

М. Х. ГРИГОРЯН, М. О. НАВОЯН, В. А. КАРАГЕЗЯН

## О НЕКОТОРЫХ ЯВЛЕНИЯХ НА КОНТАКТЕ ИНСТРУМЕНТА С ДЕТАЛЬЮ ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ РЕЗАНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МЕТАЛЛОВ

Наиболее представительным прерывистым процессом нужно считать торцевое фрезерование, при котором нагрузка на резец непрерывно меняется от минимума до максимума, или наоборот, а изменения температуры контакта подчиняются иным законам. При этом в зависимости от горизонтальной проекции расстояния между осью фрезы и симметрично расположенной деталью, т. е.

$$U = \frac{D}{2} - \frac{B}{2},$$

и его направления характер контактных явлений будет изменяться в определенных пределах. Скорость нарастания толщины среза  $\dot{a} = \frac{da}{d\tau}$  будет величиной переменной, определяемой из выражения:

$$\dot{a} = \frac{a_{\max} - a_{\min}}{\varphi} 2\pi n,$$

в котором  $a_{\max}$  — максимальная толщина среза,  $a_{\min}$  — минимальная при одном и тем же значении подачи на зуб  $s_z$ ,  $\varphi$  — половина угла контакта в градусах,  $n$  — число оборотов фрезы в минуту. С ее изменением, а также при изменениях угловой скорости фрезы должны наблюдаться следующие возможные явления.

1. Схватывание, или комкообразование, причем степень прочности соединения «комка» с рабочими гранями режущего зубца будет зависеть от температуры контакта и сродства между материалами режущего инструмента и обрабатываемой детали. Возможные пределы прочности такого соединения колеблются между нулем при обработке машиноподелочных сталей, при средних скоростях, резания, и высокопрочным соединением, при котором «комки» может привести к разрушению режущей кромки, обладающей наименьшей прочностью рабочей части инструмента.

2. Учитывая, что при тонких стружках и высоких скоростях нарастания толщины зона стружки, соприкасающаяся с рабочей поверхностью инструмента, находится в «тестообразном» состоянии, а поверхность инструмента не лишена пор, в особенности если спекание твердо-

го сплава происходит в атмосфере водорода, а при нагреве поверхности инструмента размеры пор увеличиваются, возможно продавливание части мягкой стружки в эти поры. Известно, что удельные усилия на поверхности контакта стружка—деталь превосходят  $400\text{--}500\text{ кгс/мм}^2$  и поэтому полужесткая стружка возможна. Конечно, при этом возникают напряжения растяжения, сопротивление которым со стороны спеченных материалов низки.

3. Не лишено основания и проявление «эффекта Ребиндера», учитывающая разнородность соприкасающихся металлов почти жидкой зоны стружки и поверхности инструмента.

4. Наконец, наличие слабой зоны в районе кромки, неравномерность распределения напряжений и температуры, неодинаковое снижение показателей прочности у материала режущего инструмента и некоторых марок обрабатываемого металла, ускоренные химические реакции, приводящие к обеднению карбидов и созданию связей вольфрама с некоторыми элементами обрабатываемого металла — все это может привести к случайным разрушениям или выкрашиваниям инструмента. К этому могут, как известно привести, усталостные явления, если учесть высокое значение декремента затухания колебаний, возникающих в процессе резания.

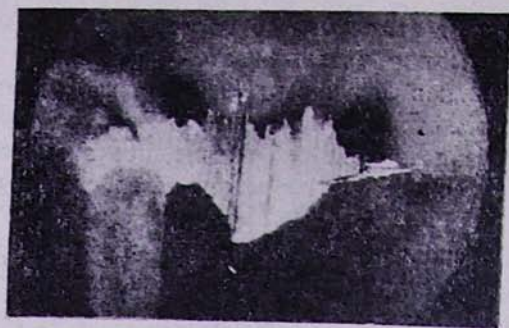
Настоящая статья посвящена некоторым из этих явлений, представляющих большой научный и производственный интерес, поскольку в производственных условиях максимальное число выхода твердосплавных инструментов из строя происходит как раз по разрушениям режущей кромки, а не по причине нормального износа.

Условия экспериментального исследования этих явлений слагались из следующих: изучалось поведение восьми марок твердосплавных инструментов — ВК4, ВК6, ВК8, ВК20, Т5К10, Т15К6, Т30К4 и ТТ7К12. Кроме того, рассматривались возможности в изучаемом аспекте при использовании Р6М5, ЦМ332 и Эльбор. Обработке подвергалась сталь Х18Н9Т на станке модели 6Н11 с использованием дополнительного вариатора для расширения диапазона подач. Усилия резания фиксировались универсальной тензометрической головкой 2КДФ-2, через усилитель ТА-5 и осциллограф Н115. Фиксировалась также примерная температура на поверхности контакта инструмента—деталь.

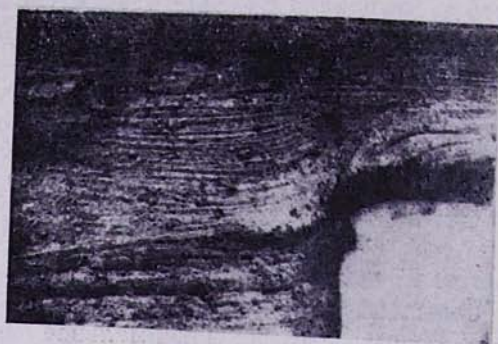
Наблюдаемые моменты образования «комка» использовались и для его изучения, резец-зубец подрезался электроэрозионным методом, и после подготовки шлифа проводились его измерения и фотографирование под микроскопом.

Ниже представлены микрофотографии зафиксированных явлений при различных условиях их получения. Рассмотрим приведенные рис. 1а, б, в.

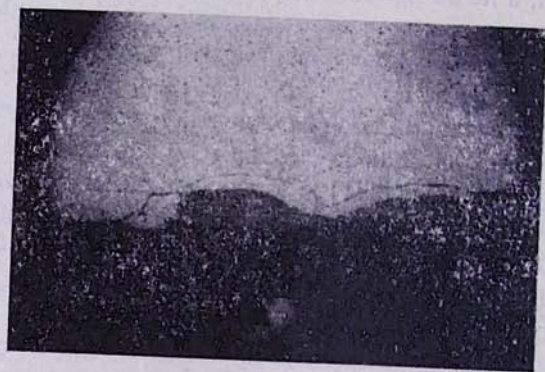
Рис. 1а представляет собой часть рабочей головки резца-зубца с налипшим «комком», снятый со стороны ребра между гранями при увеличении в 117 раз, зафиксированный при  $v = 70\text{ м/мин.}$ ,  $s = 0,1\text{ мм/зуб.}$  и  $t = 2\text{ мм.}$  Рис. 1б изображает тот же резец после разрезки его перпенди-



а



б



в

Рис. 1.

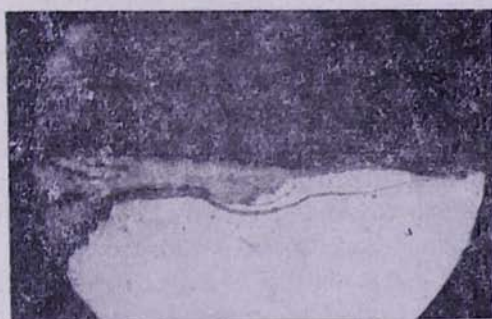
кулярно режущей кромке, ближе к режущей кромке при том же увеличении. Следующий рисунок изображает при меньшем увеличении ту же часть резца с продолжением снимка к основанию резца. Мы не называем налипшую часть (рис. 1а) наростом, структура его коренным образом отличается от структуры нароста. Этот комок всесторонне охватил резец по передней и задней граням все неровности, выявляя структуру застойного металла с необычным направлением деформации. Нан-

более примечательным является появление трещин вдоль задней грани. Марка сплава Т15К6.

Следующие рисунки посвящены тем же явлениям, но при использовании в качестве режущего инструмента ВК6 и ВК20 (рис. 2а, 2б, 3). Точно так же, как и в предыдущем случае, общий комок (рис. 2а) имеет почти такие же очертания, нижняя зона которой повторяет всю топографию износа резца, армированного сплавом ВК6, а разрез также показывает образовавшуюся трещину вдоль задней грани (рис. 2б). Рис. 3, на котором приведен лишь разрез с «комком» резца, армированного сплавом ВК20, также показывает образовавшуюся трещину вдоль задней грани. Эти же явления хорошо демонстрирует рис. 4, на котором изображен разрез резца, армированного сплавом ВК8 с разветвленной трещиной. Несколько в ином виде представляется разрушенная часть при использовании резца, армированного сплавом ТТ7К12 (рис. 5а, 5б). Более наглядно здесь проявляются выщербины, образующие под налипшими частями обрабатываемой стали.



а



б

Рис. 2.

Не придавая абсолютного примата образованию комков, родству материалов инструмента и обрабатываемой детали, мы все же провели эксперименты в том же направлении, но с использованием эльбора и

ЦМ-332. Нужно отметить, что в обоих случаях обильного образования «комков» мы не обнаружили. Однако мельчайшие частички, очевидно, как результат несовпадения траекторий, были обнаружены. Вместе с тем отметим, что разрушение режущей кромки с выделением мелко диспергированных частичек имеет место.

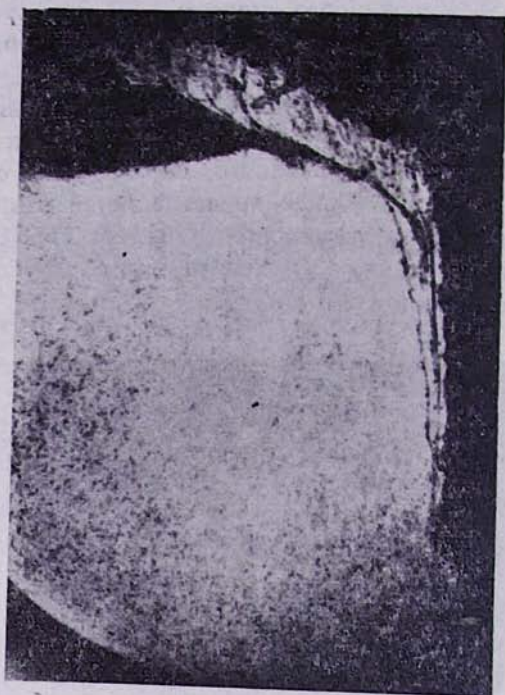


Рис. 3.

Следовательно, родство материалов, находящихся в контакте, в условиях, когда температура этого контакта не превышает определенного значения, играет, при использовании твердосплавных резцов, определенную роль в образовании этих застойных явлений, развиваемых адгезионными связями. Повышение температуры контактной зоны в результате изнашивания, приводящего к повышению степени деформации срезаемой стружки, низкой теплопроводности, содействующей концентрации тепла в приповерхностных слоях резцового материала, приводит к образованию трещин и выщербин, о которых говорилось выше.

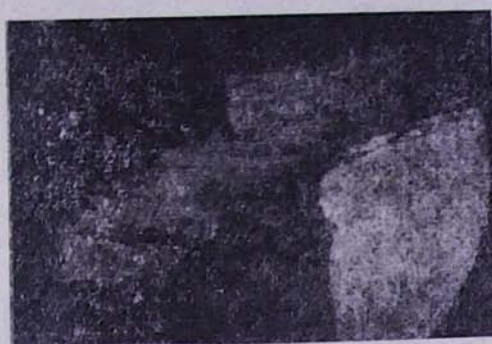
Как видно из приведенных рисунков, адгезионные схватывания обрабатываемого металла с режущим инструментом в основном происходят по задней поверхности. В связи с этим был проведен эксперимент по выявлению влияния величины заднего угла  $\alpha$ , в первую очередь на стойкость, поскольку бурное схватывание приводит к резкому сокращению стойкости. Результаты сведены в таблицу.

Может быть, переход от заднего угла  $\alpha = 12^\circ$  к заднему углу  $\alpha = 15^\circ$

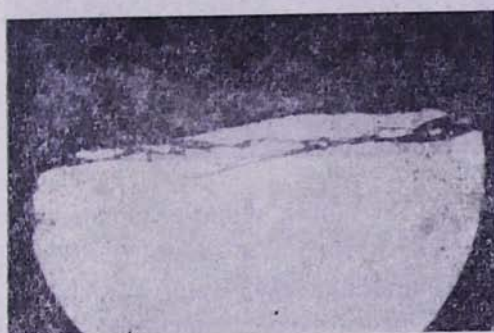
Таблица 1

| Величина заднего угла в град. | Значение стойкости в мин. | Постоянные параметры                                                                                                                                            |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8                             | 10                        | Подача $s=0,1$ мм/об.<br>Глуб. рез. $t=2$ мм<br>Скор. рез. $v=70,65$ м/мин<br>$\varphi=60^\circ$ , $\varphi_1=15^\circ$<br>$\gamma=0^\circ$ , $\lambda=0^\circ$ |
| 12                            | 10                        |                                                                                                                                                                 |
| 15                            | 83                        |                                                                                                                                                                 |
| 25                            | 57                        | Обраб. металл X18H9T<br>Марка сплава ВК8                                                                                                                        |

сопровождается слишком резким повышением стойкости, однако именно при переходе к этому, очевидно, оптимальному значению угла, не наблюдалось, при всех прочих постоянных условиях резания, явления «комкообразования». Конечно, и сам факт резкого изменения стойкости представляется интересным и требует дополнительных исследований для повышения достоверности.



а

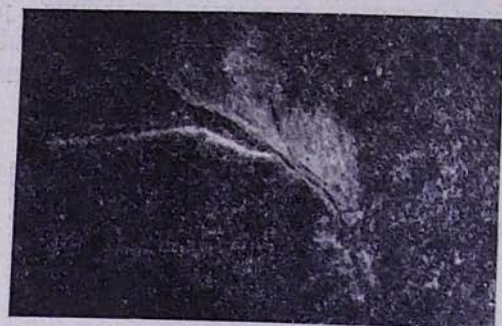


б

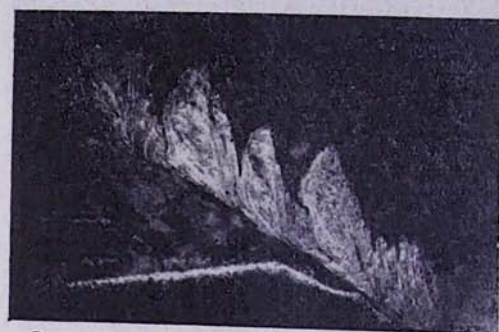
Рис. 4.

Это положение вынудило нас проследить за интересующим явлением с изменением ширины площадки износа на задней поверхности. Мы нашли возможным это исследование промоделировать. Для этой

цели создавали искусственный износ при  $\alpha_{\phi} = 0^{\circ}$ , с шероховатостью площадки износа ( $\nabla 10 \div 11$ ). Ширина площадки «износа» менялась в опытах в пределах  $\Delta = 0,25 \div 0,5$  мм. Резание осуществлялось при трех вариантах скоростей с постоянными значениями подачи  $s = 0,1$  мм/зуб, глубины резания  $t = 2$  мм. При  $\Delta =$  до 0,32 мм схватывание происходило только при  $v = 125,6$  м/мин., тогда как при  $v = 34,5$  м/мин. и 70,6 м/мин. это явление не наблюдалось. Но стоило увеличить ширину площадки схватывания начиналось: при  $v = 125,6$  м/мин, при  $\Delta = 0,32$  мм, при  $v = 34,5$  м/мин., при  $\Delta = 0,39$  мм, а при  $v = 70,6$  м/мин. с  $\Delta = 0,5$  мм. Максимальная интенсивность схватывания протекала при  $\Delta = 0,93-0,97$  мм при скоростях 34,5—70,6 м/мин. Последовательность



а



б

Рис. 5.

отмечаемого явления протекала следующим образом: вначале гладкая поверхность созданной фаски покрывалась тонкой пленкой обрабатываемого металла (смотри рис. 6, 7), а затем процесс развивался по толщине и высоте. Следовательно, величина площадки изнашивания по задней поверхности играет роль «зачинателя», причем ясно, что немаловажную роль при этом играют температура и удельные усилия на этой площадке. Для проверки данного предположения были поставлены две серии экспериментов по выявлению влияния, соответственно,

удельной силы и температуры на прилипание. Действующую на резец силу резания можно представить в виде отдельных составляющих (рис. 8).

На контактные явления по задней поверхности в основном влияют силы, действующие на площадку фаски, т. е. нормальная  $P_3$  и сила трения  $F_n$ . Причем особый интерес представляет нормальная сила  $P_3$ . Измерению составляющих сил резания посвящено много работ [1, 3, 7, 11, 12], в которых указываются в основном два метода:

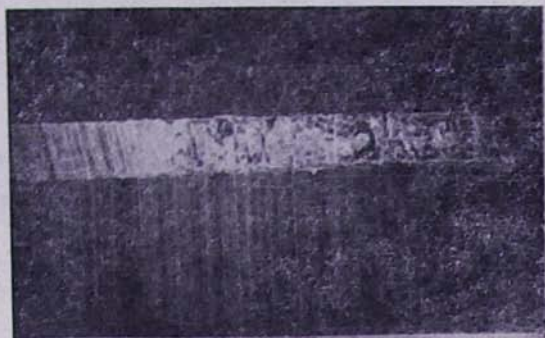


Рис. 6.

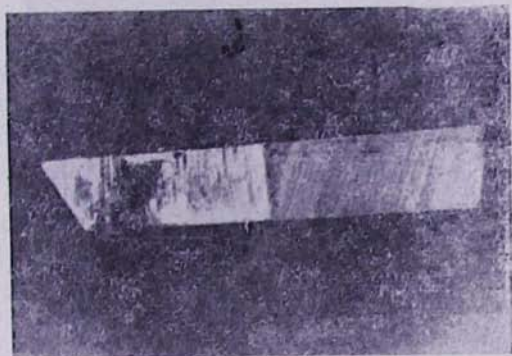


Рис. 7.

1. Расчетный.
2. Метод применения разрезных резцов.

Нами был спроектирован специальный разрезной тензометрический резец, для измерения силы  $P_3$ , который, однако, не дал положительных результатов. В условиях прилипания «комки» вновь сваривали обе половинки резца в одно целое и по этой причине определить силу  $P_3$  отдельно от  $F_n$  становилось невозможно. В основу наших измерений была положена другая методика.

Закрепляя фрезу в универсальной динамометрической головке 2КДФ—2, мы имели возможность фиксировать суммарную радиальную силу  $P_{рад}$ .

$$P_{\text{рад}} = P_3 + F_n.$$

Для устранения помех других составляющих было осуществлено прямоугольное ( $\varphi = 90^\circ$ ) (лобовое) резание.

Далее предполагалось, что, при прочих равных условиях, изменение ширины фаски в определенных пределах практически не влияет на стружкообразование, следовательно, и на силу трения стружки  $F_n$ , т. е. принималось:

$$F_n = \text{const.}$$

Таким образом, любое изменение силы  $P_{\text{рад}}$  приписывалось силе  $P_3$ . Не зная первоначальную силу  $P_3$ , но зная ее приращение, можно судить о ее влиянии на прилипаемость.

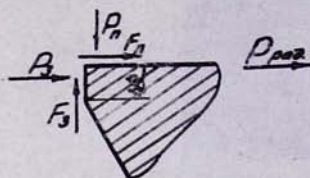


Рис. 8.

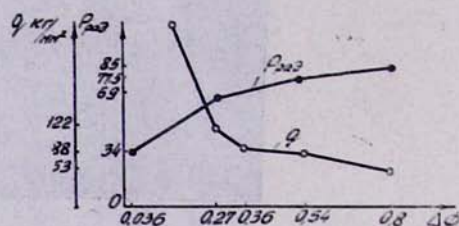


Рис. 9.

Резцы из ВК8 затачивались нулевыми фасками различной ширины;  $\alpha = 15^\circ$ ,  $\gamma = \lambda = 0^\circ$ ,  $\varphi = 90^\circ$ ,  $\varphi_1 = 6^\circ$ ,  $s = 0,1$  мм/зуб,  $t = 2$  мм,  $v = 70,65$  м/мин. Результаты экспериментов (рис. 9) свидетельствуют о том, что при увеличении ширины фаски и монотонном возрастании общей силы  $P_{\text{рад}}$  наблюдается тенденция к уменьшению удельной силы резания  $q = \frac{P_{\text{рад}}}{f_{\text{фаски}}}$  (кг/мм²). В некоторых работах [4] указы-

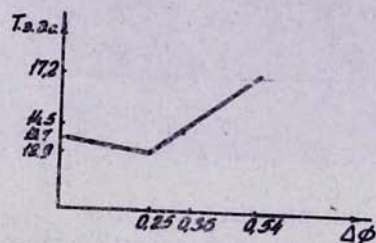


Рис. 10.

вается на увеличение удельной силы резания в момент критического износа. Такое описание процесса не противоречит нашим данным, так как момент прилипания наступает намного быстрее, чем критический износ.

Таким образом, уменьшение удельной силы резания при одновременном прилипании стружки говорит о том, что этот фактор не является определяющим в образовании прилипов по задней поверхности.

Образование «комков» в некоторый момент продолжительного ре-

зания свидетельствует о его непосредственной связи с явлениями, происходящими при износе инструмента, в частности, с температурой резания. На рис. 10 показано изменение температуры резания в зависимости от ширины фаски износа по задней грани. Материал ВК8  $v = 70,65$  м/мин.,  $s = 0,1$  мм/зуб.,  $t = 2$  мм. Уменьшение температуры зоны резания при  $\Delta_\phi = 0,25$  не случайно. С изменением площади контакта происходит перераспределение тепловых потоков, в связи с чем наблюдается некоторое уменьшение температуры [10]. Затем, с повышением температуры и увеличением площадки контакта, начинается при-

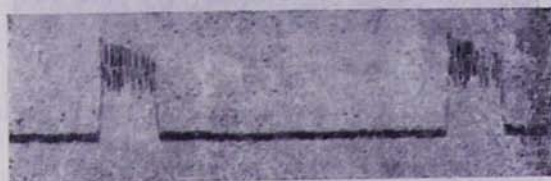


Рис. 11.

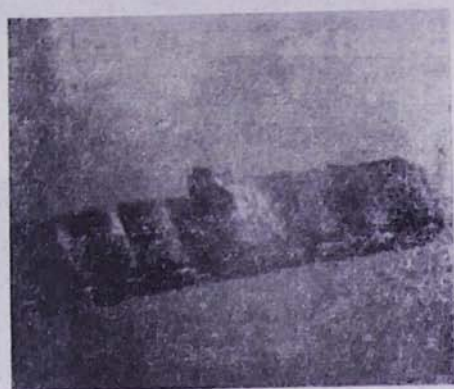


Рис. 12.

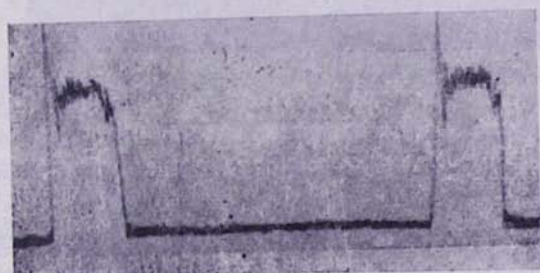


Рис. 13.

липание. Следует отметить, что хотя в начальный момент температура и была достаточно высока для прилипания, но оно не наблюдалось. Это говорит о том, что одна лишь высокая температура недостаточна для схватывания, хотя и является основной причиной.

При выявлении влияния температуры на схватывание мы стремились создать такие условия, при которых изменялась бы только температура, независимо от скорости. Для получения разных температур при постоянной скорости заготовка предварительно подогревалась в печи. Эксперимент проводился при трех постоянных скоростях 34,54 м/мин., 70,65 м/мин. и 125,6 м/мин.,  $s = 0,1$  мм/зуб.,  $t = 2$  мм. Резец затачивался с нулевой фаской, шириной 0,3 мм. Во всех случаях с повышенным

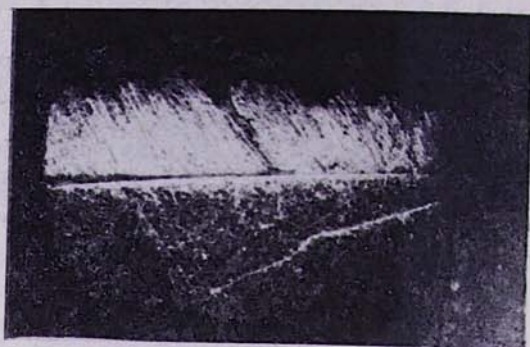


Рис. 14.

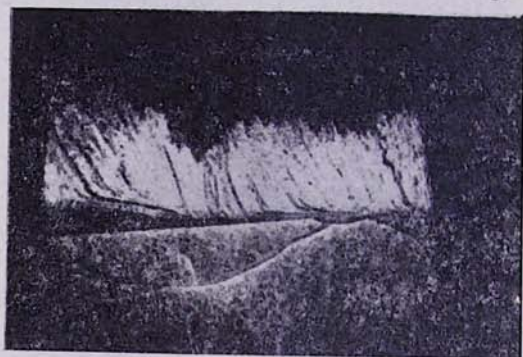


Рис. 15.

температуры наблюдалось прилипание, однако при  $v = 34,54$  м/мин. «комки» появлялись при  $t = 760^\circ$ , при  $v = 70,65$  м/мин. — при  $t = 840^\circ$  и при  $v = 125,6$  м/мин. — при  $t = 870^\circ$ . Такая последовательность явлений говорит о том, что скорость резания имеет определенное отношение к явлениям прилипания, причем каждой скорости соответствует определенная начальная температура схватывания.

При температурах  $870^\circ$  и более нами были зафиксированы моменты, когда сильно разогретая стружка схватывается на передней поверхности зубца. В момент схватывания, когда свободный сход стружки ограничен, происходит веерообразное наложение слоев и образуется

утолщение стружки. С увеличением сил утолщение срывается. Периодическое возникновение таких «суставов» приводит к возникновению вибраций. На рис. 11 изображена осциллограмма радиальной силы. Исследования показали, что число колебаний равно количеству «суставов». Следует отметить, что приварившаяся к зубцу стружка при следующем врезании приваривается ко вновь образующейся (рис. 12), а в момент врезания наблюдается увеличение силы «всплеск» (рис. 13) и отрыв приварившейся части. На рис. 14 и 15 изображены разрезы резцов ВК8, проработавших в условиях высокой температуры. Что касается усталостных явлений, то в данном случае действуют два конкурирующих фактора. Циклические термомеханические нагружения приводят к образованию усталостных трещин, что способствует разрушению. С другой стороны, благодаря высокой температуре резца, повышается вязкость кобальтовой связки, что благоприятно влияет на ударную вязкость инструмента.

### В ы в о д ы

1. В условиях сравнительно низких температур резания родство инструментальных и обрабатываемых материалов имеет определенное значение в образовании застойных «схваченных» зон.

2. На всем диапазоне скоростей повышение температуры приводит к «схватыванию» металлов. Высокая температура резания является одной из основных причин возникновения «комков», однако для этого необходима также определенная площадка контакта.

3. Влияния величины удельной силы резания в области возникновения и роста «комков» при одновременном увеличении контактной площадки и температуры резания не наблюдалось.

На трещинообразование оказывают большое воздействие термомеханические удары, а также вибрации в процессе резания.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. М. Ф. Полетика. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. М., «Машиностроение», 1969.
2. Л. Г. Ку克林 и др. Повышение прочности и износостойкости твердосплавного инструмента. М., «Машиностроение», 1968.
3. А. М. Вульф. Резание металлов, Л., «Машиностроение», 1973.
4. В. Г. Подноркин, Л. Н. Бердников. Фрезерование труднообрабатываемых материалов. Л., «Машиностроение», 1972.
5. В. Н. Подураев. Резание труднообрабатываемых материалов. М., «Высшая школа», 1974.
6. Г. Л. Хаег. Прочность режущего инструмента. М., «Машиностроение», 1975.
7. В. Ф. Бобров. Основы теории резания металлов. М., «Машиностроение», 1975.
8. С. Н. Филоненко. Резание металлов. Киев, «Техника», 1975.
9. Н. И. Резников. Обработка резанием жаропрочных, высокопрочных и титановых сплавов. М., 1971.

10. А. Н. Резников. Теплофизика резания. М., «Машиностроение», 1969.
11. М. И. Клушин. Резание металлов. М., 1958.
12. Г. И. Грановский и др. Основы резания металлов. М., 1954.
13. В. П. Исаченко. Теплопередача. М., «Энергия», 1975.
14. А. И. Бетанели. Прочность и надежность режущего инструмента. Тбилиси, 1973.
15. Т. Н. Лоладзе. Износ режущего инструмента. М., 1958.