

УДК 621.91.01:621.9.011

Приспособление для мгновенного останова процесса резания

Ярославцев В. М.¹, Ярославцева Н. А.^{1,*}

[*mt13@bmstu.ru](mailto:mt13@bmstu.ru)

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Изучение механики процесса резания во многом базируется на результатах металлографических исследований с использованием корней стружек. Рассмотрено устройство приспособления конструкции МГТУ им. Н.Э. Баумана для получения корней стружек с мгновенным фиксированием зоны стружкообразования на операции строгания. Отмечается высокая надежность его работы, стабильность и большая точность фиксирования корня стружки в конкретно заданной малой области обработки, что снижает трудоемкость проведения экспериментов и увеличивает достоверность результатов. Показано использование мгновенного останова для раскрытия закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния материала зоны стружкообразования в условиях традиционного процесса резания и резания с опережающим пластическим деформированием с помощью метода координатных делительных микросеток и измерения микротвердости.

Ключевые слова: обработка резанием, стружкообразование, мгновенный останов, резание с опережающим пластическим деформированием, металлографические исследования, механика резания, корень стружки, повышение производительности

Анализ физико-технологической модели процесса резания [1, 2] и соответствующей ей систематизации [3] разработанных к настоящему времени методов, способов и средств улучшения обрабатываемости резанием разных групп конструкционных материалов [4-11 и др.] показывает, что решение практических задач, связанных с повышением производительности и качества обработки, а следовательно, и ростом конкурентоспособности продукции, зависит во многом от состояния научной базы в области изучения основных закономерностей протекания процессов и явлений при стружкообразовании и их влияния на результирующие показатели обработки. Среди экспериментальных методов исследования процесса резания [12] большое место занимают металлографические методы [13], которые используют для изучения напряженно-деформированного состояния материала в зоне стружкообразования, контактных явлений, наростообразования и др.

При разработке теоретических основ метода резания с опережающим пластическим деформированием (ОПД) как одного из средств совершенствования обработки резанием [7, 14, 15], для изучения воздействия ОПД на отдельные физические параметры и выходные показатели процесса широко использовали результаты металлографических и металлофи-

зических исследований, что позволило произвести аналитическое описание основных явлений стружкообразования с учетом специфических особенностей данного метода [7, 15-17]. Особое внимание было уделено раскрытию закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния материала, как определяющего фактора для традиционного процесса резания, так и резания с ОПД. Эта задача решалась с помощью метода координатных делительных микросеток, оригинальная технология которого была разработана в МГТУ им. Н.Э. Баумана [18, 19], и измерения микротвердости в корнях стружек [20].

Исследование деформированного состояния материала в зоне стружкообразования при резании с ОПД, которое является результатом последовательного нагружения материала срезаемого слоя двумя большими пластическими деформации от двух механических источников энергии –поверхностного пластического деформирования (ППД) и непосредственно процесса резания, проводили на поперечно-строгальном станке модели 7Б32. В этом случае использовали схему прямоугольного свободного резания. Для предварительного пластического деформирования материала срезаемого слоя применяли выравнивающий накатник, оснащенный пластиной твердого сплава ВК8.

Корни стружек в экспериментах получали с использованием специального приспособления конструкции МГТУ им. Н.Э. Баумана (рис. 1), обеспечивающего мгновенное фиксирование зоны стружкообразования в процессе резания на операции строгания.

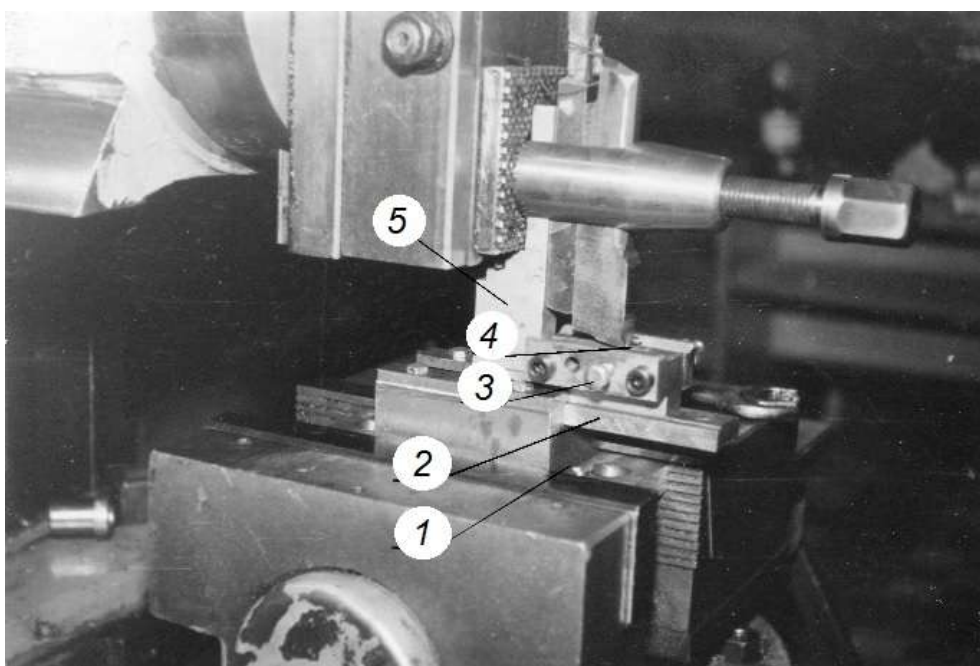


Рис. 1. Приспособление для мгновенного прерывания процесса резания

Приспособление состоит из корпуса 1, который неподвижно закрепляется на столе станка, и ползуна 2, перемещающегося в продольных направляющих корпуса. Ползун, служащий для установки с помощью винтов 3 пластинчатых образцов 4, неподвижно фиксируется относительно корпуса приспособления цилиндрическим штифтом, который

устанавливается с небольшим натягом, что исключает появление зазора и соответственно смещения в плоскости стыка ползун-корпус, обеспечивая, таким образом, точность позиционирования исследуемых образцов относительно режущего инструмента. В откидной резцедержатель станка вместе с инструментом устанавливается специальный боек 5, обеспечивающий срезание штифта.

Штифты изготавливаются из хрупкого материала. Их конструкция и размер поперечного сечения должны удовлетворять условию, при котором разрушение штифта наступает при усилиях, незначительно превышающих силу резания для принятых режимов обработки. В экспериментах использовали штифты из текстолита.

В конструкции штифта предусматривается наличие кольцевой канавки, служащей концентратором напряжений и обеспечивающей мгновенное его разрушение от ударной нагрузки. С этой целью при работе с приспособлением прорезь на штифте должна находиться точно в плоскости стыка корпус-ползун.

При работе с приспособлением процесс резания после врезания инструмента в заготовку осуществляется до соударения бойка с ползуном, в результате которого происходит срезание предохранительного штифта, после чего процесс резания прекращается, а инструмент с защемленным в зоне резания лезвием продолжает совместное движение с заготовкой, установленной в ползуне. Таким образом, достигается получение картины деформированного состояния зоны стружкообразования в корне стружки без искажений, связанных с переходным деформационным процессом в случае торможения инструмента в процессе резания. На фотографии (см. рис. 1) зафиксирован момент получения корня стружки.

Для определения деформированного состояния материала в зоне резания на полированной боковой поверхности пластинчатого образца наносится прямоугольная координатная делительная микросетка по технологии, изложенной в [18, 19].

На рис. 2. в качестве примера представлено деформированное состояние квадратной делительной микросетки с базой 0,06 мм в корне стружки из стали 40ХСН. Изменение геометрии элементов микросетки вызвано в данном случае последовательным воздействием на образец двух больших пластических деформаций: ППД (в срезаемом слое 1 – 4) и резания (результатирующие деформации в стружке 1' – 4'). По искажению микросетки в корне стружки судили о распределении деформаций в зоне резания, определяли вид и степень деформации обрабатываемого материала [13, 17].

Корни стружек с деформированной микросеткой получали с учетом следующих методических особенностей: для исключения возможности перекосов микросетки относительно направления вектора скорости при резании подготовленные для исследований образцы предварительно попарно устанавливались в ползуне приспособления полированными поверхностями внутрь и подравнивались. Затем на одном из них наносилась микросетка указанным выше способом [18, 19], после чего образцы в том же сочетании повторно устанавливались в приспособление. Чтобы избежать раскрытия стыка, а, следовательно, краевого эффекта у образцов в результате поперечных деформаций в зоне стружкооб-

разования и получить четкую картину искаженной сетки в стружке при установке образцов в приспособлении допускалось их выступание за пределы зажимных губок приспособления не более, чем на 1 мм. Равномерное обжатие места нанесения микросетки осуществлялось болтом через специальную жесткую металлическую прокладку

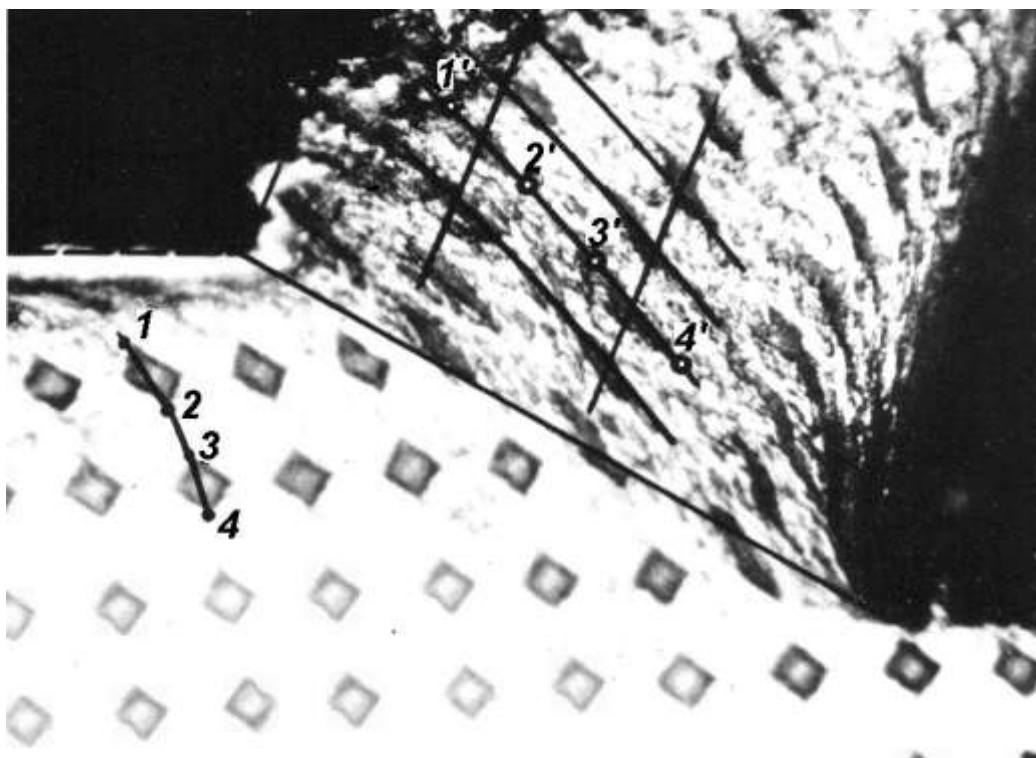


Рис. 2. Микрофотография деформированного состояния прямоугольной делительной микросетки в корне стружки при резании с ОПД ($\times 487$) (скорость резания $v = 0,29$ м/с, толщина среза $a = 0,2$ мм, ширина среза $b = 3$ мм).

При определении напряженно-деформированного состояния материала по распределению твердости в пластически деформированной области [21] сначала из исследуемого образца с полученным корнем стружки изготавливается микрошлиф зоны стружкообразования. Затем с помощью твердомера находится распределение микротвердости в корне стружки, что позволяет, применяя метод Г.Д. Дея [21], определить распределение величин напряжений и деформаций в зоне резания.

На рис. 3 приведен пример шлифа корня стружки с распределением микротвердости, полученным после обработки резанием с помощью микротвердомера ПМТ-3.

Металлографические исследования, выполненные с использованием приспособления для получения корней стружек, показали, что простая конструкция мгновенного останова процесса резания, имеющая минимум подвижных элементов, обеспечивает высокую надежность его работы, стабильность и большую точность фиксирования корня стружки в заданной малой области нанесенных микросеток. Последнее существенно снижает трудоемкость проведения экспериментов и одновременно увеличивает гарантию достоверности получаемых результатов.



Рис. 3. Распределение микротвердости (МПа) в корне стружки сплава ХН77ТЮР (скорость резания $v = 0,29$ м/с; толщина среза $a = 0,2$ мм; ширина среза $b = 3$ мм)

Отмеченные технические возможности мгновенного останова позволили использовать новый метод исследования больших пластических деформаций [17], который обеспечивает сохранение на фоне текстуры материала стружки координатных делительных микросеток, нанесенных с шагом 0,05...0,06 мм под микроскопом при большом увеличении ($\times 487$), в условиях реальных (нормативных) режимов обработки и углов заточки режущего инструмента. В результате впервые в практике резания на микроуровне была получена наглядная картина поля деформации в зоне стружкообразования от суммарного воздействия на материал двух последовательных больших пластических деформаций – обработки давлением и непосредственно процесса резания, как это имеет место при обработке резанием с опережающим пластическим деформированием. Экспериментальные исследования проводились для различных труднообрабатываемых сталей и сплавов (40ХСШ, 12Х18Н10Т, ХН77ТЮР и др.), относящихся к разным группам обрабатываемости резанием.

Список литературы

1. Ярославцев В.М. Технологический процесс – энергетический преобразователь // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 7. С. 21–32.
DOI: [10.7463/0712.0414854](https://doi.org/10.7463/0712.0414854)
2. Ярославцев В.М. Новое о процессе резания // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2000. № 4. С. 32–46.

3. Ярославцев В.М. Разработка методологии поиска новых методов обработки и ее практическая реализация // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2007. № 2. С. 56–70.
4. Дальский А.М., Суслов А.Г., Назаров Ю.Ф. и др. Машиностроение. Т.3. Технология изготовления деталей машин. М.: Машиностроение, 2000. 840 с.
5. Справочник по технологии резания материалов. Кн. 2 / Под ред. Шпура Г., Штеферле Т. М.: Машиностроение, 1985. 688 с.
6. Касаев К.С., Бередников В.И., Вахминцев Г.Б. и др. Новые наукоемкие технологии в технике. Т.3. М.: МЦ «Аспект», 1994. 192 с.
7. Подураев В.Н., Ярославцев В.М., Ярославцева Н.А. Эффективность обработки резанием с опережающим пластическим деформированием // Вестник машиностроения. 1972. № 12. С. 58–61.
8. Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф., Ярославцев В.М. Нетрадиционные методы обработки материалов. М.: Изд-во МГОУ, 2007. 212 с.
9. Ярославцев В.М. Обработка резанием полимерных композиционных материалов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 180 с.
10. Ярославцев В.М. Высокоэффективные технологии обработки изделий из композиционных материалов // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 4. С. 1–24. DOI: [10.7463/0412.0361759](https://doi.org/10.7463/0412.0361759)
11. Брюхов В.В. Повышение стойкости инструмента методом ионной имплантации. Томск: Изд-во НТЛ, 2003. 120 с.
12. Древаль А.Е., Васильев С.Г., Виноградов Д.В., Мальков О.В. Контрольно-измерительный диагностический стенд для экспериментальных исследований в технологии механической обработки // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 12. С. 22–58. DOI: [10.7463/1214.0749286](https://doi.org/10.7463/1214.0749286)
13. Гольдшмидт М.Г. Деформации и напряжения при резании металлов. Томск: STT, 2001. 180 с.
14. Ярославцева Н.А., Ярославцев В.М., Подураев В.Н. Способ обработки резанием. А.с. № 358089 (СССР). Опубл. в Б.И., 1972. № 34.
15. Ярославцев В.М. Эффективность методов опережающего деформационного упрочнения материала срезаемого слоя при обработке резанием // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2015. № 1. С. 119–127. DOI: [10.18698/0236-3941-2015-1-119-127](https://doi.org/10.18698/0236-3941-2015-1-119-127)
16. Ярославцев В.М. Механика процесса резания пластически деформированных металлов с неоднородными свойствами по толщине срезаемого слоя // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2011. № 8. С. 1–19. DOI: [10.7463/0811.0195350](https://doi.org/10.7463/0811.0195350)

17. Ярославцева Н.А. Исследование вида деформации в зоне стружкообразования при резании с опережающим пластическим деформированием // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2012. № 3. С. 101–113.
18. Ярославцева Н.А., Ярославцев В.М., Назаров Н.Г. Способ экспериментального определения параметров пластической деформации при механической обработке металлов. Патент РФ № 2527139, 2006.
19. Ярославцев В.М., Ярославцева Н.А. Способ исследования больших пластических деформаций // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2016. №3. С. 71-80. DOI: [10.18698/0236-3941-2016-4-71-80](https://doi.org/10.18698/0236-3941-2016-4-71-80)
20. Ярославцев В.М. Новое представление о металлической стружке // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 2. С. 1–10.
DOI: [10.7463/0213.0541318](https://doi.org/10.7463/0213.0541318)
21. Дель Г.Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твердости. М.: Машиностроение, 1971. 199 с.

The Cutting Process Instantaneous Stop Device

V.M. Yaroslavtsev¹,

[*mt13@bmstu.ru](mailto:mt13@bmstu.ru)

N.A. Yaroslavceva^{1,*}

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: machining, chip formation, an instant stop, cutting with leading plastic deforming, metallographic investigations, mechanics of cutting, root chips, improving performance

Cutting with leading plastic deformation (LPD) was for the first time BMSTU-proposed, studied, and implemented in the industry to provide a high effect in terms of performance, accuracy of machining, quality of the surface layer, and possibility of sustainable chip breaking. To build a physical model and obtain an analytical description of the basic phenomena of chip formation based on specific features of this machining method, BMSTU has developed a new method to determine parameters of plastic deformation for metal machining experimentally.

The proposed method of metallographic studies (method of coordinate dividing micro-grid) uses a number of tricks to enhance the image contrast and thereby save the pattern of changing geometry of micro-grids against the chip material texture after the cut off layer has been successively under the two large plastic deformations - pressure and cutting, which are specific for LPD machining. The pitch of micro-grids of 0.05-0.06 mm is provided using a microscope at high magnification ($\times 487$) to ensure their accuracy. However, the reliability of research results depends not only on the method of research and its technical capabilities, but also on the equipment used to ensure the process of chip roots, which are the source database for metallographic investigations to study mechanics of cutting.

To produce chip roots, BMSTU has developed a special device that instantaneously stops cutting and provides fixing the area of chip formation when chipping.

The device has a case with longitudinal guides along which, after the forced stop of cutting, the slider with mounted thereon specimens is moved.

The case is fixed to the machine table. The slider is fixedly locked with respect to the case by a cylindrical pin, which is set with a slight interference fit. In the clapper-type tool-holder of the machine a special striker is set together with the tool to cut off a pin. In cutting the safety pin is cut off when the striker hits the slider. Since then, the cutting process stops, and the tool with a blade clamped in the cutting zone continues to move together with the work-piece set in the slider.

The device was used to study the regularities of forming stress-strain state of chip formation zone, contact phenomena, built-up edge and other phenomena in traditional and LPD cut-

ting. The metallographic studies with instantaneous stop used have shown that a simple device design with few moving components provides high positioning accuracy of the specimens under investigation with respect to the cutting tool and its operation reliability and also allows us to have a great stability and high accuracy of fixing the chip root in a specified area. The latter significantly reduces the complexity of the experiments and at the same time raises a guarantee of reliability of the results obtained. The device under consideration together with the BMSTU-developed method to implement the coordinate micro-grids of enhanced contrast allows us, for the first time in the cutting practice at the micro level, to obtain a visual deformation field pattern in chip area because the material is under the total impact of the two consecutive large plastic deformations – pressing and, directly, cutting process, as it is in LPD machining.

References

1. Yaroslavtsev V.M. 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, pp. 21–32. (in Russian). DOI: [10.7463/0712.0414854](https://doi.org/10.7463/0712.0414854)
2. Yaroslavtsev V.M. New in cutting process. *Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Mashinostroenie = Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Mechanical Engineering*, 2000, no. 4, pp. 32–46. (in Russian).
3. Yaroslavtsev V.M. Development and Practical Implementation of Methodology of Search of New Methods of Material Processing. *Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Mashinostroenie = Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Mechanical Engineering*, 2007, no. 2, pp. 56–70. (in Russian).
4. Dal'skiy A.M., Suslov A.G., Nazarov Yu.F. et al. *Mashinostroenie. T.3. Tekhnologiya izgotovleniya detaley mashin* [Machine building. Vol. 3. Machine components manufacturing technology]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2000. 840 p. (in Russian).
5. Shpura G., Shtefeler T., eds. *Spravochnik po tekhnologii rezaniya materialov. Kn. 2* [Handbook on material cutting technology. Vol. 2]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 688 p. (in Russian).
6. Kasaev K.S., Berednikov V.I., Vakhmintsev G.B. et al. *Novye naukoemkie tekhnologii v tekhnike. T.3* [New science-driven technologies in technique. Vol. 3]. Moscow, MTs «Aspekt» Publ., 1994. 192 p. (in Russian).
7. Poduraev V.N., Yaroslavtsev V.M., Yaroslavtseva N.A. Efficiency of cutting work with leading plastic deformation. *Vestnik mashinostroeniya*, 1972, no. 12, pp. 58–61. (in Russian).
8. Kovshov A.N., Nazarov Yu.F., Yaroslavtsev V.M. *Netraditsionnye metody obrabotki materialov* [Non-conventional methods of materials processing]. Moscow, MGOU Publ., 2007. 212 p. (in Russian).
9. Yaroslavtsev V.M. *Obrabotka rezaniem polimernykh kompozitsionnykh materialov* [Cutting work of polymer composite materials]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2012. 180 p. (in Russian).

10. Yaroslavtsev V.M. High efficiency technologies of machining of products made of composite materials. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2012, no. 4, pp. 1–24. (in Russian). DOI: [10.7463/0412.0361759](https://doi.org/10.7463/0412.0361759)
11. Bryukhov V.V. *Povyshenie stoykosti instrumenta metodom ionnoy implantatsii* [Instrument hardening using method of ion implantation]. Tomsk, NTL Publ., 2003. 120 p. (in Russian).
12. Dreval' A.E., Vasil'yev S.G., Vinogradov D.V., Mal'kov O.V. Measuring Diagnostic Stand for Experimental Researches in Technology Machining. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2014, no. 12, pp. 22–58. (in Russian). DOI: [10.7463/1214.0749286](https://doi.org/10.7463/1214.0749286)
13. Gol'dshmidt M.G. *Deformatsii i napryazheniya pri rezanii metallov* [Deformations and strain while metal cutting]. Tomsk, STT Publ., 2001. 180 p. (in Russian).
14. Yaroslavtseva N.A., Yaroslavtsev V.M., Poduraev V.N. Cutting work method. *A.s. № 358089 (SSSR). B.I.*, 1972, no. 34. (in Russian).
15. Yaroslavtsev V.M. Effectiveness of Methods for Leading Strain Hardening of the Material of Cut Down Layer in Machining. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie = Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Mechanical Engineering*, 2015, no. 1, pp. 119-127. (in Russian). DOI: [10.18698/0236-3941-2015-1-119-127](https://doi.org/10.18698/0236-3941-2015-1-119-127)
16. Yaroslavtsev V.M. Mechanics of cutting processes of plastically deformed metals with non-uniform properties of cutting layer. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2011, no. 8, pp. 1–19. (in Russian). DOI: [10.7463/0811.0195350](https://doi.org/10.7463/0811.0195350)
17. Yaroslavtseva N.A. Study of Deformation Type in the Area of Chip Formation in Case of Cutting with Leading Plastic Deforming. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie = Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Mechanical Engineering*, 2012, no. 3. pp. 101–113. (in Russian).
18. Yaroslavtseva N.A., Yaroslavtsev V.M., Nazarov N.G. *Sposob eksperimental'nogo opredeleniya parametrov plasticheskoy deformatsii pri mekhanicheskoy obrabotke metallov* [Method for experimental determination of plastic deformation parameters while machine processing of metal]. Patent RF № 2527139, 2006.
19. Yaroslavtsev V.M., Yaroslavtseva N.A. Method of Large Plastic Strain Research . *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie = Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Mechanical Engineering*. 2016, no. 3, pp. 71-80. (in Russian). DOI: [10.18698/0236-3941-2016-4-71-80](https://doi.org/10.18698/0236-3941-2016-4-71-80)
20. Yaroslavtsev V.M. New concept of metal cutting waste. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2013, no 2, pp. 1–10. (in Russian). DOI: [10.7463/0213.0541318](https://doi.org/10.7463/0213.0541318)
21. Del' G.D. *Opredelenie napryazheniy v plasticheskoy oblasti po raspredeleniyu tverdosti* [Strain definition in plastic region using hardness distribution]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1971. 199 p. (in Russian).