

## Новое представление о металлической стружке

# 02, февраль 2013

DOI: 10.7463/0213.0541318

Ярославцев В. М.

УДК 621.91.01

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
[mt13@bmstu.ru](mailto:mt13@bmstu.ru)

«С первого взгляда может показаться странным и непонятным, что могут представлять собою интересного и нового эти, по-видимому, однообразные массы стружек и опилок, образующих в машиностроительных фабриках груды малоценного мусора. Между тем, при тщательном наблюдении мы замечаем, что эти груды мусора состоят из весьма разнообразных по величине, форме, виду и строению стружек, подчиняющихся известным одним и тем же физическим законам и представляющих для науки поле для новых обширных и чрезвычайно интересных исследований».

Проф. И. А. Тиме

Одним из важнейших направлений модернизации современного производства является разработка мероприятий, обеспечивающих рациональное использование и сохранение ресурсов затраченного труда, богатств земли, состава атмосферы, воды и воздуха. Вместе с тем, в настоящее время миллионы тонн высококачественного металла в виде стружки поступает ежегодно на переплавку в металлургических печах. Убытки, связанные с потерей металла в виде стружки и ее последующей переработкой, оценивают в мировой экономике десятками млрд. долларов в год. Поэтому задачи выявления

возможных областей использования стружки и разработки эффективных технологий ее утилизации относятся к одной из общих проблем мировой экономики и экологии.

Металлическая стружка образуется в чрезвычайно динамических условиях нагружения материала при резании с энергетическими характеристиками, подчас превосходящими параметры взрыва химических взрывчатых веществ [1, 2].

В таблице приведены основные характеристики, соответствующие принятому понятию физического взрыва [3], и дается сопоставление числовых значений этих характеристик для взрыва химических взрывчатых веществ (ВВ) как одного из самых распространенных видов взрыва и процесса резания.

Таблица

Характеристики	Взрыв химического ВВ	Процесс резания
Объемное выделение энергии, Дж/мм <sup>3</sup>	4...8 *)	2...70 **)
Время протекания процесса, с	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup> ...10 <sup>-6</sup> (10 <sup>-7</sup> )
Давление, ГПа	до 10	2...70 **)
Температура, К	до 2·10 <sup>3</sup> ...4·10 <sup>3</sup> (в эпицентре)	до 1,5·10 <sup>3</sup> ***) (осредненная)

\*) Приведены обобщенные числовые значения объемного выделения энергии наиболее распространенных типов химических ВВ, таких как тротил, аммонит №7, аммонит №6ЖВ, аммонит скальный №1, аммонал водоустойчивый.

\*\*\*) Данные объемного выделения энергии и действующих давлений в процессе резания получены на разных операциях, при обработке широкой номенклатуры конструкционных материалов и разных режимах обработки [1].

\*\*\*\*) Приведены осредненные температуры, зафиксированные на периферии зоны резания. Экспериментальных данных по температуре в местах протекания взрыва и разрушения при резании сегодня нет.

В "мгновенном", взрывном по времени, преобразовании свойств обрабатываемого материала одновременно могут участвовать такие процессы и явления, как локализация (кумуляция) энергии в отдельных участках зоны стружкообразования, высокие скорости деформаций ( $\dot{\epsilon} \sim 10^4 \dots 10^8 \text{ с}^{-1}$ ) и разрушение на микроуровне с параметрами взрыва, термопластический сдвиг, кручение с чрезвычайно высокой угловой скоростью в

направлении сдвига ( $10^5 \dots 10^6$  рад/с и более) по схеме "сдвиг+поворот", восстановление атомно-молекулярных связей, структурные и фазовые превращения, ударно-волновые, металлургические и сварочные процессы, электрические и магнитные явления, сверхтекучесть, наростообразование и др.

Это сложное комплексное энергетическое воздействие на материал можно рассматривать как особый, неизученный к настоящему времени метод преобразования свойств конденсированной среды. Изменение в процессе обработки физико-механических свойств материала – это есть отражение внутренней реакции материала на воздействие внешней энергии, которое нарушает сложившееся для конкретных условий окружающей среды его равновесное состояние. Внутренние процессы в условиях продолжающегося внешнего энергетического воздействия являются средой преобразования (формирования) свойств материала. При этом стружка представляет собой высокоинформативный объект такого преобразования, несет в себе сведения о всех предшествующих технологических воздействиях на материал, а сам процесс резания является энергетическим преобразователем [4].

Стружка, являясь продуктом уникального, совмещенного во времени и месте (зоне стружкообразования) разнохарактерного энергетического воздействия, может приобретать особые, неизвестные ранее, сочетания физико-механических или химических свойств. Однако до настоящего времени стружка, рассматриваемая как одна из статей отходов основного производства, не имеющая самостоятельной ценности, специально практически не изучалась и о свойствах ее известно крайне мало. О воздействии высоких динамических давлений при резании можно судить лишь по ряду косвенных факторов, выявленных при изучении процесса стружкообразования. Это – слоистое строение материала стружки, измельчение структуры, которые видны на микрофотографии (рис. 1), резкое (до 2–2,5 раз и более) повышение твердости исходного материала (рис. 2), наличие белого слоя и др.

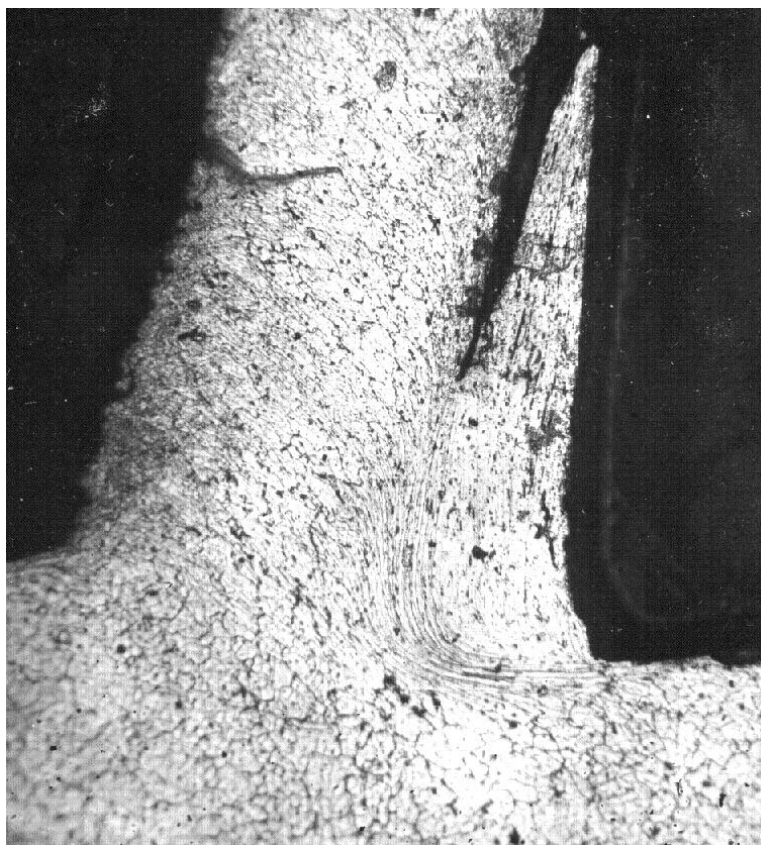


Рис. 1. Микрофотография корня стружки с наростом. Сталь 20X13

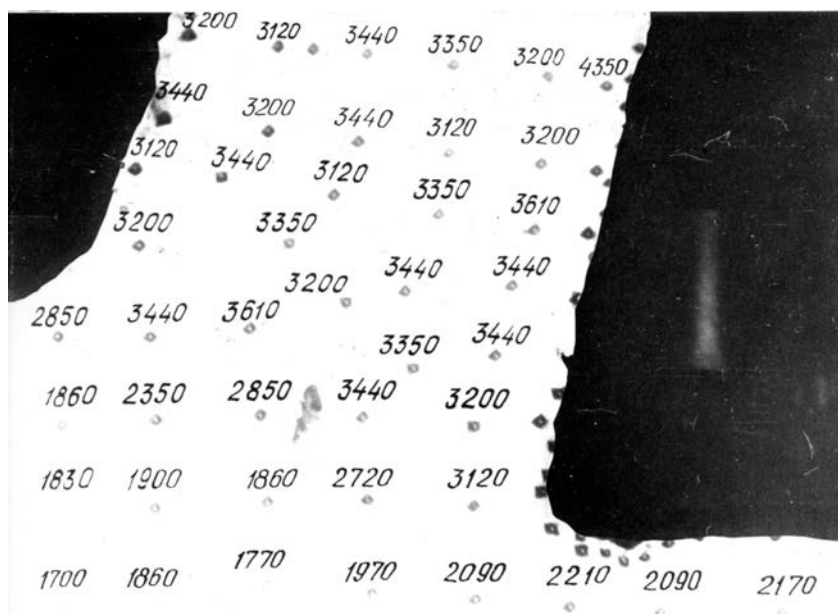


Рис. 2. Распределение микротвердости в корне стружки стали 12X18H10T  
( $v = 0,29$  м/с;  $a = 0,2$  мм;  $b = 3$  мм)

В то же время, структура и свойства стружки, формирующиеся на стадии удаления припуска с поверхности заготовки, являются результатом высокоэнергетической импульсной термомеханической обработки.

Подобные условия воздействия на материал изучает физика высоких давлений (более 0,1 ГПа), опираясь на данные исследований которой, естественно предположить, что взрывные условия деформирования материала и его разрушения, характерные для процесса резания, могут формировать неординарное, редкое сочетание свойств. Поэтому, отправляя стружку как отход производства на переплавку для получения материала с ожидаемыми свойствами, мы не знаем, какие ее свойства при этом теряем и какие материальные убытки терпим из-за нереализованных ресурсов стружки.

Между тем, исследованиями в области высоких давлений установлено, что их воздействие на материал в сочетании с повышенными температурами может вызывать значительные изменения его структуры и свойств [3, 5–7]. Под действием высоких давлений происходит увеличение плотности вещества, многие кристаллические вещества переходят в более плотные кристаллические модификации (полиморфизм), энергетически выгодными становятся структуры, характерные для более тяжелых элементов той же группы. Изменение исходного энергетического состояния системы проявляется в изменении физических, химических и механических свойств вещества, связанных с явлениями на атомно-молекулярном уровне. Это находит отражение в изменении параметров твердости, прочности материала, его электропроводности, теплопроводности, магнитного сопротивления, электромагнитного излучения и др. Многие образующиеся при высоком давлении металлические фазы обладают сверхпроводимостью.

Деформирование твердого тела в условиях высокого давления (~ 5–10 ГПа и выше), характерного для обработки резанием, изменяет характер внутризеренной и межзеренной деформаций, скольжения по границам зерен и разрушения, приводит к образованию новых фаз, слоистой структуры, переизмельчению зерен, к образованию сверхтонкой субструктуры. Динамические высокие давления, возникающие при взрыве, используют для получения интенсивным сжатием плотных модификаций, сохраняющихся при нормальных условиях. Благодаря этому удается получать метастабильные в нормальных условиях соединения и сплавы.

Результаты исследований высоких давлений нашли широкое практическое применение: синтезированы алмаз и алмазоподобные модификации нитрида бора, получены плотные кристаллические модификации минералов и др.

Динамические условия нагружения материала при резании и высокая удельная энергия, участвующая в преобразовании его свойств в зоне стружкообразования, по

своим показателям во многом совпадают с условиями специальных испытаний материалов на воздействие высоких динамических давлений путем создания ударных волн сжатия от детонации взрывчатых веществ. В этом случае можно ожидать, что при обработке резанием будут проявляться аналогичные рассмотренным физико-химические эффекты и соответствующие преобразования свойств материала в стружке.

В то же время условия нагружения материала в процессе резания существенно многообразнее его статического или динамического всестороннего сжатия высоким давлением в экспериментальных исследованиях физики высоких давлений.

Высокие энергетические параметры процесса (см. табл.) и "мгновенное" преобразование свойств материала срезаемого слоя ( $10^{-4} \dots 10^{-7}$  с) в сочетании со специфическими физико-химическими особенностями самого метода резания, позволяют утверждать, что такая технология обработки исходного материала заготовки в зоне стружкообразования может приводить к созданию качественно новых материалов с уникальным сочетанием механических и физических свойств, имеющих свое будущее.

Сегодня можно назвать ряд возможных областей применения стружки. Прежде всего – это задачи, решаемые с помощью порошковой металлургии:

1. Изготовление материалов и изделий с особыми составами, структурами и свойствами, которые недостижимы другими методами производства. Примером могут служить порошковые материалы и пористые изделия (антифрикционные, фрикционные, фильтры и др.), инструментальные материалы и пр.

2. Изготовление материалов и изделий при более выгодных экономических показателях их производства.

Например, получение высококачественных порошков для сварки, наплавки, металлургического и химического производств. На данный момент известно, что 75-80 % от всего объема мирового производства железных и легированных порошков (~ 1 млн. тонн в год) потребляет автомобильная промышленность [8]. Порошок железа используется, в качестве носителя для тонера в ксероксах, а также в качестве одного из ингредиентов изделий из зерновых продуктов и хлеба повышенной питательности. Алюминиевый порошок служит компонентом ячеистого бетона, красок и пигментов, твердого ракетного топлива. Стружка может использоваться и в качестве наполнителя полимерных композиционных материалов.

Материалы со свойствами, характерными для стружек, не могут быть получены в настоящее время в большом количестве и достаточно экономично никаким другим способом, кроме резания. Подобные материалы целенаправленно получают лишь в единичных случаях в специальных дорогостоящих установках для исследовательских

нужд: изучение динамических параметров пробивки брони, последствий воздействия взрыва на разные материалы, окружающую среду и др.

Таким образом, стружка должна рассматриваться не как одна из статей отходов основного производства, а как особый вид конструкционного материала, представляющий собой самостоятельную практическую ценность, имеющий свое назначение и сферы рационального промышленного применения. В этом случае стружка будет представлять собой такой же основной продукт обработки резанием, как и изделие, изготовленное в соответствии с чертежом. Новый взгляд на стружку позволит перевести обработку резанием в разряд безотходных или малоотходных технологий.

Большой научный и практический интерес представляет изучение свойств материалов стружек из различных сталей и сплавов, полученных в разнообразных по динамическим характеристикам условиях обработки. Результаты таких исследований, расширяя представления о возможных направлениях использования промышленных отходов в виде стружки, могут найти применение для:

- получения конструкционных материалов с нетрадиционным сочетанием физических и механических свойств. В этом случае технология механической обработки может рассматриваться как метод создания новых материалов специального назначения, предназначенных, например, для использования в качестве наполнителя полимерных композиционных материалов, сырья для изготовления порошков в порошковой металлургии, сетчатых фильтрующих элементов и др.

- разработки новых технологий получения материалов со специальными свойствами. В этом случае резание используется как средство экспериментальной обработки новых технологий и их режимных параметров

- создания информационной базы с целью управления параметрами качества в традиционных технологиях механической обработки резанием с учетом динамических характеристик процесса в зоне стружкообразования.

Таким образом, целенаправленное изучение свойств материала стружки может положить начало новому научному направлению – исследованию поведения материала в условиях высокоэнергетической импульсной термомеханической обработки при резании с целью создания методов получения неизвестных на данный момент конструкционных материалов с особыми свойствами и определения областей их наиболее эффективного использования.

## Список литературы

1. Ярославцев В.М. Новое о процессе резания // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2000. № 4. С. 32-46.
2. Ярославцев В.М. Взрыв и сверхтекучесть при обработке металлов резанием // Материалы 6-го Всероссийского совещания-семинара «Инженерно-физические проблемы новой техники» (Москва, 16-18 мая 2001 г.). М., 2001. С. 65-66.
3. Физическая энциклопедия. В 6 т. Т. 1 / Гл. ред. А.М. Прохоров. М.: Советская энциклопедия, 1988. 704 с.
4. Ярославцев В.М. Технологический процесс - энергетический преобразователь // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 7. DOI: 10.7463/0712.0414854
5. Свойства конденсированных веществ при высоких давлениях и температурах: Информационное издание / Под ред. Р.Ф. Трунина. Арзамас-75: Изд-во ВНИИ экспериментальной физики, 1992. 398 с.
6. Ададуров Г.А., Гольданский В.И. Превращения конденсированных веществ при их ударно-волновом сжатии в регулируемых термодинамических условиях // Успехи химии. 1981. Т. 50, № 10. С. 1810-1827.
7. Брандт Н.Б., Ицкевич Е.С., Минина Н.Я. Влияние давления на поверхности Ферми металлов // Успехи физических наук. 1971. Т. 104, № 3. С. 459-488.
8. Арсентьева И., Губенко Б., Гуляев И. и др. Железные порошки: практика и металловедение // Национальная металлургия. 2002. № 5. С. 93-97.



**New concept of metallic cutting waste**

# 02, February 2013

DOI: 10.7463/0213.0541318

Yaroslavtsev V.M.

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation  
[mt13@bmstu.ru](mailto:mt13@bmstu.ru)

It was shown that cutting waste is a product of unique complex mixed-mode energy deposition combined in the place (the area of chip formation) and time; this deposition can be considered as special unstudied up until today transformation method of condensed medium properties. Dynamic destruction with explosion parameters combined with other physical and chemical features of the cutting process allows to assert that this processing technology of ingoing material of a work-piece may lead to creating brand new materials with a non-traditional complex of mechanical and physical properties which have their own application domains. Studying formation conditions of properties of cutting waste material would allow to find new approaches to regulation of product quality parameters during the cutting process.

**Publications with keywords:** [new materials](#), [explosive transformation of characteristics](#), [metal shavings](#), [the dynamic characteristics of the cutting](#), [practical application](#)

**Publications with words:** [new materials](#), [explosive transformation of characteristics](#), [metal shavings](#), [the dynamic characteristics of the cutting](#), [practical application](#)

## References

1. Yaroslavtsev V.M. Novoe o protsesse rezaniia [New information on the process of cutting]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie* [Bulletin of the Bauman MSTU. Ser. Mechanical Engineering], 2000, no. 4, pp. 32-46.
2. Yaroslavtsev V.M. Vzryv i sverkhtekuchest' pri obrabotke metallov rezaniem [Explosion and superfluidity in metal cutting]. *Materialy 6-go Vserossiiskogo soveshchaniia-seminara «Inzhenerno-fizicheskie problemy novoi tekhniki»* [Proc. of the 6th All-Russ. Meet.-Semin. "Engineering and Physical Challenges of New Technology"]. Moscow, May 16-18, 2001, pp. 65-66.
3. Prokhorov A.M., ed. *Fizicheskaia entsiklopediia. V 6 t. T. 1* [Physical encyclopedia. In 6 vols. Vol. 6]. Moscow, Sovetskaia entsiklopediia, 1988. 704 p.
4. Yaroslavtsev V.M. Tekhnologicheskii protsess - energeticheskii preobrazovatel' [Technological process as an energy conversion device]. *Nauka i obrazovanie MGTU im.*

*N.E. Bauman* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2012, no. 7. DOI: 10.7463/0712.0414854

5. Trunin R.F. ed. *Svoistva kondensirovannykh veshchestv pri vysokikh davleniiakh i temperaturakh: Informatsionnoe izdanie* [The properties of condensed substances at high pressures and temperatures: Information publication]. Arzamas-75, Institute of Experimental Physics Publ., 1992. 398 p.

6. Adadurov G.A., Gol'danskii V.I. Prevrashcheniia kondensirovannykh veshchestv pri ikh udarno-volnovom szhatii v reguliruemykh termodinamicheskikh usloviakh [Transformations of condensed substances in their shock-wave compression under controlled thermodynamic conditions]. *Uspekhi khimii*, 1981, vol. 50, no. 10, pp. 1810-1827.

7. Brandt N.B., Itskevich E.S., Minina N.Ia. Vliianie davleniia na poverkhnosti Fermi metallov [The effect of pressure on the Fermi surface of metals]. *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 1971, vol. 104, no. 3, pp. 459-488.

8. Arsent'eva I., Gubenko B., Guliaev I., et al. Zheleznye poroshki: praktika i metallovedenie [Iron powders: practice and physical metallurgy]. *Natsional'naia metallurgii*, 2002, no. 5, pp. 93-97.