

УДК 621.791.94

А.А. Москвичев, А.Р. Кварталов

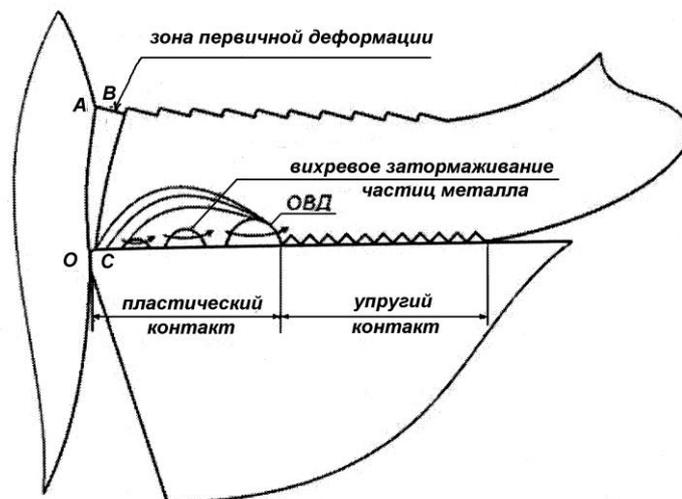
## УПРАВЛЕНИЕ КОНТАКТНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ СТРУЖКИ С РЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ

Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева

Рассматривается возможность влияния на зону контакта инструмента со стружкой путем возбуждения в СОЖ импульсного высокого давления. Приводятся результаты исследования влияния импульсного давления на характер стружкообразования при точении сталей. Проведен металлографический анализ полученных стружек для определения влияния импульсного давления СОЖ на контактные процессы и условия стружкообразования, описывается процесс напряженно-деформированного состояния металла срезаемого припуска и стружкодробления. Объясняется механизм дробления сливной стружки под действием импульсного давления СОЖ. Даются рекомендации к применению ударных волн высокого давления в подводимой внешней смазочно-охлаждающей среде для ломания стружки на элементы необходимой длины без применения средств стружкодробления.

*Ключевые слова:* контактные процессы, импульсное давление в СОЖ, зона контакта инструмента со стружкой, дробление стружки.

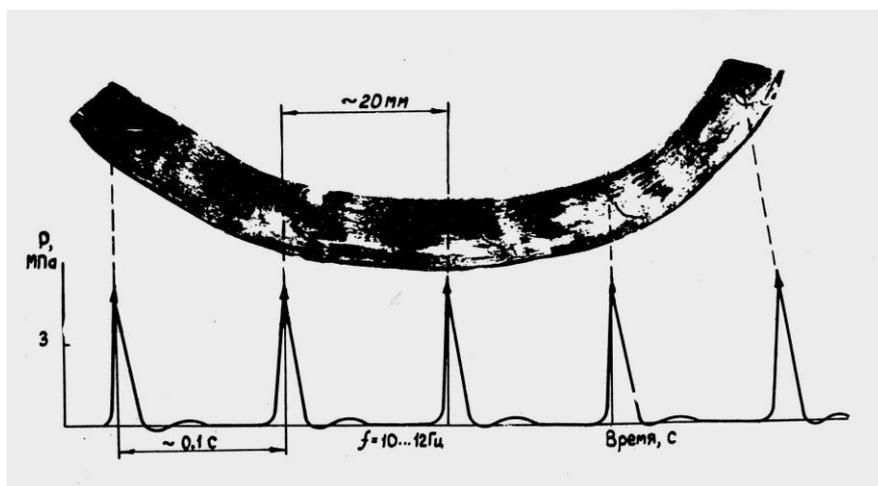
Сложное контактное взаимодействие стружки с режущим инструментом при механической обработке существенно влияет как на сопротивление металла резанию, характер и напряженность пластического деформирования срезаемого слоя, так и на интенсивность износа режущего инструмента и качество обработанной поверхности. Процесс взаимодействия стружки с передней поверхностью режущего инструмента сопровождается образованием заторможенных частиц - областей высокого давления вблизи его лезвия и нароста (рис. 1).



**Рис. 1. Схема взаимодействия стружки с передней поверхностью режущего инструмента**

При этом важно различать участки пластического и упругого контактов. Образование областей высокого давления (ОВД) происходит за счет реализации вихревой моды деформации в прирезцовых слоях стружки, которые являются основой для образования динамической диссипативной структуры-нароста на передней поверхности режущего инструмента [1, 2].

Как показали исследования [3, 4], при точении с использованием импульсного давления СОЖ величиной до 6 МПа стружка не дробилась, но на ее прирезцовой поверхности по длине стружки чередовались блестящие и матовые участки, разделенные следами надлома с шагом, соответствующим частоте генерации импульсов давления (рис. 2).



**Рис.2. Стружка со следами действия импульсного давления СОЖ:**  
 ОМ-40Х; ИМ-Р18; СОЖ-И-5А;  $V=0,3$  м/с;  $S=0,15$  мм/об;  $t=2$  мм

Анализ чередования данных участков с учетом синхронизации их возникновения с частотой следования импульсных электрических разрядов выявил существенную закономерность. Матовый участок поверхности стружки соответствует времени обработки без импульсного давления, т. е. в традиционных условиях резания с поливом СОЖ. При этом СОЖ, по-видимому, проникает только на участок упругого контакта поверхностей трения стружки с лезвием инструмента и на передней поверхности инструмента интенсивно образуется нарост. При возникновении электрического разряда под действием импульсного давления СОЖ ее пары и продукты деструкции проникают на большую часть зоны пластического контакта фрикционной пары инструмент – стружка и на некоторое время действия резко изменяют контактные процессы. В результате нарост срывается и уносится стружкой, а СОЖ создает смазывающий эффект на контактирующих поверхностях и улучшает условия трения стружки с лезвием инструмента. Этому периоду времени соответствует блестящий участок приконтактной поверхности стружки. Действие СОЖ происходит непродолжительное время, и на передней поверхности лезвия инструмента вновь быстро образуется нарост, а на прирезцовой поверхности стружки – матовый шероховатый участок. С возникновением очередного импульса давления СОЖ снова проникает на большую часть зоны контактного взаимодействия стружки с инструментом. Нарост срывается и уносится стружкой. Цикл повторяется.

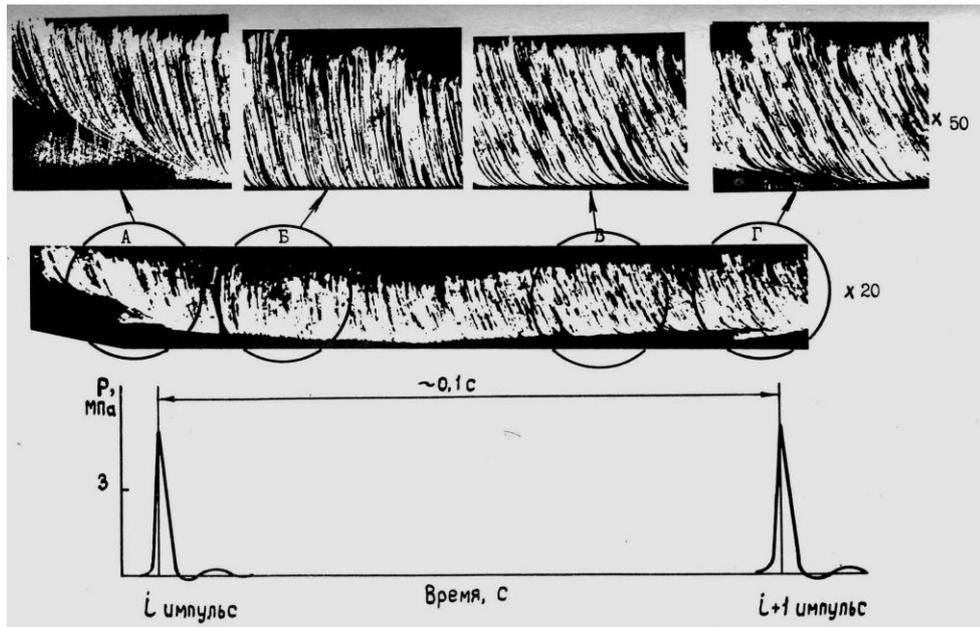
С целью определения влияния импульсного давления СОЖ на контактные процессы и условий стружкообразования, напряженно-деформированного состояния металла срезаемого припуска и стружкодробления проведен металлографический анализ полученных стружек. Отбирались образцы стружек, полученных при точении с генерацией импульсного давления различной величины и при обработке резанием с традиционным поливом СОЖ.

На рис. 3 представлены микрофотография участка стружки, полученного при точении стали 40Х со скоростью резания 1 м/с, подачей 0,15 мм/об и глубиной резания 2 мм, между двумя соседними импульсами давления величиной около 6 МПа, серия которых генерировалась в масляной СОЖ И-5А, а также отличительные фрагменты этого участка стружки. На рис. 4 приведены распределения микротвердости в продольных сечениях по длине и толщине стружки.

Металлографический анализ выявил значительные изменения текстуры как по длине, так и толщине представленного образца стружки между соседними импульсами давления и периодическую повторяемость этих изменений от импульса к импульсу (рис. 3).

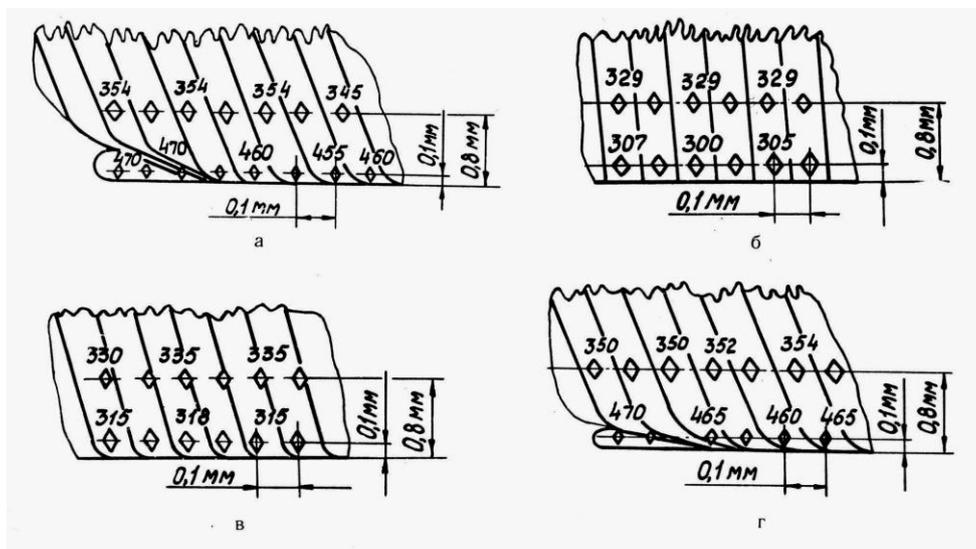
Результаты измерения позволяют констатировать, что самая большая микротвердость (до 470 ед. НВ) зафиксирована в приконтактном слое стружки, граничащем с наростом

(рис. 4, *a* – рис. 3, *A*; рис. 4, *z*; – рис. 3, *Г*). На расстоянии 0,8 мм от прирезцово́й поверхности микротвердость уменьшилась на 116 ед. НВ. Микротвердость приконтактного слоя участка стружки только с поперечной текстурой (рис. 4, *б* – 3, *Б*) значительно ниже и у остальных участков составляет 307 ед. НВ. Важно отметить, что эта микротвердость оказалась ниже на 22 ед. НВ микротвердости, измеренной на расстоянии 0,8 мм от прирезцово́й поверхности этого же участка стружки (рис. 3, *Б*). На участке с продольной и поперечной текстурой (рис. 4, *в*, рис. 3, *В*) микротвердость несколько выше, чем на предыдущем участке (рис. 3, *Б*), но тенденция того, что микротвердость в контактном слое ниже по сравнению с таковой в середине этого участка сохраняется.



**Рис. 3. Участок стружки, полученный в период времени между двумя соседними импульсами давления:**

*A, Г* – после возникновения импульса давления; *Б* – между импульсами давления с отсутствием продольной текстуры; *В* – между импульсами давления с возникновением продольной текстуры



**Рис. 4. Распределение микротвердости в продольном сечении по длине и толщине стружки на участке:**

*a* – со срывом нароста; *б* – с поперечной текстурой; *в* – с продольной текстурой; *г* – со срывом следующего нароста

Циклическая переменность текстуры (рис. 3), а также результаты измерения микротвердости в приконтактном слое (рис. 4) в середине толщины и в наружном слое стружки свидетельствуют о существенном изменении напряженно-деформированного состояния в результате действия импульсного давления СОЖ. Условия трения по длине контакта стружки с передней поверхностью лезвия инструмента характеризуются высокой неоднородностью. При отсутствии импульсного давления СОЖ в той части контакта, которая непосредственно прилегает к режущей кромке инструмента, в соприкосновении находятся ювенильные (физически чистые) металлические поверхности стружки и инструмента, между которыми появляется физический контакт.

При наличии относительного перемещения трущихся поверхностей инструмента и стружки осуществляется явление схватывания и массопереноса обрабатываемого материала на лезвие инструмента, приводящее к возникновению нароста. При появлении нароста возникает заторможенный слой стружки на участке ее пластического контакта с передней поверхностью резца и наблюдается ярко выраженная продольная текстура в контактном слое стружки, характеризующая его интенсивную вторичную пластическую деформацию. Причем чем больше сила трения, действующая между контактирующими поверхностями стружки и инструмента, тем сильнее тормозится контактный слой стружки и тем больше искривление линий текстуры и толщина слоя, в котором это искривление наблюдается. В этот момент система резания находится в определенном состоянии динамического равновесия. Процессы и напряженное состояние в зоне стружкообразования зависят от контактных процессов в зоне вторичной пластической деформации. Иначе говоря, напряженное состояние в одной зоне не может быть изменено без того, чтобы соответственно не изменилось напряженное состояние в другой зоне. Угол наклона поперечной текстуры к прирезцовой поверхности стружки имеет определенное значение (рис. 3, А).

С возникновением в СОЖ импульса давления около 6 МПа с крутым фронтом и длительностью в пределах  $(10-50) \cdot 10^{-6}$  с, под действием которого СОЖ, по-видимому, проникает на большую часть зоны контакта стружки с инструментом, оказывая соответствующее воздействие на контактные процессы, значительно облегчаются условия трения стружки по передней поверхности лезвия инструмента. Происходит разупрочнение адгезионной связи основания нароста с инструментом — нарост полностью срывается и уносится стружкой (рис. 3, А). Значительное снижение трения предопределяет переход к граничному трению без существенных вторичных пластических деформаций контактного слоя стружки. Всю толщину стружки пронизывает однородная поперечная текстура (рис. 3, Б). Система резания выходит из состояния динамического равновесия.

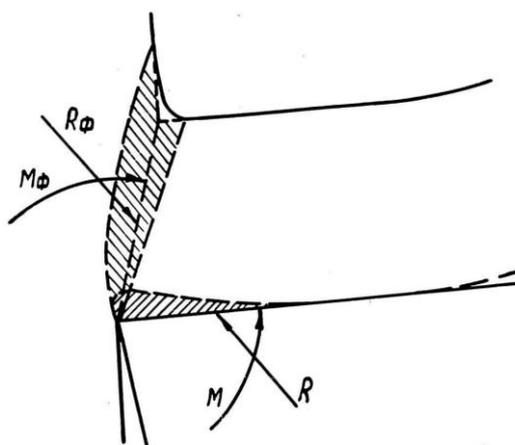


Рис. 5. Схема сил и моментов, действующих на стружку

В связи с тем, что значительно изменились условия трения стружки по передней по-

верхности инструмента, существенно изменилось и напряженное состояние в зоне контактного взаимодействия стружки с резцом. Изменение контактных напряжений приводит к изменению силы  $R$  и момента  $M$ , действующих на стружку со стороны передней поверхности инструмента (рис. 5). Но для соблюдения условия динамического равновесия должны измениться сила  $R_f$  и момент  $M_f$ , действующие на стружку со стороны зоны стружкообразования, что возможно лишь при изменении напряжений в зоне стружкообразования.

Такое изменение напряжений обуславливает значительное снижение степени пластической деформации срезаемого слоя и увеличение угла наклона текстуры к передней поверхности инструмента (на рис. 3, *Б* – поворот по часовой стрелке). Действие СОЖ происходит непродолжительное время, трение между контактирующими поверхностями стружки и инструмента и степень пластической деформации вновь увеличиваются.

Возникновение трения с повышенной адгезией и интенсивной пластической деформации обеспечивает в какой-то момент восстановление очередного нароста, образование и увеличение толщины заторможенного слоя. В приконтактном слое стружки вновь появляется продольная текстура (рис. 3, *В*). Система восстанавливает прежнее состояние динамического равновесия, при этом напряжения в зоне стружкообразования увеличиваются, а угол наклона поперечной текстуры сходящей стружки вновь уменьшается (на рис. 3, *В* поворачивается против часовой стрелки).

Под действием очередного импульса давления, возникающего в СОЖ, происходит проникновение ее очередной энергетически активированной порции на границу фрикционной пары стружка – инструмент. Трение уменьшается, и нарост вновь полностью срывается и уносится стружкой (рис. 3, *Г*). Цикл повторяется.

Металлографический анализ стружек, полученных при точении стали 40Х с импульсным давлением свыше 10 МПа, выявил, что после срыва нароста в результате резкого изменения напряженного состояния в зоне стружкообразования и появления значительных растягивающих напряжений на условной плоскости сдвига возникает магистральная трещина, приводящая к разрушению стружки. Аналогичные результаты получены при точении нержавеющей стали 0Х18Н10Т с генерацией импульсного давления до 12 МПа.

Разрушение материалов стружки, как и их пластическая деформация, является процессом, развивающимся во времени. Начало разрушения, согласно современным представлениям, всегда связано с действием касательных напряжений, под влиянием которых образуются субмикротрещины, разрушающие материал стружки локально. Продолжение разрушения происходит под действием нормальных растягивающих напряжений, которые приводят к увеличению трещин и, если процесс развивается до конца, к появлению магистральной трещины, полностью разрушающей ранее сплошной материал на части.

Результаты проведенного металлографического анализа позволяют констатировать и объяснить механизм дробления сливной стружки под действием импульсного давления СОЖ.

Как сказано ранее, при резании без генерации импульсного давления (при обычных условиях обработки) вследствие тяжелых условий трения стружки с инструментом возникает интенсивная пластическая деформация приконтактного слоя стружки. При этом сжимающие нормальные напряжения вдоль условной плоскости сдвига распределяются почти равномерно [4]. Эпюра их имеет вид, подобный изображенному на рис. 6. При этом касательные напряжения, независимо от марки и свойств обрабатываемого материала, величины переднего угла, толщины срезаемого слоя и скорости резания, имеют постоянную величину. Система резания находится в определенном состоянии динамического равновесия.

Под действием импульсного давления значительно улучшается проникновение СОЖ на большую часть границы фрикционной пары инструмент – стружка, вследствие чего резко изменяются контактные процессы, протекающие в зоне трения, и напряженно-деформированное состояние срезаемого слоя в зоне первичной пластической деформации, которые приводят к нарушению ранее установившегося стабильного процесса стружкообра-

зования. Вследствие облегчения трения стружки по передней поверхности инструмента нормальные (сжимающие) напряжения уменьшаются по мере приближения к режущей кромке и в некоторой точке условной плоскости сдвига меняют свой знак на противоположный. Вблизи режущей кромки появляются дополнительные растягивающие напряжения [4, 5]. Эпюра нормальных внутренних напряжений, проходя все промежуточные стадии, приближается к виду, показанному на рис. 6, а. Такие изменения приводят к ослаблению интенсивности пластических деформаций.

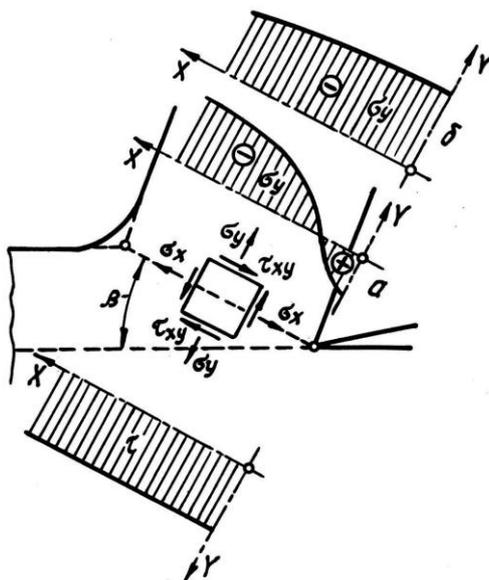


Рис. 6. Изменение эпюры нормальных внутренних напряжений на условной плоскости сдвига при различной степени деформации срезаемого слоя

При генерации импульса давления СОЖ небольшой величины (до 6 МПа) возникающие растягивающие напряжения не способны разрушить стружку. Создание импульсов давления в СОЖ по амплитуде свыше 10 МПа приводит к резкому существенному изменению напряженного состояния металла и возникновению значительных растягивающих напряжений на условной плоскости сдвига, способных образовать вблизи режущей кромки макротрещину, нарушить сплошность материала в этой области и разрушить стружку во время ее формирования.

По окончании действия смазки прежние сложные контактные процессы и напряженно-деформированное состояние срезаемого слоя восстанавливаются. Система восстанавливает и свое прежнее состояние динамического равновесия. Внутренние сжимающие нормальные напряжения, проходя все промежуточные стадии, распределяются почти равномерно и восстанавливают свой первоначальный вид, как показано на рис. 6, б. Процесс сливного стружкообразования снова стабилизируется. Цикл закончился. Очевидно, возникновение очередного импульса высокого давления даст реальную возможность повторить указанный цикл и, следовательно, осуществить очередное естественное ломание стружки без применения каких-либо средств стружкодробления. Генерирование подобных ударных волн высокого давления в подводимой внешней смазочно-охлаждающей среде с достаточной энергией и частотой обуславливает дробление стружки на элементы необходимой длины.

#### Библиографический список

1. Кабалдин, Ю.Г. Управление стружкообразованием при резании углеродистых сталей // Вестник машиностроения. – 1992. – №2. – С. 44–48.
2. Кабалдин, Ю.Г. Механизм деформации срезаемого слоя и стружкообразования при резании // Вестник машиностроения. – 1992. – №7. – С. 25-30.

3. **Кретинин, О.В.** Импульсное давление как средство повышения активации СОЖ при резании / О.В. Кретинин, А.А. Москвичев // Электронная обработка материалов. – 1985. – № 4. – С. 173–176.
4. **Кретинин, О.В.** Интенсификация процесса резания с помощью импульсного давления СОЖ / О.В. Кретинин, А.А. Москвичев // Прогрессивная технология – основа повышения качества изготовления и производительности обработки деталей машин: тез. докл. региональной научно-технической конф. – Горький: ГПИ, 1986. – С. 71–73.
5. А. С. 1342690 СССР, МКИ В23 Q 11/12 Способ обработки материалов резанием / М.И. Клушин, О.В. Кретинин и А.А. Москвичев // Бюл. Открытия. Изобретения. – 1987. – № 37. – С. 54.

*Дата поступления  
в редакцию 26.01.2017*

**A.A. Moskvicev, A.R. Kvartalov**

### **THE MANAGEMENT OF CONTACT INTERACTION OF THE CHIPS WITH THE CUTTING TOOL**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeyev

**Purpose:** Consideration is being given to the possibility of influencing the contact area of the tool with the chip through excitation in pulsed high pressure coolant.

**Methodology:** The results of research on the effect of pulse pressure on nature of chips while turning of steels. Metallographic analysis conducted to determine the impact chips pulse pressure coolant contact chip processes and conditions, describes the process of stress-strain state of metal cutting allowance and chip-breaking control. Explains the mechanism of crushing drain chips under the influence of pulse pressure coolant.

**Results:** Recommendations for application of high pressure shock waves in the input of external lubricating-cooling environment for breaking chips without the use of chip breakage required length elements.

*Key words:* contact processes, pulse pressure, contact area tool with chips, crushing chips.