

## Машиностроение

УДК 621.9.025.7

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT8

*А.Н. Белов*

Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*Приведены результаты сравнительных исследований процесса стружкообразования в процессе точения титанового сплава VT8 твердосплавными инструментами с покрытием из карбида ниобия и без покрытия. Натурными экспериментами установлено, что покрытие оказывает значительное влияние на шаг элементов стружки, толщину контактного слоя, угол сдвига, относительный сдвиг и длину контакта стружки с передней поверхностью режущего инструмента. Результаты исследований показывают, что при резании инструментом с покрытием уменьшается степень адгезионного и диффузионного взаимодействия на длине контакта инструмента со стружкой.*

**Ключевые слова:** титановый сплав, стружкообразование, корень стружки, покрытие из карбида ниобия, длина контакта, режимы резания.

Как отмечалось в публикации автора [1], характерной особенностью стружкообразования при продольном резании титановых сплавов является преобладание деформации сдвига в зоне резания, обусловленное своеобразием кристаллической структуры титановых сплавов. Срезаемые элементы имеют вид, приближающийся к форме прямоугольных треугольников, прочно связанных между собой сильно деформированным контактным слоем, что вполне соответствует классической схеме образования элементной стружки (рис. 1).

Из приведенных на рис. 2 микрофотографий корней стружек видно, что отдельные элементы являются следствием последовательных сдвигов. Как видим, с увеличением скорости резания характер стружкообразования изменяется относительно мало.

Величина  $a_2$ , характеризующая толщину контактного слоя, уменьшается незначительно, а элементность стружки несколько увеличивается. С увеличением скорости резания процесс стабилизируется. Если при скорости резания  $V = 35$  м/мин толщина стружки  $a_1$  заметно меняется, то при  $V = 120$  м/мин толщина стружки почти постоянна, так же как и шаг элементов  $t$ .

Из литературных данных [2], [3] известно, что с увеличением скорости резания при обработке титановых сплавов элементность стружки сильно возрастает. Причиной такого явления считается повышенная чувствительность титановых

---

*Анатолий Николаевич Белов (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Транспортные процессы и технологические комплексы».*

сплавов к скорости деформирования, а также явление охрупчивания стружки в результате интенсивного поглощения ею кислорода и азота воздуха.

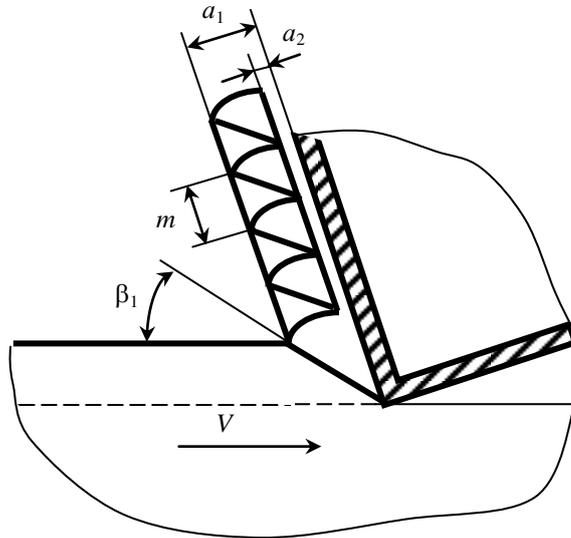


Рис. 1. Схема образования элементной стружки:  
 $a_1$  – толщина стружки;  $a_2$  – толщина контактного слоя;  $t$  – шаг элементов;  
 $\beta_1$  – угол сдвига



*a*



*б*

Рис. 2. Корни стружки титанового сплава ВТ8:  
*a* –  $S = 016$  мм/об,  $t = 2$  мм,  $V = 35$  м/мин, режущий инструмент – ВК8; Х32;  
*б* –  $S = 016$  мм/об,  $t = 2$  мм,  $V = 120$  м/мин, режущий инструмент – ВК8; Х32

Незначительное изменение элементности стружки ВТ8 с ростом скорости резания, полученное в наших опытах, может найти свое объяснение с позиций влияния температуры на пластические и упругие свойства этого сплава.

До температур 500–600 °С темп уменьшения модуля упругости опережает рост пластичности: пластичность сплава  $\delta/\sigma_b$  до 600 °С увеличивается на 25 %, в то время как модуль упругости падает на 35 %. При дальнейшем увеличении температуры пластичность сплава ВТ8 увеличивается значительно быстрее, чем уменьшается модуль упругости. Так, при 800 °С увеличение пластичности достигает 400 %, а модуль упругости уменьшается всего на 57 % [4].

Следовательно, если только учитывать воздействие температуры, то до 500–600 °С склонность к элементности стружки должна увеличиваться, так как сдвиговые деформации происходят легче при более низком модуле упругости. При дальнейшем увеличении температуры элементность стружки должна уменьшаться.

При резании мы имеем дело с совместным воздействием температуры и скорости, так называемым температурно-скоростным фактором. По-видимому, в зоне резания титановых сплавов конкурируют несколько процессов: увеличение пластичности с ростом температуры, повышенная чувствительность к скорости деформирования и возможное явление охрупчивания поверхностного слоя из-за сильного поглощения газов.

Результаты измерений параметров  $a_2$  и  $m$  на корнях стружек в зависимости от скорости резания представлены на рис. 3. Как следует из приведенных графиков, шаг элементов  $m$  больше при резании инструментом с покрытием, а толщина контактного слоя в то же время меньше.

Уменьшение толщины контактного слоя стружки  $a_2$  в случае резания инструментом с покрытием свидетельствует о меньшей степени деформации в процессе трения сходящей стружки по передней поверхности резца. Эти данные хорошо коррелируют с результатами по усадке стружки.

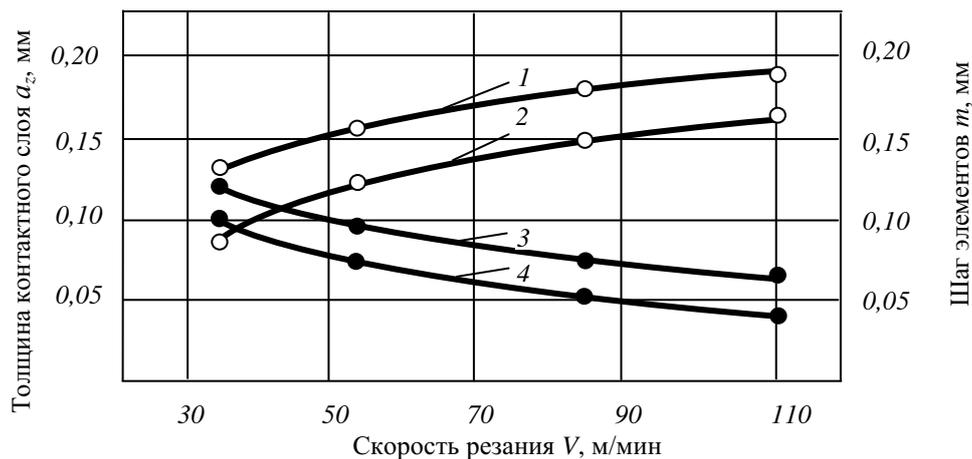


Рис. 3. Влияние скорости на шаг элементов  $m$  и толщину контактного слоя  $a_2$  ( $S = 0,16$  мм/об;  $t = 1$  мм):  
1, 2 –  $m$ ; 3, 4 –  $a_2$ ; 1, 4 – ВК8 + NbC; 2, 3 – ВК8

Зависимости  $a_2$  и  $m$  от подачи, представленные на рис. 4, хорошо иллюстрируются микрофотографиями корней стружки, приведенными на рис. 5.

При небольшой величине подачи, равной 0,08 мм/об, элементы слабо обозначены. Увеличение подачи до 0,24 мм/об приводит к значительному росту шага элементов и толщины контактного слоя стружки.

Одной из причин увеличения шага элементов  $m$  и уменьшения параметра  $a_2$  для инструментов с покрытием может являться уменьшение среднего коэффициента трения на передней поверхности инструмента и связанное с этим фактом изменение направления действия равнодействующей внешних сил.

Результаты влияния скорости резания и подачи на угол сдвига  $\beta_1$  и величину относительного сдвига  $\epsilon_s$  для элементной стружки представлены на рис. 6 и 7.

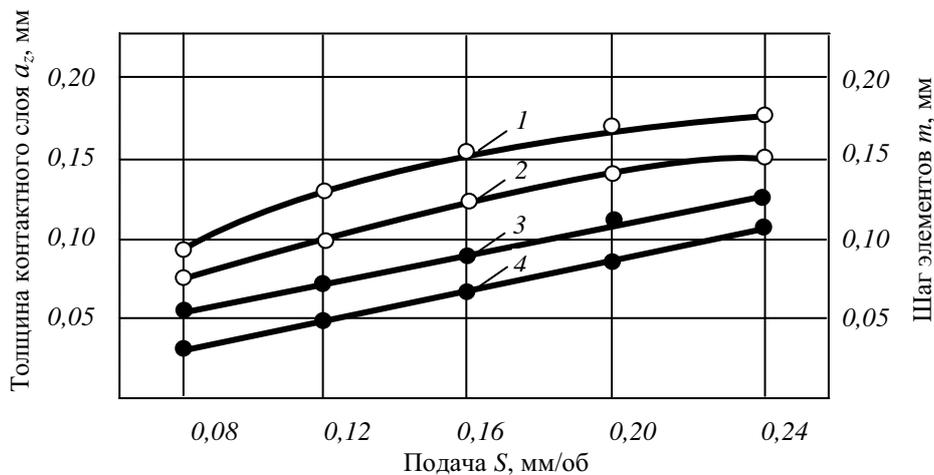
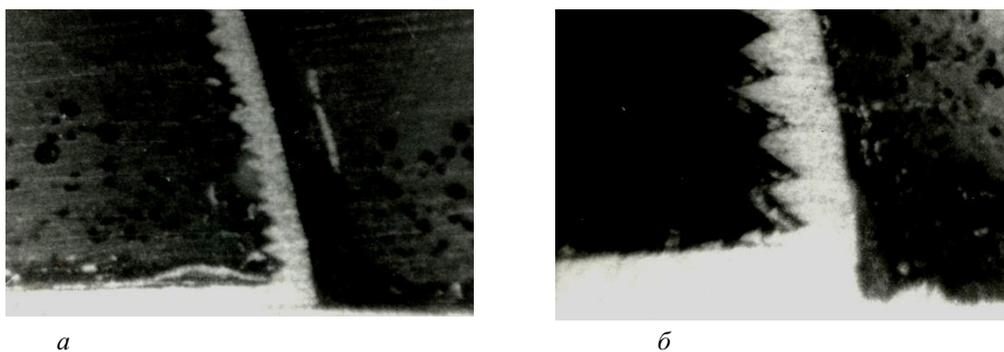


Рис. 4. Влияние подачи на шаг элементов  $m$  и толщину  $a_2$  контактного слоя ( $V = 55$  м/мин;  $t = 1$  мм): 1, 2 –  $m$ ; 3, 4 –  $a_2$ ; 1, 4 – ВК8 + NbC; 2, 3 – ВК8



а

б

Рис. 5. Корни стружки титанового сплава ВТ8:

а –  $S = 0,08$  мм/об,  $t = 2$  мм,  $V = 55$  м/мин, режущий инструмент – ВК8 + NbC; X32;

б –  $S = 0,24$  мм/об,  $t = 2$  мм,  $V = 55$  м/мин, режущий инструмент – ВК8 + NbC; X32

Из этих графиков очевидно, что с увеличением скорости резания и подачи величина угла сдвига  $\beta_1$  увеличивается, а относительный сдвиг  $\varepsilon_s$  уменьшается. Изменение  $\beta_1$  и  $\varepsilon_s$  находится в полном соответствии с изменением величины усадки стружки. Величина угла сдвига  $\beta_1$  для инструмента с покрытием больше, а относительный сдвиг меньше, чем для стандартного твердого сплава ВК8.

Увеличение угла сдвига и уменьшение относительного сдвига свидетельствует о том, что процесс резания инструментом с покрытием из карбида ниобия происходит с меньшей степенью пластической деформации.

Исследовалась также зависимость длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента. Длина контакта стружки реагирует на изменение почти любого внешнего действующего фактора: скорости резания, ширины и толщины среза, свойств инструментального и обрабатываемого материалов и т. д.

На рис. 8 и 9 представлены результаты измерения длины контакта  $l_n$  стружки с передней поверхностью реза. Согласно полученным зависимостям наиболь-

шее влияние на длину контакта оказывает подача. С увеличением подачи длина контакта увеличивается.

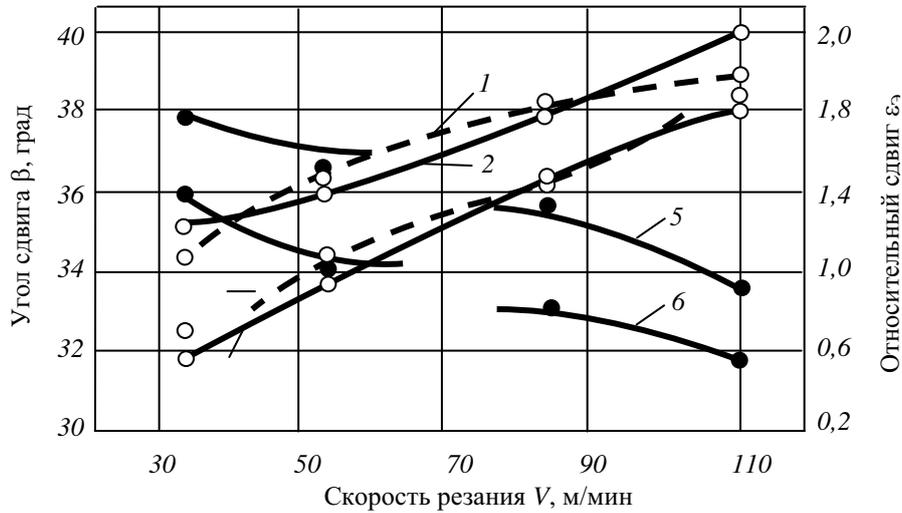


Рис. 6. Влияние скорости резания на относительный сдвиг и угол сдвига ( $S = 0,16$  мм/об;  $t = 1$  мм): 1, 2, 3, 4 –  $\beta_1$ ; 5, 6 –  $\epsilon_3$ ; 1, 2, 6 – BK8 + NbC; 3, 4, 5 – BK8; 1, 3 – эксперимент

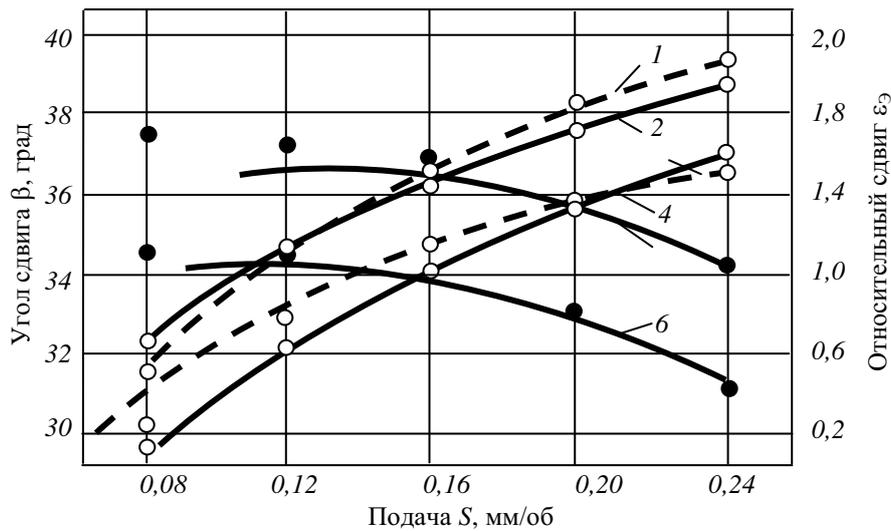


Рис. 7. Влияние подачи на относительный сдвиг и угол сдвига  
1, 2, 3, 4 –  $\beta_1$ ; 5, 6 –  $\epsilon_3$ ; 1, 2, 6 – BK8 + NbC; 3, 4, 5 – BK8; 1, 3 – эксперимент

Полученные данные хорошо коррелируют с данными работы [5], где установлено, что только толщина среза непосредственно влияет на длину контакта, а остальные факторы воздействуют на нее преимущественно через изменение усадки стружки. Длина контакта для инструмента с покрытием меньше, чем для инструмента без покрытия, причем с увеличением подачи разница в величинах длин контакта уменьшается.

С увеличением скорости резания длина контакта уменьшается. Характер изменения кривых одинаков для режущих пластин BK8 и без покрытия, и с покры-

тием. Длина контакта наиболее интенсивно уменьшается в диапазоне скоростей 35–60 м/мин, затем кривые выполаживаются. Отметим, что и в этом случае длина контакта для инструмента с покрытием меньше.

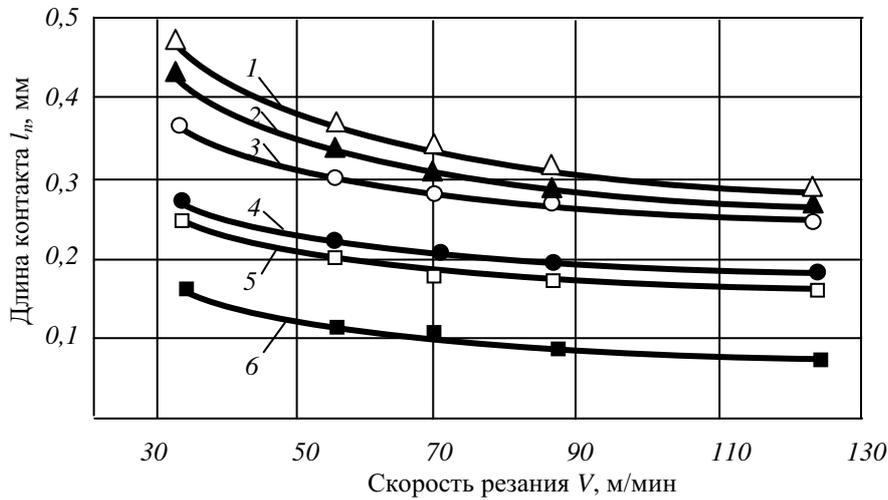


Рис. 8. Влияние скорости резания на длину контакта:  
 1, 2 –  $S = 0,24$  мм/об; 3, 4 –  $S = 0,16$  мм/об; 5, 6 –  $S = 0,08$  мм/об;  $t = 1$  мм;  
 1, 3, 5 – BK8; 2, 4, 6 – BK8 + NbC

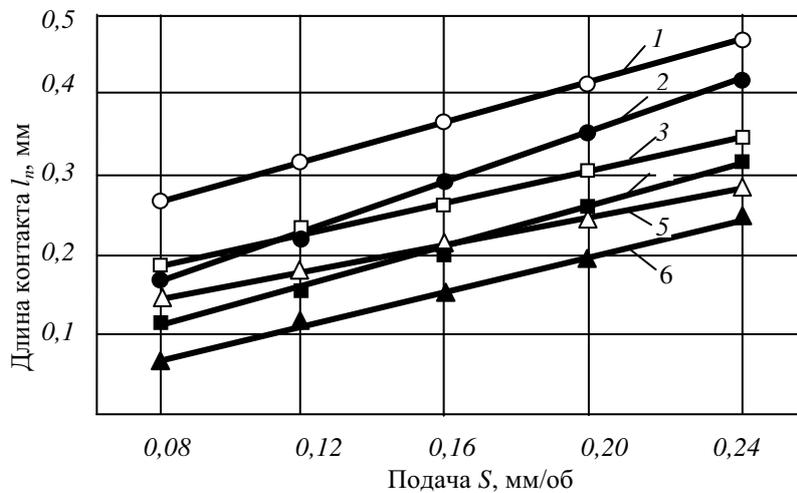


Рис. 9. Влияние подачи на длину контакта:  
 1, 2 –  $V = 35$  м/мин; 3, 4 –  $V = 70$  м/мин; 5, 6 –  $V = 120$  м/мин;  $t = 1$  мм;  
 1, 3, 5 – BK8; 2, 4, 6 – BK8 + NbC

Как установлено [6], инструментальный материал оказывает воздействие на длину контакта стружки через теплофизические и адгезионно-поверхностные свойства. При этом с увеличением теплопроводности материала инструмента длина контакта и усадка стружки увеличиваются, уменьшается среднее контактное давление, что приводит к увеличению коэффициента трения. С увеличением способности обрабатываемого и инструментального материалов образовывать твердые растворы и интерметаллические соединения, иначе говоря, с увеличени-

ем адгезионного и диффузионного взаимодействия на длине контакта, усадка стружки и длина контакта увеличиваются.

Твердый сплав ВК8 без покрытия имеет большую теплопроводность и, как можно предполагать, большую адгезионную активность к титановому сплаву ВТ8, чем тот же твердый сплав, но с покрытием из карбида ниобия, и, как следует из представленных экспериментальных результатов, большую длину контакта и усадку стружки. Уменьшение адгезионного и диффузионного взаимодействия на длине контакта передней поверхности инструмента со стружкой в случае резания инструментом из карбида ниобия должно уменьшить и средний коэффициент трения, и, как следствие, износ инструмента.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белов А.Н. Исследование процесса стружкообразования при точении титанового сплава ВТ8 // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2013. – № 3(39). – С. 120–123.
2. Кривоухов В.А., Чубаров А.Д. Обработка резанием титановых сплавов. – М.: Машиностроение, 1970. – 120 с.
3. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. – М.: Высшая школа, 1974. – 590 с.
4. Солонина О.П., Глазунов С.Г. Жаропрочные титановые сплавы. – М.: Металлургия, 1976. – 448 с.
5. Режущие твердосплавные пластины с двухслойным износостойким покрытием // Экспресс-информация. Сер. Режущие инструменты. – М.: ВИНТИ, 1975. – № 19. – С. 31-36.
6. Развитие науки о резании металлов / под ред. Зорева Н. Н. – М.: Машиностроение, 1967. – 414 с.

*Статья поступила в редакцию 15 января 2015 г.*

## THE COMPERATIVE ANALYLISIS OF SHAVING FORMING PROCESS DURING BT8 TITANIUM ALLOY SHAPING

**A.N. Belov**

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia

*The results of the comparative investigations into cuttings forming during BT8 titanium alloy shaping by tools made of hard-facing alloys, niobium-carbide coated or not, are presented. It was established by the location experiments that the coating affects considerably the pace of cuttings, the thickness of a contact layer, the angle of a shift, the relative shift and the contact length with the front surface of a cutting tool. The investigations results show that the degree of adhesive and diffusive contact length interaction of a tool with cuttings is decreased.*

**Keywords:** titanium alloy, shaping, shaping's root, covering of niobium carbide, contact's length, cutting modes.

---

Anatoly N. Belov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.