

УДК 621.771.01

Ярошенко О. А.
Мроз С.
Самсоненко А. А.
Чепаченко И. В.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАСЩЕПЛЕНИЯ ПРОКАТА ПРИ ПРОКАТКЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ В СОРТОВЫХ КАЛИБРАХ ПРОСТОЙ ФОРМЫ

Современная металлургическая промышленность совершенствуется и повышает качество выпускаемой продукции, при этом осваивая более качественные марки сталей для увеличения своей конкурентоспособности на рынке. Между тем данные стали имеют склонность к образованию специфических дефектов и требуют особого подхода в создании технологии производства продукции из этих сталей.

На сортовых станах ПАО «Днепроспецсталь» (г. Запорожье) при прокатке заготовок из высокоуглеродистых высокохромистых, быстрорежущих сталей происходит так называемое расщепление переднего конца полосы. Расщеплением называется раздвоение переднего конца прокатываемых полос и является своего рода расслоением или трещиной, разошедшейся в процессе прокатки при выходе переднего конца полосы из валков. Это явление приводит к браку, значительному снижению производительности, потерям металла и нередко к оковыванию валков.

Наиболее часто данное явление наблюдается при прокатке высокоуглеродистых высокохромистых и быстрорежущих (значительно реже) сталей.

Как правило, данный вид разрушения происходит при прокатке полосы в ромбических или квадратных калибрах и образуется по горизонтальной оси полосы.

Существуют различные объяснения явления расщепления концов проката. По мнению ряда авторов (Ю. М. Чижиков, М. Я. Дзугутов, И. М. Павлов, В. Д. Трофимчук), причиной возникновения расщепления является значительная неравномерность распределения температур по объему раската. Если на выходящем из валков конце имеются несплошности (усадочная рыхлость, остатки усадочной раковины, следы порезки), снижающие прочность металла, то это еще более способствует расщеплению.

Другой причиной расщепления концов раската может быть значительная неравномерность деформации по высоте полосы. При достаточно высоком очаге деформации наблюдается значительная разница в скоростях течения осевых слоев металла и слоев, непосредственно контактирующих с зоной затрудненной деформации. Вследствие этого в центральной зоне возникают дополнительные растягивающие напряжения, способные вызвать разрывы металла [1].

В работах [2] и [3] проведен анализ влияния на расслоение переднего конца, при прокатке крупных фасонных профилей проката, параметров плавки стали и способа нагрева слитков перед прокаткой; рассмотрены методы сокращения потерь металла в брак. Также показано, что отличие уровня брака при прокатке уголков и швеллеров обусловлено влиянием формоизменения металла, а увеличение брака при изготовлении крупных швеллеров – влиянием коэффициента вытяжки.

По результатам расчетов в работе [4] сделаны выводы, что в плоскости выхода из-за действия сил трения в зоне опережения возникают напряжения разрыва и наиболее существенное влияние на данную величину оказывают соотношение между шириной полосы и дном калибра, величина выпуска калибра в области малых значений ($\varphi < 10^\circ$) и трение на контактных поверхностях. Предложены методы для уменьшения брака по расслоению в зависимости от типа стана.

В работе [5] установлено, что расслоению металла способствует увеличение количества неметаллических включений в осевой зоне листа, а также значительные касательные напряжения и скоростная асимметрия на начальных стадиях прокатки толстых листов.

Таким образом, представленный анализ дает общее представление о механизме возникновения расщепления. Остается непонятным, в каких случаях следует учитывать те или иные факторы. Представляет интерес дальнейшее изучение данного явления с целью выработки рекомендаций по его предотвращению.

Целью данной работы является теоретическое исследование напряженного состояния металла при прокатке в калибрах заготовок из специальных сталей и определение влияния коэффициента вытяжки и формы калибра на расщепление переднего конца полосы.

Для исследования формоизменения металла была выбрана программа компьютерного конечно-элементного моделирования Forge 3© фирмы Transvalor (Франция). Описание модели процесса формоизменения при моделировании поставленной задачи:

1. Используется закон трения Амонтона.
2. Принимается теория пластического течения несжимаемых сред Сен-Венана-Леви-Мизеса.
3. Задача считается трехмерной.

В программе используются конечные элементы в виде тетраэдров с линейной аппроксимацией среднего напряжения и кусочно-линейной аппроксимацией скорости (по угловым узлам элемента и узлу в центре тяжести элемента) [6].

Для оценки вероятности появления расщепления использовали критерий разрушения Cockcroft-Latham normalized (LATANDCN) [7], имеющий следующий вид:

$$\int_0^{\varepsilon} \frac{\bar{\sigma}_{\max}}{\sigma_i} d\varepsilon = c, \quad (1)$$

где $\bar{\sigma}_{\max}$ – максимальное главное растягивающее напряжение; σ_i – интенсивность напряжений; ε – интенсивность деформаций; c – константа материала.

Исследование проводилось для систем калибров «квадрат – ромб» и «ромб – ромб». Ромбический калибр: зазор – 2 мм, высота калибра – 13 мм, ширина калибра – 48,68 мм, радиусы закругления: у вершины – 0,3 мм, у зазора – 0,1 мм, диаметры валков: по буртам – 205 мм. Квадратная заготовка со стороной 20 мм, ромбическая – с размерами диагоналей 29,02 × 23,15 мм. Для моделирования были взяты такие материалы заготовок: стали 10, X12, 15X25T, 08X13 и свинец С1. Технологические параметры прокатки: температура начала прокатки: для сталей – 1100 °С, для свинца – 22 °С; температура валков при прокатке: сталей – 60 °С, для свинца – 22 °С; частота вращения валков – 32 об/мин; коэффициент трения – 0,4.



Рис. 1. Схема для отбора данных о критерии разрушения

В процессе моделирования после каждого прохода производился отбор данных о критерии разрушения в сечениях проката по схеме, представленной на рис. 1.

Как видно из рис. 1, происходил отбор значений критерия разрушения в середине (точка 1) и на краю (точка 2) раската, что соответствует месту расположения расщепления в реальных условиях прокатки.

В ходе анализа полученных результатов предполагается, что возникновению расщепления способствует критическая величина критерия разрушения, соответственно имеющая разные значения для разных марок сталей. Рассмотрим влияние коэффициента вытяжки на изменение критерия разрушения в т. 1 (рис. 2).

Для системы калибров «квадрат – ромб» вероятной областью опасности проявления расщепления проката являются значения коэффициента вытяжки в диапазоне 1,1–1,2. Также косвенно можно отнести эту область и для системы «ромб – ромб». Однако в системе «квадрат – ромб» пик потенциально опасной области менее выражен и на довольно большом диапазоне дальнейшего увеличения коэффициента вытяжки критерий разрушения изменяется незначительно. В системе «ромб – ромб» пик явно выражен и при повышении вытяжки критерий уменьшается. На такое значительное изменение критерия разрушения возможно влияет большее уширение металла в данной системе по отношению к «квадрат – ромб». Одним из

возможных предпринимаемых ходов для устранения явления расщепления переднего конца раската может быть прокатка при низких коэффициентах вытяжки в системе «квадрат – ромб» и повышенных в «ромб – ромб» (рис. 2).

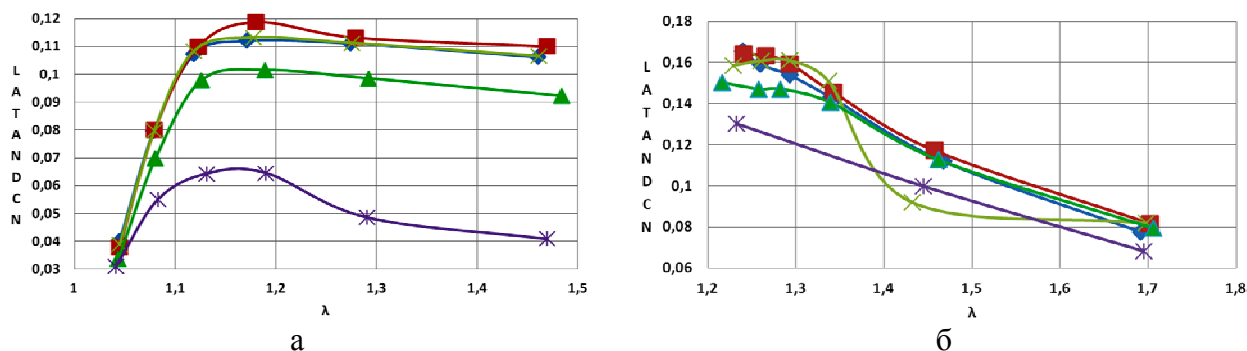


Рис. 2. Графики зависимости критерия разрушения от коэффициента вытяжки в калибрах системы «квадрат – ромб» (а) и «ромб – ромб» (б):

◆ – 08X13; ■ – 15X25T; × – сталь 10; ▲ – X12; * – свинец

ВЫВОДЫ

Проведено моделирование процесса прокатки профилей простой формы из специальных сталей. Проанализированы причины и факторы возникновения явления расщепления концов раската при прокатке сортовых профилей в калибрах разной формы.

Получены сравнительные данные о значениях критерия разрушения сталей 10, 08X13, 15X25T, X12 и свинца С1 с последующим их сравнением.

Предварительный анализ полученных результатов показал наличие вероятной области опасных значений критерия разрушения при коэффициентах вытяжки, лежащих в пределах 1,1–1,2. По нашему мнению это может свидетельствовать о проявлении склонности к расщеплению в последующих калибрах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дзугутов М. Я. Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов / М. Я. Дзугутов. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Металлургия, 1977. – 479 с.
2. Эффективные возможности улучшения качества фасонных профилей проката / А. С. Заспенко, В. И. Гордиенко, С. И. Шиков, М. В. Краев // Металл и литье Украины. – 2007. – № 5. – С. 16.
3. Проблема усадочных дефектов при производстве сортового и фасонного проката из полуспокойных сталей / В. И. Гордиенко, С. И. Шиков, М. В. Краев // Металл и литье Украины. – 2006. – № 5. – С. 35–37.
4. Исследование расслоения переднего конца полосы при прокатке автоматных сталей / Б. С. Реззов, А. И. Вейс, В. И. Юрков, И. И. Милованов // Производство проката. – 2004. – № 9. – С. 12–17.
5. О расслоении листов при прокатке / М. Я. Бровман // Производство проката. – 2005. – № 4. – С. 2–5.
6. Forge 3 - a general tool for practical optimization of forging sequence of complex three-dimensional parts in industry / Chenot J. L., Fourment L., Coupez T., Ducloux R., Wey E. // Forging and Related Technology. – Birmingham, (UK). – 1998. – P. 113–122.
7. Cockcroft M. G. Ductility and the workability of metals / M. G. Cockcroft, D. J. Latham // Journal of the institute of metals. – 1968. – № 96. – P. 33–39.

Ярошенко О. А. – нач. произв. – гл. прокатчик ПАО «Днепрспецсталь»;

Мроз С. – д-р техн. наук, проф. Политехники Ченстохова;

Самсоненко А. А. – канд. техн. наук, доц. НМетАУ;

Чепаченко И. В. – студент НМетАУ.

Политехника Ченстохова – институт моделирования и автоматизации процессов пластической обработки, г. Ченстохова, Польша.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепрпетровск.

E-mail: andreysamsonenko@gmail.com