

УДК 621.91.01

DOI 10.18698/0536-1044-2016-3-56-64

Влияние геометрических параметров режущего лезвия на формирование области пластической деформации при резании титанового сплава ОТ4

Г.И. Коровин¹, А.В. Филиппов^{2,3}, А.В. Проскоков², В.В. Горбатенко³

¹ ООО «ПК МИОН», 634034, Томск, Российская Федерация, Вершинина ул., д. 46/5

² Юргинский технологический институт национального исследовательского Томского политехнического университета, 652055, Юрга, Российская Федерация, Ленинградская ул., д. 26

³ Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634055, Томск, Российская Федерация, Академический просп., д. 2/4

The Effect of the Cutting Edge Geometry on the Formation of the Plastic Deformation Area when Cutting Titanium Alloy OT4

G.I. Korovin¹, A.V. Filippov^{2,3}, A.V. Proskokov², V.V. Gorbatenko³

¹ ООО ПК МИОН (General Purpose Multifaceted Tools), 634034, Tomsk, Russian Federation, Vershinin St., Bldg. 46/5

² Yurga Institute of Technology, Affiliate of the National Research Tomsk Polytechnic University, 652055, Yurga, Russian Federation, Leningradskaya St., Bldg. 26

³ Institute of Strength Physics and Materials Science, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 634055, Tomsk, Russian Federation, Akademicheskij Pr., Bldg. 2/4



e-mail: korovin9@yandex.ru, proskokov@tpu.ru, gvv@ispm.ru



Исследование влияния геометрических параметров инструмента на процесс механической обработки резанием актуально вследствие необходимости разработки прогрессивного инструмента для достижения высоких показателей точности, качества и производительности в современном машиностроении. Под действием инструмента происходит деформация материала заготовки, формирование стружки и поверхностного слоя детали. Последнее определяет эксплуатационные характеристики детали и элемента конструкции изделия, в котором она используется. Приведены результаты экспериментального исследования процесса резания титанового сплава ОТ4 инструментом с различными геометрическими параметрами. Исследования выполнялись на малой скорости по схеме свободного ортогонального и косоугольного резания. Для выявления влияния геометрических параметров инструмента на процесс резания определена интенсивность пластической деформации сдвига. Оценка величины деформации выполнена с применением метода цифровой корреляции изображений. Исследовано влияние переднего угла и угла наклона режущей кромки. Полученные результаты могут быть полезны при разработке конструкции современного металло-режущего инструмента.

Ключевые слова: свободное резание, косоугольное резание, деформация материала, титановый сплав, цифровая корреляция изображений.



Research into the influence of geometrical parameters of cutting tools on the machining process is important due to the need to develop advanced tools for achieving high levels of precision, quality and efficiency in modern engineering. Under the action of the tools, deformation of the workpiece material occurs; chips and surface layer of the machined part are

formed. The latter determines the performance of the part, and of the structure element, in which the part is used. The article presents the results of the experimental study of cutting titanium alloy OT4 by tools with various geometrical parameters. The research was carried out at low speeds using free orthogonal and oblique cutting schemes. To ascertain the effect of the tools geometrical parameters on the cutting process, the intensity of the plastic shear strain was determined. The magnitude of the strain was evaluated using the method of digital image correlation. The effect of the rake angle and the cutting edge inclination were assessed. The results obtained can be used to design modern metal cutting tools.

Keywords: free cutting, oblique cutting, material deformation, titanium alloy, digital image correlation.

Обработка резанием — один из наиболее эффективных способов формообразования. Многогранность и сложность процессов, происходящих в зоне резания, не позволяет получить однозначной связи их различных физических характеристик. Износостойкость инструмента, производительность и стабильность процесса резания, а также качество обработанной поверхности зависят от геометрических параметров режущего лезвия, режимов резания, жесткости технологической системы, материалов пары инструмент — деталь [1–3]. Для понимания протекающих в зоне резания процессов целесообразно рассмотреть отдельно факторы, влияющие на формирование области пластической деформации.

Для разных материалов и условий резания характерны различные механизмы стружкообразования [2, 3]. В частности, стружкообразование меди реализуется по сливному механизму в широком интервале режимов резания и геометрических параметров режущего лезвия. При обработке титановых сплавов в зависимости от условий обработки возможно формирование элементной, суставчатой и сливной стружки [4–7].

Наиболее распространенными способами исследования деформационных процессов при резании являются изучение микрошлифов и метод делительных сеток [8]. Эти способы имеют высокую трудоемкость и требуют получения фрагмента зоны резания с неповрежденной стружкой, что достигается путем мгновенной остановки процесса с помощью специальных приспособлений. Более современными методами исследования деформационных процессов в зоне резания являются голографическая интерферометрия [9] и цифровая корреляция изображений (DIC) [10–12]. Эти методы отличаются высокой чувствительностью, возможностью автоматизации исследования и отсутствием необходимости проведения металло-

графических исследований предварительно изготовленных микрошлифов.

Метод цифровой корреляции изображений для исследования процесса резания, рассмотренный в работах [10–12], заключается в регистрации процесса резания цифровой камерой с одновременной подсветкой зоны резания монохроматическим лазером. Лазерное излучение создает на поверхности образца контрастную картину спеклов, которые используются в качестве системы маркеров для вычисления DIC. Последовательное сравнение кадров видеозаписи с применением корреляционных алгоритмов позволяет рассчитать векторное поле перемещений, используемое для анализа направления и скорости движения материала заготовки в зоне резания и расчета величины относительной деформации. Основным преимуществом метода DIC является получение видеозаписи процесса, которую можно многократно изучать, используя различные алгоритмы расчета. Кроме того, метод не требует подготовки микрошлифов и проведения металлографических исследований, что существенно снижает трудоемкость экспериментальных исследований.

В работах [10–12] исследовались особенности формирования пластической деформации при резании поликристаллической меди инструментом с разными передними углами и углами наклона режущей кромки. В результате было установлено, что увеличение переднего угла и угла наклона режущей кромки приводит к уменьшению интенсивности пластической деформации сдвига и размеров области пластической деформации в зоне стружкообразования.

Цель работы — экспериментальное исследование влияния геометрических параметров режущего лезвия на формирование области пластической деформации в образцах из титанового сплава OT4.

Методика исследования. Рассмотрим влияние геометрических параметров режущего лезвия на формирование пластической деформации в образце из титанового сплава ОТ4. Коррозионно-стойкий деформируемый титановый сплав ОТ4 применяется для изготовления деталей авиационной техники, работающих при температурах до 350 °С. Сплав ОТ4 относится к системе Ti–Al–Mn (Ti–4.2Al–1.6Mn) с псевдо- α -структурой и небольшим количеством β -фазы, стабилизированной марганцем.

Инструмент выполнен из стали Р6М5К5. Скорость резания ограничена 13 мм/мин вследствие особенностей регистрирующей аппаратуры (скорость видеосъемки 27 кадров/с). Эксперимент осуществляли по схеме свободного ортогонального и косоугольного резания (рис. 1, а). В случае косоугольного резания наклонная часть лезвия располагалась вне поля зрения видеокамеры.

Для исследований были подготовлены два комплекта резцов. Первый — с передними углами $\gamma = +4; 0; -4^\circ$, задним углом $\alpha = 7,5^\circ$ и углом наклона режущей кромки $\lambda = 0^\circ$. Второй — с углами $\lambda = 7,5; 15; 30; 35^\circ$ при $\alpha = 7,5^\circ$ и $\gamma = 15^\circ$.

Обработка видеозаписи исследуемого процесса выполнялась с помощью специального программного обеспечения, разработанного в ИФПМ СО РАН [13–15]. В результате корреляционного анализа была получена информация о величине и направлении смещения деформируемого материала в процессе резания. Схематичное изображение векторного поля перемещений показано на рис. 1, б.

В процессе экспериментального исследования осуществляли наблюдение за боковой по-

верхностью образца, в связи с чем поперечную деформацию не определяли. Дальнейшие расчеты проводили для плоскодеформированного состояния. Согласно общим представлениям теории пластического деформирования [16], по известным перемещениям могут быть определены компоненты относительной деформации:

$$\varepsilon_z = \frac{\partial V_z}{\partial z}; \quad \varepsilon_y = \frac{\partial U_y}{\partial y}; \quad \gamma_{zy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_z}{\partial y} + \frac{\partial U_y}{\partial z} \right), \quad (1)$$

где V_z — проекция вектора перемещения на ось OZ ; U_y — проекция вектора перемещения на ось OY .

Интенсивность деформации сдвига для плоскодеформированного состояния [17]

$$e_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_z - \varepsilon_y)^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_y^2 + \frac{3}{2} \gamma_{zy}^2}. \quad (2)$$

В результате расчета по формулам (1)–(2) получена матрица значений e_i в пределах зоны резания с шагом 0,12 мм по осям OZ и OY . На основе полученных данных в программе MathCAD были построены топограммы с распределением e_i . Для наглядного представления на полученные топограммы нанесены контуры инструмента и исследуемого образца.

В качестве количественной оценки влияния геометрических параметров инструмента на формирование пластической деформации определены площадь s области пластической деформации и глубина Δ деформированного слоя. За критерий пластической деформации принята величина относительной деформации

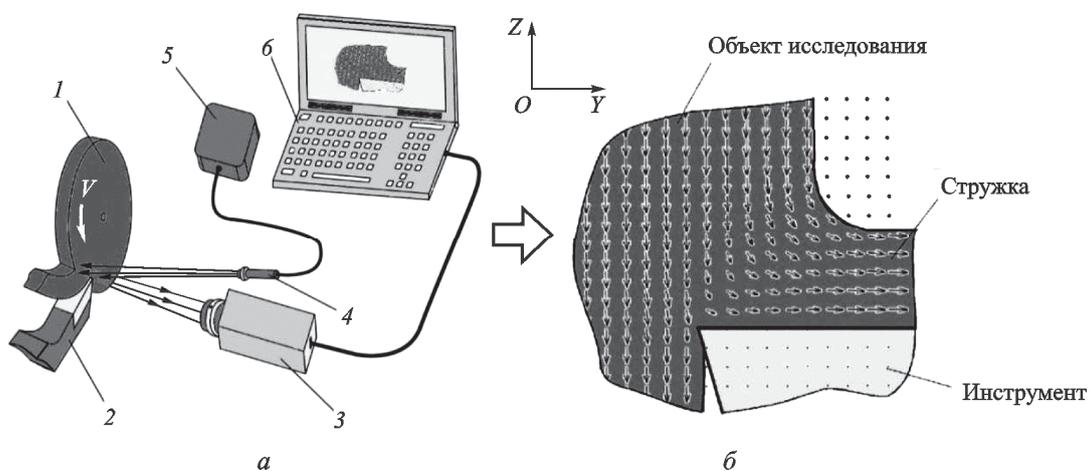


Рис. 1. Схема экспериментальной установки (а) и векторное поле деформации в зоне резания (б)
1 — образец; 2 — инструмент; 3 — цифровая видеокамера; 4 — лазер; 5 — блок питания; 6 — персональный компьютер

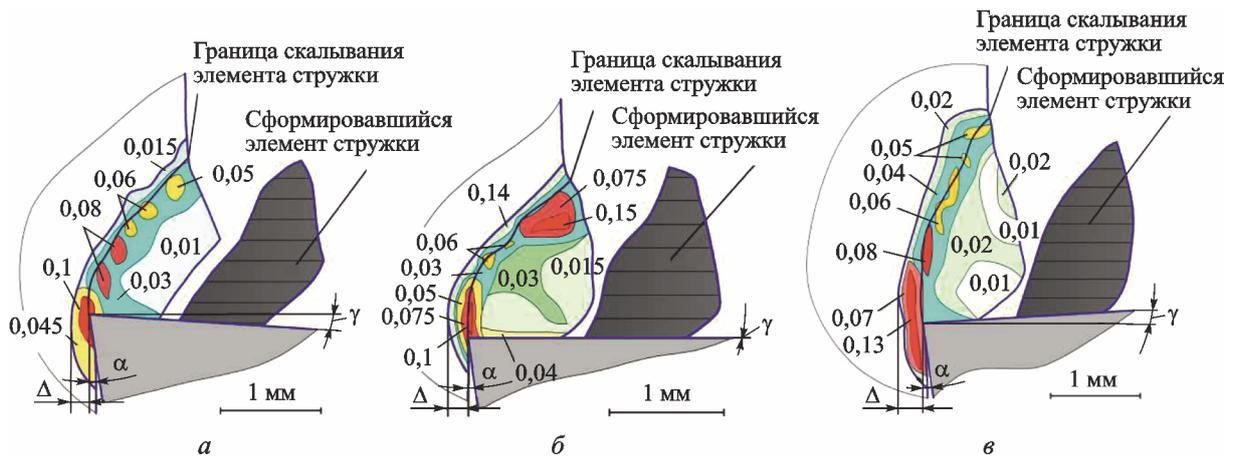


Рис. 2. Интенсивность пластической деформации:
 а — $\gamma = +4^\circ$; б — $\gamma = 0^\circ$; в — $\gamma = -4^\circ$

более 0,01 [16]. Величины s и Δ найдены графическим методом с учетом масштабного коэффициента.

Основные результаты. На рис. 2 приведены топограммы интенсивности пластической деформации при резании титанового сплава ОТ4 инструментом с передними углами $\gamma = +4; 0; -4^\circ$ при $\alpha = 7,5^\circ, \lambda = 0^\circ$. Там же показаны схематичные изображения сформировавшихся и отделившихся элементов стружки.

Наибольшая величина e_i наблюдается вблизи вершины инструмента, в области контакта задней поверхности инструмента с заготовкой и вблизи свободной поверхности образца у границы области скалывания. Для рассматриваемых случаев стоит отметить формирование узкой полосы с большой интенсивностью деформации. Эта полоса по своему виду и расположению напоминает условную плоскость сдвига.

В рассматриваемом случае механизм стружкообразования относится к элементному типу. Образование стружки происходит путем накопления деформации в объеме материала с ее локализацией в узкой полосе. При достижении некоторого критического значения деформации происходит сдвиг элемента стружки по границе скалывания, которая отмечена на рис. 2. Скалывание происходит от вершины инструмента и распространяется вдоль цепочки областей с большими значениями e_i .

На рис. 3 приведены изображения элементной стружки, полученной при резании инструментом с углом $\gamma = 0^\circ$. Изображения получены с помощью лазерного сканирующего микроскопа

Olympus LEXT OLS 4100. Элемент по своей форме близок к треугольнику. Основание имеет плоскую площадку, сформировавшуюся в результате сжатия материала передней поверхностью инструмента. Сжатие материала образца приводит к формированию уширения элемента ($b_2 > b_1$) вблизи поверхности контакта стружки с инструментом (рис. 3, б), что согласуется с высокой интенсивностью деформации $e_i = 0,04$ вблизи передней поверхности инструмента (рис. 2, б).

На рис. 4 приведены топограммы интенсивности пластической деформации при резании титанового сплава ОТ4 инструментом с углами наклона лезвия $\lambda = 7,5; 15; 30; 35^\circ$ при $\alpha = 7,5^\circ$ и $\gamma = 15^\circ$.

Стружка, сходящая по наклонной передней поверхности, имеет форму сплошной витой спирали. Механизм стружкообразования при

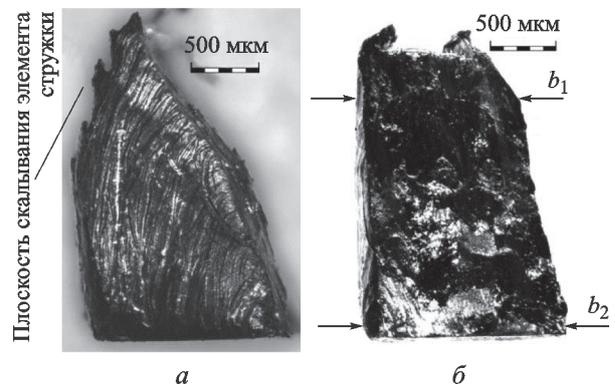


Рис. 3. Внешний вид элементной стружки, полученной при резании инструментом с углом $\gamma = 0^\circ$:
 а — боковая поверхность;
 б — вид на плоскость сдвига

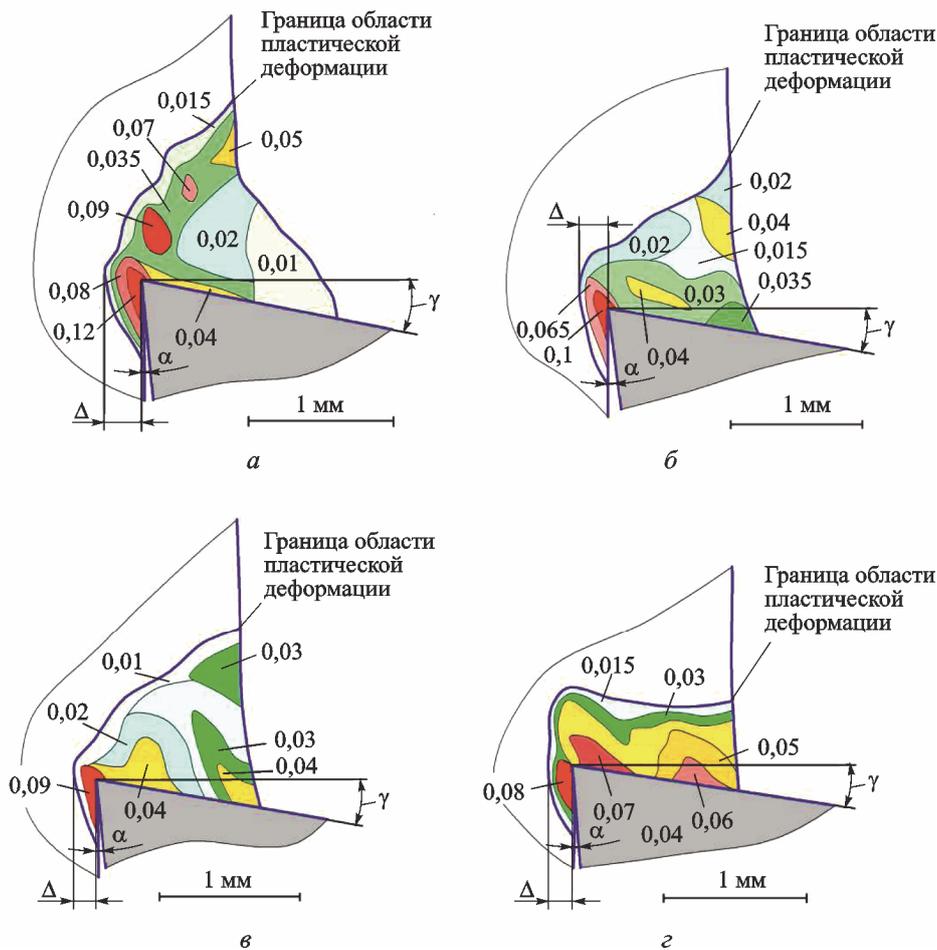


Рис. 4. Интенсивность пластической деформации:
 а — $\lambda = 7,5^\circ$; б — $\lambda = 15^\circ$; в — $\lambda = 30^\circ$; г — $\lambda = 35^\circ$

резании инструментом с углами $\lambda = 15; 30; 35^\circ$ относится к сливному типу, т. е. идет непрерывное пластическое деформирование материала образца без скалывания и образования элементной стружки. При резании с углом $\lambda = 7,5^\circ$ стружка имеет вид связанных сегментов, скалывание не происходит.

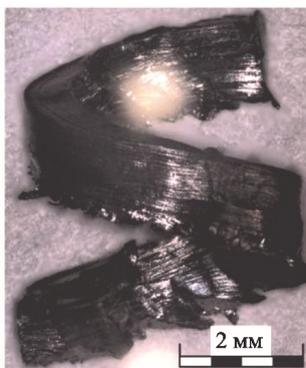


Рис. 5. Внешний вид витой стружки, полученной при резании инструментом с углом $\lambda = 35^\circ$

Наибольшая интенсивность деформации при резании инструментом с углом $\lambda = 7,5^\circ$ сосредоточена в пределах узкой полосы, как и при резании инструментами с углом $\lambda = 0^\circ$ при $\gamma = +4; 0; -4^\circ$. С увеличением угла λ деформация приобретает менее локализованный характер. Значение e_i нарастает от границы области пластической деформации в направлении передней поверхности инструмента. Во всех случаях большие значения e_i наблюдаются вблизи вершины лезвия инструмента.

На рис. 5 приведено изображение фрагмента витой стружки, полученной при резании инструментом с углом $\lambda = 35^\circ$. Стружка имеет целостную форму (без сегментов) в виде витой спирали с шагом 3 мм и диаметром 4 мм. Увеличение угла наклона лезвия приводит к изменению направления сдвига за счет дополнительного сдвига в поперечном направлении, что является основной причиной завивания стружки в спираль. На рис. 6 показаны зависи-

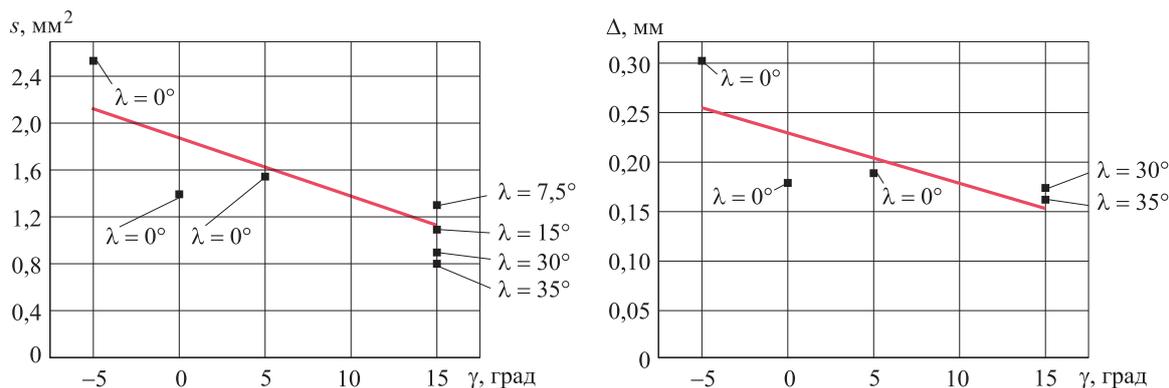


Рис. 6. Влияние геометрических параметров режущего лезвия λ и γ на площадь области пластической деформации (а) и глубину деформированного слоя (б)

мости площади s области пластической деформации и глубины Δ деформированного слоя при различных значениях угла λ наклона режущей кромки и переднего угла γ .

Согласно полученной зависимости (рис. 6, а), площадь области пластической деформации уменьшается с увеличением угла наклона режущей кромки и переднего угла инструмента. Глубина деформированного слоя (см. рис. 6, б) также уменьшается с увеличением переднего угла инструмента. Следовательно, снижается степень деформационного воздействия на поверхностный слой материала заготовки, что способствует уменьшению наклепа и величины остаточных напряжений в поверхностном слое детали.

Одной из основных задач развития предложенного экспериментального подхода является переход на более высокие скорости резания, которые будут соответствовать применяемым на производстве. Как показано в работах [18, 19], решение этой задачи возможно в случае применения высокоскоростной цифровой монохроматической видеокамеры и оптического микроскопа.

Выводы

1. Резание с углом $\lambda = 0^\circ$ сопровождается сжатием и сдвигом материала образца, которые протекают в плоскости ZOY (см. рис. 2). Увеличение угла наклона режущей кромки приводит к изменению деформированного состояния от плоского к объемному и характера стружкообразования от элементного к сливному типу.

2. Увеличение переднего угла и угла наклона режущей кромки приводят к уменьшению площади области пластической деформации.

3. Интенсивность e_i пластической деформации сдвига уменьшается с увеличением угла наклона режущей кромки и переднего угла инструмента.

4. Изменение характера стружкообразования от элементного к сливному с увеличением угла λ является положительным фактором изменения геометрических параметров режущего лезвия, поскольку процесс резания становится более устойчивым.

5. Уменьшение глубины деформированного слоя с увеличением углов γ и λ также является положительным аспектом влияния геометрических параметров инструмента на процесс резания.

Литература

- [1] Denkena B., Biermann D. Cutting edge geometry. *CIRP Annals — Manufacturing Technology*, 2014, vol. 63 (2), pp. 631–653.
- [2] Arrazola P.J., Ozel T., Umbrello D., Davies M., Jawahir I.S. Recent advances in modeling of metal machining processes. *CIRP Annals — Manufacturing Technology*, 2013, vol. 62, pp. 695–718.
- [3] Грановский Г.И., Грановский В.Г. *Резание металлов*. Москва, Высшая школа, 1985. 304 с.

- [4] Molinari A., Musquar C., Sutter G. Adiabatic shear banding in high speed machining of Ti-6Al-4V: experiments and modeling. *International Journal of Plasticity*, 2002, vol. 18, pp. 443–459.
- [5] Ulutan D., Ozel T. Machining induced surface integrity in titanium and nickel alloys: A review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2011, vol. 51, pp. 250–280.
- [6] Sun S., Brandt M., Dargusch M.S. Characteristics of cutting forces and chip formation in machining of titanium alloys. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2009, vol. 49, pp. 561–568.
- [7] Komanduri R. Some clarifications on the mechanics of chip formation when machining titanium alloys. *Wear*, 1982, vol. 76, pp. 15–35.
- [8] Дель Г.Д., Новиков Н.А. *Метод делительных сеток*. Москва, Машиностроение, 1979. 144 с.
- [9] Ефимович И.А. Циклический характер напряженно-деформированного состояния режущей части инструмента в процессе резания. *Вестник машиностроения*, 2003, № 7, с. 48–52.
- [10] Proskokov A.V., Filippov A.V., Gorbatenko V.V. Experimental Study of Plastic Deformation Intensity in Cutting Zone. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, vol. 770, pp. 200–204.
- [11] Filippov A.V., Gorbatenko V.V. Influence of Rake Angle Tool on Plastic Deformation in Chip Formation when Cutting. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 682, pp. 525–529.
- [12] Филиппов А.В., Проскоков А.В. Исследование процесса стружкообразования при резании металлов методом цифровой корреляционной спекл-интерферометрии. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2014, № 2, с. 100–113.
- [13] Polyakov S.N., Gorbatenko V.V., Lopaev E.L., Zuev L.B. Method of computation decorrelation of digital speckle-images for studying plastic deformation. *Avtometriya*, 2003, vol. 39(5), pp. 102–111.
- [14] Gorbatenko V.V., Polyakov S.N., Zuev L.B. System for visualization of plastic deformation by means of speckle video images. *Pribory i Tekhnika Eksperimenta*, 2002, vol. 45 (3), pp. 164–165.
- [15] Gorbatenko V.V., Polyakov S.N., Zuev L.B. Visualization of the deformation localization zones using numerical decorrelation of videoimages with speckles (Chernov-Luders lines). *Zavodskaya Laboratoriya. Diagnostika Materialov*, 2001, vol. 67 (7), pp. 29–32.
- [16] Фридман Я.Б. *Механические свойства металлов. Ч. 1: Деформация и разрушение*. Москва, Машиностроение, 1972. 472 с.
- [17] Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю. Разработка новой теории резания. *Вестник машиностроения*, 2008, № 4, с. 69–74.
- [18] Sagaruram D., Yeung H., Guo Y., Mahato A., M'Saoubi R., Compton W.D., Trumble K.P., Chandrasekar S. On control of flow instabilities in cutting of metals. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 2015, vol. 64, pp. 49–52.
- [19] Guo Y., Saldana C., Compton W.D., Chandrasekar S. Controlling deformation and microstructure on machined surfaces. *Acta Materialia*, 2011, vol. 59, pp. 4538–4547.

References

- [1] Denkena B., Biermann D. Cutting edge geometry. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 2014, vol. 63, iss. 2, pp. 631–653.
- [2] Arrazola P.J., Ozel T., Umbrello D., Davies M., Jawahir I.S.. Recent advances in modelling of metal machining processes. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 2013, vol. 62, pp. 695–718.
- [3] Granovskii G.I., Granovskii V.G. *Rezanie metallov [Cutting metal]*. Moscow, Vysshiaia shkola publ., 1985. 304 p.

- [4] Molinari A., Musquar C., Sutter G. Adiabatic shear banding in high speed machining of Ti-6Al-4V: experiments and modeling. *International Journal of Plasticity*, 2002, vol. 18, pp. 443–459.
- [5] Ulutan D., Ozel T. Machining induced surface integrity in titanium and nickel alloys: A review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2011, vol. 51, pp. 250–280.
- [6] Sun S., Brandt M., Dargusch M.S. Characteristics of cutting forces and chip formation in machining of titanium alloys. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2009, vol. 49, pp. 561–568.
- [7] Komanduri R. Some clarifications on the mechanics of chip formation when machining titanium alloys. *Wear*, 1982, vol. 76, pp. 15–35.
- [8] Del' G.D., Novikov N.A. *Metod delitel'nykh setok* [The method of dividing nets]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1979. 144 p.
- [9] Efimovich I.A. Tsiklicheskiy kharakter napriazhenno-deformirovannogo sostoiianiia rezhushchei chasti instrumenta v protsesse rezaniia [The cyclic nature of the stress-strain state of the cutting part of the tool during the cutting process]. *Vestnik mashinostroeniia* [Russian Engineering Research]. 2003, no. 7, pp. 48–52.
- [10] Proskokov A.V., Filippov A.V., Gorbatenko V.V. Experimental Study of Plastic Deformation Intensity in Cutting Zone. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, vol. 770, pp. 200–204.
- [11] Filippov A.V., Gorbatenko V.V. Influence of Rake Angle Tool on Plastic Deformation in Chip Formation when Cutting. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 682, pp. 525–529.
- [12] Filippov A.V., Proskokov A.V. Issledovanie protsessa struzhkoobrazovaniia pri rezanii metallov metodom tsifrovoi korreliatsionnoi spekl-interferometrii [Study of Chip Forming in Cutting Metals using the Method of Digital Correlation Speckle Interferometry]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Mechanical Engineering]. 2014, no. 2, pp. 100–113.
- [13] Polyakov S.N., Gorbatenko V.V., Lopaev E.L., Zuev L.B. Method of computation decorrelation of digital speckle-images for studying plastic deformation. *Avtometriya*, 2003, vol. 39, iss. 5, pp. 102–111.
- [14] Gorbatenko V.V., Polyakov S.N., Zuev L.B. System for visualization of plastic deformation by means of speckle video images. *Pribory i Tekhnika Eksperimenta*, 2002, vol. 45, iss. 3, pp. 164–165.
- [15] Gorbatenko V.V., Polyakov S.N., Zuev L.B. Visualization of the deformation localization zones using numerical decorrelation of videoimages with speckles (Chernov-Luders lines). *Zavodskaya Laboratoriya. Diagnostika Materialov*, 2001, vol. 67, iss. 7, pp. 29–32.
- [16] Fridman Ia.B. *Mekhanicheskie svoistva metallov. Chast' 1. Deformatsiia i razrushenie* [Mechanical properties of metals. Part 1: Deformation and fracture]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1972. 472 p.
- [17] Vorontsov A.L., Sultan-Zade N.M., Albagachiev A.Yu. Development of a new theory of cutting: 4. General principles of a new theory of cutting. *Russian Engineering Research*, 2008, vol. 28, no. 4, pp. 346–351.
- [18] Sagapuram D., Yeung H., Guo Y., Mahato A., M'Saoubi R., Compton W.D., Trumble K.P., Chandrasekar S. On control of flow instabilities in cutting of metals. *CIRP Annals — Manufacturing Technology*, 2015, vol. 64, pp. 49–52.
- [19] Guo Y., Saldana C., Compton W.D., Chandrasekar S. Controlling deformation and microstructure on machined surfaces. *Acta Materialia*, 2011, vol. 59, pp. 4538–4547.

Статья поступила в редакцию 30.12.2015

Информация об авторах

КОРОВИН Георгий Иванович (Томск) — технический директор. ООО «ПК МИОН» (634034, Томск, Российская Федерация, Вершинина ул., д. 46/5, e-mail: korovin9@yandex.ru).

ФИЛИПPOB Андрей Владимирович (Юрга) — младший научный сотрудник лаборатории физики упрочнения поверхности. Институт физики прочности и материаловедения СО РАН; ассистент кафедры технологии машиностроения. Юргинский технологический институт национального исследовательского Томского политехнического университета (652055, Юрга, Российская Федерация, Ленинградская ул., д. 26, e-mail: avf@tpu.ru).

ПРОСКОКОВ Андрей Владимирович (Юрга) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения». Юргинский технологический институт национального исследовательского Томского политехнического университета (652055, Юрга, Российская Федерация, Ленинградская ул., д. 26, e-mail: proskokov@tpu.ru).

ГОРБАТЕНКО Вадим Владимирович (Томск) — кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник лаборатории физики прочности 3. Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (634055, Томск, Российская Федерация, Академический пр-т, д. 2/4, e-mail: gvv@ispms.ru).

Information about the authors

KOROVIN Georgiy Ivanovich (Tomsk) — Technical Director. ООО PK MION (General Purpose Multifaceted Tools) (634034, Tomsk, Russian Federation, Vershinin St., Bldg. 46/5, e-mail: korovin9@yandex.ru).

FILIPPOV Andrey Vladimirovich (Yurga) — Junior Research Associate, Laboratory of Physics of Surface Hardening. The Institute of Physics of Strength and Material Science, The Russian Academy of Sciences; assistant Department of Mechanical Engineering Technology. Yurga Institute of Technology, Affiliate of the National Research Tomsk Polytechnic University (652055, Yurga, Russian Federation, Leningradskaya St., Bldg. 26, e-mail: avf@tpu.ru).

PROSKOKOV Andrey Vladimirovich (Yurga) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Engineering Technology. Yurga Institute of Technology, Affiliate of the National Research Tomsk Polytechnic University (652055, Yurga, Russian Federation, Leningradskaya St., Bldg. 26, e-mail: proskokov@tpu.ru).

GORBATENKO Vadim Vladimirovich (Tomsk) — Candidate of Science (Physics and Math), Senior Researcher, Laboratory of Strength Physics 3. Institute of Strength Physics and Materials Science, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (634055, Tomsk, Russian Federation, Akademicheskii Pr., Bldg. 2/4, e-mail: gvv@ispms.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышла в свет монография
В.В. Кузенова, А.И. Лебо, И.Г. Лебо, С.В. Рыжкова
**«Физико-математические модели
и методы расчета воздействия
мощных лазерных и плазменных импульсов
на конденсированные и газовые среды»**

Книга посвящена изучению физических процессов в веществе при взаимодействии с мощными источниками импульсного нагрева. Дан краткий исторический очерк, описана физика лазерного термоядерного синтеза. Основное внимание уделено построению математических моделей и численным исследованиям физических явлений в высокотемпературной плазме для инерционного и магнитно-инерциального термоядерного синтеза. Приведены различные методы численных решений уравнений магнитно-радиационной плазмодинамики.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru