

УДК 621.771.25

Скляр В. А.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА БЕСКАЛИБЕРНОЙ ПРОКАТКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ СОРТОВОЙ ЗАГОТОВКИ С ДЕФЕКТОМ «ГАЗОВЫЙ ПУЗЫРЬ»

Процесс прокатки непрерывнолитой сортовой заготовки имеет свои особенности, которые связаны с наличием в последней специфических дефектов, которые, в свою очередь, обусловлены условиями непрерывной разливки. Одним из таких поверхностных дефектов являются газовые пузыри, которые могут образовываться как на поверхности непрерывнолитой заготовки, так и в подкорковой зоне. К причинам появления такого вида дефектов обычно относят: значительные колебания уровня металла в кристаллизаторе, недостаточную раскисленность стали, повышенное содержание влаги в футеровке промежуточного ковша, смазочных или шихтовых материалов, нарушение режима подачи смазки в кристаллизатор. При прокатке непрерывнолитых сортовых заготовок с таким дефектом происходит его раскатка в дефекты прокатного производства – трещины в виде капсулы с гладкими стенками и тупым концом [1]. Такие дефекты снижают общее качество проката и приводят к его отбраковке.

В последнее время активизировалось изучение поведения дефекта типа «газовый пузырь» применительно к непрерывнолитой заготовке как из черных, так и из цветных металлов, что связано с расширением объемов её использования и спецификой расположения данных дефектов.

Так в работе [2] приведены результаты исследования условий заварки пор с помощью физического моделирования. Прокатывались ступенчатые образцы с отверстиями, которые имитировали поры, в горячем состоянии. Определено, что закрытие пор в случае горячей прокатки при температуре 900–1200 °С происходит при степени деформации 30 %, а их заварка при 50 %.

Проведенные в работе [3] исследования прокатки медных заготовок позволили установить механизм поведения поры, примыкающей к поверхности полосы при прокатке как на боковой, так и на контактной поверхности, однако условия заварки пор не рассматривались.

В работе [4] исследовалось формоизменение одиночно расположенной поры внутри полосы путем прокатки сборного образца, показан механизм деформации поры. Однако эти исследования касались в большей мере прокатки заготовок из цветных металлов. В то же время информации по исследованию прокатки непрерывнолитых заготовок из черных металлов как в калибрах, так и на гладкой бочке, недостаточно, особенно с точки зрения характеристик напряженно-деформированного состояния металла в области поры.

Целью работы являлось изучение поведения дефекта типа «газовый пузырь» в процессе прокатки непрерывнолитой сортовой заготовки на гладкой бочке, а также определение напряженно-деформированного состояния металла в данной области.

Доказано, что с позиции механики деформации, газовый пузырь можно рассматривать как пору, которая расположена на поверхности или в объеме металла [3]. Таким образом, дефект «газовый пузырь» можно имитировать с помощью круглого отверстия, расположенного на поверхности физической модели.

Для проведения исследований с помощью физического моделирования процесса прокатки были изготовлены свинцовые образцы, соответствующие непрерывнолитой заготовке 125 × 125 мм в масштабе 1:5. На контактной и боковой поверхностях образца высверливались по три отверстия диаметром и глубиной по 3 мм, которые были расположены по середине образца, в угловой зоне и в промежуточной.

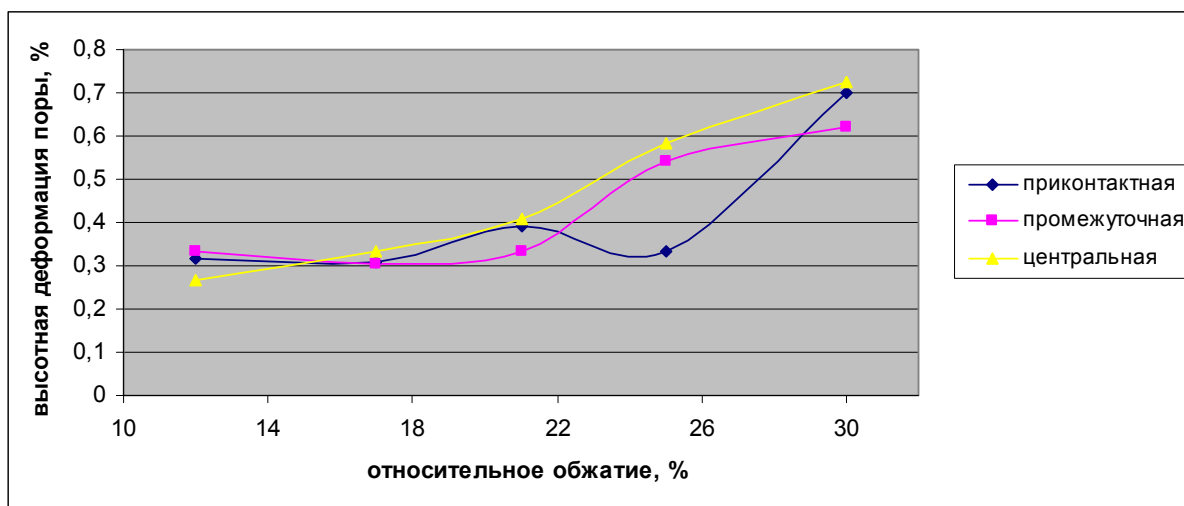
Полученные образцы прокатывались на лабораторном стане 100 в цилиндрических валках диаметром 98 мм. Величина относительного обжатия составляла 12, 17, 21, 25 и 30 %.

После прокатки производился обмер деформированных отверстий на микроскопе с точностью до 0,005 мм (рис. 1).

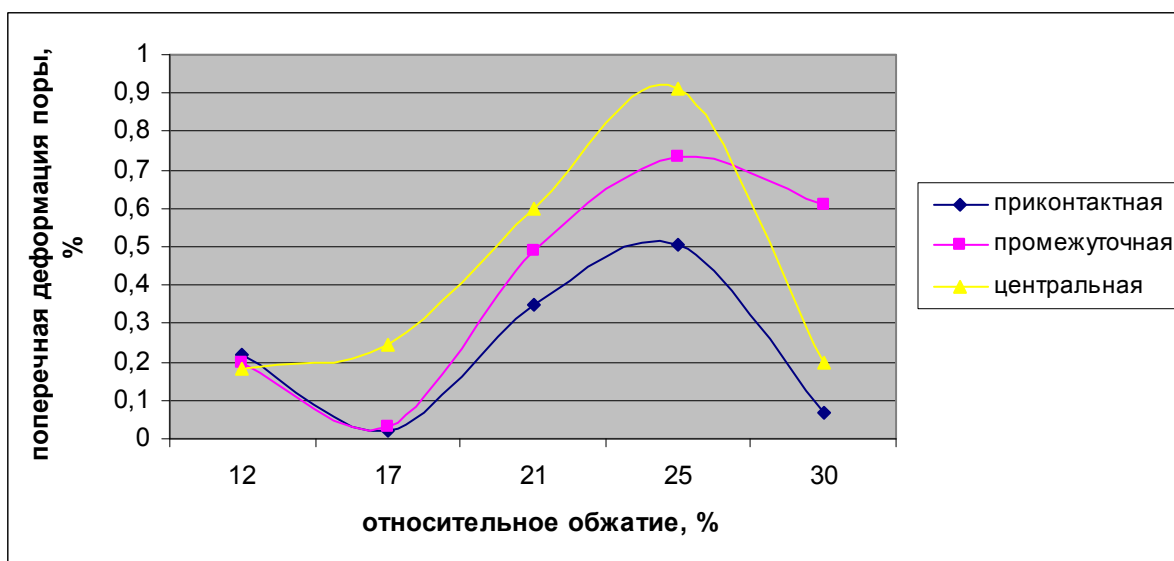
По результатам обмера исследовалось формоизменение отверстий в продольном и поперечном направлениях. Относительная высотная и продольная деформация поры на боковой поверхности раската в зависимости от величины относительного обжатия представлена на рис. 2.



Рис. 1. Вид деформированных пор на боковой поверхности ( $\varepsilon = 25\%$ )



а

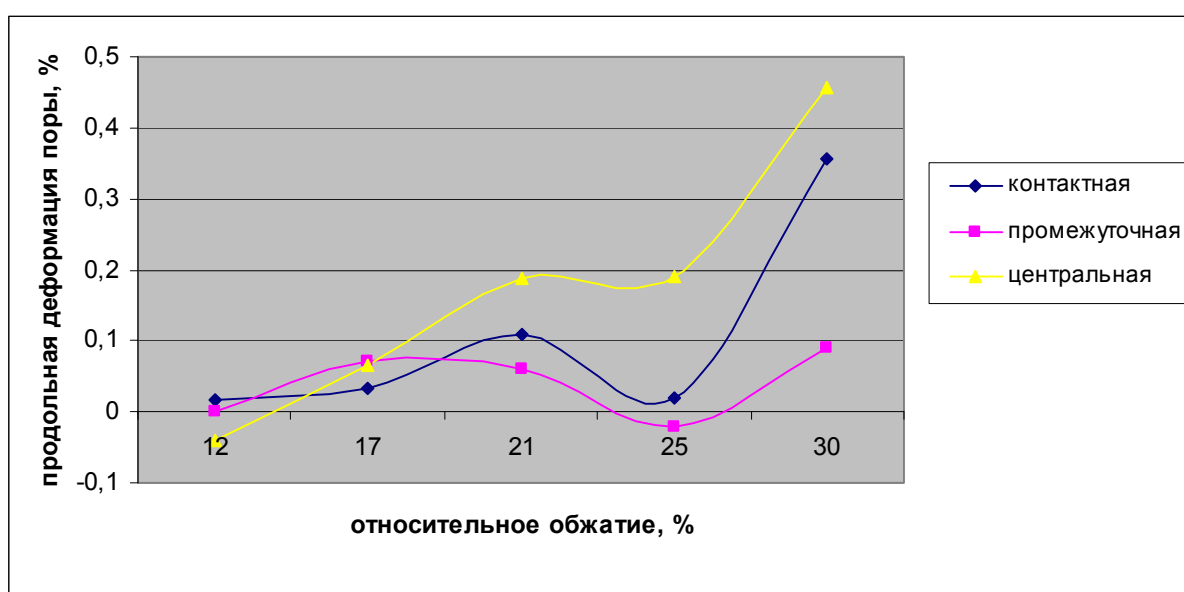


б

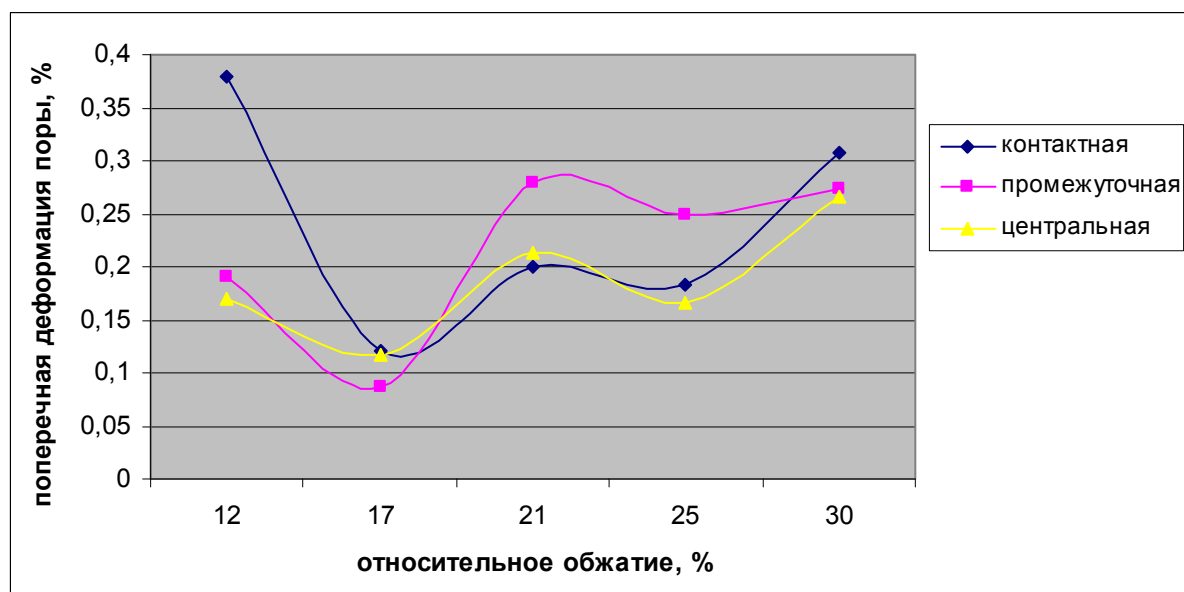
Рис. 2. Относительная высотная (а) и продольная деформация (б) поры на боковой поверхности раската

Из анализа завистей видно, что высотная деформация (обжатие поры) имеет ярко выраженный возрастающий характер при увеличении относительного обжатия. При этом в центральной части относительная деформация выше и достигает максимального значения 0,72. Ее значение в центральной зоне меньше, чем в промежуточной и контактной зоне только при относительном обжатии равном 12 %, что объясняется тем, что деформация при таком малом обжатии недостаточно проникает по высоте полосы. Зависимость же поперечной деформации (удлинение поры) имеет более сложный характер. На зависимости имеется ярко выраженный минимум при относительном обжатии 17 %, когда пора практически не удлиняется и максимум при 25 %, где удлинение составляет 0,91. Следует отметить, что такой же характер зависимости наблюдается и при прокатке непрерывнолитых заготовок с дефектом «газовый пузырь» в прямоугольных калибрах [5], однако выявить природу такого характера зависимости пока не удалось.

Зависимости продольной и поперечной деформации поры на контактной поверхности раската приведены на рис. 3.



а



б

Рис. 3. Относительная продольная (а) и поперечная деформация (б) поры на контактной поверхности раската

Из анализа зависимости продольной деформации (удлинение поры) можно сделать вывод, что с увеличением относительного обжатия продольная деформация увеличивается незначительно и лишь при максимальной степени обжатия (30 %) наблюдается резкий рост до 0,46. В то же время максимальная степень деформации наблюдается в центральной зоне, а минимальная в промежуточной.

Следует также отметить наличие отрицательного удлинения поры в центральной зоне, которое наблюдалось при относительном обжатии 12 %. Такой эффект, в принципе противоречащий теории прокатки, объясняется, скорее всего, течением металла внутрь поры, что можно объяснить как механизмом ее деформации, так и несовершенством условий эксперимента при принятых допущениях. В то же время, аналогичный эффект наблюдался и при прокатке в калибрах [5], при этом отрицательное удлинение поры наблюдалось не только в центральной, а и во всех зонах.

Анализ распределения поперечной деформации (уширение поры) говорит о возрастающем характере зависимости с некоторыми колебаниями. В целом величина продольной деформации небольшая и составляет от 0,08 до 0,37. Однако в отличие от остальных зависимостей наибольшая продольная деформация наблюдается в промежуточной зоне, а в центральной и краевой они практически равны. Аналогично и поперечная деформация при малом относительном обжатии 12 % в два раза больше в краевой зоне, чем в средней и промежуточной.

Оценка напряженно-деформированного состояния металла в месте нахождения поры выполнялась для прогнозирования возможного разрушения металла заготовки в случае наличия поры близко к поверхности, что может привести к ее раскрытию, причиной которого может быть неблагоприятное напряженно-деформированное состояние. Известно, что наличие внутренних полостей в металле при его прокатке может привести к появлению растягивающих напряжений, которые усугубят уже имеющиеся дефекты и могут привести к появлению дефектов несложности в виде трещин.

В качестве функции отклика была выбрана накопленная степень деформации  $\Lambda$ , которая определялась по методике, приведенной в [6]. Сравнение с допустимой накопленной деформацией при температуре прокатки позволяет прогнозировать появление дефектов сплошности, а также определять критерий разрушения. Зависимость накопленной деформации от относительного обжатия на боковой и контактной поверхности образца приведена на рис. 4–5.

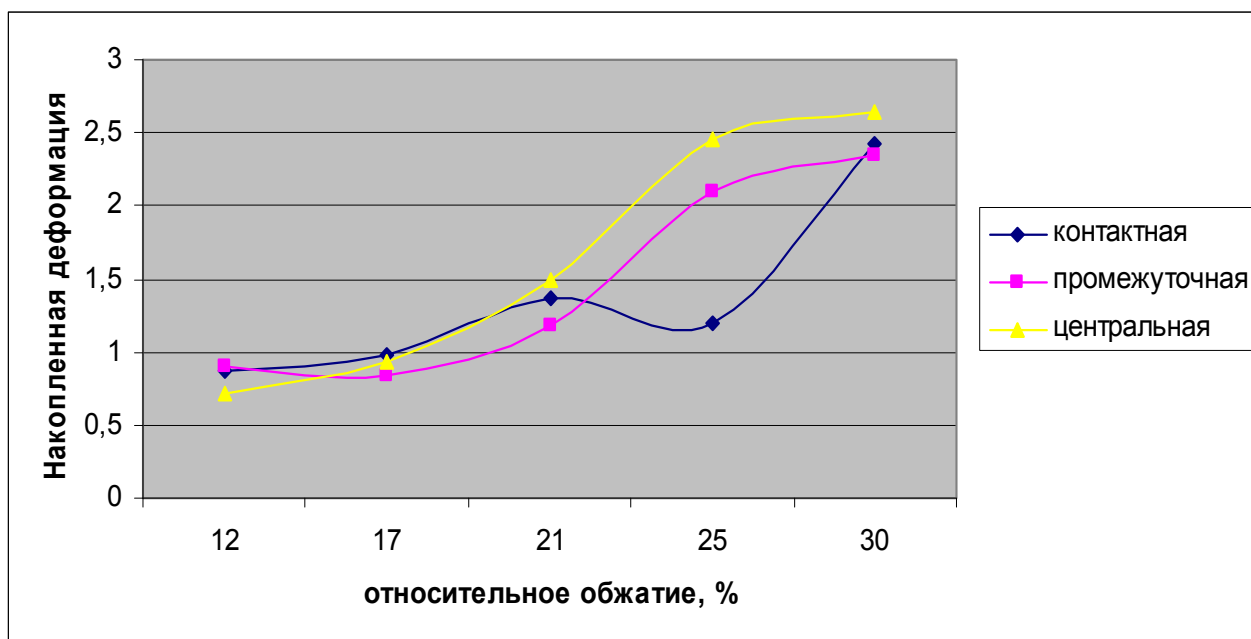


Рис. 4. Зависимость величины накопленной деформации от относительного обжатия на боковой поверхности раската

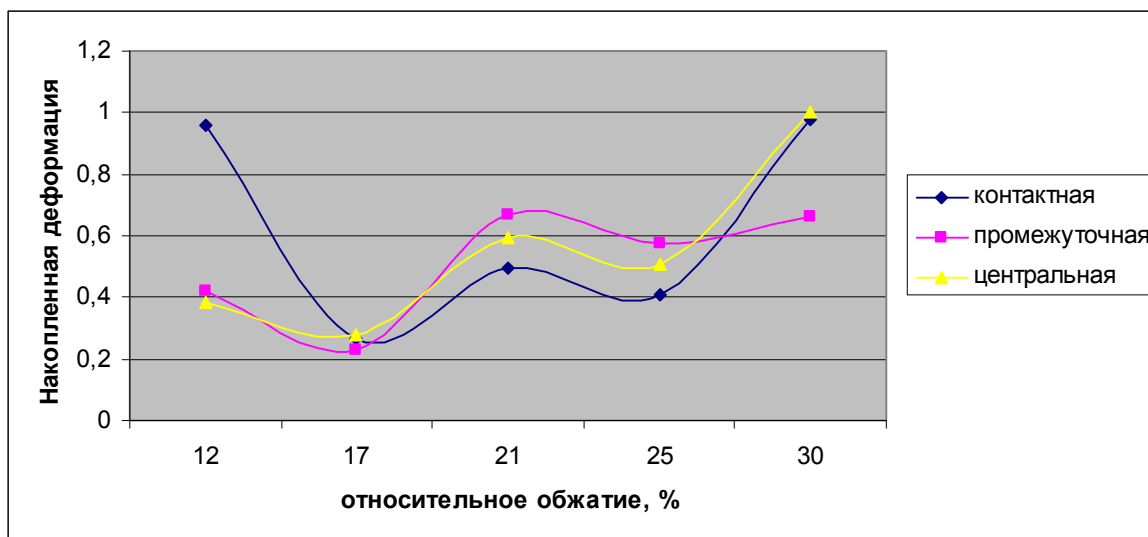


Рис. 5. Зависимость величины накопленной деформации от относительного обжатия на контактной поверхности раската

В целом можно отметить, что накопленная деформация на боковой поверхности в 2–2,5 раза больше, чем на контактной. В то же время необходимо учитывать, что предельное значение накопленной деформации при условиях горячей прокатки лежит в пределах 1,0–1,1, поэтому заготовки с наличием в них дефекта «газовый пузырь» не следует прокатывать с обжатием более 18 %, так как это может привести к разрушению металла вокруг поры и, соответственно, ее раскрытию.

## ВЫВОДЫ

Проведенное исследование особенностей прокатки непрерывнолитой сортовой заготовки с дефектом «газовый пузырь» позволило выявить основные закономерности формоизменения дефекта на контактной и боковой поверхности раската, а анализ напряженно-деформированного состояния на основе определения величины накопленной деформации показал, что деформация заготовок с таким дефектом не должна производиться с относительным обжатием более 18 %.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сычков А. Б. Трансформация дефектов непрерывнолитой заготовки в поверхностные дефекты проката / А. Б. Сычков, М. А. Жигарев, А. В. Перчаткин // *Металлург.* – М., 2006. – № 2. – С. 60–64.
2. A study of pore closure and welding in hot rolling process / A. Wang, P. F. Thomson, P. D. Hodgson // *J. Mater. Process. Technol.* – 1996. – № 60. – P. 95–102.
3. Логинов Ю. Н. Поведение при прокатке дефекта типа поры, примыкающей к поверхности полосы / Ю. Н. Логинов, К. В. Еремеева // *Производство проката.* – 2008. – № 10. – С. 2–6.
4. Логинов Ю. Н. Прокатка заготовки с одиночно расположенной в объеме порой / Ю. Н. Логинов, К. В. Еремеева // *Заготовительные производства в машиностроении.* – 2009. – № 11. – С. 33–37.
5. Скляр В. А. Исследование процесса прокатки непрерывнолитой заготовки с дефектом типа поры / В. А. Скляр // *Вісник НТУ «ХПИ».* – Харків : НТУ «ХПИ», 2012. – № 47. – С. 181–184. – (Серія «Нові рішення в сучасних технологіях»).
6. Пластичность и разрушения / В. Л. Колмогоров, А. А. Богатов, Б. А. Мигачев и др. – М. : *Металлургия*, 1977. – 336 с.

Скляр В. А. – канд. техн. наук, доц. ДонНТУ.

ДонНТУ – Донецкий национальный технический университет, г. Донецк.

E-mail: fan-fl@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 04.03.2013 г.