

УДК 621.9

И. В. КУБРАКОВ

А. Н. ЖИГАЛОВ, *д-р техн. наук, доц.*

Институт технологии металлов НАН Беларуси (Могилев, Беларусь)

ПРЕРЫВИСТОСТЬ РЕЗАНИЯ И СТРУЖКООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ ЧУГУНОВ

Аннотация

Рассмотрены основные четыре этапа процесса прерывистого резания: врезание режущего клина в обрабатываемый материал; перемещение режущего клина в контакте с обрабатываемым материалом (образование стружки); выход режущего клина из контакта с обрабатываемым материалом; перемещение режущего клина без контакта с обрабатываемым материалом (холостой ход) и их влияние на износ твердосплавного режущего инструмента. Рассмотрены основные виды стружки и их характер взаимодействия между стружкой и передней поверхностью режущего клина.

Ключевые слова:

прерывистое резание, режущий клин, стружка надлома.

Кинематически все процессы обработки деталей лезвийным инструментом подразделяется на две группы: процессы непрерывного резания и процессы прерывистого резания. Разделение происходит по характеру контакта режущего элемента с обрабатываемым материалом: контакт постоянный – периодически не прерывается в силу конструктивных особенностей деталей (точение сплошных поверхностей), или прерывистый в силу кинематических особенностей метода обработки (фрезерование).

Процесс прерывистого резания. Можно разделить на четыре этапа: врезание режущего клина в обрабатываемый материал; перемещение режущего клина в контакте с обрабатываемым материалом (образование стружки); выход режущего клина из контакта с обрабатываемым материалом; перемещение режущего клина без контакта с обрабатываемым материалом (холостой ход).

Врезание, характеризуется тем, что режущее лезвие на скорости резания вступает в контакт с обрабатываемым материалом, при этом практически мгновенно (160...180 мс) усилие резания достигает максимальной величины, в обрабатываемом материале и режущем клине происходит скачок механических напряжений.

При перемещении режущего клина в контакте с обрабатываемым материалом происходит стружкообразование по классической схеме – наблюдается интенсивный рост температуры режущего клина с сопутствующими температурными деформациями. Процесс энергетически нестабильный и, в определенной мере, соответствует периоду врезания при непрерывном резании. Продолжительность этого этапа зависит от конфигурации зоны обработки: ширины обрабатываемой поверхности, диаметра фрезы, взаимного расположения фрезы и зоны обработки и т. д.

Выход режущего клина из контакта. Не существует однозначного мнения о механизме выхода режущего клина из контакта с заготовкой и его влияния на работоспособность инструмента. Этот процесс чрезвычайно быстротечен, порядка 260 мс [7], и так же быстро происходит перегруппирование механических напряжений с сжимающих на растягивающие. Прекращается нагрев зоны резания.

При холостом ходе происходит спонтанное охлаждение режущего клина на воздухе или под действием СОЖ, температура рабочих поверхностей инструмента падает.

Анализируя характер потери режущим клином способности обрабатывать чугун при прерывистом резании, можно констатировать, что наряду с классическим абразивным износом, имеющим место на протяжении второго этапа цикла, а именно, процесса снятия стружки, происходит его разрушение в виде выкрашивания, как результат последовательного процесса зарождения, развития и слияния субмикротрещин и микротрещин. Этому способствуют циклические изменения напряженного состояния в режущем клине в момент входа и выхода из контакта с деталью, а также температурные напряжения [2]. Пример такого износа представлен на рис. 1.

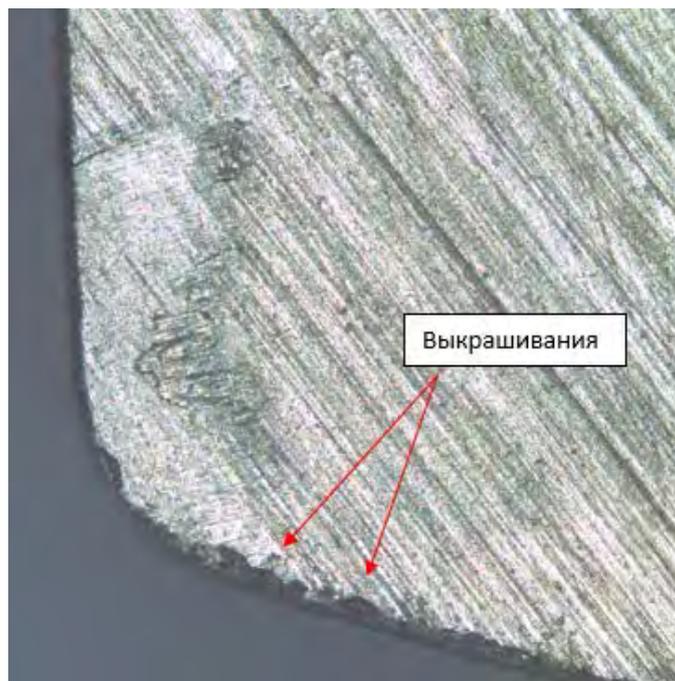


Рис. 1. Выкрашивания на режущем лезвии твердосплавной пластины Т5К10 при фрезеровании чугуна ВЧ50

Ударный характер выхода режущего клина из контакта приводит к образованию сколов на его передней поверхности (рис. 2), что характерно только для процессов прерывистого резания и не присутствует при непрерывном.

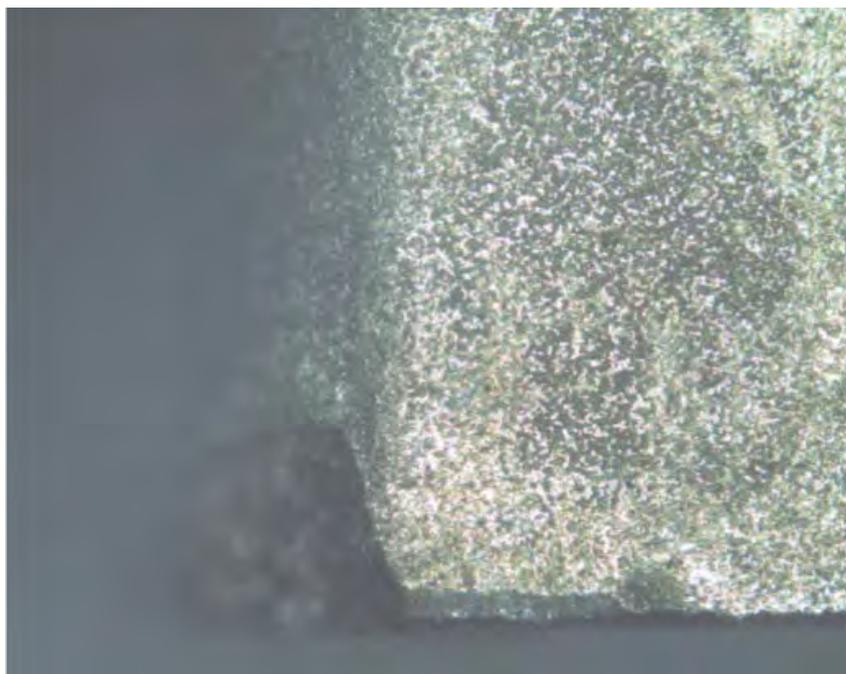


Рис. 2. Скол вершины твердосплавной пластины Т5К10 при фрезеровании чугуна ВЧ50

Обработка чугунов резанием является неотъемлемой частью изготовления продукции машиностроения путем превращения исходной заготовки в функциональную деталь за счет удаления определенного объема металла (припуска) и преобразование его в стружку при помощи металлорежущего инструмента. Важность процесса стружкообразования подтверждается многочисленностью исследований, посвященных данной теме [1, 2, 4, 6, 8].

Разнообразие видов стружек отражено в классификации, насчитывающей 18 форм стружки [9].

В пределах рассматриваемой задачи интерес представляет классификация видов стружки, представленная на рис. 3, которая наиболее наглядно представляет характер взаимодействия между стружкой и передней поверхностью режущего клина [3].

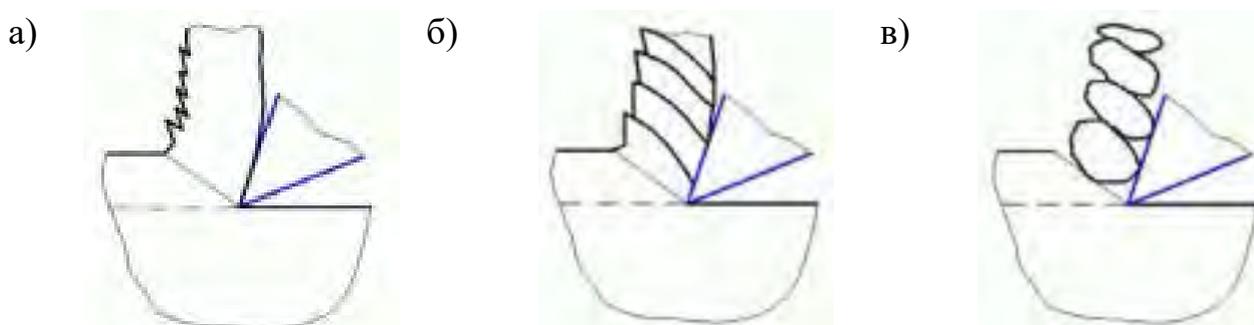


Рис. 3. Основные виды стружек: *а* – сливная; *б* – элементная; *в* – надлома

Сливная (рис. 3, *а*) и элементная (рис. 3, *б*) стружки образуются при обработке резанием пластичных материалов с различными физико-механическими

характеристиками. Элементарные фрагменты данных стружек связаны между собой. Сжимающие и растягивающие напряжения на рабочих поверхностях режущего клина относительно стабильны, т. к. сила трения в зоне контакта «стружка – передняя поверхность» в значительной степени демпфирует колебания силы резания P_z в момент формирования очередного элемента стружки. В результате, при этих типах стружки износ режущего инструмента происходит по классической схеме по передней и задней поверхности с преобладанием абразивного и адгезинно-диффузионного износа. Такие причины разрушения режущей кромки, как её скругление и/или выкрашивание не характерны для указанных видов стружки.

Иначе обстоят дела со стружкой надлома (рис. 3, в). Фрагменты стружки надлома, образованные в процессе стружкообразования, не связаны между собой и представляют собой сыпучий материал с определенной гранулометрией. При резании чугуна схема образования стружки надлома выглядит следующим образом (рис. 4) [2].

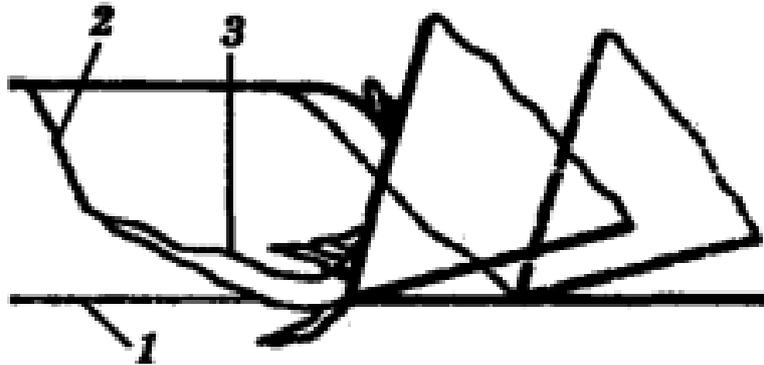


Рис. 4. Схема стружкообразования при резании хрупких материалов: 1 – обрабатываемая поверхность; 2 – линия отделения элемента стружки; 3 – трещина

По мере внедрения режущего клина в обрабатываемый материал в нем образуются трещины, расположенные в направлении вектора скорости v . По мере внедрения клина возрастает усилие внедрения, которое представляет собой усилие резания и способствует развитию трещины 3. На определенном этапе происходит отделение элемента стружки вдоль поверхности 2 и, соответственно, резкое падение силы резания. При дальнейшем продвижении режущего клина цикл повторяется, сопровождается значительными циклическими колебаниями силы резания, действующей на переднюю поверхность и, непосредственно, на режущую кромку. Экспериментальное подтверждение данного эффекта приводится А. М. Вульфом [5].

На рис. 5 представлен фрагмент осциллограммы, показывающий характер изменения силы резания при формировании фрагмента стружки хрупкого материала [5].

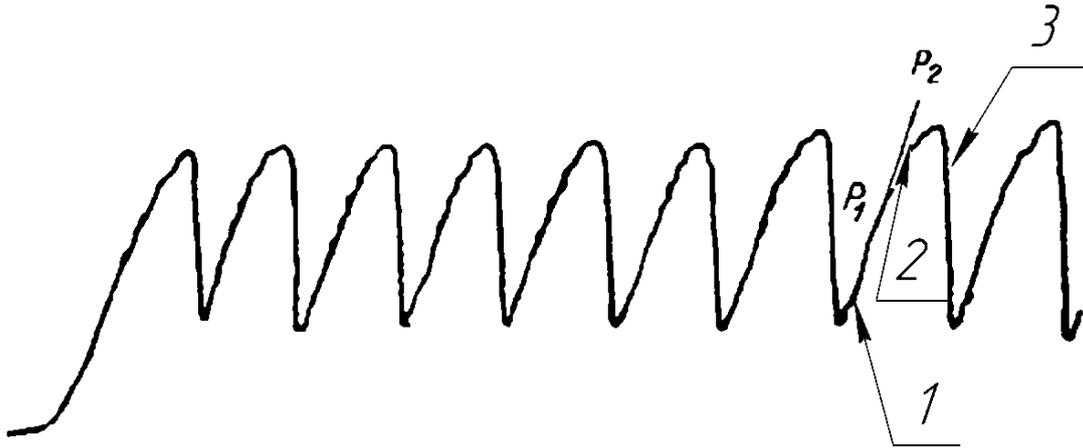


Рис. 5. Фрагмент осциллограммы при формировании фрагментной стружки хрупкого материала: 1 – участок трещинообразования; 2 – участок отрыва стружки; 3 – участок падения силы резания

По мере упругого внедрения режущего клина в обрабатываемый материал сила резания линейно растет до величины P_1 , при этом происходит зарождение трещины (линия 1). При дальнейшем продвижении режущего клина трещина начинает развиваться и расти, что характеризуется меньшей интенсивностью роста силы резания, до величины P_2 и до значения на вершине кривой, характеризующей отрыв элемента стружки (линия 2). Участок 3 характеризует резкое падение силы резания P до начала нового цикла формирования элемента стружки. Частота чередования возрастания и падения усилия резания может достигать нескольких тысяч циклов в секунду, т. е. несколько килогерц.

В работе [6] приведены металлографические снимки корней стружки, полученной при обработке чугуна твердостью HB 180 (рис. 6).

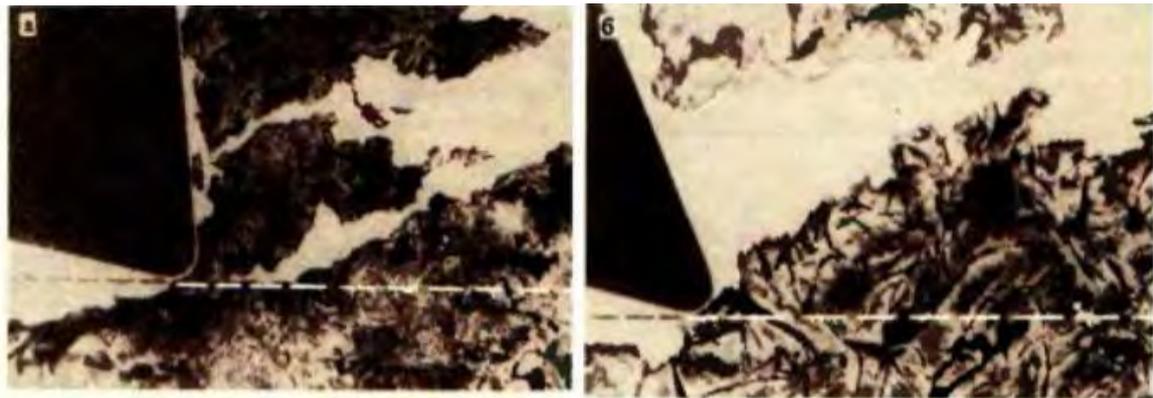


Рис. 6. Металлографические снимки корней стружек, полученные при обработке чугуна

На снимках видно, что отделяемые фрагменты стружки носят нерегулярный, произвольный, хаотический характер. Кроме того, отсутствует четко выраженный устойчивый контакт трения стружки с передней поверхностью резца, что радикально отличает характер взаимодействия на границе стружка-резец для стружки сливной, элементной и надлома. Это, в свою очередь, влияет на

механизм изнашивания твердосплавного инструмента при обработке чугунов, когда вместо адгезивно-диффузионного процесса на первое место выходит явление разрушения режущей кромки в виде её закругления, усталостного растрескивания и осыпания под действием вибраций, обусловленных процессом стружкообразования. Безусловно, абразивный износ также имеет место.

Таким образом при лезвийной обработке чугунов присутствует явная прерывистость резания уже на этапе создания стружки, что предъявляет к инструменту, обслуживающему такие процессы, повышенные требования к его ударной вязкости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аршинов, В. А.** Резание металлов и режущий инструмент / В. А. Аршинов, Г. А. Алексеев. – Москва: Машиностроение, 1967. – 112 с.
2. **Ящерицын, П. И.** Теория резания / П. И. Ящерицын, Е. Э. Фельштейн, М. А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2006.
3. **Попок, Н. Н.** Теория резания / Н. Н. Попок. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019.
4. Основы теории резания материалов / Н. П. Мазур [и др.]. – Харьков: НТУ ХПИ, 2013.
5. **Вульф, А. М.** Резание металлов / А. М. Вульф. – Ленинград: Машиностроение, 1973.
6. **Грановский, Г. И.** Резание металлов / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – Москва: Высшая школа, 1985.
7. **Солодков, В. А.** Особенности единичного цикла процесса прерывистого резания / В. А. Солодков, А. А. Карчаидзе. – Волгоград: Волгоград. техн. ун-т, 2010.
8. **Жигалов, А. Н.** Теоретические основы аэродинамического звукового упрочнения твердосплавного инструмента для процессов прерывистого резания / А. Н. Жигалов, В. К. Шелег. – Могилев: МГУП, 2019.
9. **Padilla, P.** Guide des fabrications mecanique / P. Padilla, A. Thély. – Bordas–Paris, 1978. – 239 p.

Контакты:

riv20000@gmail.com (Кубраков Илья Владимирович);
jigalov6@mail.ru (Жигалов Анатолий Николаевич).