

*В. А. Солодков, С. И. Кормилицин*

## **ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ ЗОНЫ ПРИ ВРЕЗАНИИ**

**Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: v-a-solodkov@yandex.ru, fpo@vstu.ru

Основной особенностью работы инструмента при прерывистом резании является многократно повторяющееся врезание инструмента в обрабатываемую заготовку и выход из нее. При этом каждый раз после врезания в течение короткого времени происходит формирование зоны контактного взаимодействия с непрерывно меняющимися характеристиками.

*Ключевые слова:* контактная зона, врезание, адгезионное взаимодействие, микротвердость

*V. A. Solodkov, S. I. Kormilitsin*

## **DYNAMICS OF THE FORMATION OF THE CONTACT ZONE DURING EMBEDDING**

**Volgograd State Technical University**

By main feature of wear of hard-alloy slices with cover for want of discontinuous cutting as show present and earlier executed researches is the ablation of cover from a back surface and radius of a rounding off of a cutting edge in initial period of cutting.

*Keywords:* contact zone, embedding, adhesive interaction, microhardness

При врезании режущего инструмента в обрабатываемый материал происходит целый ряд явлений, влияющих на взаимодействие обрабатываемого и инструментального материалов и, как следствие, на работоспособность инструмента.

Прежде всего в начальный момент происходит ударное нагружение режущих поверхно-

стей инструмента с возникновением как растягивающих, так и сжимающих напряжений и способных вызвать как макро так и микросколы режущей кромки.

Далее, в условиях высокого нормального давления на передней поверхности и кратковременного периода внешнего трения (при этом скорость стружки сравнима со скоростью

резания, а это несколько метров в секунду) вновь образующейся стружки с прирезочной поверхностью практически мгновенно ( $\sim 0,001..0,01$  с) возрастает температура на контактирующих поверхностях обрабатываемого и инструментального материалов. По некоторым данным, температура в таких условиях практически мгновенно может достигать тысячи градусов, что вполне достаточно для возникновения адгезионного взаимодействия нижнего слоя стружки (он как бы «приваривается» к передней поверхности) с поверхностью инструмента. В результате происходит торможение нижнего слоя и скорость его перемещения падает до нуля. Продолжающееся движение стружки запускает сдвиговую пластическую деформацию в наиболее прогретых, а следовательно, наименее прочных слоях стружки (как правило, это слой ближайший к заторможенному нижнему слою). В этот момент источником тепловыделений становятся объемы в которых началась пластическая деформация и интенсивность этих тепловыделений (количество килокалорий в единицу времени из единицы объема) при этом максимальна. Причину высокой интенсивности тепловыделений именно в начальный момент врезания можно определить анализируя формулу 1 [4]:

$$q = \tau \cdot \dot{\epsilon}_k \cdot \Delta_k = \tau \cdot V_p / (\zeta \cdot \Delta_k) = \tau \cdot V_c, \quad (1)$$

где  $\tau$  – контактные касательные напряжения;  $\dot{\epsilon}_k$  – скорость деформаций в контактной зоне;  $\Delta_k$  – высота контактной зоны;  $V_p$  – скорость резания;  $\zeta$  – усадка стружки;  $V_c$  – скорость стружки, м/мин.

Как показывают результаты эксперимента именно в начальный период врезания усадка стружки минимальна, а ее скорость имеет максимальную величину. С учетом того, что высота контактной зоны в этот момент – момент ее зарождения имеет наименьшую величину, скорость деформаций будет максимальна. Поэтому в этот начальный период врезания интенсивность тепловыделений будет иметь наибольшую величину.

Для определения интенсивности тепловыделений можно использовать микрошлифы корней стружек с помощью которых можно измерить высоту контактной зоны и сопротивление пластическому деформированию (контактные касательные напряжения).

Последнюю величину принято определять по значению микротвердости [1]. Для опреде-

ления этой характеристики используется следующая формула

$$\tau = M \cdot HV, \quad (2)$$

где  $\tau$  – контактные касательные напряжения, МПа; HV – микротвердость, МПа; M – переводной коэффициент ( $M = 0,185$ ).

Микротвердость определяется измерением диагонали отпечатков, полученных на микротвердомере. При определении микротвердости в зоне контактного пластического деформирования ее измеряли на минимально допустимом расстоянии от границы обрабатываемого материала до твердого сплава. Согласно опытным данным, таким расстоянием является полторы диагонали отпечатка. Иногда высказываются сомнения о пропорциональности сопротивления пластическому деформированию и микротвердости, измеренной на корне стружки. Причина – температурное воздействие на упрочненное состояние металла после получения корня стружки.

Однако следует отметить, что в процессе пластического деформирования температура играет роль фактора, управляющего упрочненным состоянием металла – плотностью дислокаций и, следовательно, сопротивлением пластическому деформированию. В процессе резания металла управляющее воздействие температуры проявляется в условиях пластического деформирования, характеризующегося высокими скоростями деформаций  $\dot{\epsilon}$  и высокими степенями деформаций  $\epsilon$ . Так, в зоне стружкообразования скорость деформации  $\dot{\epsilon} = 10^2...10^4$  с<sup>-1</sup>, а степень деформации  $\epsilon = 1,5...3$ . В зоне контактного пластического деформирования скорость деформации  $\dot{\epsilon} = 10^5...10^6$  с<sup>-1</sup> [4].

В момент получения корня стружки процесс пластического деформирования мгновенно прекращается и упрочненное состояние фиксируется таким, каким оно было в процессе резания. При этом в период остывания корня стружки температура не может оказать влияние на уровень упрочнения, полученного в этих высокоэнергетических условиях процесса высокоскоростного пластического деформирования.

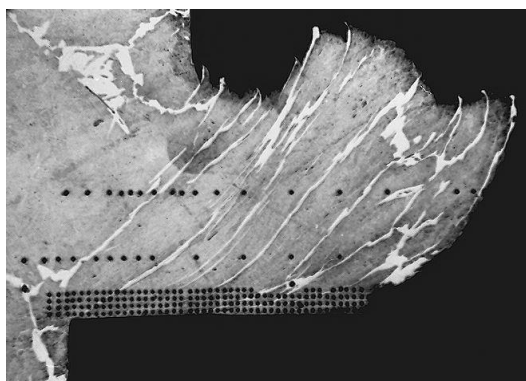
Для иллюстрации приведем микрошлифы двух корней стружки, полученный при врезании (рис. 1).

Первый корень стружки получен в начальный момент врезания ( $L = 1,4$  мм), когда зона контактных пластических деформаций еще не успела сформироваться и отпечатки имеют

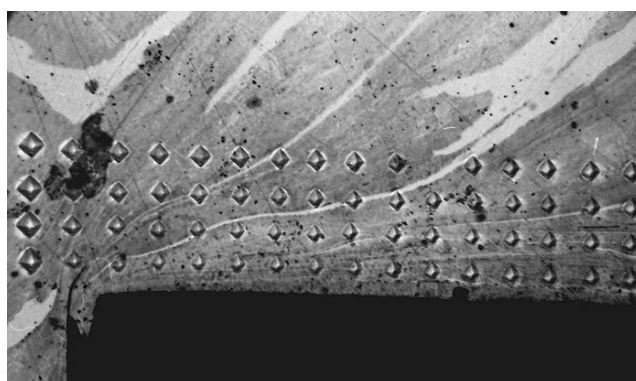
примерно одинаковые размеры, характеризующие упрочнение, полученное в результате пластической деформации в зоне стружкообразования.

Второй корень стружки получен после значительной длины резания ( $L = 57$  мм), когда зона контактных пластических деформаций сформировалась, о чем свидетельствует изме-

нение размеров отпечатков по длине контакта. Вначале размеры отпечатков уменьшаются, что показывает рост упрочненного состояния (участок деформационного упрочнения), а затем размеры отпечатков увеличиваются, что говорит о протекании в этой зоне процессов температурного разупрочнения (участок температурного разупрочнения)



а



б

Рис. 1. Вид контактной зоны при врезании.  
Твердый сплав ВК8 – сталь 45,  $V = 60$  м/мин,  $S_z = 0,337$  мм/зуб:  
а – длина пути резания после врезания  $L = 1,4$  мм; увеличение  $\times 100$ ;  
б – длина пути резания после врезания  $L = 57$  мм; увеличение  $\times 500$

Измерение микротвердости в контактной зоне при различной длине врезания показало, что при врезании с большой скоростью происходит образование и трансформация контактной зоны до вида, типичного для установившегося резания (рис. 2, [3]).

Из графика видно, что адгезионное взаимодействие вновь образующейся стружки с передней поверхностью инструмента возникает практически в момент врезания и начинается на некотором удалении от режущей кромки. Об этом свидетельствует пик микротвердости вызванный упрочнением обрабатываемого материала вследствие начавшейся в этот момент и в этом месте пластической деформации ( $L = 0,8$  мм). При этом резкое падение микротвердости после максимума не есть результат какого-то мгновенного температурного разупрочнения. Это падение означает только то, что эти объемы материала не претерпели контактного пластического деформирования и, следовательно, не упрочнились.

При последующем резании ( $L = 1,4$  мм) характер изменения микротвердости имеет несколько иной вид. Как рост, так и последующее падение уровня микротвердости, происходят более плавно. Это свидетельствует о достижении температурного уровня достаточного для начала процессов разупрочнения.

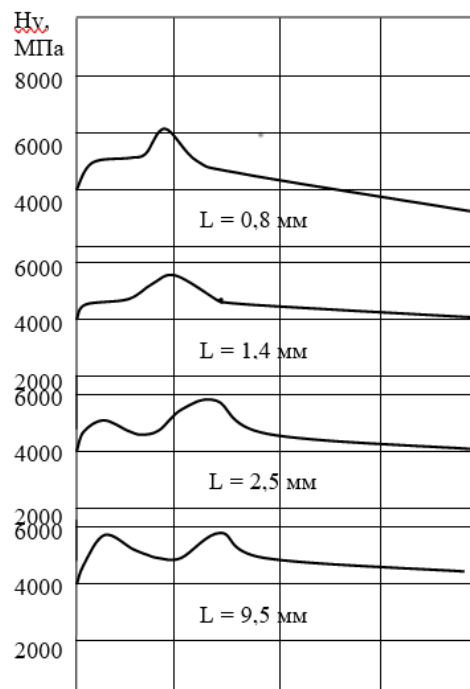


Рис. 2. Зависимость микротвердости от длины врезания

При длине резания 2,5 мм контактная зона и характер изменения микротвердости имеют качественно иной вид. Контактное пластическое течение на второй части контакта имеет более развитый вид, а на кривой микротвердо-

сти появляется второй максимум. Этот максимум находится на первой части контакта вблизи режущей кромки и связан, очевидно, с зарождением здесь под действием максимальных нормальных давлений и растущих температур еще одного участка контактного пластического течения. Необходимо отметить, что этот пик прослеживается только в слое материала, расположенном на расстоянии 15 мкм от передней поверхности инструмента. Выше, на расстоянии 30 мкм он отсутствует.

На следующей стадии формирования контактного взаимодействия ( $L = 9,5$  мм), можно отметить следующее. Фактически здесь имеет место явление как бы вторичного упрочнения, связанное, очевидно, с интенсивным перераспределением тепла между стружкой и инструментом приврезания. Как известно, при врезании тепловые потоки из контактной зоны направлены в основном в инструмент, скорость роста температуры в котором даже глубине 0,07 мм от поверхности достигает  $20000^\circ\text{C}/\text{с}$  [2]. После упрочнения и разупрочнения на первом участке выделившееся в контактных объемах тепло интенсивно поглощается холодным инструментом.

В результате этого температура контактных слоев резко падает, что повышает предел текучести материала и сопротивление пластическому деформированию. Затем вновь как бы повторяются процессы упрочнения и разупрочнения.

Формирование единой контактной зоны в принятых условиях обработки завершается уже при длине пути резания около 15 мм [3]. При этом ее вид и форма практически ничем не отличаются от того, что имеет место при установившемся резании. Отличия только в размерах, и прежде всего в высоте. Это подтверждается также и характером изменения микротвердости – различия только в количественных характеристиках).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Развитие науки о резании металлов / В. С. Бобров, Г. И. Грановский, Н. Н. Зорев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1967. – 416 с.
2. Температурное поле в режущем клине инструмента при прерывистой работе / В. А. Синопальников, В. Д. Гурин // Вестник машиностроения. – 1980. – № 4. – С. 44–47.
3. Солодков, В. А. Физические основы контактных процессов при прерывистом резании : монография / В. А. Солодков ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – 156 с.
4. Талантов, Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. – М. : Машиностроение, 1992. – 240 с.