

ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

*А. А. ЛИПАТОВ, канд. техн. наук, доцент
(ВолгГТУ, г. Волгоград)*

Статья поступила 19 октября 2012 года

Липатов А. А. – 600005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28,
Волгоградский государственный технический университет
e-mail: leeandrej@yandex.ru

Рассмотрены результаты исследований контактного взаимодействия при точении высоколегированных сталей – аустенитной и мартенсито-ферритной. Выявлены существенные отличия в закономерностях контактного взаимодействия на передней поверхности режущего инструмента для высоколегированных сталей по сравнению с перлитными. Показано, что выявленные отличия связаны с различным характером зависимости теплопроводности от температуры для этих групп обрабатываемых материалов.

Ключевые слова: точение, передняя поверхность, аустенитная сталь, мартенсито-ферритная сталь, контактное взаимодействие, теплопроводность, зависимость от температуры.

В ходе исследований, проводившихся в Волгоградском ГТУ под руководством профессора Н. В. Талантова, установлено, что огромное влияние на температуру резания и износ твердосплавного инструмента оказывают закономерности деформирования контактных слоев обрабатываемого материала. Показано, что деформирование металла сопровождается конкурирующими процессами деформационного упрочнения и температурного разупрочнения. Были установлены закономерности контактного взаимодействия при обработке наиболее распространенного класса сталей – перлитных, т. е. углеродистых и низколегированных [1]. Не менее важным является изучение данного вопроса при резании высоколегированных труднообрабатываемых материалов (аустенитных сталей и др.).

После проведения соответствующих исследований в ходе анализа различий в закономерностях контактного взаимодействия при обработке перлитных и аустенитных сталей был выявлен новый влияющий физический фактор – характер зависимости теплопроводности λ обрабатываемого материала от температуры θ [2].

В данной работе подробнее, на расширенной доказательной базе, представлены результаты исследований контактного взаимодействия на

передней поверхности инструмента при обработке высоколегированных сталей и их сопоставление с полученными ранее результатами для перлитных сталей [1, 3 и др.].

Исследования проводили при резании стали аустенитного класса 12X18H10T (основной объем экспериментов), а также мартенсито-ферритной стали 14X17H2 (обе – в состоянии поставки).

На рис. 1 представлены необходимые для дальнейшего анализа зависимости $\lambda(\theta)$ для ряда обрабатываемых материалов. Кривые 1 (для углеродистой стали 45 перлитного класса) и 3 (для аустенитной стали 12X18H10T) построены нами путем обработки большого объема справочных данных [4]. Графики 2 и 4 заимствованы из книги А. Н. Резникова [5]: кривая 2 – для низко- и среднелегированных перлитных сталей; кривая 4 – для хромистых нержавеющей (мартенситных, мартенсито-ферритных и др.) сталей. Хотя формы кривых 1 и 2 отличаются, общей является для них тенденция существенного снижения λ с ростом θ . Для высоколегированных сталей, напротив, имеет место возрастание теплопроводности с ростом температуры (кривые 3 и 4) – более интенсивное для аустенитной стали 12X18H10T.

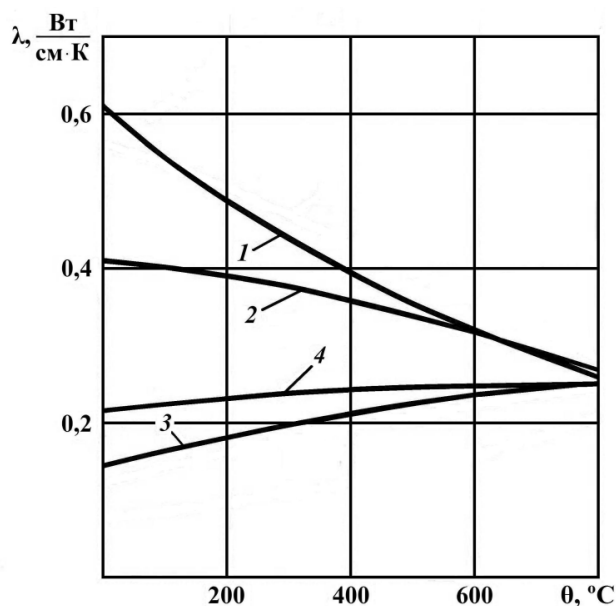


Рис. 1. Зависимости теплопроводности λ от температуры θ для различных групп обрабатываемых материалов:

1 – сталь 45 ([4]); 2 – низко- и среднелегированные стали ([5]); 3 – аустенитная сталь 12X18H10T ([4]); 4 – хромистые нержавеющие стали ([5])

Эксперименты проводились при продольном точении инструментом из твердых сплавов ВК6 и ТТ20К9. Опыты (определение основных характеристик процесса резания, изучение микрошлифов корней стружек, стойкостные испытания) были выполнены со скоростями резания $v = 0,25 \dots 3,5$ м/с при подаче $S = 0,3$ мм/об и глубине резания $t = 1,5$ мм с использованием методов планирования эксперимента [6, 7]. Основные геометрические характеристики резцов: $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\phi = 45^\circ$. Таким образом, использовались те же параметры (S , t , γ , α и ϕ), что и в большинстве работ Н. В. Талантова ([1, 3] и др.) по резанию перлитных сталей (сталь 45, 25ХГТ и др.), результаты которых были взяты для сравнения (задействованный в этих работах твердый сплав ВК8 практически не отличается от ВК6 по теплопроводности, а следовательно, по влиянию на контактные процессы).

На рис. 2 представлены зависимости усадки стружки ξ от скорости резания v при обработке сталей, относящихся к различным классам: 1 – сталь 45 (углеродистая перлитного класса); 2 – сталь 25ХГТ (легированная перлитного класса); 3 – 12Х18Н10Т (аустенитная); 4 – 14Х17Н2 (мартенсито-ферритная).

Как видно из рис. 2, на зависимостях $\xi(v)$ для перлитных сталей (кривые 1 и 2) с ростом v переход от нароста к пластическому течению

контактирующих с передней поверхностью слоев обрабатываемого материала сопровождается скачкообразным (показанным на рис. 2 штриховыми линиями) возрастанием усадки ξ в узком диапазоне скоростей с существованием в этом диапазоне специфического неустойчивого взаимодействия – пульсирующей контактной зоны (верхняя часть заторможенной зоны периодически с частотой несколько герц, срывается и уносится со стружкой) [1]. Переход к пластическому течению сразу же сопровождается возникновением (на некотором расстоянии от режущей кромки) вязкого течения обрабатываемого материала с формированием на передней поверхности лунки. В итоге возникает вид взаимодействия, названный пластическим и вязким контактом [1]. При нем объемы металла по мере перемещения вдоль передней поверхности последовательно проходят стадии преобладания деформационного упрочнения, температурного разупрочнения и вязкого течения в тончайшем слое (что и является причиной износа на участке лунки) [1].

Такой тип перехода от нароста к пластическому течению объясняется присущим перлитным сталям характером зависимости $\lambda(\theta)$ – падением теплопроводности при росте θ (см. графики 1 и 2, рис. 1): повышение температуры в зоне контактных деформаций приводит к снижению интенсивности отвода тепла из нее в обрабатываемый материал, а следовательно, к еще большему росту θ . Налицо *положительная* обратная связь по температуре. Это и обуславливает скачкообразный характер перехода от наростообразования к пластическому (и *сразу* к пластическому и вязкому) контакту на передней поверхности и соответствующее резкое возрастание всех

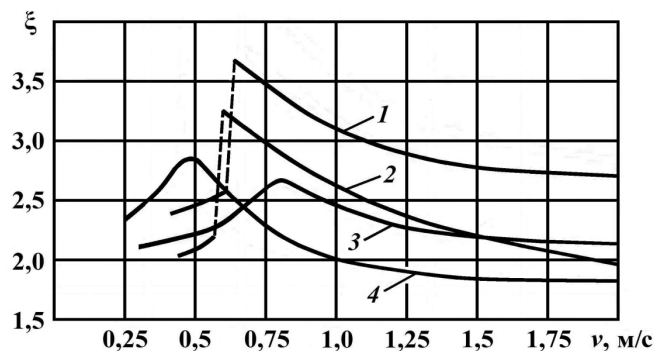


Рис. 2. Зависимости $\xi(v)$ при точении вольфрамо-кобальтовым инструментом сталей 45 (1), 25ХГТ (2), 12Х18Н10Т (3), 14Х17Н2 (4)

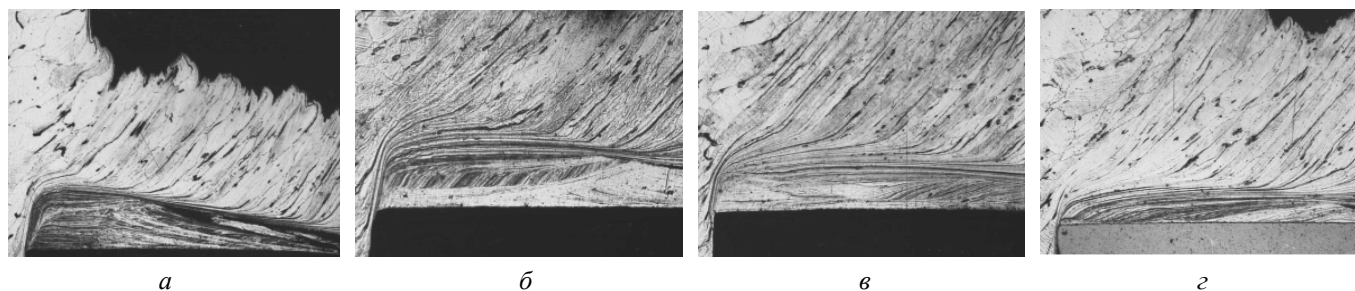


Рис. 3. Трансформация нароста и переход к взаимодействию с застойной зоной с ростом скорости резания при резании стали 12X18H10T резцами из ВК6 (микрошлифы корней стружек):
 $a - v = 0,3 \text{ м/с} (\times 100)$; $b - v = 0,35 \text{ м/с} (\times 156)$; $v - v = 0,375 \text{ м/с} (\times 156)$; $z - v = 0,5 \text{ м/с} (\times 156)$

характеристик процесса резания (сил, усадки ξ , термоЭДС).

Для аустенитной стали 12X18H10T зависимость $\lambda(\theta)$ имеет противоположный характер (см. график 3, рис. 1) – с ростом θ теплопроводность увеличивается (как и для мартенсито-ферритной стали; хотя в этом случае λ возрастает менее интенсивно, см. график 4, рис. 1). Это обуславливает наличие отрицательной обратной связи по температуре, т. е. интенсификацию стока теплоты в обрабатываемый материал при повышении θ в зоне контактных деформаций. На передней поверхности по мере деформирования и перемещения контактных объемов стали в направлении от режущей кромки эти объемы нагреваются сами и нагревают соседние объемы стружки. В результате сток тепла в более нагретую (а значит, более теплопроводную) стружку увеличивается. Рост температуры замедляется, процесс температурного разупрочнения металла затрудняется, и на некотором удалении от режущей кромки температурное разупрочнение может вновь смениться преобладанием деформационного упрочнения. Это явление, названное вторичным упрочнением контактных слоев [2], существенно изменяет картину смены видов взаимодействия на передней поверхности с ростом v . При резании сталей 12X18H10T и 14X17H2 переход от наростообразования к пластическому течению осуществляется постепенно, в гораздо более широком интервале скоростей v , с плавным изменением характеристик процесса резания (для усадки стружки – см. кривые 3 и 4, рис. 2).

Стадии перехода от нароста к взаимодействию с пластическим контактом по мере роста скорости резания при обработке стали 12X18H10T представлены на микрошлифах корней стружек (рис. 3).

Указанный переход осуществляется следующим образом. По мере роста скорости резания, тепловыделения и температуры в зоне активных деформаций с уменьшением высоты нароста увеличивается длина его контакта со стружкой, увеличивается и объем участвующего в температурно-деформационном процессе металла (рис. 3, *a* и *b*). В области максимального тепловыделения это приводит к активизации температурного разупрочнения и переходу металла из неподвижного в пластичное состояние (рис. 3, *b*). В результате нарост разделяется на две части, сохраняясь в районе режущей кромки инструмента и в конце контакта (рис. 3, *v*). При дальнейшем повышении скорости пластичная зона расширяется и нарост трансформируется в другой вид взаимодействия – застойную зону со смещенным наростом (рис. 3, *z*, см. также [2]). Остаточный микронарост у режущей кромки не оказывает существенного влияния на процесс резания. Поэтому основным отличительный признак описываемого вида взаимодействия – наличие удаленного от режущей кромки (смещенного) нароста, являющегося результатом вторичного упрочнения контактных слоев и тормозящего течение обрабатываемого материала в большей по размерам пластичной части зоны (на наличие здесь пластического течения указывает меньшая, чем у смещенного нароста, величина микротвердости контактного слоя металла). Такое взаимодействие относительно устойчиво (в отличие от пульсирующей зоны при резании перлитных сталей), срывы и унос со стружкой части смещенного нароста происходят редко и нерегулярно.

Явление вторичного упрочнения контактных слоев зафиксировано и при обработке мартенсито-ферритной стали, для которой характер зависимости $\lambda(\theta)$ принципиально такой

же, как у аустенитных сталей. Представленная на рис. 4 картина контактного взаимодействия при резании стали 14X17H2 весьма похожа на застойную зону со смещенным наростом (см. рис. 3, з), если не идентична ей.

С дальнейшим увеличением скорости резания высота смещенного нароста постепенно уменьшается вплоть до его исчезновения. При установлении пластического течения на всей передней поверхности (с полным исчезновением застойных явлений в конце контакта) контактное взаимодействие с ростом v развивается следующим образом. Интенсификация отвода теплоты в стружку с увеличением θ препятствует нарастанию температуры по длине контакта, локализации деформации и трансформированию ее в вязкое течение. В результате после исчезновения застойных явлений в широком интервале скоростей имеет место взаимодействие с пластическим контактом без вязкого, что подтверждается *полным* отсутствием лункообразования. Так, после почти двухчасового течения (путь резания 7 км) стали 12X18H10T резцом из ВК6 с $v = 1,0$ м/с (что в 1,3 выше скорости перехода к пластическому контакту) износ передней поверхности не превышал 2...3 мкм. Наличие взаимодействия с пластическим контактом без вязкого подтверждается и снижением измеренной на микрошлифах корней стружек микротвердости контактного слоя практически по всей длине контакта (при появлении вязкого течения величина микротвердости в начале лунки стабилизируется [1]). Отрицательная обратная связь по температуре приводит к тому, что переход от пластического контакта к взаимодействию с пла-

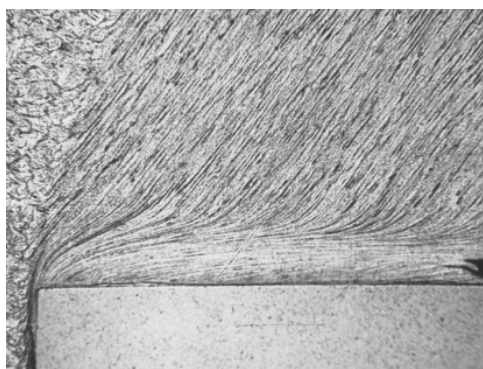


Рис. 4. Контактное взаимодействие с застойной зоной при резании стали 14X17H2 резцом из ВК6 с $v = 0,42$ м/с (микрошлиф корня стружки; $\times 156$)

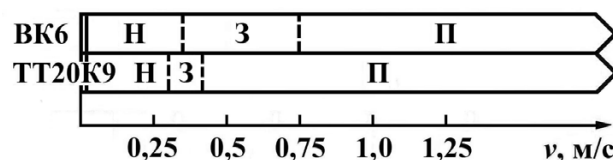


Рис. 5. Скоростные диапазоны существования видов контактного взаимодействия на передних поверхностях резцов из ВК6 и ТТ20К9 при обработке стали 12X18H10T:

Н – нарост; З – застойная зона со смещенным наростом; П – пластический контакт

стическим и вязким контактом также растянут в широком диапазоне скоростей резания, сопровождается рядом аномалий и требует отдельного исследования. Указать скоростную границу этого перехода (определяя ее по интенсивности лункообразования или путем измерения микротвердости контактного слоя) затруднительно. Можно лишь заметить, что при резании стали 12X18H10T инструментом из ВК6 статистически достоверная стабилизация микротвердости контактного слоя металла на участке лунки зафиксирована для $v = 2,0$ м/с, а интенсивность возрастания глубины лунки на 1 км длины пути резания составляла: для $v = 1,5$ м/с 5 мкм/км; для $v = 1,67$ м/с 28 мкм/км; для $v = 2,0$ м/с 83 мкм/км. Естественно, при этих же скоростях v интенсивность формирования лунки на резцах из титаносодержащего твердого сплава ТТ20К9 была намного меньше. Аномальным является то, что *резкий рост* интенсивности увеличения глубины лунки (от 8 до 108 мкм/км) для *менее* теплопроводных резцов из ТТ20К9 наблюдался при гораздо *больших* скоростях – в диапазоне 3,0...3,5 м/с.

Поэтому на представленной схеме скоростных диапазонов существования различных видов взаимодействия на передних поверхностях резцов из ВК6 и ТТ20К9 (рис. 5), имеющих разную теплопроводность, пластический и вязкий контакт не выделен как отдельный вид взаимодействия и включен в пластический контакт. Кроме того, так как определить четкие границы диапазонов затруднительно (переходы происходят плавно и к тому же не одновременно по всей ширине среза: ближе к более теплонагруженной вершине – при несколько меньших v ; см. также [8]), они показаны штриховыми линиями.

Из схемы видно, что для титаносодержащего твердого сплава ТТ20К9 переход к взаимодействию с пластическим контактом осуществля-

ется при гораздо меньших скоростях резания, чем для ВК6: теплопроводность у ТТ20К9 почти вдвое ниже, за счет чего температура передней поверхности с ростом v увеличивается быстрее (в полном соответствии с установленным ранее влиянием [3]). Несколько нелогичным кажется то, что для инструмента с меньшей теплопроводностью (что должно обуславливать большее влияние теплопроводности стали на контактную температуру) ширина скоростного диапазона перехода от нароста к пластическому течению (существования застойной зоны со смещенным наростом) гораздо меньше. Однако это противоречие объяснимо. Предшествующий застойной зоне по шкале скоростей нарост нивелирует разницу интенсивностей стока тепла в инструмент, а следовательно, и разницу в уровнях температур режущего клина для твердых сплавов с разной теплопроводностью. Поэтому начало превращения нароста в застойную зону начинается для ВК6 и ТТ20К9 при близких значениях v . Далее по мере трансформации застойной зоны и приближения областей активной деформации металла (источников тепловыделения) к поверхности инструмента на развитие контактного взаимодействия все больше начинает влиять теплопроводность твердого сплава. В результате, начавшись практически при той же скорости (что и для ВК6), переход к пластическому контакту на передней поверхности резца из ТТ20К9 завершается при значительно меньшей v , чем для ВК6.

Таким образом, контактное взаимодействие при резании сталей во многом определяется характером зависимости теплопроводности обрабатываемого материала от температуры как на передней, так и на задней (см. [2, 8]) поверхностях твердосплавного инструмента. Сформулированное положение позволит дальше продви-

нуться в теоретических исследованиях процесса резания, а следовательно, способствует отысканию путей повышения производительности обработки и стойкости инструмента.

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. *Талантов Н.В.* Физические основы процесса резания // Физические процессы при резании металлов: сб. науч. трудов. – Волгоград: Изд. ВПИ. – 1984. – 179 с.
4. *Липатов А.А., Чигиринский Ю.Л.* Расчет температуры на режущих поверхностях инструмента с учетом зависимости теплопроводности обрабатываемого материала от температуры // СТИН. – 2012. – № 7. – С. 28–30.
5. *Резников А.Н.* Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
6. *Яцерицын П.И., Махаринский Е.И.* Планирование эксперимента в машиностроении. – Минск: Высшая школа, 1985. – 286 с.
7. *Смольников Н.Я., Скребнев Г.Г., Григорова О.Л.* Натурные исследования геометрических параметров переходных кривых // Изв. Волгоград. гос. техн. ун-та: межвуз. сб. науч. ст. (Серия Прогрессивные технологии в машиностроении. Вып. 3). – Волгоград. – 2007. – № 4 (30). – С. 88–90.
8. *Липатов А.А., Чигиринский Ю.Л., Кормилицин С.И.* Температурно-силовые характеристики контактного взаимодействия на площадке износа задней поверхности инструмента при точении аустенитной стали // Обработка металлов. – 2012. – № 2. – С. 38–42.

Peculiarities of contact interaction with machining high-alloy steels

A. A. Lipatov

Considered the results of the research of the contact interaction in the machining of high-alloyed steels – austenitic and martensitic-ferritic. Revealed significant differences in the patterns of the contact interaction on the front surface of cutting tools for high-alloy steels in comparison with the pearlitic steels. It is shown that the identified differences are associated with different character of the dependence of thermal conductivity on temperature for these groups of materials.

Key words: turning, front surface, austenitic steel, martensitic-ferritic steel, the contact interaction, thermal conductivity, temperature dependence.