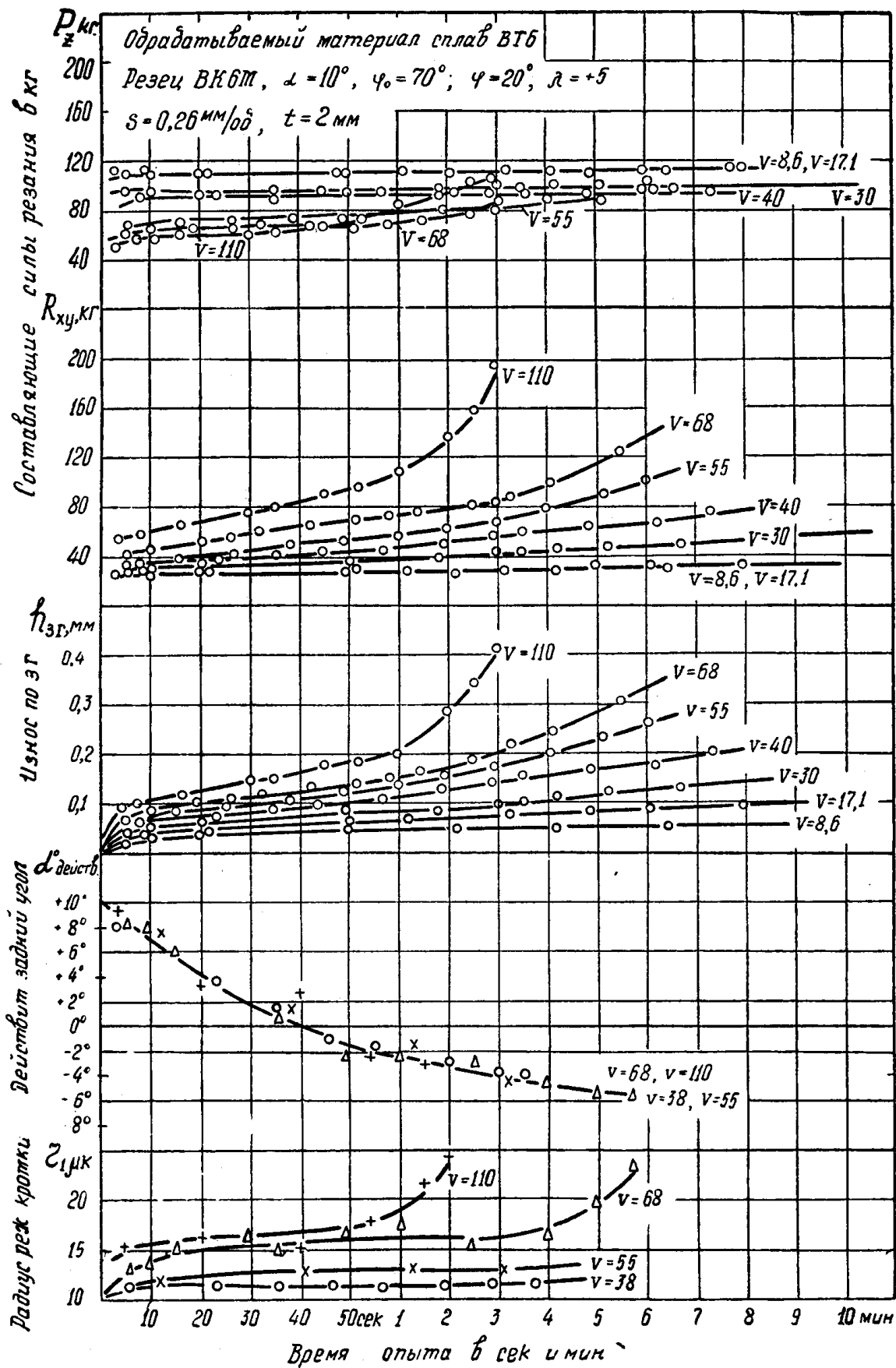


Рис. 1

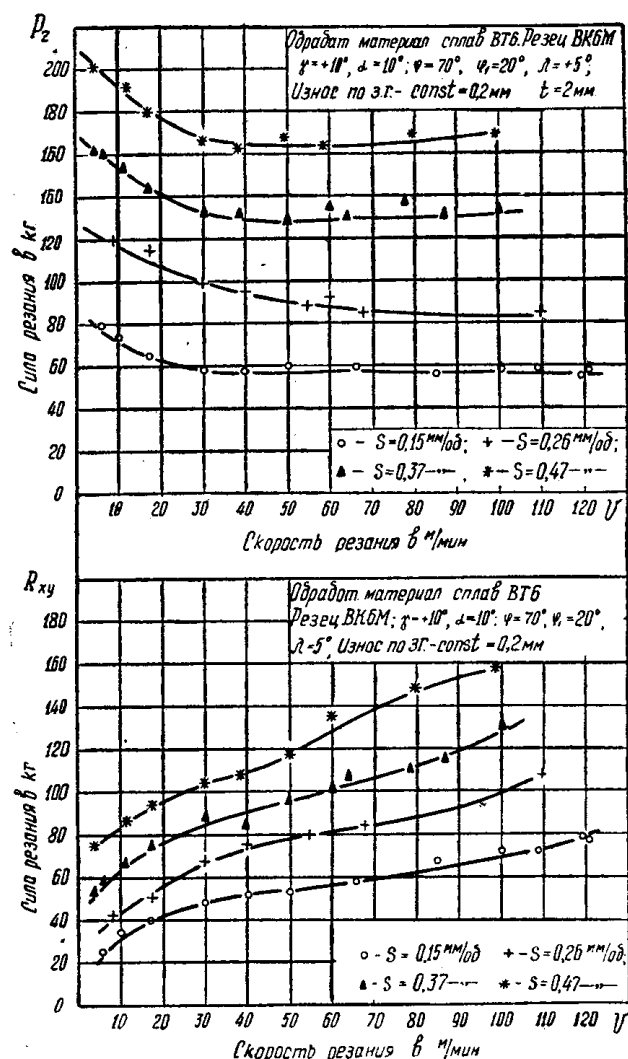


Рис. 2

ВТ6 на исследуемых режимах при постоянном износе по задней грани $h_{зг} = 0,2 \text{ мм}$. Характер изменения составляющих силы резания остался таким же, как и для сплава ВТЗ-1, но уровень сил, в сравнении со сплавом ВТЗ-1 для одинаковых сечений среза и режимов резания, значительно уменьшился. Величины сил, действующих на задней грани инструмента, определялись методом экстраполяции на нулевую толщину среза линий зависимости силы от подачи при постоянном угле наклона плоскости сдвига β_1 и при постоянном износе. Причем износ должен быть не более $0,2 \text{ мм}$. После разделения сил, действующих на передней и задней гранях инструмента, представилась возможность более подробно проанализировать процесс резания при точении титанового сплава ВТЗ-1 и ВТ6. Кривые, иллюстрирующие изменение составляющих силы резания, приложенных к передней и задней граням инструмента на разных режимах резания и при постоянном износе, представлены на рис. 3. Как следует из графиков, изменение сил на передней грани в функции от скорости и подачи подчиняется закономерности для всех сплавов титана. Силы на задней грани инструмента имеют большой удельный вес в общем балансе сил и определяют характер их изменения. В особой мере это относится к нормальной составляю-

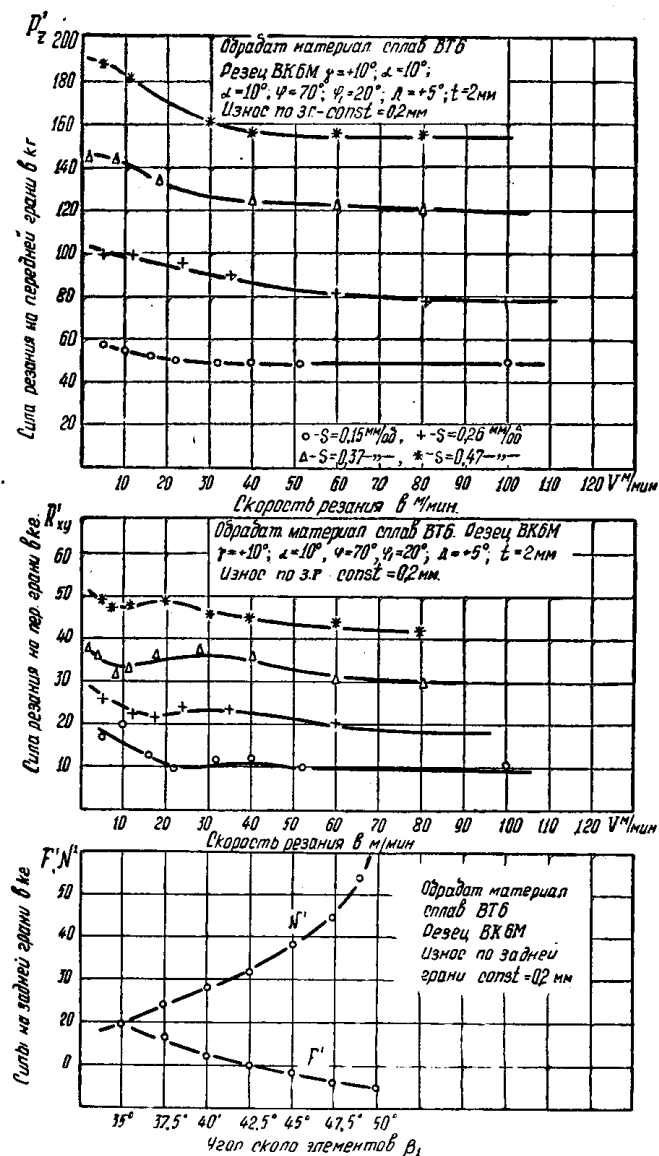


Рис. 3

шей, которая с ростом скорости резания увеличивается в несколько раз. Для рассматриваемого случая мы имеем увеличение нормальной силы на задней грани в три раза. Сила трения на задней грани инструмента с ростом скорости резания уменьшается. Подобный характер изменения сил на задней грани хорошо согласуется с данными других авторов [3].

Абсолютные значения величин сил, действующих на заднюю грань инструмента, находятся в прямой зависимости от величины износа и твердости обрабатываемого материала. Снижение силы трения на задней грани инструмента с увеличением скорости резания может быть следствием падения сопротивления сдвигу в слое металла, проходящего вдоль задней поверхности (обработанной поверхности). Но подобное влияние возможно при очень высоких температурах на задней грани. Следовательно, уменьшение силы трения возможно не только за счет «размягчения» контактного слоя металла. Одной из причин снижения силы трения на передней грани является активизация титана с окружа-

ющей атмосферой вследствие роста температуры при увеличении скорости резания [4]. Подобное явление должно иметь место и на задней грани. С рассмотренных позиций совершенно не объясним рост нормальной составляющей на задней грани инструмента при постоянном износе. Тем более, что при выделении сил на задней грани инструмента в какой-то мере обеспечено условие постоянства геометрии режущего клина при определенных степенях затупления. Поэтому объяснить значительный рост нормальной составляющей на задней грани инструмента изменением геометрии режущего клина (радиус округления и действительный угол на фаске износа) полностью не представляется возможным.

Постараемся объяснить с существующих позиций значительный рост нормальной силы на задней грани с увеличением скорости резания в процессе обработки малопластичных сплавов титана. Увеличение скорости резания, в первую очередь, приводит к интенсивному износу инструмента по задней грани, при этом меняется не только величина фаски износа, но и геометрия задней поверхности. Это приводит к росту нормальной и касательной сил на задней грани. Подобный факт хорошо известен в теории и практике обработки металлов резанием. В то же время эксперимент вскрывает значительный рост нормальной силы на задней поверхности инструмента с увеличением скорости резания при постоянной фаске износа. Хотя и принято наблюдаемое явление объяснять с позиций уменьшения коэффициента трения, но на наш взгляд этот вопрос требует более детального объяснения.

Исходя из схемы взаимодействия изношенной задней поверхности инструмента с обрабатываемым материалом и учитывая физико-химические особенности сплавов титана, следует ожидать, что с повышением скорости резания рост нормальной нагрузки на заднюю поверхность будет связан с увеличением скорости пластической деформации. Вопрос о влиянии скорости пластической деформации на механические свойства титановых сплавов обсуждался в литературе [6], где отмечается повышенная чувствительность этих сплавов к скорости деформирования. С повышением скорости деформирования у титановых сплавов понижаются пластические свойства и вместе с тем повышается сопротивление пластической деформации. Это дает право утверждать, что и предел текучести для сплавов титана должен возрастать с увеличением скорости деформирования.

Отсутствие надежных количественных данных о сопротивлении титановых сплавов пластической деформации при различной скорости деформации затрудняет окончательное решение этого вопроса. Однако описанные выше рассуждения представляются нам наиболее вероятными в объяснении механизма роста нормальной силы на задней поверхности инструмента с увеличением скорости резания при обработке малопластичных сплавов титана. Анализируя влияние скорости деформации в целом на процесс резания титановых сплавов, можно отметить две особенности. С одной стороны, чувствительность к скорости деформации способствует уменьшению силы резания (увеличение хрупкости в процессе стружкообразования), а с другой стороны, способствует увеличению нагрузки на режущий инструмент со стороны задней грани. Последнее является одной из причин интенсивного износа инструмента по задней поверхности и роста составляющих силы резания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. П. Урывский, Б. С. Коротин. Исследование обрабатываемости титанового сплава ВТЗ-1 и жаропрочной стали ЭН787. Труды Всесоюзной межвузовской конференции, Куйбышев, 1962.

2. В. И. Васильев. Применение проволочных датчиков для измерения сил резания при обработке металлов. Периодическая информация. Тема № 28, № К-54-83, М., 1963.

3. А. И. Промитов, Р. В. Макаров. О влиянии скорости резания и подачи на силы при точении сплава ВТЗ-1. Труды Иркутского политехнического института. Выпуск 36, серия машиностроения, Иркутск, 1967.

4. М. Ф. Полетика. Исследование особенностей процесса резания титанового сплава ВТ-2. Известия вузов СССР. «Машиностроение», № 11, 1961.

5. Г. Л. Куфарев, А. И. Афонасов. Исследование процесса резания титановых сплавов. Известия Томского политехнического института, том 147, 1965.

6. Л. С. Мороз, Б. Б. Чечулин и др. Титан и его сплавы, том I, Судпромиздат, Л., 1960.
