

**Определение глубины слоя дополнительной сдвиговой деформации
при волочении тонкой проволоки**

А.Ю. Столяров ЗАО «Уралкорд»

В.А. Харитонов ФГБОУ ВПО «МГТУ»

А.П. Латаев Инжиниринговая компания «Артех»

Реферат

В работе приведена методика определения глубины слоя дополнительной сдвиговой деформации при волочении проволоки с фактической шероховатостью поверхности. Исследования выполнены с помощью моделирования процесса волочения в программном комплексе DEFORM-2D. В результате выявлен слой дополнительной сдвиговой деформации и определена его глубина, которая составляет (4-5) Rz - показателя высоты неровности поверхности профиля деформируемой заготовки.

This paper describes a method of determining the depth of the layer additional shear deformation during wire drawing of an actual surface roughness. Research carried out by modeling the process of drawing in the software package DEFORM-2D. The result revealed an additional layer of shear deformation and is defined by its depth, which is (4-5) Rz - the height of the surface roughness index profile of the deformed workpiece.

Ключевые слова

Тонкая проволока, фактическая шероховатость, трение, локализация деформации, моделирование волочения, заготовка с шероховатостью, волочильный инструмент, дополнительная деформация сдвига, глубина слоя.

A thin wire, the actual surface roughness, friction, strain localization, simulation of drawing, with the workpiece surface roughness, drawing tools, additional shear deformation, the depth of the layer.

По мере уменьшения диаметра проволоки происходит увеличение отношения её поверхности к объёму, что усиливает влияние процессов, протекающих на поверхности проволоки при волочении и в конечном итоге сказывается на её свойствах [1]. Изучению процессов, протекающих на границе раздела «заготовка – волочильный инструмент» при деформации металла методом волочения уделено значительно меньше внимания по

сравнению с другими аспектами волочильного производства по причине сложности теоретического и практического анализа поверхностных явлений.

Фундаментальные исследования структуры и свойств поверхностных слоёв деформируемого металла при трении применительно к процессам изнашивания выполнены в «Институте физики прочности и материаловедения СО РАН» А.В. Колубаевым, С.Ю. Тарасовым, В.Е. Рубцовым и др. В работах [2-4] показано, что при трении в условиях сдвиговой неустойчивости в поверхностных слоях возникает сильная локализация деформации. При этом механизм деформации данного поверхностного слоя подобен течению вязкой неньютоновской жидкости или гранулированной среды [2-4].

Говоря об анализе поверхностных явлений при волочении проволоки, можно отметить работу [5], в которой рассматривается влияние основных технологических параметров процесса волочения на изменение формы дефектов поверхности, а также работу [6], где показан поверхностный слой деформированных зёрен, образованный за счёт действия сил трения. Слой, как отмечается, образуется под действием дополнительных деформаций сдвига. Глубина слоя дополнительных сдвиговых деформаций составляет приблизительно 40 мкм и не зависит от диаметра протягиваемой проволоки. Слой наблюдали экспериментально с помощью сканирующей электронной микроскопии. В работе [7] также с помощью сканирующей электронной микроскопии было отмечено изменение микроструктуры поверхностного слоя высокоуглеродистой проволоки при волочении в монолитных волокнах при различных условиях процесса. Глубина слоя во всех случаях составляла приблизительно 20-40 мкм. Каких либо зависимостей глубины слоя от диаметра протягиваемой проволоки и условий процесса волочения выявлено не было.

Таким образом, установлено, что при волочении за счёт сил трения на поверхности проволоки возникает слой дополнительных сдвиговых деформаций глубиной приблизительно 20-40 мкм. Качественный анализ слоя показывает, что причиной его образования является действие сил трения на поверхности «заготовка – волочильный инструмент», при этом физика данного процесса недостаточно изучена. Данных о количественных зависимостях глубины слоя от различных факторов процесса волочения в литературе на сегодняшний день нами не обнаружено.

Целью настоящей работы является разработка методики определения глубины слоя дополнительной сдвиговой деформации при волочении тонкой проволоки, как одного из граничных условий для возможности проведения дальнейшего анализа.

Поскольку глубина проникновения дополнительных сдвиговых деформаций от поверхности раздела «инструмент - деформируемый металл» определяется действием трения, в настоящей работе предлагается рассмотреть влияние фактической шероховатости поверхности протягиваемой проволоки на характер течения металла вблизи поверхности контакта. Описанная задача решена с помощью программного комплекса DEFORM-2D следующим образом – в качестве заготовки для процесса волочения взята проволока с фактической шероховатостью (микро-геометрией) поверхности на выбранном участке длиной L , зафиксированном с помощью оптической металлографии на микрошлифе (рис.1). Параметры процесса волочения в конкретном случае были выбраны следующие: относительное обжатие 22 %, угол волочильного инструмента 12° , шероховатость поверхности волочильного инструмента не учитывалась, коэффициент трения принят 0,08, материал проволоки – низкоуглеродистая сталь.

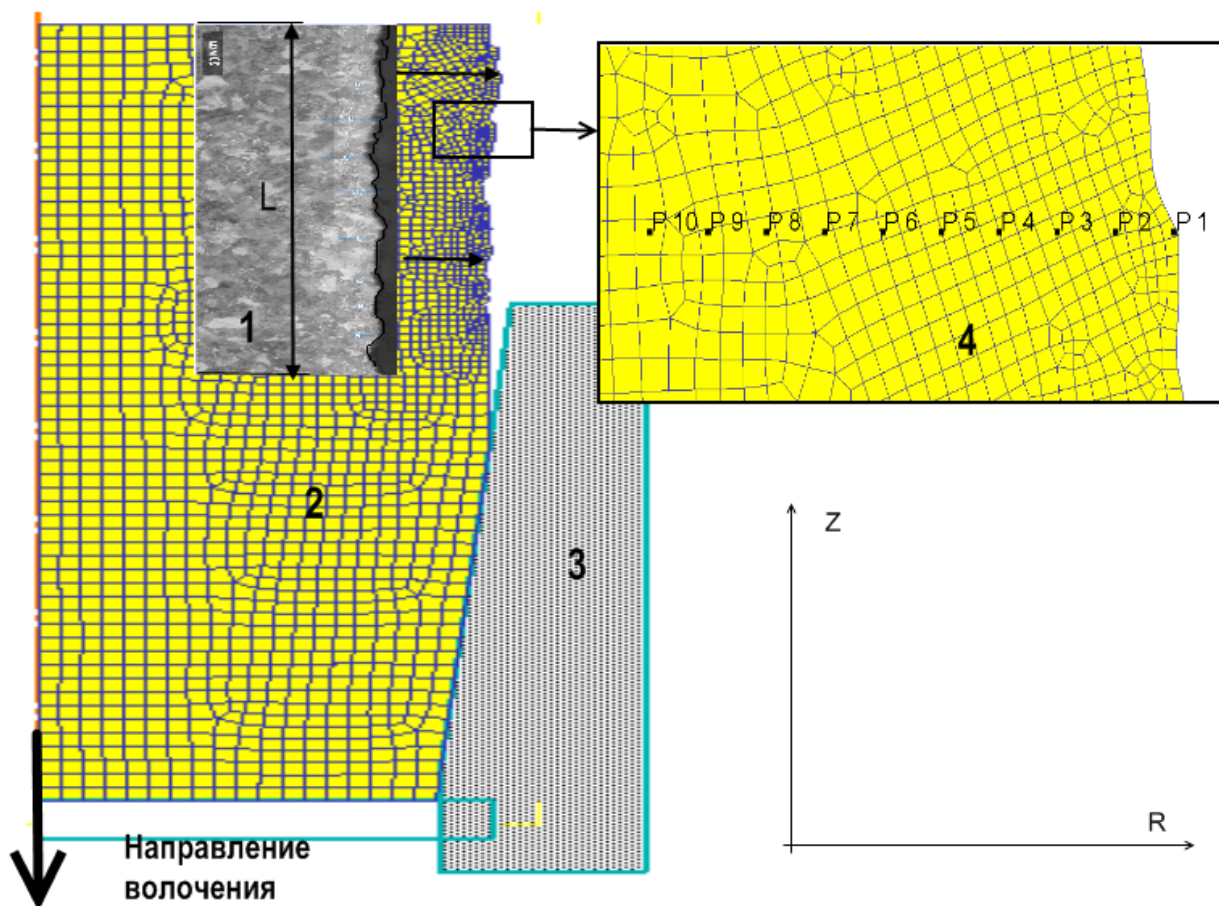


Рис.1 Исходная геометрия заготовки с фактической шероховатостью поверхности и инструмент для моделирования процесса волочения в программном комплексе DEFORM-2D: 1 – фотография фактической поверхности проволоки на участке L ; 2- инсталлированная в DEFORM -2D для моделирования заготовка с фактической

шероховатостью поверхности; 3- волочильный инструмент; 4- выбранный увеличенный участок поверхности с точками P1-P10.

В качестве анализируемого показателя, характеризующего течение металла в приповерхностном слое, был выбран показатель сдвиговой составляющей компоненты деформации в направлении Z . В координатах программного комплекса DEFORM - 2D [7] применительно к процессу волочения сдвиговая компонента деформации выражается, как

$$\varepsilon_{RZ} = dR / dZ,$$

где R и Z соответственно радиальное и продольное направление осей координат.

Для моделирования сдвиговой составляющей деформации в непосредственной близости от контактной поверхности на пиках микронеровностей были выбраны десять точек (P1 – P10) в относительных координатах программного комплекса DEFORM-2D, которые были нанесены на заготовку до деформации в отрицательном направлении оси R с одинаковым шагом на от поверхности к центру деформируемого образца (рис.1).

На рис.2 показано визуальное распределение сдвиговой составляющей деформации по конечно - элементной сетке в указанных точках после процесса волочения.

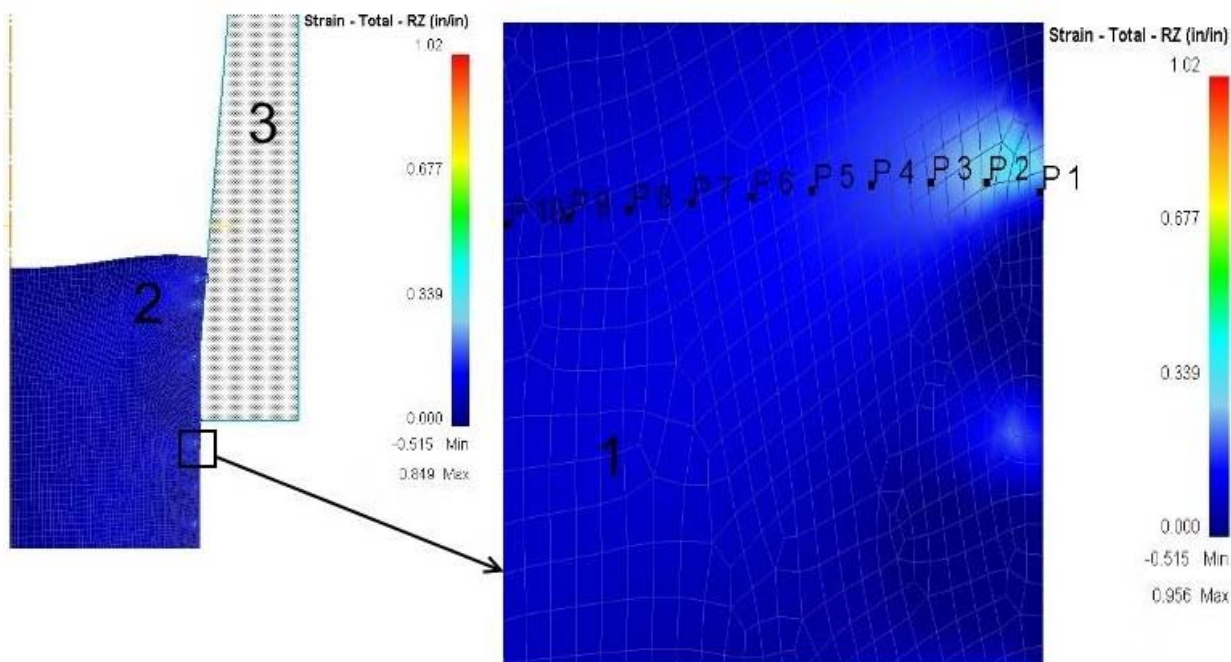


Рис.2 Распределение ε_{RZ} на выделенном участке поверхности заготовки после волочения: 1- увеличенный участок поверхности заготовки; 2- заготовка; 3- волочильный инструмент.

Далее были получены графические зависимости распределения сдвиговой составляющей компоненты деформации ε_{RZ} по десяти указанным точкам в зависимости от шага процесса, проще говоря, изменение ε_{RZ} во времени от начала процесса волочения и до его окончания (рис.3).

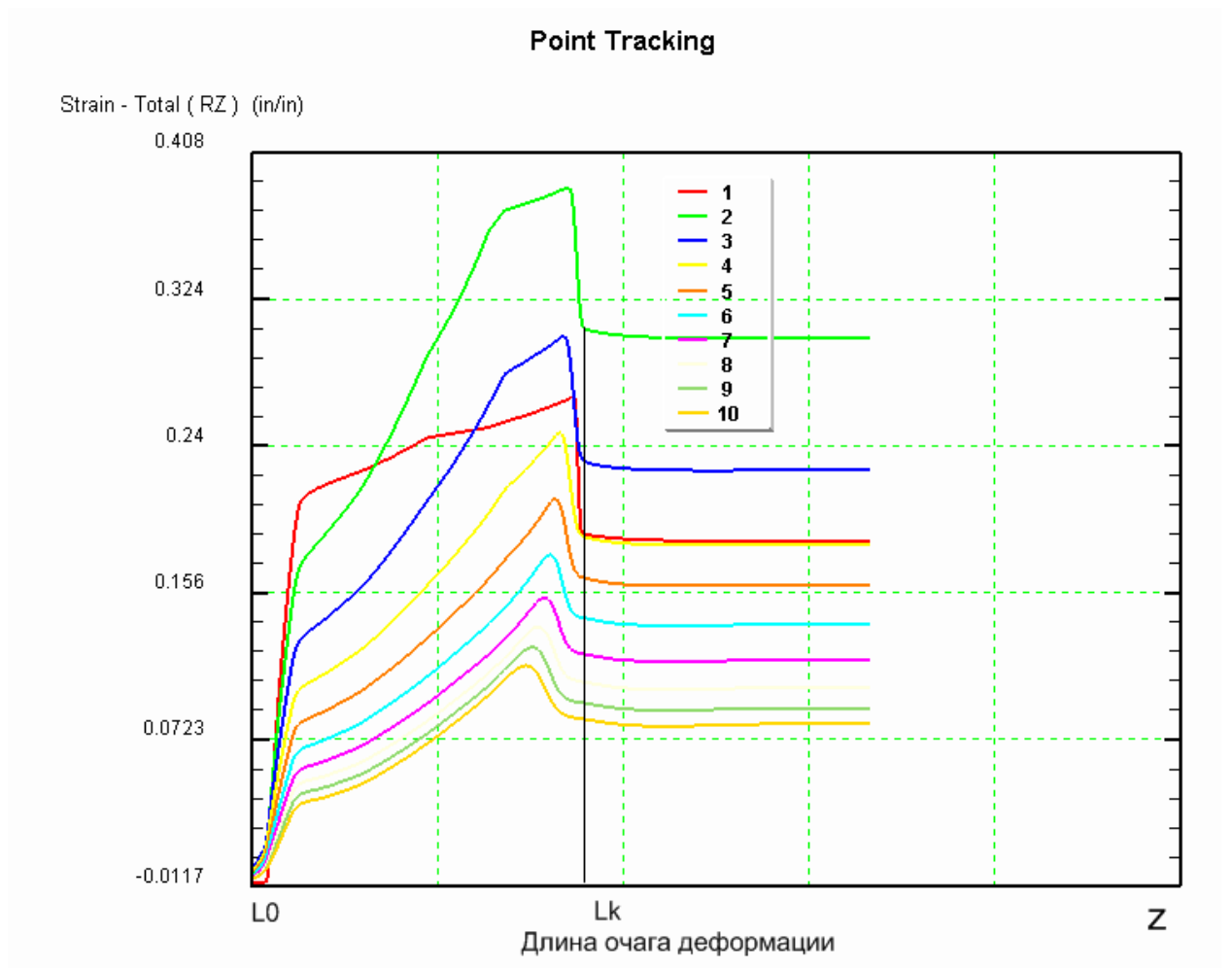


Рис.3 Изменение сдвиговой составляющей компоненты деформации ε_{RZ} по продольной оси Z для каждой из десяти точек (P1-P10) на длине от L0 – начало очага деформации, до Lk – конец очага деформации с учётом фактической шероховатости поверхности заготовки.

Как видно из приведённых данных, пиковое значение сдвиговой составляющей деформации в точке P2 имеет наибольшее значение, убывая к центру сечения очага до точки P10. Такое распределение сдвиговой деформации обусловлено, вероятно, смятием микронеровностей профиля под действием силового поля в очаге. Следует отметить, что на точке P1, находящейся непосредственно на поверхности, значение деформации сдвига ниже, чем в точках P2 и P3, что связано с её геометрическим положением. После

деформации из рис.2 видно, что точка P1 находится ниже точек P2и P3 по оси Z и в несколько меньшей степени попадает в очаг, чем точки P2 и P3.

Для сравнения на рис. 4 приведено распределение сдвиговой компоненты деформации (обозначим её как ε_{RZ}^*) по длине очага для точек (P1-P10), имеющих такие же координаты, при аналогичных условиях процесса, но без учёта шероховатости (микрогеометрии) профиля деформируемой заготовки.

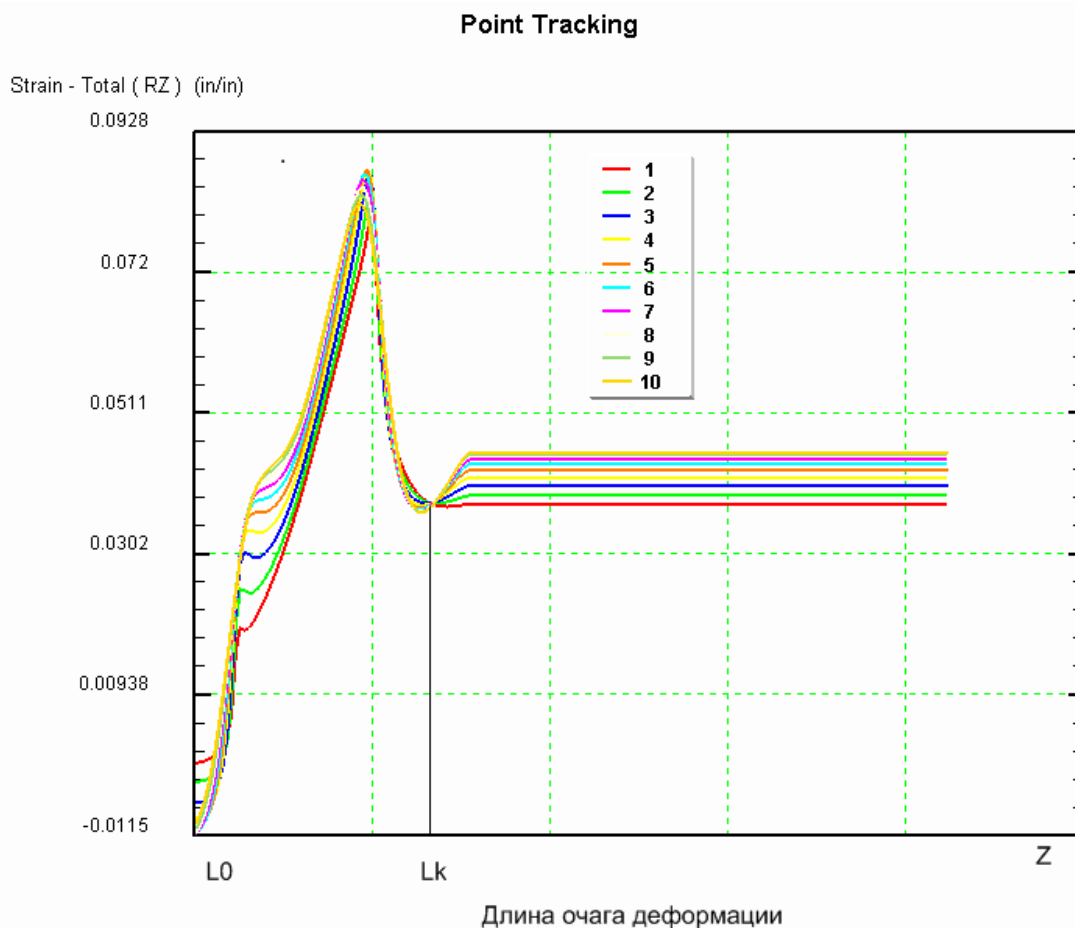


Рис.4 Изменение сдвиговой составляющей компоненты деформации ε_{RZ}^* по оси Z для каждой из десяти точек P1-P10 на длине от L0 – начало очага деформации, до Lk – конец очага деформации без учёта фактической шероховатости поверхности заготовки.

По максимальным значениям ε_{RZ} и ε_{RZ}^* каждой из точек P1-P10 были построены графики зависимости распределения максимальной деформации сдвига от поверхности очага деформации к центру с учётом фактической шероховатости и без учёта шероховатости, рис.5.

Проще говоря, после волочения «шероховатой» заготовки для точки P1 было выбрано максимальное значение ε_{RZ} т по оси Z, затем максимальное значение ε_{RZ} было выбрано для точки P2 и т.д., двигаясь по оси R от поверхности к центру. Аналогичным способом были определены максимальные значения ε_{RZ}^* для заготовки без учёта шероховатости.

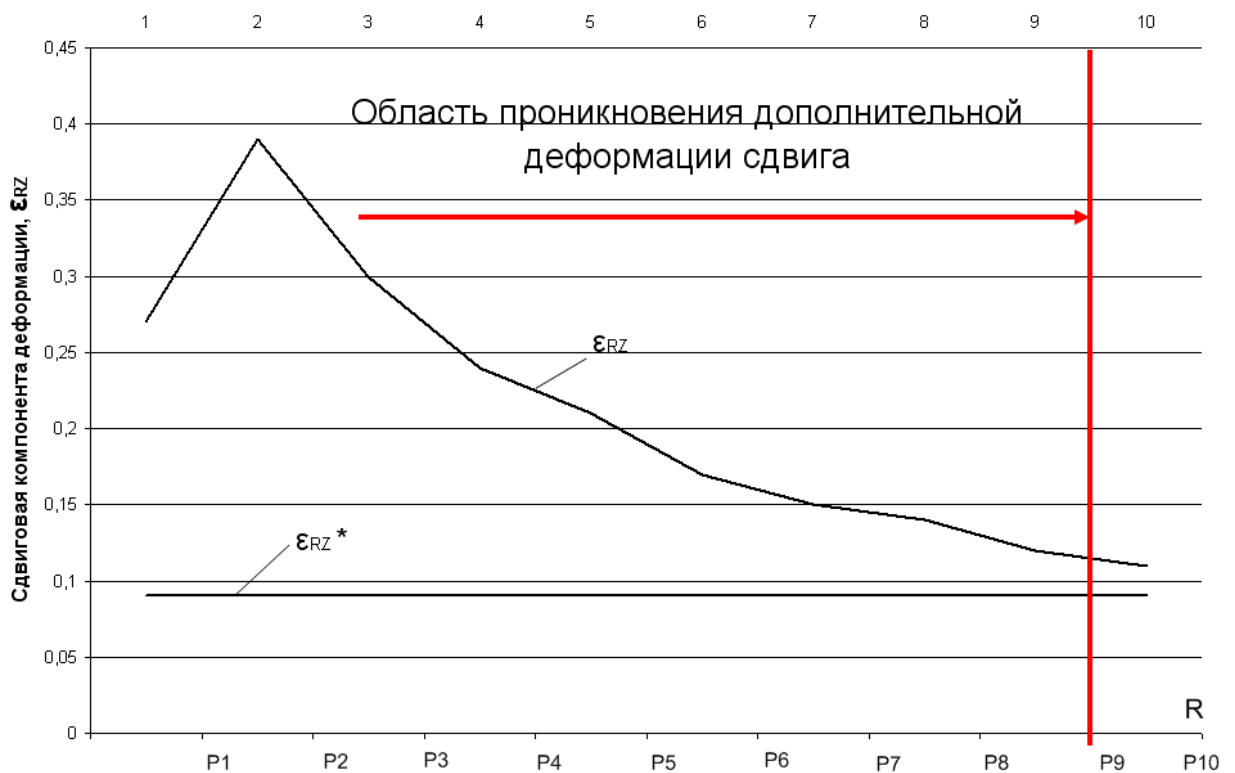


Рис. 5 Распределение сдвиговой составляющей компоненты деформации ϵ_{RZ} от поверхности проволоки к центру по точкам P1 – P10 с учётом фактической шероховатости и без учёта шероховатости поверхности деформируемой заготовки.

Как видно из рис. 5 сдвиговая деформация поверхностных слоёв ϵ_{RZ}^* без учёта шероховатости практически не изменяется от поверхности к центру. Величина же деформации сдвига ϵ_{RZ} с учётом фактической шероховатости поверхности значительно превышает аналогичный показатель, рассчитанный при отсутствии шероховатости. Разницу между значениями ϵ_{RZ} и ϵ_{RZ}^* можно считать дополнительной деформацией сдвига, которая возникает в поверхностном слое при волочении. В области указанных точек P9-P10, когда значения ϵ_{RZ} и ϵ_{RZ}^* становятся приблизительно одинаковыми по величине, можно говорить о затухании дополнительной сдвиговой составляющей деформации от поверхности к центру или, что в принципе подразумевает одно и то же, о толщине слоя дополнительной сдвиговой деформации.

Аналогичным способом была проведена оценка распределения компоненты сдвиговой деформации по всей длине контактной поверхности на участке L с учётом микрогеометрии профиля поверхности и получены данные по средней глубине слоя проникновения дополнительной сдвиговой деформации в относительных координатах программного комплекса DEFORM-2D, который составил приблизительно (4-5) R_z - высоты микронеровности профиля деформируемой заготовки.

Таким образом, установлено, что при волочении проволоки в реальных условиях с фактической шероховатостью поверхности заготовки глубина слоя дополнительной сдвиговой деформации составляет около (4-5) R_z . В конкретных случаях глубина зоны проникновения дополнительной деформации сдвига может составлять 20-40 мкм, что коррелирует с результатами работы [6] данными металлографических исследований [7].

При волочении тонкой проволоки группы диаметров 0,10-0,40 мм наличие слоя дополнительных сдвиговых деформаций может существенно сказаться в целом на параметрах процесса волочения и свойствах готовой проволоки. С уменьшением диаметра протягиваемой проволоки (увеличением площади поверхности единицы объёма) доля металла в очаге деформации, находящаяся под действием дополнительных сдвиговых деформаций значительно увеличивается. По этой причине анализ структуры очага деформации при волочении тонкой проволоки необходимо проводить с учётом слоя дополнительных сдвиговых деформаций и учитывать его влияние на параметры процесса волочения и свойства готовой проволоки.

1. Кулеша В.А. Разработка научных основ формирования свойств высококачественных метизов и создание эффективных технологий их производства : дис. в виде научного доклада на соискание учёной степени д-ра техн. наук / В.А. Кулеша. - М., 2000.- 69 с.

2. Тарасов С.Ю. Развитие деформации на различных масштабных уровнях в поверхностных слоях при трении / С.Ю. Тарасов, А.В. Колубаев // Деформация и разрушение материалов. - 2008. - №1. - С. 21-27.

3. Колубаев А.В. Эволюция поверхностного слоя металлов в условиях трения скольжения / А.В. Колубаев С.Ю. Тарасов [и др] // Трение и износ. - 2007. - т.28.- № 6.- С.582-590.

4. Тарасов С.Ю. Сдвиговая неустойчивость и наноструктурирование в поверхностных слоях меди при трении по инструментальной стали / С.Ю. Тарасов, А.В. Колубаев // Трение и смазка в машинах и механизмах. - 2009. - № 1.- С.19-23.

5. Кургузов С.А. Исследование поведения дефектов поверхности при волочении с целью улучшения качества проволоки: автореф. дис. на соискание учёной степени канд. техн. наук / С.А. Кургузов. – Магнитогорск, 1991. - с.

6. Kazuki Hosoda. Maeda Effect of die semi-angle and multi-pass drawing on additional shear layer / Kazuki Hosoda, Motoo Asakawa, Satoshi Kajino // Wire Journal. - 2008. - November. - p. 68-73.

7. Столяров А. Ю. Изменение микроструктуры и свойств поверхностного слоя проволоки при волочении в монолитных волокнах / А. Ю. Столяров, В. А. Харитонов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. - Магнитогорск, 2010. - С. 60 – 63. - Материалы 68-й межрег. науч.-техн. конф. —ГОУ ВПО "МГТУ", Т. 1.

8. DEFORM-2D, Version 10.0(beta3), User's Manual, 1st May 2009, p 252.