

ТЕМПЕРАТУРНО-СИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА ПЛОЩАДКЕ ИЗНОСА ЗАДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТОЧЕНИИ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ

А. А. ЛИПАТОВ, канд. техн. наук, доцент
Ю. Л. ЧИГИРИНСКИЙ, канд. техн. наук, доцент
С. И. КОРМИЛИЦИН, ст. преподаватель
 (ВолгГТУ, г. Волгоград)

Статья получена 25 апреля 2012 года

Чигиринский Ю. Л. – 600005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28,
 Волгоградский государственный технический университет, e-mail: techmash@vstu.ru

По усовершенствованной методике произведен расчет температуры задней поверхности инструмента при точении аустенитной стали. Результаты сопоставлены с данными экспериментального определения коэффициента трения на площадке износа, выполненного с помощью методики раздельного определения сил на передней и задней поверхностях режущего инструмента путем экстраполяции составляющих усилия резания на нулевую площадку износа. Выявлено снижение коэффициента трения при одновременном увеличении температуры с ростом скорости резания и величины площадки износа.

Ключевые слова: точение, аустенитная сталь, задняя поверхность, площадка износа, расчет температуры, расчет коэффициента трения, пластический контакт.

Температура резания является важнейшим фактором, определяющим интенсивность износа твердосплавного инструмента при резании сталей. Работами Н.В. Талантова [1] и других авторов показано, что температура контактных поверхностей влияет на износ как непосредственно, так и через вид взаимодействия, определяемый характером контакта и условиями деформации контактных слоев обрабатываемого материала. При резании труднообрабатываемых аустенитных сталей лимитирующий износ твердосплавного инструмента осуществляется в большинстве случаев по задней поверхности с формированием площадки износа. Поэтому вопрос об уровне температуры и характере взаимодействия на площадке износа имеет первостепенное значение.

Целью настоящей публикации является обобщение и комплексный анализ экспериментальных и расчетных данных о характере контактного взаимодействия, в том числе о коэффициенте трения μ_3 [2, 3] и температуре θ_3 на площадке износа [4] при точении аустенитной стали на

расширенной доказательной базе для подтверждения корректности использованных методик, а следовательно, и самих полученных результатов и выдвинутых предположений.

Расчет коэффициента трения μ_3 производился после определения нормальной P_{hn} и тангенциальной P_{ht} сил на площадке износа, для чего был использован разработанный авторами метод экстраполяции на нулевую площадку износа [5]. Эти же данные (о силах P_{hn} и P_{ht}) были использованы для расчета температуры, выполненного на базе методики профессора А.Н. Резникова [6] при дополнительном учете зависимостей теплофизических параметров стали от температуры (использовался алгоритм итерационного приближения) [4].

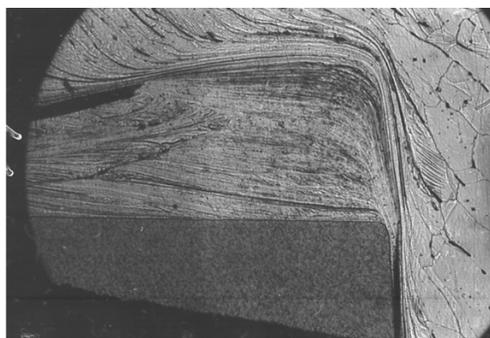
Исходные экспериментальные данные для расчетов μ_3 и θ_3 были получены при точении стали 12X18H10T инструментами из твердых сплавов ТТ20К9 и ВК6 с подачей 0,3 мм/об при глубине резания 1,5 мм (основные геометрические параметры резцов: $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\phi = 45^\circ$). Для обеспечения корректности использования пред-

ложенных расчетных методик значения скорости резания v принимались такими, чтобы отсутствовали застойные явления на передней поверхности и в то же время отсутствовало интенсивное лункообразование: для ВК6 $v = 0,75 \dots 1,5$ м/с, для ТТ20К9 $v = 0,5 \dots 2,0$ м/с. Измерение составляющих силы резания P_z , P_y и P_x производилось динамометром УДМ-600 с тензостанцией ТА-5. Подробнее методика определения сил представлена в [5]. Корни стружек получали с помощью устройства «падающий резец» (в более широком диапазоне скоростей, начиная с 0,2 м/с).

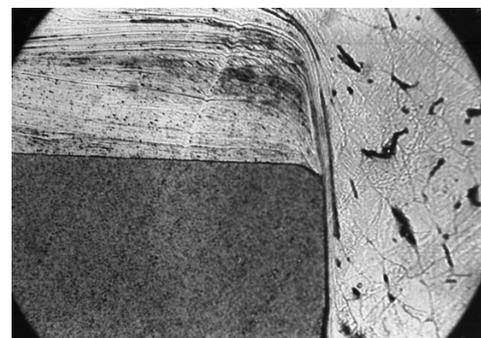
Путем исследования микрошлифов корней стружек было показано, что в широком диапазоне скоростей резания на площадке износа имеет место один вид взаимодействия – пластическое течение контактных слоев обрабатываемого материала с полным прилипанием их к инструменту (пластический контакт) [2]. При этом переход к взаимодействию с пластическим контактом с ростом v осуществляется при низких скоростях резания, практически не используемых в случае токарной обработки. Кроме того, этот переход осуществляется непосредственно от нароста, минуя какие-либо переходные виды взаимодействия – застойные зоны и т. д., зафиксированные на площадке износа при обработке перлитных сталей [1], а также на передней поверхности для стали аустенитной [2]. Мало того, оба вида взаимодействия могут иметь место одновременно, при одной скорости v . На рисунке представлены две фотографии микрошлифов одного и того же корня стружки: на краю ширины среза (где температура ниже) может еще сохраняться нарост (см. рисунок, а), в то же время в средней части режущей кромки уже установился пластический контакт (рисунок, б).

Переход с ростом скорости к пластическому течению контактных слоев при резании аустенитной стали происходит при меньших v , чем на передней поверхности. Как видно из рисунка, б, на площадке износа имеет место пластический контакт уже тогда, когда на передней поверхности еще имеется развитый нарост. При небольшом возрастании скорости резания (от 0,29 до 0,3 м/с) пластический контакт на площадке износа устанавливается по всей ширине среза. При дальнейшем увеличении v картина принципиально не изменяется (наблюдается лишь уменьшение толщины слоя деформированного металла). Отметим, что несмотря на большую разницу теплопроводности вольфрамкобальтового и титанталового твердых сплавов, скорость перехода от нароста к взаимодействию с пластическим контактом на площадке износа (в отличие от скоростных границ видов взаимодействия на передней поверхности) оказалась для резцов из ВК6 и ТТ20К9 почти неразличимой (для менее теплопроводного твердого сплава ТТ20К9 переход наблюдался при v порядка 0,27...0,3 м/с, для более теплопроводного ВК6 – при 0,3...0,33 м/с). Это объясняется сохранением нароста на передней поверхности резцов из обоих твердых сплавов, нивелирующего разницу интенсивностей стока тепла в инструмент, а следовательно, и разницу в уровнях температур режущего клина для твердых сплавов с разной теплопроводностью.

Однако представленный на рисунке, б вид взаимодействия оставляет место сомнениям в наличии полного прилипания контактных слоев стали к площадке износа, а весьма малая толщина зоны вторичных деформаций даже не позволяет однозначно идентифицировать ее как зону



а



б

Микрошлифы корня стружки. Твердый сплав ТТ20К9; $v = 0,29$ м/с; искусственная площадка износа шириной $h_3 = 0,2$ мм (после приработки):

а – сечение у края ширины среза ($\times 160$); б – среднее сечение ($\times 200$)

Таблица 1

Величины расчетной температуры θ_3 (°C) и коэффициента трения μ_3 на площадке износа задней поверхности инструмента из ВК6

Величина площадки износа, h_3 , мм	Скорость резания, v , м/с					
	0,75		1,0		1,5	
	θ_3	μ_3	θ_3	μ_3	θ_3	μ_3
0,05	496	1,87	503	1,79	514	1,72
0,1	526	1,83	538	1,74	561	1,66
0,2	555	1,78	570	1,67	599	1,58
0,3	569	1,74	587	1,62	622	1,52
0,4	577	1,71	596	1,58	636	1,48

контактных (а не реализовавшихся на «задней поверхности» нароста) деформаций. Здесь следует отметить, что получить корень аустенитной стружки в полном контакте стали с резцом на площадке износа крайне проблематично из-за большой разницы (в 2,5 раза) коэффициентов термического расширения твердого сплава и аустенитной стали. При остывании корня разрыв происходит, естественно, по поверхности меньшей протяженности – по площадке износа. То что на рисунке, б представлено взаимодействие с пластическим контактом (а не внешнее трение), косвенно подтверждается топографией поверхности резания. При переходе с ростом v от картины контактного взаимодействия, представленной на рисунке, а, к картине на рисунке, б поверхность резания из шероховатой, со следами срывов нароста, трансформируется в гладкую и блестящую. Однако тезис о наличии на площадке износа полного прилипания обрабатываемой стали к инструменту с пластическим течением

контактных слоев стали нуждается в более весомых доказательствах, которые и будут рассмотрены.

Результаты расчетов величин θ_3 и μ_3 в зависимости от величины площадки износа h_3 при различных скоростях резания v представлены в табличной форме: для твердого сплава ВК6 – в табл. 1, для ТТ20К9 – в табл. 2.

Теплофизические расчеты показали существенно более высокий уровень температуры на площадке износа θ_3 , чем в случае расчета по базовой методике А. Н. Резникова [4, 6]. Это несомненно свидетельствует в пользу наличия на площадке износа пластического контакта.

Прямым количественным подтверждением отсутствия внешнего трения на площадке износа оказалось то, что для обоих твердых сплавов во всем исследованном диапазоне скоростей резания при различных h_3 величина μ_3 оказалась значительно больше единицы. Используя термин «коэффициент трения», авторы отстаи-

Таблица 2

Величины расчетной температуры θ_3 (°C) и коэффициента трения μ_3 на площадке износа задней поверхности инструмента из ТТ20К9

Величина площадки износа h_3 , мм	Скорость резания, v , м/с									
	0,5		0,75		1,0		1,5		2,0	
	θ_3	μ_3	θ_3	μ_3	θ_3	μ_3	θ_3	μ_3	θ_3	μ_3
0,05	445	1,94	466	1,92	475	1,89	496	1,87	521	1,84
0,1	472	1,93	501	1,90	514	1,85	543	1,80	574	1,78
0,2	495	1,90	530	1,83	546	1,76	581	1,70	621	1,67
0,3	505	1,88	542	1,80	561	1,71	596	1,62	643	1,60
0,4	509	1,87	549	1,77	567	1,66	604	1,56	651	1,53



вают как раз тезис об отсутствии внешнего трения на площадке износа; здесь и далее под трением следует понимать внутреннее трение, т. е. сопротивление сдвиговым деформациям контактных слоев обрабатываемой стали. В фундаментальном труде [7] уже приводился случай определения величины коэффициента трения на площадке износа, равного 1,19 (при свободном резании стали 20 на воздухе). В нашем случае величина μ_3 оказалась существенно выше, что объясняется жаропрочными свойствами аустенитной стали, т. е. повышенной сопротивляемостью пластическому деформированию при высоких температурах.

Подтверждает тезис о наличии на площадке износа взаимодействия с пластическим контактом и весь приведенный ниже анализ табл. 1 и 2.

Представленные в табл. 1 и 2 данные фиксируют (как для твердого сплава ВК6, так и для ТТ20К9) монотонное снижение величины коэффициента трения на площадке износа μ_3 как при росте скорости резания v , так и при увеличении площадки износа h_3 (для всех скоростей резания). Этот результат хорошо согласуется с увеличением θ_3 (т. е. со снижением сопротивления стали сдвиговым деформациям) по мере возрастания скорости v и износа h_3 .

В результате расчета температуры θ_3 получил объяснение и отмеченный ранее [3] на первый взгляд неожиданный результат (большие значения μ_3 для случая обработки менее теплопроводным, по сравнению с ВК6, твердым сплавом ТТ20К9): при прочих равных условиях (v , h_3) температура на площадке износа для резцов из ТТ20К9 оказалась на несколько десятков градусов ниже. Это объясняется влиянием на температуру площадки износа более мощного источника тепловыделения на передней поверхности (по сравнению с источником на самой площадке износа): для сплава ВК6, обладающего большей теплопроводностью, имеет место более интенсивное перетекание тепла с передней поверхности на заднюю с соответствующим ростом температуры последней.

Зафиксированный расчетами рост температуры площадки износа по мере затупления инструмента количественно согласуются с выявленной ранее сменой преобладающего механизма износа (адгезионно-усталостного на диффузионный)

резцов из ТТ20К9 при увеличении h_3 [8, 9]. Зафиксированные в [8, 9] точки перехода от преобладания адгезионно-усталостного износа к диффузионному следующие: для $v = 1,0$ м/с – $h_3 = 0,18–0,19$ мм; для $1,5$ м/с – $h_3 = 0,11–0,12$ мм; для $2,0$ м/с – $h_3 = 0,07–0,08$ мм. Этим значениям износа соответствуют следующие диапазоны значений расчетной температуры θ_3 (определенные интерполяцией из табл. 2): $540...543$ °С, $547...551$ °С и $542...553$ °С. Столь узкий температурный интервал смены преобладающего механизма износа еще раз (хотя и косвенно) свидетельствует о корректности произведенных расчетов. Для скоростей резания $0,5$ и $0,75$ м/с смены преобладающего механизма износа зафиксировано не было (исследования [8, 9] проводились до $h_3 = 0,3$ мм). Это опять-таки согласуется с данными табл. 2: для $v = 0,75$ м/с величина θ_3 (542 °С при $h_3 = 0,3$ мм) едва переходит нижнюю границу определенного выше температурного диапазона (540 °С), а для $v = 0,5$ м/с (505 °С при $h_3 = 0,3$ мм) вообще ее не достигает. Отметим, что соответствующие значения μ_3 также укладываются в весьма узкий диапазон (см. табл. 2): для $v = 1,0$ м/с – $\mu_3 = 1,77–1,78$; для $v = 1,5$ м/с – $\mu_3 = 1,81–1,82$; для $v = 2,0$ м/с – $\mu_3 = 1,805–1,815$.

Таким образом, весь комплекс полученных результатов убедительно подтверждает как адекватность используемых расчетных методик, так и правильность защищаемого положения: при точении аустенитной стали на площадке износа задней поверхности инструмента во всем практически применяемом диапазоне скоростей резания (и при различных величинах самой площадки) имеет место не внешнее трение, а взаимодействие с полным прилипанием обрабатываемого материала к твердому сплаву и пластическим течением контактных слоев стали.

Список литературы

1. Талантов Н.В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.
2. Липатов А.А. Влияние характера зависимости теплопроводности обрабатываемого материала от температуры на закономерности контактного взаимодействия и тип стружкообразования // СТИН. – 2006. – № 8. – С. 37–40.
3. Липатов А.А., Чигиринский Ю.Л., Кормилицын С.И. Исследование характера контактного взаимодействия на площадке износа задней поверхно-