

УДК 621.777

Ремез О. А.
Калинкина К. С.
Сабарня М. Е.
Самсоненко А. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ПРОКАТКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАГОТОВКИ В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ

Точность готового профиля, расход валков, количество переточек зависят от точного определения уширения при прокатке различных марок стали в одних и тех же калибрах.

Исследованию уширения в вытяжных калибрах посвящено большое количество работ. Качественные характеристики влияния факторов процесса (абсолютное обжатие, форма калибра, форма очага деформации, температура валков и прокатываемой заготовки, химического состава металла валков и заготовки, внешнее трение, легирующий элемент, свойства окалины) на уширение представлены в работах Чижикова Ю. М., Тарновского И. Я. и Грудева А. П.

В работах [1–4] выведены эмпирические зависимости расчета уширения при прокатке. Авторы предлагают при расчете уширения использовать поправочные коэффициенты, учитывающие химический состав стали, лежащие в пределах 1,080–1,700. В предложенных формулах определения уширения не учитывается влияние формы очага деформации прокатанной полосы, а также большой диапазон значений поправочного коэффициента не дает точного результата расчета.

В работе [5] представлен эмпирический вывод формул для расчета уширения полосы в зоне очага деформации, в которой наблюдается максимальное развитие уширения. Однако автором не исследовано влияние химического состава сталей на развитие рассмотренных зон очага деформации (зона с максимальным значением уширения, зона отстаивания, прилипания, опережения).

Целью настоящей работы является исследование влияния формы очага деформации на изменение уширения по его длине с использованием математического моделирования.

Теоретические исследования выполнены с использованием программы компьютерного моделирования процессов пластической деформации Forge-3D®, разработанной CEMEF, Ecole des Mines de Paris. Forge-3D® основана на вариационном принципе Лагранжа, функционал которого сформулирован следующим образом:

$$I = \int_V \left(\int_0^H T dH \right) dV - \int_V F_i U_i dV - \int_S f_i U_i dS, \quad (1)$$

где T – интенсивность касательных напряжений; H – интенсивность скоростей деформации сдвига; F_i, f_i, U_i – соответственно проекции векторов объемных сил, поверхностных нагрузок и скоростей течения; S – площадь поверхности; V – объем.

Сопrotивление деформации деформируемого материала задавалось на основе зависимости Хензеля-Шпиттеля [6]:

$$\sigma_T = A \cdot e^{a_1 T} \cdot T^{a_9} \cdot \varepsilon^{a_2} \cdot e^{a_4 / \varepsilon} \cdot (1 + \varepsilon)^{a_5 T} \cdot e^{a_7 \varepsilon} \cdot \dot{\varepsilon}^{a_3} \cdot \dot{\varepsilon}^{a_8 T}, \quad (2)$$

где σ_T – сопротивление деформации; ε – степень деформации; $\dot{\varepsilon}$ – скорости деформации; T – температура; $A, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9$ – коэффициенты регрессии.

Для характеристики напряжений трения на контакте использовалась зависимость на основе закона Амонтона в следующей форме:

$$\tau = \mu \cdot \sigma_n, \quad (3)$$

$$\text{при } \mu \cdot \sigma_n < \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}}, \quad (4)$$

где μ – коэффициент трения; σ_n – напряжение по нормали к контактной поверхности в узле сетки конечных элементов; τ_n – напряжение внешнего трения [7].

Приведенное в работе [8] сравнение результатов моделирования и экспериментальных данных при прокатке металла в калибрах и на гладкой бочке показало, что программа Forge-3D® с высокой точностью определяет формоизменение металла, относительная погрешность лежит в пределах 2 %.

Моделирование выполнялось для специальных сталей ферритного класса склонных к повышенному уширению: 08X13, 15X25T и X12. Для сравнения использовалась сталь 10. Исследования выполнялись для систем калибров: ромб – квадрат; овал – квадрат; ромб – ромб. Моделирование выполнялось для калибров, приведенных на рис. 1.

Для анализа характеристики изменения ширины очага деформации в исследуемых сечениях использовалась величина $\Delta b_i / b_0$, которая характеризует абсолютное изменение ширины полосы в очаге деформации Δb_i по отношению к ее начальной ширине b_0 .

Определение изменения ширины очага деформации по сечениям:

$$\Delta b_i = b_{od_i} - b_{od_{i+1}}, \quad (5)$$

где Δb_{od_i} – разница ширин очага деформации в сечениях; b_{od_i} – ширина очага деформации в i -ом сечении.

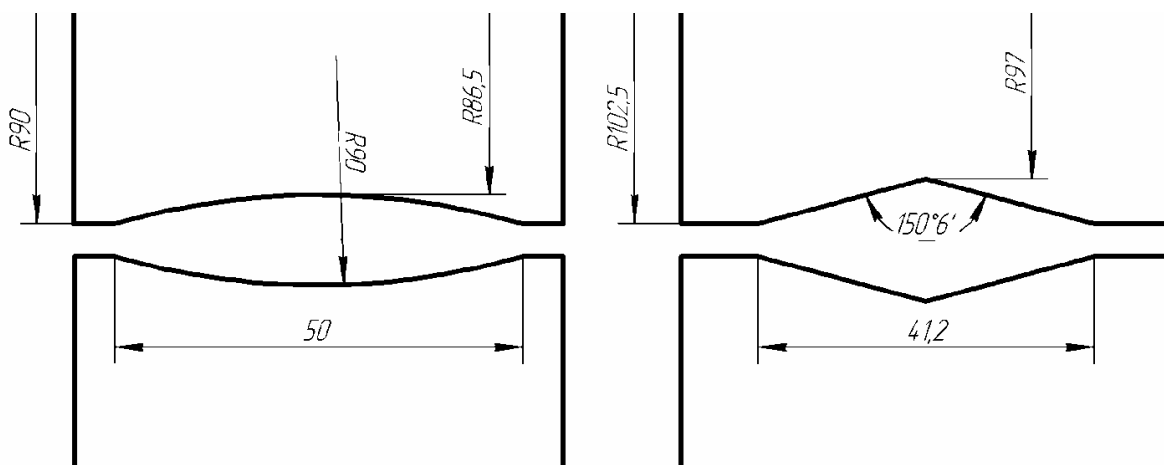


Рис. 1. Схемы исследуемых калибров

Исследование уширения в вытяжных калибрах проводилось для следующих условий:

- скорость вращения валков – 32 об/мин;
- температура начала прокатки – 1100 °С;
- заготовка для систем калибров «ромб – квадрат» и «овал – квадрат» – квадрат 20; для системы «ромб – ромб» раскат, вышедший из системы калибров «ромб - квадрат»;
- коэффициент вытяжки 1,04÷1,53.

В процессе моделирования, длина очага деформации прокатываемой полосы была условно разделена на семь сечений, которые находятся на равном расстоянии друг от друга (рис. 2). Результаты исследований изменения ширины очага деформации по сечениям ($\Delta b_i / b_0$ – ось ординат) в зависимости от относительной длины очага деформации (x / ld – ось абсцисс) показаны на рис. 3, 4.

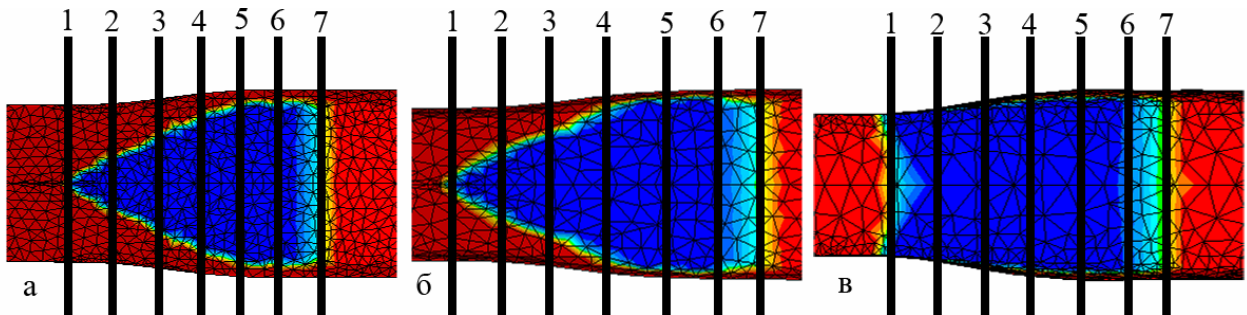


Рис. 2. Расчетная схема очага деформации при прокатке полосы в системе калибров: а – «квадрат – ромб»; б – «ромб – ромб»; в – «квадрат – овал»

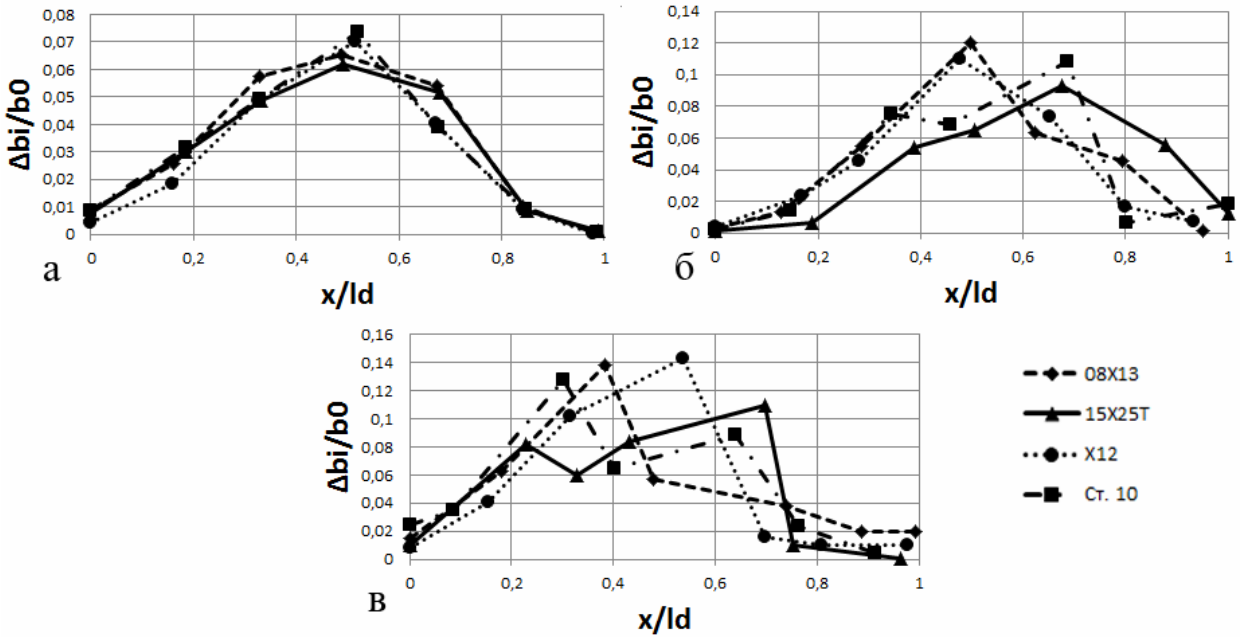


Рис. 3. Распределение изменения ширины заготовки в очаге деформации по сечениям при максимальных значениях коэффициента вытяжки, для систем калибров: а – «квадрат – ромб»; б – «ромб – ромб»; в – «квадрат – овал»

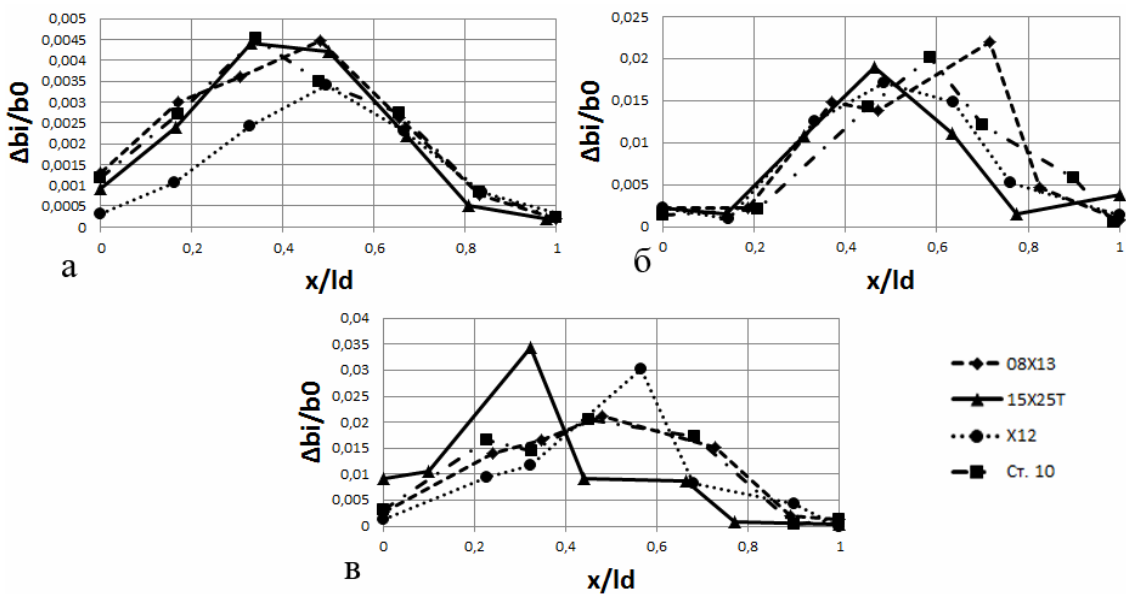


Рис. 4. Распределение изменения ширины заготовки в очаге деформации по сечениям при минимальных значениях коэффициента вытяжки, для систем калибров: а – «квадрат – ромб»; б – «ромб – ромб»; в – «квадрат – овал»

Данные исследования показывают, что наиболее явное развитие уширения в очаге деформации проявляется ближе к середине. Для разных марок стали максимальные значения также изменяются: для марки 15Х25Т максимальное значение проявляется до середины, а для стали Х12 после середины. Явно выраженное изменение ширины в очаге деформации наблюдается в системах калибров «ромб – ромб» и «квадрат – овал».

Данное явление обусловлено геометрией калибра и влиянием химического состава стали. В сталях Ст 10 и 08Х13 можно наблюдать более плавное изменение ширины заготовки в очаге деформации, чем в сталях 15Х25Т и Х12.

Для дальнейшего определения стали, наиболее склонной к уширению, было исследовано изменение ширины по всей длине заготовки, в зависимости от коэффициента вытяжки в разных калибрах (рис. 5). Для характеристики уширения используется показатель уширения $\Delta b / \Delta h$, который наименее чувствителен к изменению формы очага деформации.

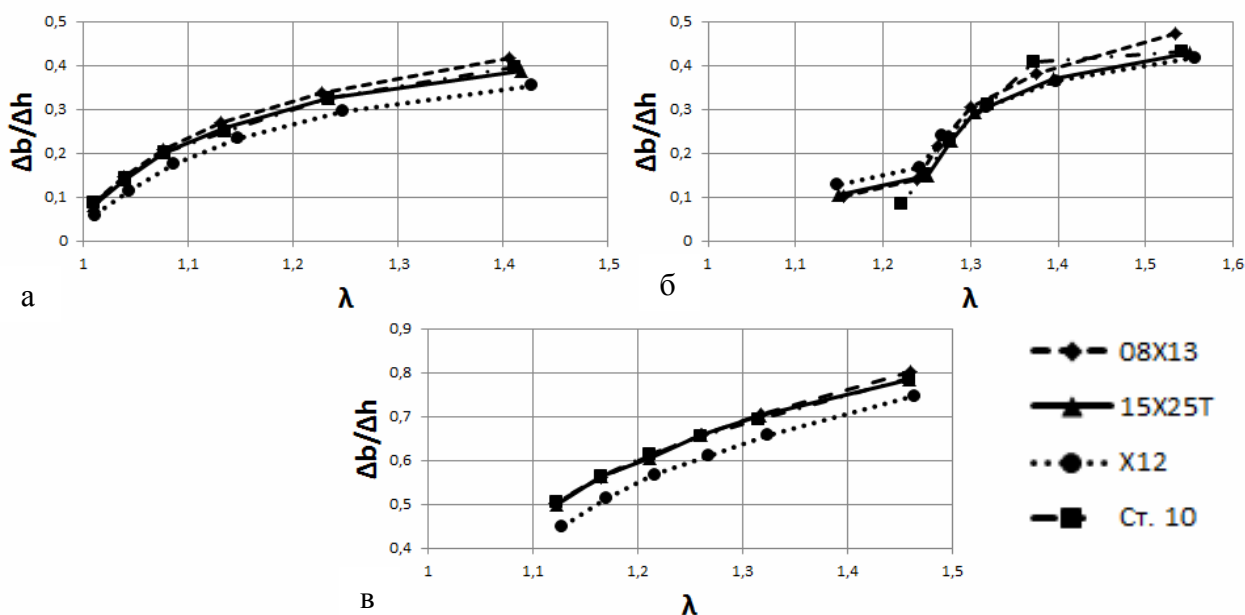


Рис. 5. Распределение изменения относительного уширения по всей длине заготовки, при прокатке в системах калибров:

а – «квадрат – ромб»; б – «ромб – ромб»; в – «квадрат – овал»

Построенные зависимости (рис. 5) показывают, что сталь 08Х13 наиболее склонна к уширению. Поэтому рассмотрим влияние системы калибров на изменение ширины заготовки в очаге деформации для стали 08Х13, для минимальных значений вытяжки $\lambda = 1,15$ и максимальных значений $\lambda = 1,26$ (рис. 6).

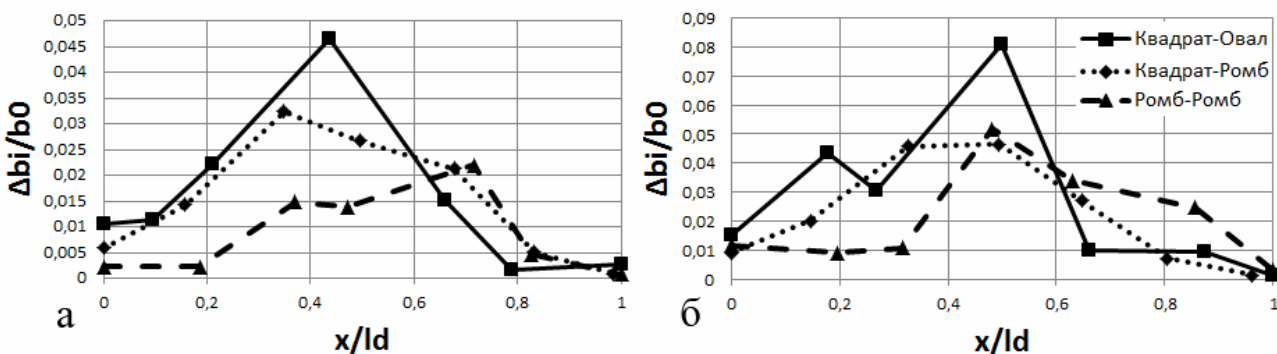


Рис. 6. Влияние систем калибров на распределение ширины полосы в очаге деформации стали 08Х13:

а – $\lambda = 1,15$; б – $\lambda = 1,26$

В системах калибров наибольшая разница в уширении проявляется ближе к середине очага деформации. А наиболее влияющей на уширение в очаге деформации – система калибров «квадрат – овал», а наименее система «ромб – ромб». Возможно это происходит из-за плавности переходов выпуска калибров (форма калибра), например, для системы «квадрат – ромб» как при максимальном значении вытяжки, так и при минимальном ширина полосы распределяется плавно вдоль всей длины очага деформации.

ВЫВОДЫ

Проведено исследование изменения ширины заготовки по длине очага деформации и уширения в овальном квадратном и ромбическом калибрах, с учетом влияния химического состава стали. Наиболее склонна к поперечному течению сталь 08X13, а наименее X12.

При прокатке в овальном калибре положение зоны интенсивного уширения определяется химическим составом стали: с увеличением содержания хрома происходит смещение максимума к выходу из очага деформации.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки рекомендаций по усовершенствованию режимов деформации специальных сталей в калибрах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев В. А. Расчет уширения с учетом формы калибра / В. А. Николаев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1999. – № 9. – С. 28–32.
2. Николаев В. А. Определение уширения металла при прокатке в калибрах / В. А. Николаев // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – № 5. – С. 48–52.
3. Берковский В. С. Исследование формоизменения сталей различного химического состава при прокатке в калибрах / В. С. Берковский, С. П. Воробьев, В. В. Зайцев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1991. – № 9. – С. 45–47.
4. Шилов В. А. Уширение при прокатке в калибрах с учетом реологических свойств металла / В. А. Шилов, В. К. Смирнов, Ю. В. Инатович // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия – 1995. – № 4. – С. 39–42.
5. Бахтинов Ю. Б. Расчет уширения по длине очага деформации / Ю. Б. Бахтинов // Производство проката. – 2003. – № 7. – С. 2–8.
6. Thilo Spittel. Ferrous Alloys. V. 2 / Thilo Spittel, Marlene Spittel – New York : Springer, 2009. –800 p.
7. Users Guide, How to run Forge 3d, Transvalor S. A. – Sophi Antipolis, 2003.
8. Данченко В. Н. Теоретическое исследование изменения ширины профиля при прокатке специальных сталей в калибрах простой формы с использованием программного продукта Forge 3 / В. Н. Данченко, О. А. Ремез, С. Мроз, А. А. Самсоненко // Обработка материалов давлением : темат. сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 1 (22.) – С. 270–290.

Ремез О. А. – аспирант НМетАУ;

Калинкина К. С. – студент НМетАУ;

Сабарня М. Е. – студент НМетАУ;

Самсоненко А. А. – канд. техн. наук, ассистент НМетАУ.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: remez@fregat.com