УДК 621.9

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-3-238-38-42

*А. А. Липатов***ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ВЯЗКИМ КОНТАКТОМ ПРИ РЕЗАНИИ
АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ТВЕРДОСПЛАВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: leeandrej@yandex.ru

На микрошлифах корней стружек (косые срезы), полученных при точении аустенитной стали твердосплавным инструментом, проведены исследования микротвердости контактной зоны на передней поверхности. Установлено, что на участке вязкого контакта при минимальном расстоянии от передней поверхности микротвердость в контактной зоне перестает изменяться не только по длине контакта, но и по мере удаления от передней поверхности.

Ключевые слова: точение, аустенитная сталь, твердосплавный инструмент, передняя поверхность, косые срезы микрошлифов корней стружек, микротвердость, вязкий контакт.

*A. A. Lipatov***INTERACTION WITH A VISCOUS CONTACT WHEN
CUTTING AUSTENITIC STEEL WITH A CARBIDE TOOL****Volgograd State Technical University**

On the microsections of chip roots (oblique slices) obtained when turning austenitic steel, carbide tool, studies of the microhardness of the contact area on the front surface. It is established that at zone of viscous-fluid contact when a minimum distance from the front surface the microhardness of the contact area is not change not only along the length of the contact but as the distance from the front surface.

Keywords: turning, austenitic steel, carbide tool, the front surface, oblique slices of the microsections of chip roots, microhardness, viscous-fluid contact.

Работами Н. В. Талантова [1, 2] установлено, что причиной интенсификации изнашивания передней поверхности твердосплавного инструмента на участке лунки является локализация пластической деформации в тончайшем слое с переходом от дислокационного механизма деформирования к вязкому течению. При этом стабилизируется упрочненное состояние (определяемое по микротвердости контактных объемов обрабатываемой стали) по длине зоны контакта. Существование вязкого течения с наличием сплошного контакта между обрабатываемым материалом и инструментом на большей части лунки подтверждено экспериментально, в том числе – растровыми микрофотографиями зоны контакта на микрошлифах корней стружек с увеличением до 8000. По оценке Н. В. Талантова, толщина вязкого слоя – от 0,5 до 2 мкм.

Однако исследования [1, 2] проводились при резании сталей перлитного класса и, в большинстве случаев, на прямых срезах корней стружек (секущая плоскость перпендикулярна режущей кромке). При этом, учитывая правила определения микротвердости (центр отпечатка

должен располагаться на расстоянии не менее полутора диагоналей от границы раздела фаз, либо – двух его диагоналей от края образца) [2, 3], уколы производились на относительно большом расстоянии от твердого сплава (порядка 15 мкм). Задача данной работы – проверить тезис о существовании вязкого течения для стали другого класса – аустенитной.

Для этого получали корни стружек с помощью «падающего» резца при точении стали 12X18H10T резцами из ВК6 с последующим приготовлением микрошлифов. Скорость резания v варьировалась в диапазоне 60-120 м/мин при подаче 0,3 мм/об и глубине резания 1,5 мм. Основная геометрия резцов: $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\varphi = 45^\circ$. Микротвердость определяли на приборе ПМТ-3 с устройством автоматического опускания индентора. Величина нагрузки на индентор была принята равной 0,2 Н (такой же, как в исследованиях Н. В. Талантова). Для изучения и фотографирования микрошлифов, а также измерения диагоналей отпечатков (с помощью окуляр-микрометра МОБ-1-15) использовался микроскоп Neophot-21 при увеличениях до 2000 раз.

В то же время, схема приготовления микрошлифов корней стружек была другой. На рис. 1 показаны схемы получения микрошлифов. Используемые в исследованиях Н. В. Талантова прямые микрошлифы (рис. 1, *а*) изготавливают так, чтобы секущая плоскость проходила перпендикулярно режущей кромке через ее середину (главная секущая плоскость).

Рис. 1. Схемы типовготавливаемых микрошлифов:
а – прямой срез; *б* – косой срез передней поверхности

Для иллюстрации эффекта растяжения картины в направлении, перпендикулярном передней поверхности, на рис. 2 представлены микрофотографии прямого (*а*) и косого (*б*) шлифов

после травления. Отметим, что на косом шлифе, несмотря на небольшое время резания перед получением корня, уже просматривается начало образования лунки.

Рис. 2. Микрошлифы корней стружек. 12Х18Н10Т – ВК6. $V = 120$ м/мин:
а – прямой срез в главной секущей плоскости ($\times 100$); *б* – косой срез ($\epsilon = 15^\circ$, $\times 80$)

Разумеется, такой способ вносит определенную погрешность: углубленная в сталь вершина пирамидального отпечатка находится от твердого сплава на несколько (менее микрона) большем расстоянии, чем устанавливаемое при прицеливании. Однако следует заметить, что при нанесении укола и на прямом шлифе имеет место существенно большая погрешность, свя-

занная с разным расстоянием от твердого сплава вершин квадратного отпечатка. После оценки погрешностей (в статье не приводится) и с учетом требования максимального приближения к передней поверхности была установлена компромиссная величина угла наклона секущей плоскости $\epsilon \approx 15^\circ$. При этом контактная зона растягивалась по высоте приблизительно

в четыре раза, а истинное расстояние исследуемых объемов (точек) от передней поверхности было, соответственно, в четыре раза меньше, чем в плоскости микрошлифа. Таким образом, соблюдая правила удаленности отпечатков от границы раздела фаз (твердого сплава и обрабатываемой стали), удалось оценить микро-

Рис. 3. Контактная зона на микрошлифе корня стружки, полученного при точении стали 12Х18Н10Т резцом из ВК6 (косой срез под углом $\epsilon = 15^\circ$) со скоростью $v = 120$ м/мин, с нанесенными уколами

Анализ графиков показал следующее. С ростом скорости резания характер изменения микротвердости по длине контакта при минимальном расстоянии от передней поверхности (кривые 1, $Z = 4$ мкм) трансформируется – от снижения H_μ по всей длине контакта при $v = 60$ м/мин (рис. 4, а) до выхода на горизонтальный участок задолго до завершения контакта при $v = 120$ м/мин (рис. 4, б). Эти данные полностью коррелируются с результатами исследований изнашивания передней поверхности при точении стали 12Х18Н10Т инструментом из ВК6 [4]: при $v = 60$ м/мин износ передней поверхности отсут-

ствовал после нескольких часов резания (имело место взаимодействие с пластическим контактом без вязкого), при $v = 75$ м/мин интенсивность изнашивания передней поверхности была ничтожно малой (2–3 мкм на 1 километр пути резания), а резание с $v = 120$ м/мин соответствовало полностью завершившемуся переходу к пластическому и вязкому контакту и сопровождалось интенсивным лункообразованием (80–90 мкм/км).

В качестве примера на рис. 3 приведена фотография косого среза контактной зоны с уколами (травление произведено после определения микротвердости, на нетравленном шлифе на всей длине контакта наблюдалось сплошное прилипание обрабатываемого материала к инструменту).

На рис. 4 приведены графики изменения величины микротвердости H_μ по длине контакта X для двух ближайших (истинных) расстояний Z от передней поверхности – 4 и 12 мкм. При этом величина $Z = 4$ мкм является минимально возможной (в четыре раза меньше, чем в исследованиях Н. В. Талантова). Результаты даны для трех скоростей резания – 60, 75 и 120 м/мин.

Рис. 4. Графики изменения микротвердости H_μ по длине контакта на расстояниях $Z = 4$ мкм (кривые 1) и 12 мкм (кривые 2) от передней поверхности при точении стали 12Х18Н10Т резцами из ВК6 со скоростями $v = 60$ м/мин (а), 75 м/мин (б) и 120 (в)

ствовал после нескольких часов резания (имело место взаимодействие с пластическим контактом без вязкого), при $v = 75$ м/мин интенсивность изнашивания передней поверхности была ничтожно малой (2–3 мкм на 1 километр пути резания), а резание с $v = 120$ м/мин соответствовало полностью завершившемуся переходу к пластическому и вязкому контакту и сопровождалось интенсивным лункообразованием (80–90 мкм/км).

То, что появление взаимодействия с вязким контактом сопровождается выходом графика $H_\mu(X)$ на горизонтальный участок, отмечено

и в работах Н. В. Талантова для резания перлитных сталей. Согласно [1, 2], стабилизация микротвердости свидетельствует о прекращении пластической деформации. Деформирование сосредоточивается на самой поверхности твердого сплава в очень тонком слое, где скорость деформации достигает величин $105\text{--}106\text{ с}^{-1}$, при которых пластическая деформация сменяется вязким течением [2]. Наши исследования позволили оценить микротвердость объемов стали, расположенных гораздо ближе к поверхности инструмента. Их результаты полностью подтверждают выводы Н. В. Талантова вообще и для случая обработки другого класса сталей – аустенитных, – в частности.

Кроме того, использованная методика позволила определить, как изменяется микротвердость по мере удаления от поверхности инструмента, причем два ряда уколов удалось разместить на расстояниях, меньших, чем ближайший ряд в предыдущих [1, 2] исследованиях. Из рис. 4, а ($v = 60\text{ м/мин}$) видно, что кривая 2 ($Z = 12\text{ мкм}$) проходит заметно ниже кривой 1 ($Z = 4\text{ мкм}$). Это свидетельствует о наличии сдвиговой деформации между слоями на расстояниях 12 мкм и 4 мкм от поверхности инструмента (т. е. вся завершающая часть контакта является участком разупрочнения). При $v = 75\text{ м/мин}$ (рис. 4, б) кривые сближаются в конце контакта в значительно большей степени, чем при $v = 60\text{ м/мин}$. А на рис. 4, в ($v = 120\text{ м/мин}$) кривые $H_m(X)$ на расстоянии $X = 0,45\text{ мм}$ от режущей кромки практически сливаются между собой. Именно в этой точке на микрошлифах корней стружек, полученных после кратковременного резания, начинается характерный «гладкий» участок лунки. Таким образом, зарождение вязкого контакта сопровождается исчезновением градиента упрочненного состояния, т. е. прекращению деформирования, не только по длине контакта, но и по высоте зоны. Это еще раз подтверждает локализацию деформации металла с вязким течением в слое субмикронной толщины.

В заключение следует отметить, что термин «субмикронная» (а не «микронная») применительно к толщине вязкого слоя использован не случайно. На рис. 5 представлена с большим увеличением фотография участка с уколами (травление производилось после определения микротвердости) для случая резания со скоростью 120 м/мин (тот же шлиф, что и на рис. 3).

Рис. 5. Участок лунки на микрошлифе корня стружки, полученного при точении стали 12Х18Н10Т резцом из ВК6 (косой срез под углом $\varepsilon = 15^\circ$) со скоростью $v = 120\text{ м/мин}$, с нанесенными уколами

При этом один укол нанесен вплотную к твердому сплаву, вопреки всем правилам определения микротвердости, – количественно оценивать величину H_m нельзя. Тем не менее, по картине на рис. 5 можно сделать какие-то качественные выводы и предположения. Как видно из рис. 5, «неправильный» отпечаток практически не отличается от нанесенных на правильном расстоянии от границы раздела фаз ни по величине, ни, что не менее важно, по форме. Близкое соседство более твердой фазы должно было «сплющить» ромб – уменьшить его полудиagonal, обращенную к твердому сплаву. Этого не наблюдается. Причиной может быть или то, что по мере приближения к твердому сплаву микротвердость стали начинает снижаться (компенсируя влияние приближения более твердой фазы), или слабое влияние соседства твердого сплава из-за выполнения его в виде острого клина. Снижение микротвердости в контактной зоне по мере приближения к поверхности инструмента в условиях пластической деформации до сих пор не фиксировалось. Оно прямо свидетельствовало бы о переходе к другому типу деформирования – вязкому течению. Однако на поверхности шлифа не фиксируется каких-либо металлографических отличий. Возможность практически полного отсутствия влияния непосредственного соседства отпечатка с гораздо более твердой фазой оценить сложно. Ясно одно – слой вязкого течения имеет значительно меньшую толщину, чем предполагалось ранее [1, 2]: не микрометры, а нанометры. Возможно, что это является характерной особенностью аустенитной стали. Достаточно вспомнить, что аустенитные стали гораздо более склонны к локализации пластической деформации, чем перлитные (самым наглядным примером является присущая резанию аустенитных сталей неустойчивость стружкообразования).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Талантов, Н. В.* Физические основы процесса резания / Н. В. Талантов // Физические процессы при резании металлов: сб. науч. трудов. – Волгоград : Изд. ВПИ. – 1984. – С. 3–37.

2. *Талантов, Н. В.* Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. – М. : Машиностроение, 1992. – 240 с.

3. *Золоторевский, В. С.* Механические свойства металлов / В. С. Золоторевский. – М. : Metallurgia, 1983. – 352 с.

4. *Липатов, А. А.* Исследование перехода от взаимодействия с пластическим контактом к пластическому и вязкому контакту при обработке аустенитной стали / А. А. Липатов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 8 (135) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении» ; вып. 11). – С. 28–30.