

УДК 621. 771 : 669.14.018.27

В.В. Галкин

ОЦЕНКА ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В ЗАГОТОВКЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ, РАСКАТЫВАЕМОЙ ВАЛКОМ НА КЛИН ПО ПЛИТЕ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Дана оценка деформированного состояния материала в заготовке прямоугольного сечения, раскатываемой валком на клин по плите. Определено положение зоны интенсивной деформации по толщине в зависимости от величины обжатия. Исследование проводилось на основе определения механических и эксплуатационных характеристик листовых заготовок стали 50ХГФА, которые из прокатанного рессорного листа в его характерных зонах по толщине вырезались послойно методом проволоочной электро-эрозионной обработки.

Ключевые слова: неравномерность деформированного состояния, очаг деформации, направление главных тангенциальных напряжений.

Одной из основных задач в расчетах процессов пластической деформации является определение строения геометрического очага деформации. Это позволяет объективно оценить развивающиеся в металле процессы деформирования и реально прогнозировать структурообразование металла. Современное представление об очаге деформации указывает на значительную сложность строения этого объема. Оно включает активно движущие и пассивные поверхности, свободные поверхности, основные направления истечения металла и границы устойчивой локализации деформации. Зона сильно деформированного металла (ядро деформации) является определяющей в формировании всех остальных зон, зависит от величины и формы контактной поверхности инструмента с заготовкой. Она может иметь форму конуса, пирамиды, однако всегда, согласно модели С.И. Губкина, располагается вдоль направления главных тангенциальных напряжений, по которым, в первую очередь, происходит деформация.

Строение очага деформации при осадке и продольной прокатке подробно изучены в работах Я.М. Охрименко и А.И. Целикова. Процесс прокатки на клин заготовки прямоугольного сечения на плите является периодическим, однако, в отличие от продольной прокатки, имеет постоянно изменяющийся очаг деформации, в силу того, что закон формоизменения задается активно движущимся инструментом – валком, который, кроме поступательного движения, имеет перпендикулярное прокатываемой поверхности заготовок движение. В силу того, что исследованию очага деформации прокатки полосы на клин на плите посвящено не очень много работ, очевидна актуальность проблемы его исследования.

Изделия с клинообразной рабочей поверхностью широко применяются. Они являются либо оружием (меч, секира, дротик), либо орудиями труда (нож, топор). Первые исследования строения очага деформации при прокатке в технологическом процессе проводились на основании данных о неравномерности течения металла в его объеме. Для этого с начала XX в., применялись методы, основанных на замере деформации прокатанных винтов, помещенных в исходную заготовку, и изгиба вертикальных линий, нанесенных на боковую поверхность прокатываемой полосы (метод линий Холленберга). Основным их недостатком является неточность, а также тот факт, что они не позволяют определить геометрию и строение очага деформации, а следовательно, оценить динамику процесса. Несмотря на изложенное, для прокатки заготовки рессорного листа из стали 50ХГФА (рис. 1), автором статьи совместно с инженерными работниками ОАО «ГАЗ» были использованы изложенные методики [1].

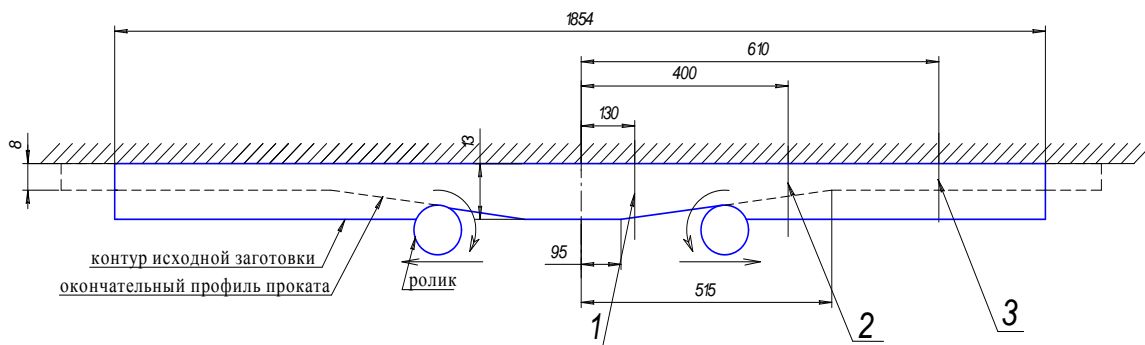


Рис. 1. Схема двухсторонней раскатки валками на клин заготовки прямоугольного сечения на плите с указанием исследуемых зон со степенями обжатия ε :
 1 – 4%; 2 – 23%; 3 – 40%

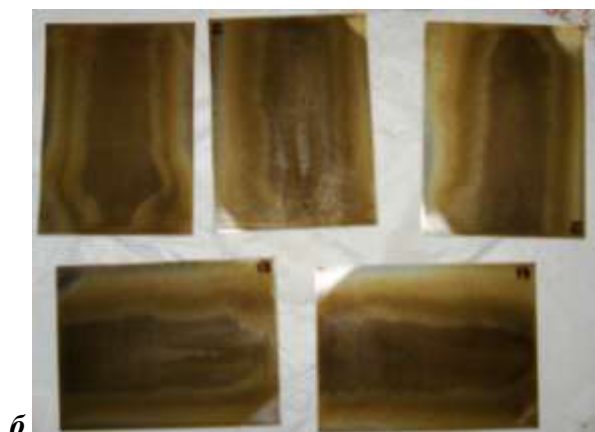
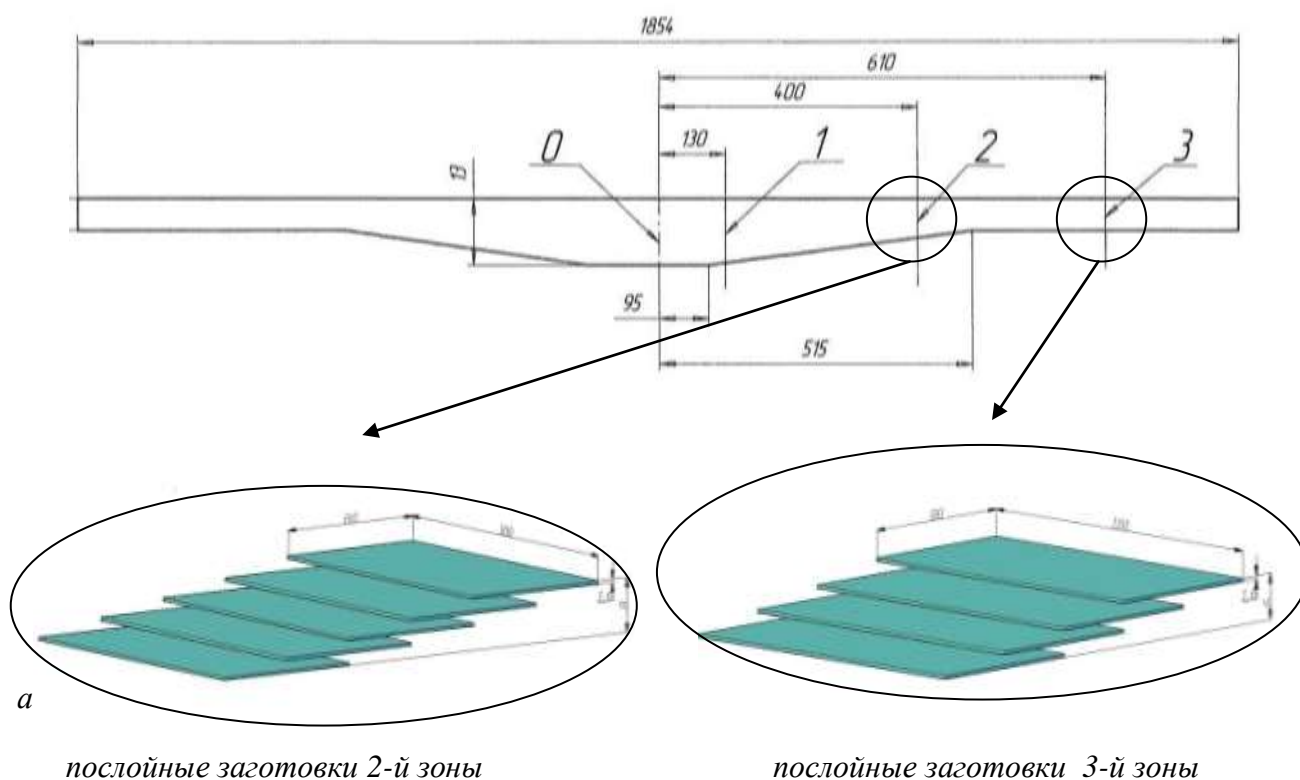


Рис. 2. Расположение зон прокатанной полосы рессорного листа (а) для изготовления образцов из последовательных заготовок (б) со степенями обжатия ε :
 2 – 23%; 3 – 40%

Их результаты показали неравномерное течение слоев прокатываемой заготовки по толщине в зависимости от степени обжатия с определенной закономерностью: с начала прокатки и до степени деформации $\epsilon \approx 20\%$ наибольшую интенсивность деформации имеют слои, контактируемые с инструментом – валком, далее она смещается на слои, контактируемые с неподвижной опорой прокатного стана. При дальнейшем увеличении степени деформации до $\epsilon \approx 40\%$, вновь с незначительным отличием более интенсивно деформируются прокатываемые слои заготовки.

В последнее время с развитием вычислительной техники, метод конечных элементов (МКЭ) на основании создания современных программных продуктов, приобрел значительное применение. Его результаты, как правило, являются обязательными данными (расчетами) при разработке технологии с применением пластической деформации. Поэтому рассматриваемый технологический процесс был проанализирован с применением программного комплекса DEFORM [2].

Основным недостатком первых двух указанных методов является их неточность и как следствие невозможность определения положения зоны наибольшей деформации по толщине прокатываемой заготовки в зависимости от степени обжатия. Математическое моделирование основано на методе конечных элементов (МКЭ), что в свою очередь требует подтверждения результатами структурно-механических исследований.

С целью устранения этих недостатков исследование данной работы проводилось по направлению определения механических характеристик прокатываемого материала по толщине в зависимости от степени обжатия. Для этого в прокатанном рессорном листе вырезались заготовки длиной 100 мм, положение середины которых показаны на рис. 6. Далее заготовки разрезались методом проволоочной электроэрозионной обработки на пластины толщиной 1,5 мм, из которых изготавливались два срединных и два крайних образца для одноосного растяжения и циклических испытаний на усталость.

Результаты механических испытаний в виде кривых упрочнения приведены на рис. 3 и 4. В частности, предел текучести $\sigma_{0,2}$ имеет следующие значения:

- при степени обжатия $\epsilon \approx 23\%$ по краю полосы значения находились в интервале 581...676 МПа, по середине – 536...651 МПа;
- при степени обжатия $\epsilon \approx 40\%$ по краю полосы значения находились в интервале 265...524 МПа, по середине – 486...594 МПа.

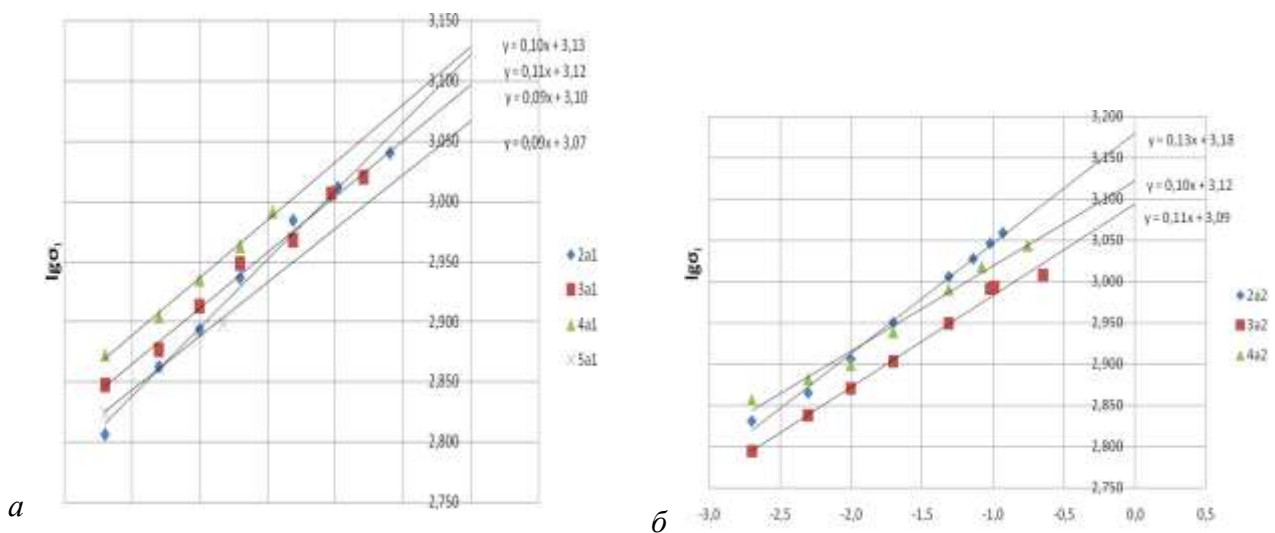


Рис. 3. Кривые деформационного упрочнения стали 50XГФА (образцы 2-й зоны), прокатанной со степенью обжатия $\epsilon \approx 23\%$:

а – образцы по краю полосы; *б* – образцы по середине полосы

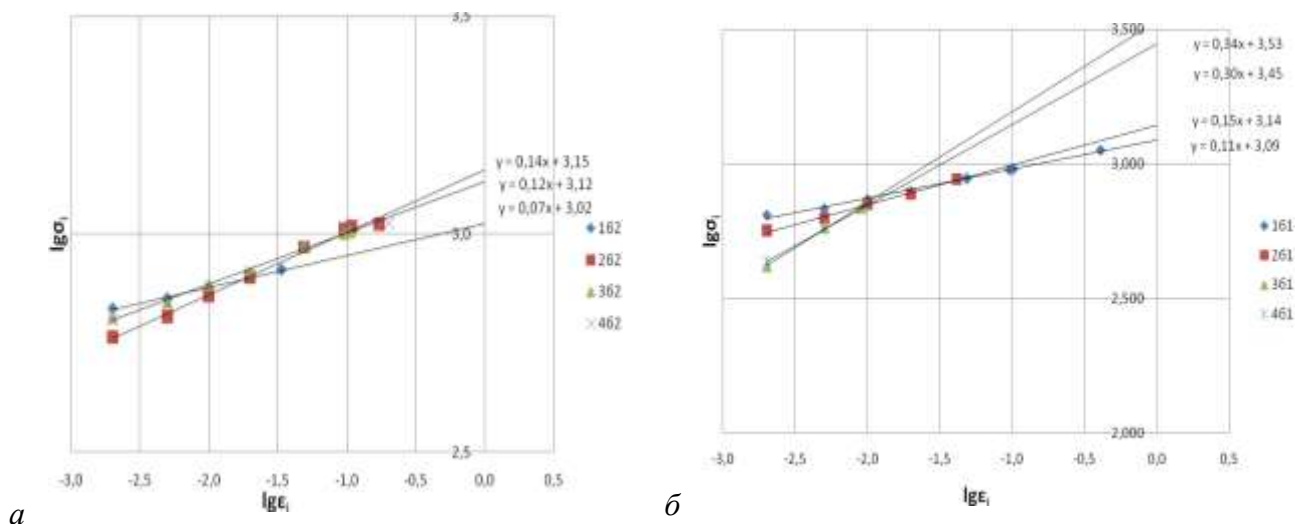


Рис. 4. Кривые деформационного упрочнения стали 50XГФА (образцы 3-й зоны), прокатанной со степенью обжатия $\varepsilon \approx 40\%$:

a – образцы по краю полосы; *б* – образцы по середине полосы

Для объяснения полученных результатов отметим тот факт, что если при холодной обработке наблюдается повышение сопротивления деформированию (упрочнение или наклеп) по мере увеличения степени деформации, то при горячей обработке процессы упрочнения и разупрочнения происходят одновременно. При этом скорость рекристаллизации зависит от степени деформации. Тем самым, чем быстрее протекает рекристаллизация, а она определяется повышением показателей пластичности и уменьшением прочностных характеристик, тем большая степень деформации предшествовала рассматриваемому моменту времени. Контроль температуры полосы в процессе прокатки осуществлялся с помощью инфракрасного пирометра «Микрон MSOP» (США). Результаты замеров показали, что падение температуры не произошло, и прокатка выполнялась при постоянной температуре.

Исходя из сказанного следует:

- при малых степенях деформации до 23% наибольшая деформация соответствует слоям металла со стороны заготовки, прокатываемой роликом;
- при степенях деформации 40% – слоям, которые прилегают к неподвижному основанию прокатного стана.

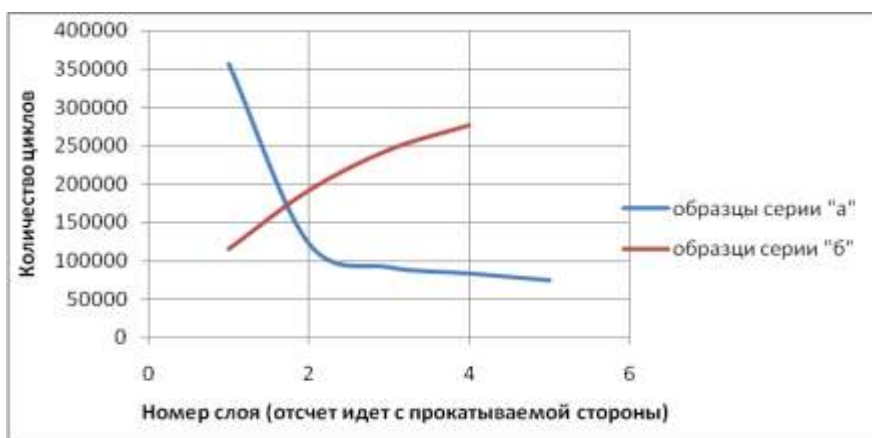


Рис. 5. Зависимость усталостной выносливости образцов, прокатанных со степенью обжатия:

1 – $\varepsilon \approx 23\%$ *2* – 40%

Результаты испытаний на усталость в целом качественно подтвердили данные деформированного состояния по механическим характеристикам. Слои металла, имеющие большую интенсивность рекристаллизационных процессов, и как следствие, лучшую залечиваемость дефектов структуры, получаемых при деформации, имели большую эксплуатационную долговечность.

Данные механических испытаний, по результатам которых было определено положение зоны наибольшей деформации по толщине прокатываемой заготовки в зависимости от степени обжатия, были проанализированы согласно модели очага деформации С.И. Губкина [3].

На рис. 6 для двух положений валка показаны направления главных сдвигающих напряжений и траекторий смещаемых объемов.

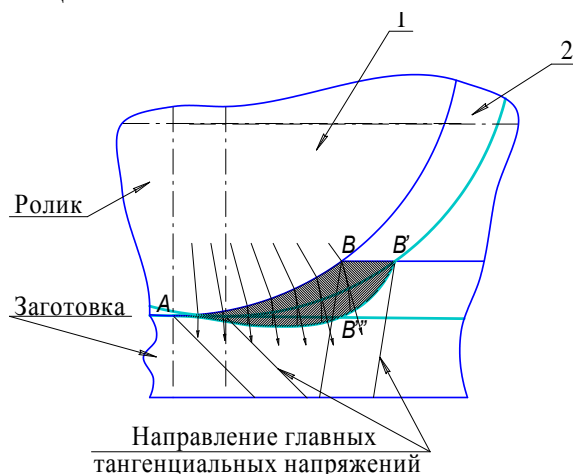


Рис. 6. Схема направления главных сдвигающих напряжений и траекторий смещаемых объемов при раскатке на клин заготовки на плите

В первом положении цилиндрическая поверхность валка контактирует с заготовкой по длине окружности $\cup AB$, во втором - $\cup A' B'$, причем $\cup AB > \cup A' B'$. Интервалу между двумя положениями роликов соответствует смещение объема материала из положения $AB B'$ в положение $A B'' B'$, форма которого определена на основе равенства смещаемых объемов и траекторий перемещения его точек. По правилу С.И. Губкина [3] деформация происходит по месту пересечения направлений смещения металла и максимальных напряжений. Поэтому для напряжений, выходящих из точки A конца периметра контакта валка с заготовкой, вся деформация происходит в ее границах, для выходящих из точки B начала периметра контакта – частично в границах прокатываемой заготовки и частично в границах смещаемого объема.

Данная ситуация характерна для любых степеней обжатия. Однако следует иметь в виду, что по мере увеличения обжатия, с изменением отношения длины контакта инструмента к текущей высоте прокатываемой полосы, происходит изменение формы и размеров зоны локализации деформации. При обжатиях до $\epsilon < 20\%$ зона локализации представляет собой область, образованную сомкнутыми вершинами двух конусов, при этом более активен конус с стороны полосы контактируемой с валком. При $\epsilon = 20\%$ двухсторонний конус меняется на односторонний, вершина которого лежит на поверхности заготовки, контактируемой с неподвижной плитой прокатного стана. При $\epsilon > 20\%$ форма конуса изменяется на тороидальную поверхность.

Выводы

1. Данные механических характеристик материала по слоям прокатанной в горячем состоянии заготовки рессорного листа из стали 50ХГФА с учетом того обстоятельства, что в условиях горячей деформации повышение степени деформации способствует развитию рекристаллизационных процессов и снижению получаемого упрочнения (наклепа), позволяют

выполнить оценку деформированного состояния по его толщине. Зона ее наибольшей интенсивности меняет свое положение в зависимости от степени обжатия: с ее увеличением до 20% она смещается от прокатываемой поверхности к поверхности, которая прилегает к неподвижному основанию прокатного стана. При дальнейшем увеличении она вновь начинает смещаться к прокатываемой поверхности.

2. Причиной неравномерности деформированного состояния по толщине прокатанной заготовки рессорного листа является изменение конфигурации очага деформации. По мере увеличения обжатия происходит изменение формы и размеров зоны локализации деформации. При $\varepsilon < 20\%$ она представляет область, образованную сомкнутыми вершинами двух конусов, при этом положение вершин находится в толщине заготовки; при $\varepsilon = 20\%$ - область, имеющую форму одностороннего конуса, вершина которого лежит на поверхности заготовки, контактируемой с плитой прокатного стана; при $\varepsilon > 20\%$ - области, имеющую форму тороидальной поверхности.

Библиографический список

1. Исследование неравномерности деформации в заготовке прямоугольного сечения, прокатанной на клин / В.В. Галкин [и др.] // Заготовительные производства в машиностроении. 2007. № 1. С. 30-34.
2. **Галкин, В.В.** Моделирование процесса прокатки заготовок рессор переменного сечения / В.В. Галкин // Изв. СамНЦ РАН. 2008. №3. С. 911-914.
3. **Пресняков, А.А.** Очаг деформации в обработке металлов давлением / А.А. Пресняков. – Алма-Ата: Наука. 1988.

*Дата поступления
в редакцию 02.02.2010*

V.V. Galkin

ESTIMATION OF THE DEFORMED CONDITION IN PREPARATION OF THE RECTANGULAR SECTION, UNROLLED SHAKY ON A WEDGE ON A PLATE

The estimation of the deformed condition of a material in preparation of the rectangular section, unrolled shaky on a wedge on a plate is given. Position of a zone of intensive deformation on a thickness depending on size reduction is defined. Research was spent on the basis of definition of mechanical and operational characteristics of sheet preparations of a steel 50HGFA which from rolled spring sheet in its characteristic zones on a thickness were cut out layer-by-layer by a method wire electroerosion processings.

Key words: non-uniformity of the deformed condition, the deformation centre, a direction of the main tangential pressure.