

*А. Ю. Постыляков, Ю. Н. Логинов*  
УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург  
*a.i.postyliakov@urfu.ru, j.n.loginov@urfu.ru*

## **МКЭ-МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ГОРЯЧЕЙ СОРТОВОЙ ПРОКАТКЕ МЕДИ**

В работе исследован первый проход прокатки процесса CONTIROD, осуществляемый при наличии на валке локальной выпуклости. Для анализа процесса дефектообразования применен метод конечных элементов. Установлен механизм формирования протяженных впадин (рисок) на контактной поверхности прокатываемой полосы. Сделан вывод о неоднородном характере деформирования поверхностного слоя.

*Ключевые слова:* электротехническая медь, сортовая прокатка, метод конечных элементов, деформации, дефектообразование, риски

The first rolling pass of CONTIROD process, implemented in the presence of local convexity on the roll is studied. To analyze the process of defect formation finite elements method is applied. The formation mechanism of elongated dints (scratches) on the contact surface of the rolled bar is ascertained. It is concluded that deformation of the surface layer has inhomogeneous nature.

*Keywords:* ETP copper, shape rolling, finite elements method, deformation, defect formation, scratches

Процесс производства медной катанки с применением технологии CONTIROD предусматривает получение непрерывно-литой заготовки из меди марки M001 на двухленточной литейной установке HAZELETT, ее горячую сортовую прокатку за 14 проходов на непрерывном стане MANNESMAN DEMAG SACK, осветление, нанесение протекционного покрытия и смотку готовой катанки в бухты.

В соответствии с [1], большая часть всей совокупности материалов, обрабатываемых давлением (за исключением разве что железоуглеродистых сплавов), обладает способностью налипать на поверхность деформирующего инструмента. При этом существенно увеличивается коэффициент трения, и, соответственно, изменяются граничные условия процесса. Интенсивное налипание металла в процессе прокатки также приводит к появлению многочисленных локальных выпуклостей на валках, образующихся вследствие молекулярного схватывания контактирующих поверхностей и последующего вырывания более пластичного материала [2]. Ранее в работе [3] был описан механизм формирования на полосе дефектов типа протяженных впадин (рисок) вследствие присутствия налипаний металла на по

верхности рабочего инструмента. Подобные налипания представляют собой упомянутые ранее малые локальные выпуклости, которые внедряясь в контактные слои прокатываемой полосы и процарапывая их, образуют риски специфической формы. При наличии поверхностного точечного износа валков в виде небольших углублений возможно также образование дефектов типа протяженных выступов. Поскольку ни применение различных технологических СОЖ, ни периодическая зачистка валков от налипшего металла не позволяет полностью устранить явление налипания, можно предположить, что отдельные выпуклости всегда присутствуют на поверхности валков, приводя к появлению рисков. Следовательно, изучение механизма их образования и последующего формоизменения, в частности методами конечно-элементного моделирования, является важной научной задачей прокатного производства.

Объектом исследования настоящей работы является первый проход прокатки процесса CONTIROD [4, 5], осуществляемый при наличии на прокатном валке локальной выпуклости, воспроизводящей точечное налипание металла на его поверхность.

Постановка задачи осуществлялась в программном комплексе DEOFRM. Краткая методика и особенности моделирования подобных задач отражены в работах [6, 7]. Геометрические размеры модели заготовки, являющейся прямоугольным параллелепипедом, составляют  $150 \times 60 \times 35$  мм. На дно ящичного калибра на расстоянии 27,5 мм от его вертикальной линии симметрии нанесена выпуклость в форме полусферы имеющая диаметр  $\varnothing 8$  мм. Стоит отметить, что хотя размер налипаний металла на валки значительно меньше заданного, а форма отличается от сферической, моделирование с использованием реальных параметров требует значительного ступенчатого сгущения сетки на участке протяженной длины, на котором произойдет внедрение дефекта и последующее рассечение им поверхностных слоев полосы. Это, в свою очередь, существенно увеличит машинное время моделирования. Средний размер конечных элементов, имеющих форму тетраэдров, при генерации сетки в основном объеме заготовки составляет 3 мм при коэффициенте отношения сторон равным 1. В районе внедрения выпуклости валка в полость заготовки было создано два окна плотности с размером конечных элементов равным 1,5 и 0,6 мм, что впоследствии обеспечило хорошее качество описания формоизменения поверхностных слоев.

Механизм образования риски на прокатываемой полосе при внедрении в нее выпуклости валка приведен на рис. 1. Отметим, что в связи с симметрией постановки задачи и из соображений наглядности, на рисунке показана четверть заготовки.

Видно, что касание выпуклостью полосы впервые происходит вне контактной поверхности, что в данном случае связано с большим диаметром и соответственно высотой выпуклости. Полное ее внедрение с форми-

рованием сферического отпечатка, таким образом также осуществляется на некотором расстоянии от плоскости входа. Дальнейшее формоизменение отпечатка определяется кинематикой очага деформации, а именно наличием зон отставания и опережения. В зоне отставания вектор линейной скорости валка и выпуклости на его поверхности оказывается больше вектора линейной скорости полосы, следовательно, за одинаковое время перемещение дефекта относительно поверхностных слоев также окажется большим. Таким образом, разница в величине скорости и перемещения обуславливает процарапывание поверхности выпуклостью и образование риска. После достижения дефектом нейтрального сечения, в котором разница скоростей становится обратной, поверхностные слои металла ускоряются и процарапывание (особенно при большой величине зоны опережения) может происходить в противоположном прокатке направлении.

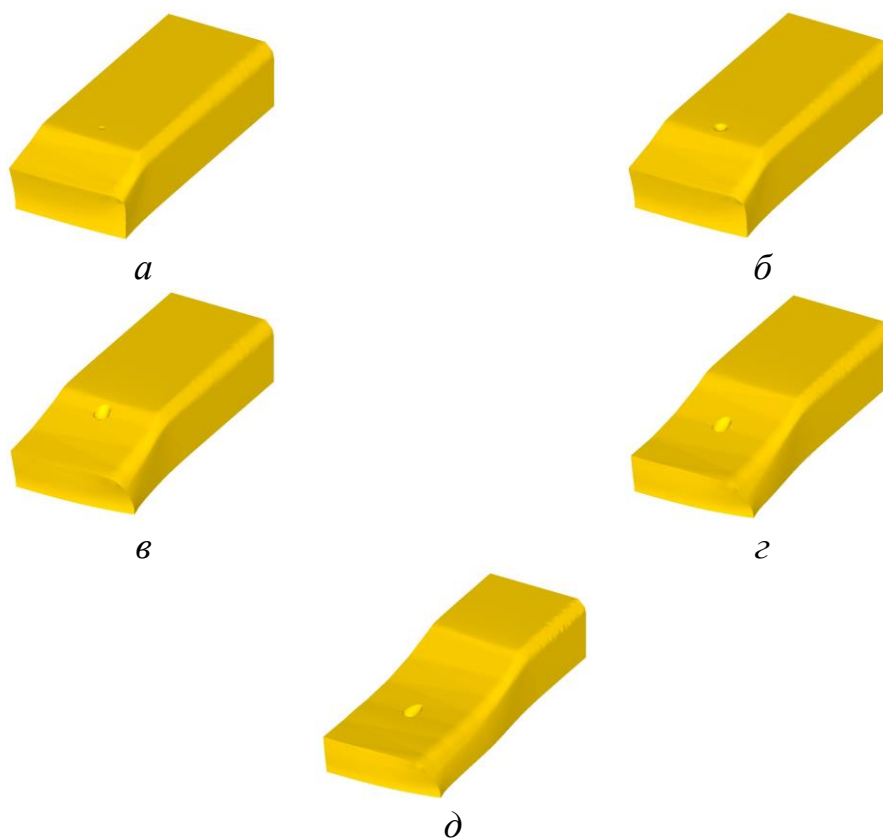


Рис. 1. Механизм образования риска на прокатываемой полосе при внедрении в нее выпуклости в последовательности *a – д*

Отпечаток дефекта и образованная им риска с нанесенным полем распределения степени деформации в плане показаны на рис. 2. Как показано на рисунке, риска имеет некоторый наклон к оси прокатки, возникающий вследствие уширения полосы. Длина риски (без учета диаметра отпечатка) составляет около 7 мм. Стоит отметить, что моделирование с меньшим диаметром выпуклости не должно сказываться на длине риски, а

ее форма должна все больше приближаться к форме «булавки», описанной в статье [3].

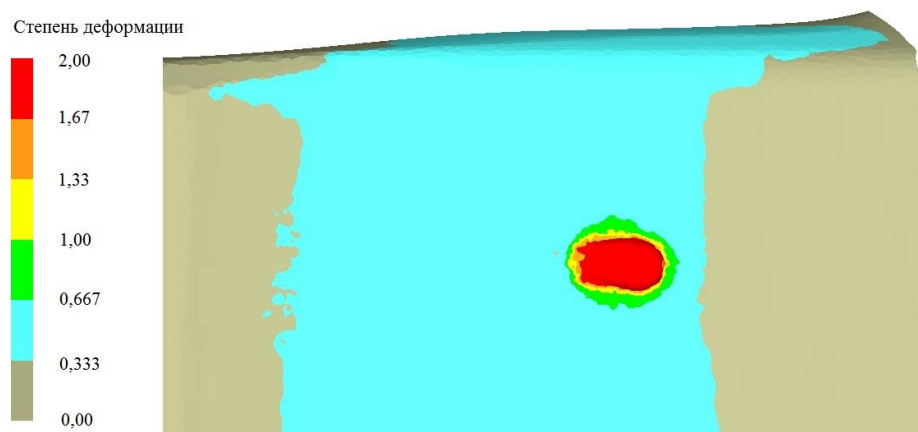


Рис. 2. Отпечаток дефекта и образованная им риска с нанесенным полем распределения степени деформации в плане

Приведенный рисунок также иллюстрирует наличие существенной локальной деформации в области внедрения выпуклости в полость заготовки. Таким образом, если предположить, что поверхность вала в каждый момент прокатки покрыта множеством налипаний металла, то можно сделать вывод о неоднородном характере деформирования поверхностного слоя полосы. Этот факт отмечался в ранее выполненных работах [8, 9].

### Список литературы

1. *Логинов Ю. Н.* Налипание металла на валки при листовой прокатке / Ю. Н. Логинов // Производство проката. 2006. № 10. С. 9–12.
2. Грудев А. П., Зильберг Ю. В., Тилик В. Т. Трение и смазки при обработке давлением. М.: Металлургия, 1982. 312 с.
3. *Логинов Ю. Н.* Механизм образования дефектов на полосе при прокатке от налипаний на валке / Ю. Н. Логинов, Ю. В. Инатович // Производство проката. 2008. № 8. С. 5–8.
4. *Логинов Ю. Н.* Формоизменение и сопротивление деформации анизотропной непрерывно-литой меди / Ю. Н. Логинов, А. Ю. Зуев // Заготовительные производства в машиностроении. 2011. № 1. С. 32–37.
5. *Логинов Ю. Н.* Анализ сортовой прокатки кислородосодержащей меди с учетом немонотонности характеристик упрочнения / Ю. Н. Логинов, А. Ю. Зуев, Ю. В. Инатович // Цветные металлы. 2012. № 7. С. 77–81.
6. *Постыляков А. Ю.* Расчет деформированного состояния медной полосы при горячей сортовой прокатке / Ю. Н. Логинов, А. Ю. Постыляков // Науч. труды X Международ. науч.-техн. конф. «Пластическая деформация металлов». Днепропетровск: Акцент ПП, 2014. С. 91–94.

7. *Постыляков А. Ю.* Исследование влияния размера выпуска калибра на деформированное состояние полосы методом МКЭ-моделирования / А. Ю. Постыляков, Ю. Н. Логинов // *Материалы XV Международ. науч. конф. «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering».* Ченстохова: Политехника Ченстоховска, 2014. С. 276–279.
8. *Логинов Ю. Н.* Модель деформации поверхностного слоя заготовки, пораженного дефектами. Кузнечно-штамповочное производство / Ю. Н. Логинов // *Обработка материалов давлением.* 2001. № 4. С. 36–40.
9. *Логинов Ю. Н.* Концепция описания деформации заготовки, имеющей неровную поверхность / Ю. Н. Логинов // *Известия вузов. Черная металлургия.* 2004. № 5. С. 29–34.