

УДК 621.91.01

С. В. Жилиев, кандидат технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет
К. А. Копылов, магистрант, Ижевский государственный технический университет
С. Д. Кугультинов, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет
И. В. Попов, аспирант, Ижевский государственный технический университет

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Приведены результаты математического моделирования и экспериментальных исследований по влиянию режимов обработки на температуру режущей кромки при точении титанового сплава ВТ-6.

Ключевые слова: температура, обработка резанием, температурное поле, титановые сплавы, математическое моделирование, экспериментальное исследование.

Среди конструкционных материалов в авиации, ракетостроении и ряде других отраслей промышленности значительное применение нашли титановые сплавы благодаря сочетанию высокой прочности и невысокого удельного веса, выгодно отличающих их от сплавов на основе железа, никеля, алюминия и других металлов. Высокая температура плавления титана обуславливает получение на его основе жаропрочных сплавов, а низкий коэффициент линейного расширения – высокую сопротивляемость титановых сплавов термической усталости. Высокая коррозионная стойкость титана позволяет использовать титановые сплавы для работы в различных агрессивных средах. Титановые сплавы используются для изготовления многих ответственных деталей ракетной техники, испытывающих значительные знакопеременные нагрузки при повышенных температурах.

Одним из наиболее широко используемых титановых сплавов в аэрокосмической промышленности является сплав марки ВТ-6.

Титановый сплав ВТ-6, получаемый путем легирования титана алюминием (5,5–7,0 %) и ванадием (4,2–6,0 %), относится к ($\alpha + \beta$)-сплавам. Эти сплавы более прочны, чем однофазные, хорошо куются и штампуются, поддаются термической обработке, охрупчиваются лишь при некоторых условиях термической обработки (появляется ω -фаза). Однако их обработка резанием имеет ряд особенностей, среди которых основными являются малая пластичность и высокая химическая активность, приводящая к активному взаимодействию с кислородом, азотом, водородом и углеродом. В результате они с Ti α и Ti β образуют твердые растворы замещения, резко снижающие пластичность.

Это вынуждает большинство машиностроительных предприятий, занимающихся обработкой титана и его сплавов, работать на очень низких режимах резания, что существенно снижает эффективность механической обработки. В частности одним из узких мест в производстве является растачивание отверстий больших диаметров в деталях из титанового сплава ВТ-6 типа фланец, обечайка и шпангоут боль-

ших диаметров на длину от 300 до 500 мм. При растачивании таких отверстий стойкости режущего инструмента недостаточно для обработки всей поверхности. В местах остановки резца для его замены наблюдается неровность в виде ступени, пределы которой 0,2...0,5 мм. Наличие таких дефектов на обработанной поверхности недопустимо, и поэтому требуются дополнительные технологические операции для их удаления, что увеличивает трудоемкость обработки.

Интенсивность изнашивания режущего инструмента возрастает по мере увеличения температуры резания, и поэтому ее знание весьма актуально.

В настоящей работе приведены результаты математического моделирования и экспериментальных исследований температуры в зоне резания при точении титанового сплава ВТ-6 в зависимости от режимов обработки, влияние которых, как показывает анализ литературных источников [1, 2], неодинаково. Так, температура резания в большей мере зависит от скорости резания, чем от подачи и глубины резания.

Для расчета температуры режущей кромки необходимо определить количество подводимой к резу тепло Q , возникающей в результате деформации обрабатываемого материала $Q_{\text{п}}$ и работы трения на контактных поверхностях инструмента $Q_{\text{тр}}$.

Количество теплоты, выделяемого в процессе деформации зависит от силы резания P_z зависимость которой от скорости резания V , величины подачи S и глубины резания t можно определить на основе экспериментальных данных, опубликованных в статье [3]. Интерполяция данных позволяет получить соответствующие степенные зависимости:

$$P_z(t) = 562,59t^{0,6572};$$

$$P_z(S) = 1322,4S^{0,3243};$$

$$P_z(V) = 1285V^{-0,143}.$$

Общая степенная зависимость примет вид

$$P_z = 1670,3t^{0,6572}S^{0,3243}V^{-0,143}.$$

Производимая работа в процессе резания определяется по формуле $A = P_z L$, где L – перемещение резца за анализируемый промежуток времени, которое зависит от скорости резания, $L = V\tau$, откуда $A = P_z V\tau$.

Для перехода к определению количества тепла, которое возникает в процессе резания, используем допущение, что все тепло преобразуется из работы механических сил в виде механической мощности процесса N в тепловую энергию, откуда $N = Q = A/\tau = P_z V$. Кроме того, дополнительным источником тепла является трение, характеризуемое силой:

$$P_{тр} = P_z f,$$

где f – коэффициент трения равный 0,3 (для пары трения карбид вольфрама – титан).

Таким образом, выражение для определения тепловой энергии с учетом всех преобразований примет вид

$$Q = 1,3 P_z V.$$

Расчеты будем производить без учета и с учетом вклада силы трения в общий процесс теплообмена с учетом ряда допущений:

1. Тепло, выделяемое в процессе резания, передается на резец по линии А – главной режущей кромки (рис. 1).

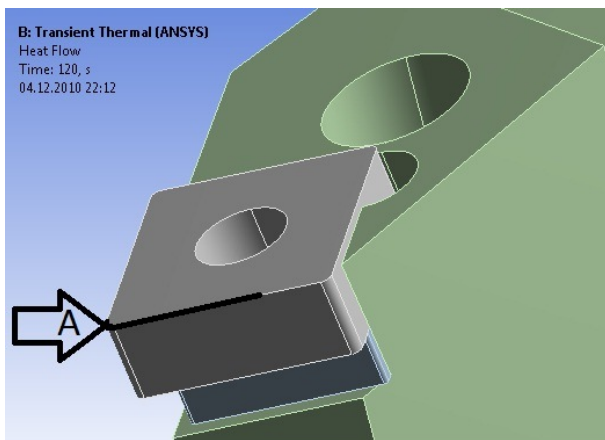


Рис. 1. Участок главной режущей кромки, воспринимающий основную часть тепловой энергии, возникающей в процессе резания за счет сил упругопластических деформаций

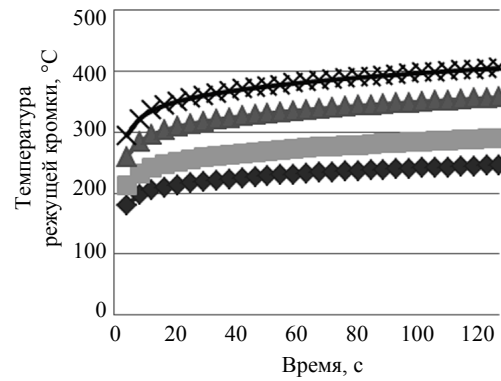
2. Сила трения возникает на передней поверхности резца.

3. Начальная температура всех элементов резца равна температуре окружающей среды (20 °С).

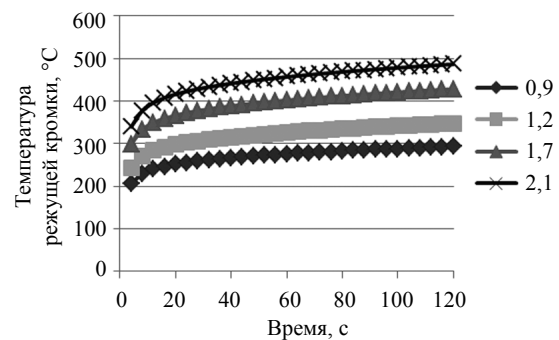
4. Теплообмен с окружающей средой происходит в виде излучения.

5. Теплофизические характеристики материалов постоянны и не зависят от температуры.

Численное моделирование температуры резания проводилось методом конечных элементов в системе ANSYS. Результаты моделирования в зависимости от режимов обработки представлены на рис. 2, 3 и 4.

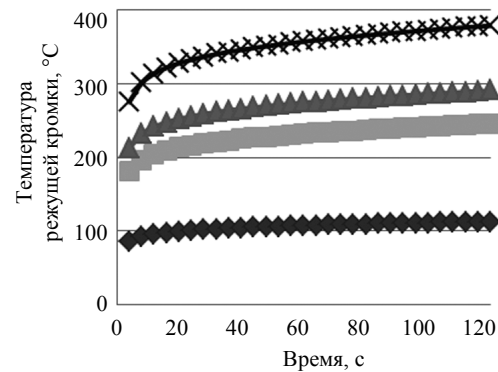


а

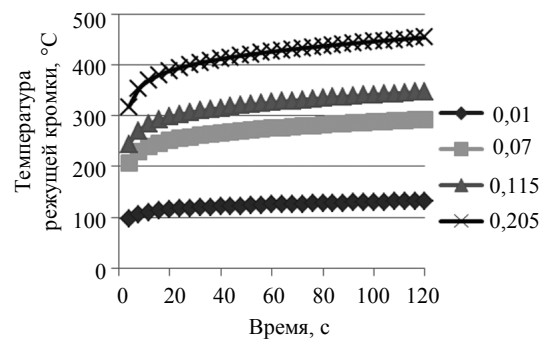


б

Рис. 2. Зависимость температуры режущей кромки от глубины резания и времени: а – без учета сил трения; б – с учетом сил трения при резании ($t = 1,5$ мм; $V = 18,84$ м/мин)



а



б

Рис. 3. Зависимость температуры режущей кромки от подачи и времени: а – без учета сил трения; б – с учетом сил трения при резании ($S = 0,15$ мм/об; $V = 18,84$ м/мин)

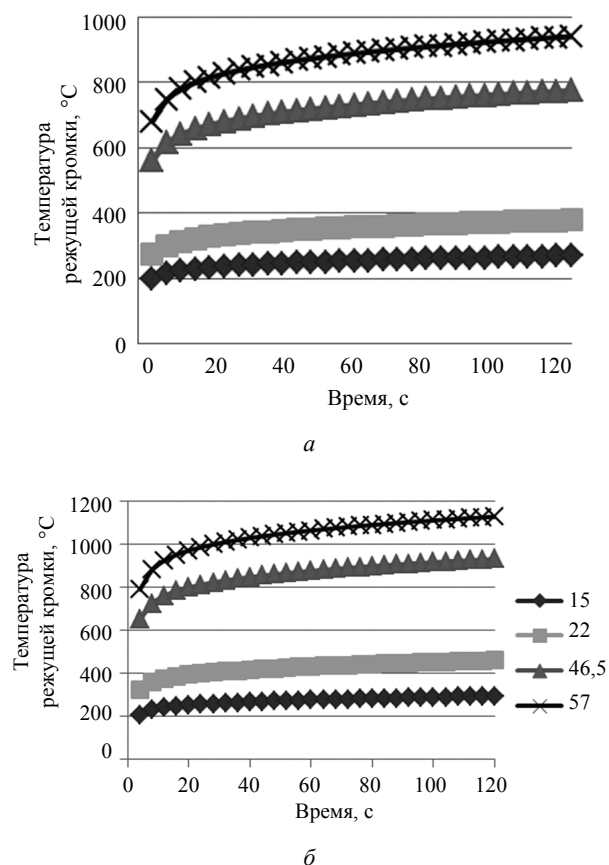


Рис. 4. Зависимость температуры режущей кромки от скорости резания и времени: *a* – без учета сил трения; *б* – с учетом сил трения при резании ($t = 1,5$ мм; $S = 0,15$ мм/об)

По результатам численного моделирования получены степенные зависимости температуры режущей кромки от режимов обработки без учета сил трения:

$$T = 31,3177t^{0,592}S^{0,3973}V^{0,9415};$$

с учетом силы трения:

$$T = 35,3177t^{0,5981}S^{0,4052}V^{0,9963}.$$

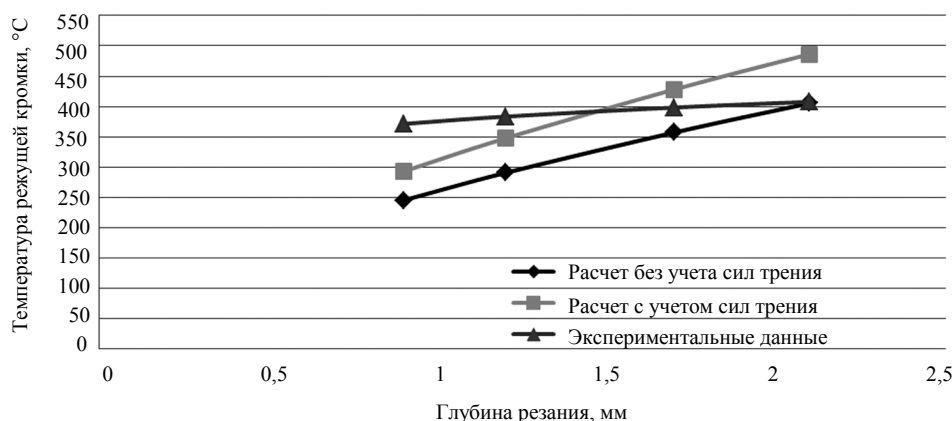


Рис. 5. Зависимость температуры режущей кромки пластинки резца от глубины резания ($S = 0,15$ мм/об; $V = 18,84$ м/мин)

Экспериментальные исследования проводились на токарно-винторезном станке ИБ11П.

Температура в зоне резания измерялась инфракрасным пирометром Raynger 3i 2ML2. С помощью специально изготовленного штатива пирометр закреплялся в резцедержателе под углом 45° к продольной оси заготовки на удалении 500 мм от режущей кромки резца. Точность установки пирометра контролировалась с помощью лазерного целеуказателя вмонтированного в его корпус.

В ходе проведения эксперимента отслеживалась температура в зоне резания. Пирометр в автоматическом режиме фиксировал ее максимальное значение, которое в дальнейшем использовалось при обработке результатов эксперимента.

Получение эмпирических зависимостей температуры от режимов резания проводилось два этапа. На первом этапе были получены частные зависимости температуры резания от скорости резания, глубины и подачи в степенном виде:

$$T = C_0V^x; T = C_0t^y; T = C_0S^z,$$

где C_0 – постоянная, зависящая от условий обработки; x , y и z – показатели степени.

Показатели степени x , y и z определяются как тангенс угла наклона прямой полученной в логарифмической системе координат зависимостей температуры резания от режимов обработки.

В результате были получены следующие частные эмпирические зависимости:

$$T = 396 \times t^{0,11}; T = 795 \times S^{0,16}; T = 173 \times V^{0,39}.$$

На следующем этапе, на базе полученных частных зависимостей, сделав ряд преобразований, была получена общая зависимость температуры резания от режимов обработки:

$$T = 162 \times t^{0,11} \times S^{0,16} \times V^{0,39}.$$

На рис. 5, 6 и 7 приведены результаты расчета температуры резания средствами математического моделирования и экспериментальные данные.

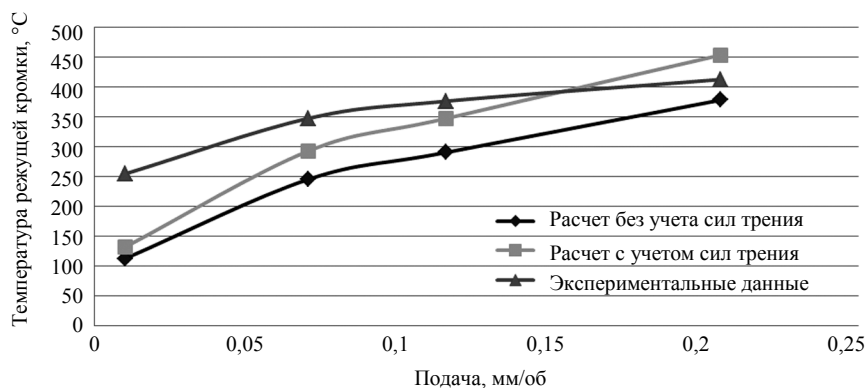


Рис. 6. Зависимость температуры режущей кромки пластинки резца от величины подачи ($t = 1,5$ мм; $V = 18,84$ м/мин)

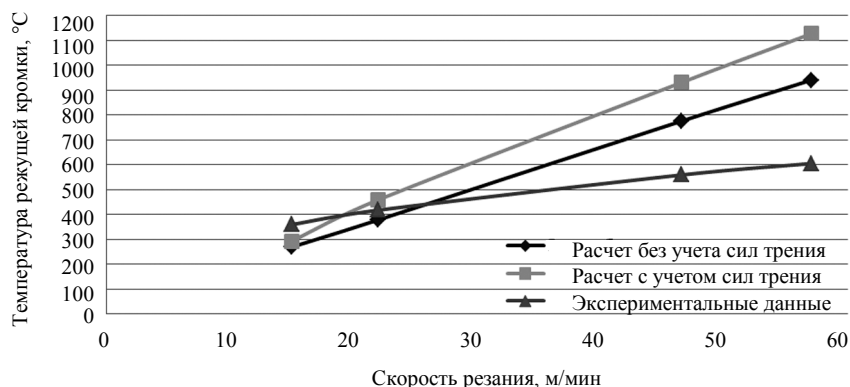


Рис. 7. Зависимость температуры режущей кромки пластинки резца от скорости резания ($t = 1,5$ мм; $S = 0,15$ мм/об)

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

- Скорость резания оказывает наиболее существенное влияние на температуру резания, следовательно, и на стойкость режущего инструмента, нежели глубина и подача.
- Для повышения производительности обработки титановых сплавов рациональнее увеличивать подачу, так как она оказывает наименьшее влияние на температуру резания по сравнению со скоростью резания.
- Среднее отклонение результатов математического моделирования от экспериментальных данных составило 24 %.

Список литературы

1. Кугультинов С. Д., Ковальчук А. К., Портнов И. И. Технология обработки конструкционных материалов. – М.: Изд-во ИжГТУ им Н. Э. Баумана, 2006. – 672 с.: ил.
2. Кривоухов В. А., Чубаров А. Д. Обработка резанием титановых сплавов. – М.: Машиностроение, 1970. – 180 с.
3. Жиляев С. В., Кугультинов Д. С. Влияние режимов обработки на силу резания при точении титановых сплавов // Развитие местного самоуправления в городах России с градообразующими предприятиями: материалы межрегион. науч.-практ. конф. (Воткинск, 5 февр. 2010 г.). – Удм. науч. центр УрО РАН, Ин-т экономики УрО РАН, Ин-т философии и права УрО РАН [и др.]. – Ижевск: Удм. ун-т, 2010. – С. 161–163.

S. V. Zhilyayev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

K. A. Kopylov, Magstrand, Izhevsk State Technical University

S. D. Kugultinov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

I. V. Popov, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University

Influence of Cutting Speed on Temperature of Cutting Edge of Lathe Tool at Machining Titanium Alloys

The results of mathematical modeling and experimental research of cutting speed influence on temperature of cutting edge of lathe tool at machining titanium alloy Ti-Al-V-6 are presented.

Key words: temperature, machining, temperature field, titanium alloys, experimental research, mathematical modeling.