

Поскольку медь в железе при комнатной температуре практически не растворяется, то вся оставшаяся медь в железоуглеродистых сплавах выделяется либо в ферритных зернах либо в феррите перлита в виде включений нано- или субмикронного размера. В работе [2] зафиксированы частицы со средним размером 20 нм. В данном исследовании обнаружены включения субмикронного размера, равномерно распределенные в перлите (рис. 4). На рисунке включения показаны стрелками.

Введение меди оказывает существенное влияние на структуру и свойства чугуна, а также на его склонность к отбелу. С повышением в чугуне содержания меди уменьшается длина графитовых включений. При содержании в сплаве 14,7 % Cu размер графитовых включений составляет ~ 1...2 мкм. Графит преимущественно выделяется в виде колоний в междендритном пространстве. Медь в структуре чугуна выделяется в широком диапазоне размеров - от субмикронного размера до 240 мкм.

Литература.

1. Степанова Н.В. Влияние меди на антифрикционные свойства серых чугунов / Н.В. Степанова, В.А. Кузнецов, Е.Д. Головин, П.А. Попелюх, В. Кумар // Обработка металлов. Технология. Оборудование. Инструменты. - 2012. - № 1(54). - С. 81-84
2. N.V. Stepanova, A.A. Razumakov, The effect of doping with copper and aluminium on structure, mechanical and friction properties of steel, The 8 international forum on strategic technologies (IFOST 2013): proc., Mongolia, Ulaanbaatar, 2013. Vol. 1. – pp.240-242.
3. S. Jeon, S. Kim, I. Lee, J. Park, K. Kim, J. Kim, Y. Park, Effects of copper addition on the formation of inclusions and the resistance to pitting corrosion of high performance duplex stainless steels, CorrosionScience 53 (2011) pp. 1408–1416
4. Бобро Ю.Г. Алюминиевые чугуны / Ю.Г. Бобро // Харьков : ХГУ, 1964. -195 с.
5. Silman G.I. On the mechanisms of copper effect on structure formation in cast iron / G.I. Silman, V.V. Kamynin, V.V. Goncharov //Metal Science and Heat Treatment Vol. 49, Nos. 7 – 8, 2007 – pp. 387 - 393
6. Бобро Ю.Г., Платонова Л.А. Некоторые особенности микроструктуры алюминиевых чугунов, легированных медью // В кн.: Новое в металлографии чугуна, Киев: 1981. С. 94-99.
7. Н.П. Лякишев, Диаграммы состояния металлических систем: Справочник: В 3 т.: Т. 1, Под общ.ред. Лякишева Н.П., Машиностроение, 1996. 992 с.

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДНЕГО УГЛА ИНСТРУМЕНТА НА ХАРАКТЕР ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ЗОНЕ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ

А.В. Филиппов, ассистент, В.В. Горбатенко, к.ф.-м.н., с.н.с.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, Ленинградская 26*

**Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634021, Томская обл., г. Томск, просп. Академический, 2/4*

E-mail: avf@tpu.ru

Введение

Основным физическим содержанием процесса резания является пластическое деформирование срезаемого слоя металла в стружку. Исследование механизма формирования и протекания деформаций в зоне стружкообразования является важной задачей с точки зрения описания механики процесса резания металлов, определения границ пластической области. Этому вопросу посвящены многочисленные работы авторов: А.М. Розенберга, Н.Н. Зорева, А.Н. Еремина, М.Ф. Полетика, Г.Л. Куфарева, Т.Н. Лоладзе, Дель Г.Д., С.И. Петрушина и др. [1-7], которые являются основополагающими для современной теории резания.

Процесс деформации металла при резании достаточно сложен, поэтому наряду с теоретическими расчётами важную роль имеют экспериментальные методы исследований. Наблюдение за боковой поверхностью образцов является одним распространенных экспериментальных методов изучения процесса резания металлов. При этом используются различные подходы: киносъемка, голографическая интерферометрия, делительные сетки.

В данной работе для определения деформации в зоне стружкообразования применен метод цифровой корреляции изображений [8, 9], который получил широкое развитие при экспериментальном исследовании процессов пластической деформации [10, 11]. На сегодняшний день в институте физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН (ИФПМ СО РАН) данный метод

развит, с применением современной аппаратуры, и используется для исследования различных деформационных процессов [11-13].

Основные результаты

Экспериментальное исследование процесса стружкообразования при резании металлов, с применением метода цифровой корреляции изображений, проводились в ИФПМ СО РАН г. Томск. На специально изготовленном экспериментальном стенде [14] производилось свободное резание отрезными резцами (материал режущей части Т5К10), с различной геометрией режущих пластин (передний угол $\gamma=0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$; задний угол $\alpha=7,5^\circ$ - постоянный во всех случаях), скорость резания составляла 13мм/мин. В качестве исследуемого образца использовались диски из меди М1, что обусловлено склонностью данного материала к пластическому деформированию при обработке резанием, в том числе при низких скоростях деформирования.

На рисунке 1а представлена схема экспериментального исследования деформации материала с применением метода цифровой корреляции изображений. При проведении эксперимента проводилась видеосъемка зоны резания с использованием цифровой видеокамеры при подсветке исследуемой области лазером. После чего производилась корреляция двух последовательных фрагментов видеозаписи, разбитых на ячейки с выбранным шагом и вычислялись значения векторов перемещений деформируемого материала для каждой узловой точки в пределах рассматриваемого участка. Схематичное изображение поля векторов смещения, полученное после обработки экспериментальных данных, для случая работы инструментом с передним углом $\gamma=0^\circ$ представлено на рисунке 1б. Аналогичные векторные поля смещений были получены для всех рассматриваемых значений переднего угла инструмента.

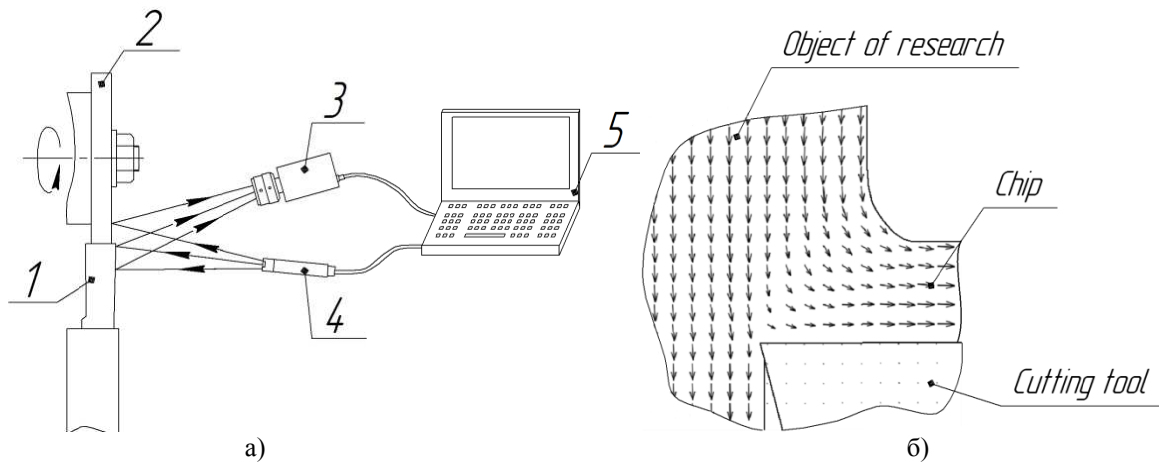


Рис. 1. а) Схема экспериментального исследования деформаций материала с применением метода спекл-интерферометрии: 1 – инструмент; 2 – объект исследования; 3 – цифровая видеокамера; 4 – лазер; 5 – персональный компьютер. б) Поле векторов смещений в исследуемой области

Характер деформированного состояния и влияния переднего угла инструмента оценивались по величине относительной деформации сдвига и интенсивности деформации сдвига. Поскольку согласно основным положениям теории резания именно деформация сдвига является важнейшей характеристикой процесса стружкообразования [1-7]. В процессе проведения экспериментов наблюдение осуществлялось только за боковой поверхностью образца, в связи с этим было принято, что поперечная деформация отсутствует. Дальнейшие расчеты проводились для плоско-деформированного состояния, следовательно:

$$\varepsilon_z = 0.$$

Поскольку известно векторное поле перемещений точек деформируемого материала, то компоненты тензора деформаций были определены по формулам [15]:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial V_x}{\partial x}; \quad \varepsilon_y = \frac{\partial U_y}{\partial y}; \quad \gamma_{xy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial U_y}{\partial x} \right).$$

где V_x – проекция вектора перемещения на горизонтальную плоскость,
 U_y – проекция вектора перемещения на вертикальную плоскость.

На рисунке 2 представлена топограмма распределения относительной деформации сдвига γ_{xy} в зоне стружкообразования при резании меди М1, рассчитанное на основе экспериментального поля векторов смещения деформируемого материала. Значения γ_{xy} усреднялись для выделения областей с равномерным сдвигом. Значения $\gamma_{xy} < 0,01$ принимались равными 0, исходя из предположения, что пластической деформацией для анизотропного металла считается относительное формоизменение более 1% [16]. Как видно на представленных изображениях присутствуют отрицательные и положительные значения γ_{xy} , что свидетельствует о наличии в зоне стружкообразования деформации растяжения и сжатия.

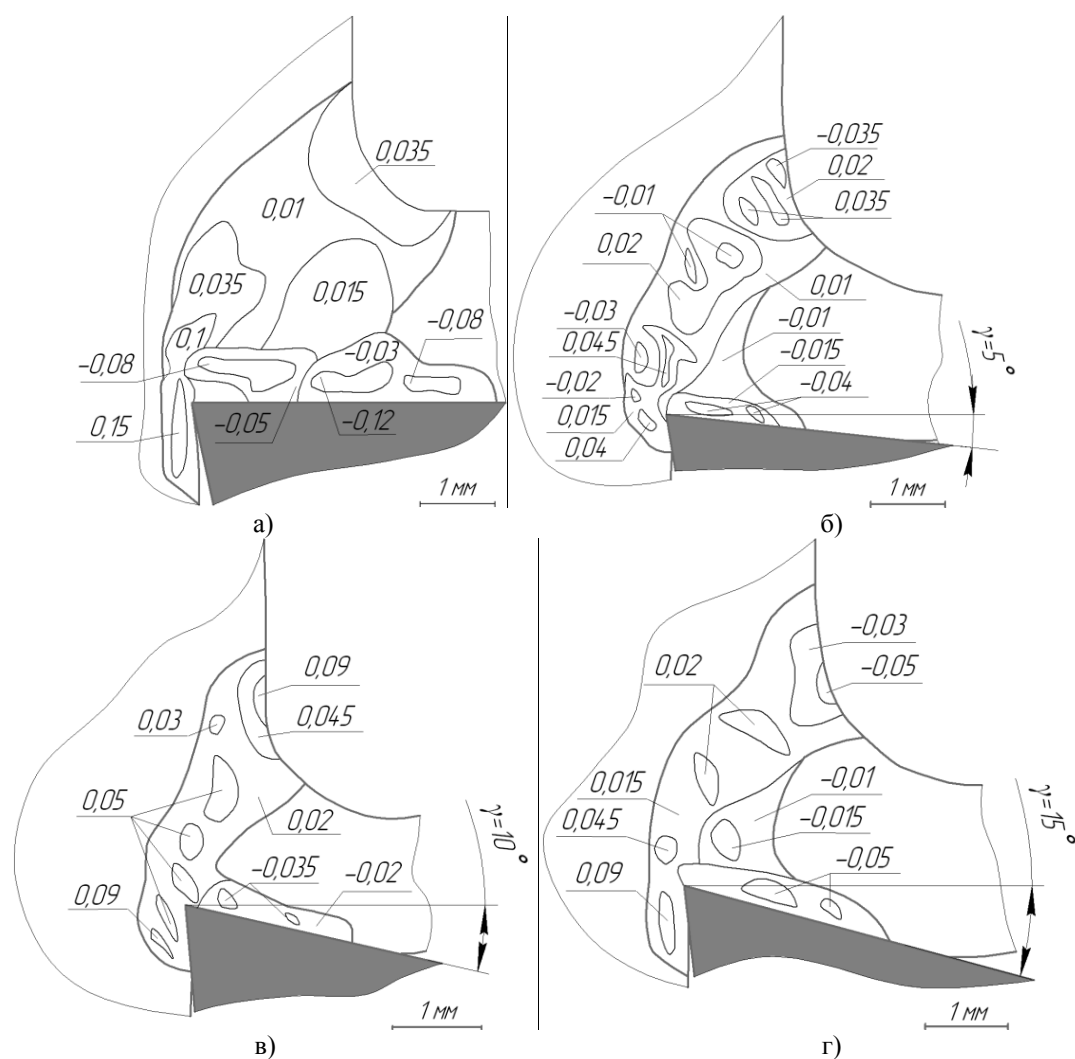


Рис. 2. Распределение относительной деформации сдвига γ_{xy} в зоне стружкообразования при резании меди М1 резцом с передним углом а) $\gamma=0^\circ$, б) $\gamma=5^\circ$, в) $\gamma=10^\circ$, г) $\gamma=15^\circ$

Интенсивность деформации сдвига определена по формуле [17, 18]:

$$\gamma_i = \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + \varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \frac{3}{2} \cdot \gamma_{xy}^2}. \quad (1)$$

На рисунке 3 представлена топограмма распределения интенсивности деформации сдвига в зоне стружкообразования, рассчитанной по формуле (1). Значения γ_i усреднялись для определения областей с равномерным распределением интенсивности деформации. При этом значения $\gamma_i < 0,01$ принимались равными 0.

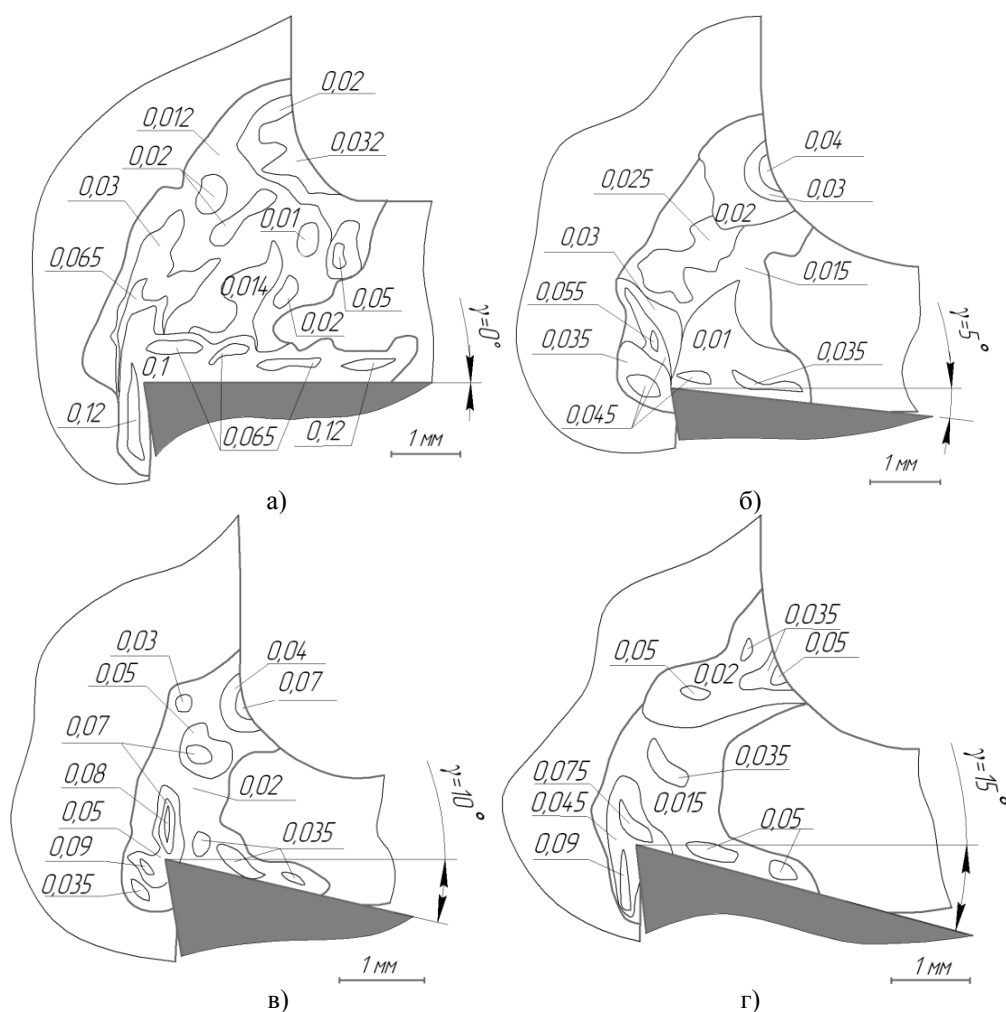


Рис. 3. Распределение интенсивности деформации сдвига γ_i в зоне стружкообразования при резании меди М1 резцом с передним углом а) $\gamma=0^\circ$, б) $\gamma=5^\circ$, в) $\gamma=10^\circ$, г) $\gamma=15^\circ$

Выводы

На основе полученных данных можно определить, что с увеличением переднего угла γ происходит изменение размеров области пластической деформации. При увеличении угла γ от 0° до 5° происходит значительное уменьшение области пластической деформации вблизи условной плоскости сдвига – участка перехода обрабатываемого материала в стружку. А также уменьшения участка пластической деформации прилегающего к передней поверхности инструмента – поверхности, по которой сходит стружка. При дальнейшем увеличении угла γ от 5° до 15° размеры области пластической деформации практически не меняются, что предположительно вызвано малыми скоростями резания. При этом значения относительной деформации сдвига и интенсивности деформации сдвига, во всем диапазоне изменения переднего угла γ , изменяются незначительно.

Исходя из полученных изображений с распределением деформации в зоне стружкообразования, очевидно, что с увеличением переднего угла инструмента γ уменьшается неоднородность пластической деформации. Для всех представленных случаев наибольшая интенсивность деформации сдвига наблюдается в области контакта вершины инструмента с деформируемым образцом и на прилегающих к ней передней и задней поверхностях. Так же достаточно большие значения γ_{xy} и γ_i наблюдаются в области пластического треугольника [7], прилегающего к кривой Брикса [5] – области изгиба деформируемого материала при переходе в стружку. Подобные участки являются очагами локализации пластической деформации.

Полученные результаты согласуются с данными изложенными в работах [1-7], что указывает на возможность применения метода цифровой корреляции изображений для исследования пластической деформации при резании.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Институту физики прочности и материаловедения СО РАН и лаборатории физики прочности за возможность проведения экспериментальной части исследований.

Литература.

1. Розенберг А.М., Насосов К.А. Факторы, влияющие на процесс деформации при резании. Изв. ТПИ 1957 том 85, С. 118-131.
2. Еремин А.Н., Розенберг А.М. Элементы теории процесса резания металлов. М.; Свердловск: Машгиз, 1956. – 319 с.
3. Дель Г.Д. Технологическая механика. М., Машиностроение, 1978. – 174 с.
4. Полетика М.Ф. Теория резания: Ч.1: Механика процесса резания. – Томск: Изд-во ТПУ. 2001 – 202 с.
5. Куфарев Г.Л., Говорухин В.А., Океанов К.Б. Стружкообразование и качество обработанной поверхности при несвободном резании. Фрунзе: Мектеп, 1970. – 170 с.
6. Зорев Н.Н. Исследование элементов механики процесса резания. М.: Машгиз, 1952. – 364 с.
7. Лоладзе, Т. Н. Стружкообразование при резании металлов М.: Машгиз, 1952. – 200 с.
8. Петрушин С.И., Проскоков А.В. Теория несвободного резания материалов. Томск: Изд-во ТПУ. 2012. – 158 с.
9. Sutton A., Peters W.H., Wolters W.J., Ransom W.F., McNeil S.R. Determination of displacements using an improved digital correlation method. Image and Vision Computing. 1983. – V. 1.– №.3. – P. 133-139.
10. R.K. Rastogi, Digital speckle pattern interferometry and related techniques, John Wiley and Sons Ltd, New York, 2001.
11. Luo P.F., Chao Y.J., Suttom M.A., Peters W.H. Accurate measurement of three-dimensional deformations in deformable and rigid boodies using computer vision. Experimental mechanics. 1993. – P. 123-132.
12. Зуев Л.Б., Данилов В.И., Мних Н.М. Спекл-интерферометрический метод регистрации полей векторов смещений при деформации. Заводская лаборатория. 1990. - №. 2. – С. 90-93.
13. Данилов В. И., Зуев Л. Б., Горбатенко В. В., Гончиков К. В., Павличев К. В. Использование спекл-интерферометрии для исследования локализации пластической деформации. Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2006. – Том. 72. - №. 12. – С. 40-45.
14. Панин С.В., Любутин П.С. Верификация метода оценки деформации на мезоуровне, основанного на построении полей векторов перемещений участков поверхности. Физическая мезомеханика. 2005. – Том 8. –№2. – С.69-80.
15. Филиппов А.В., Проскоков А.В., Вербицкая О. Ю. Экспериментально-лабораторный стенд для исследования деформации металлов при резании. Научное обозрение. 2013. – №5. – С. 53-57.
16. Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материалов. Под ред. В.Е. Панина. – Новосибирск: Наука. 1995. – Т. 1. – 298 с., Т. 2. – 320 с.
17. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. Часть 1. Деформация и разрушение. М.: Машиностроение, 1972. - 472 с.
18. Филин А.П. Прикладная механика твердого деформированного тела. М.:Наука, 1975. – Т. 1. -832 с.
19. Механика разрушения и прочность материалов: Справ. пособие: В 4 т. Под ред. Панасюка В.В. – Киев: Наукова думка. 1998. – Т. 1. – 488 с.

**СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО
ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИ
АКТИВИРОВАННОЙ СМЕСИ НАНОПРОШКОВ НИКЕЛЯ И АЛЮМИНИЯ**

Л.И. Шевцова, асп., Т.С. Самейцева, асп., Д. Д. Мункуева, студ.

Новосибирский государственный технический университет

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

E-mail: edeliya2010@mail.ru

В современном материаловедении особое внимание уделяется изучению алюминидов никеля благодаря высокому комплексу механических свойств этих материалов, высокой коррозионной стойкости и стойкости к окислению при повышенных температурах [1-4]. Особый интерес к алюминиду типа Ni₃Al обусловлен аномальной зависимостью предела текучести этого материала от темпе-