

УДК 621.771.25

Скляр В. А.

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ С ДЕФЕКТОМ ФОРМЫ «РОМБИЧНОСТЬ» ПРИ ПРОКАТКЕ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ КАЛИБРЕ

В настоящее время на многих украинских предприятиях большой процент непрерывнолитой заготовки (НЛЗ) производится с дефектом формы «ромбичность». При этом разница диагоналей НЛЗ может достигать до 30 мм. Это обусловлено низким уровнем технической культуры, несовершенными технологиями процесса разлива, использованием кристаллизаторов, которые недостаточно учитывают особенности термической усадки заготовки и т. д.

Прокатка непрерывнолитой заготовки с дефектом формы «ромбичность» при разнице диагоналей более 7–10 мм приводит к сваливанию раската в первых проходах обжимной клетки, в результате чего происходит его скручивание вдоль продольной оси и изгиб, что приводит раскрытию приугловых трещин в НЛЗ, которое обусловлено особенностью напряженно-деформированного состояния (НДС) металла в данной области [1, 2].

В работе [3] представлены результаты исследования формоизменения раската и его НДС при реализации двух схем задачи НЛЗ с дефектом формы «ромбичность» при бескалиберной прокатке, однако вопросы прокатки такой заготовки в прямоугольных калибрах не рассмотрены. В работе [4] приведены данные исследования процесса прокатки в прямоугольных калибрах в черновых клетях сортовых станов с учетом оценки возможности появления дефекта на основе определения НДС раската с использованием теории разрушения. Рассмотрено влияние степени заземления на процесс деформации и формируемое НДС. Однако наличие у НЛЗ такого дефекта формы, как «ромбичность», не учитывалось. В работе [5] рассмотрены вопросы прокатки НЛЗ с дефектом формы «ромбичность» в прямоугольных калибрах с точки зрения обеспечения устойчивости раската в калибре. В то же время, оценки НДС раската не производилось.

Целью работы является минимизация раскрытия приугловых трещин путем выбора рациональных параметров прокатки с помощью физического моделирования процесса прокатки НЛЗ с дефектом формы в прямоугольных калибрах, направленного на оценку НДС на поверхности раската.

Физическое моделирование производилось на лабораторном стане 100 кафедры ОМД ДонНТУ. Для прокатки свинцовых образцов был изготовлен специальный комплект валков, калибровка которого в масштабе 1:5 соответствовала калибровке валков обжимной клетки стана 500/370 ОАО «Донецкий металлпрокатный завод». Прокатку физических моделей вели с получением недокатов (рис. 1). В качестве управляющих факторов были приняты: величина относительного обжатия ε , степень заземления, а также коэффициент ромбичности K_p , который определялся по формуле:

$$K_p = \frac{D_1}{D_2}, \quad (1)$$

где D_1 , и D_2 – соответственно большая и меньшая диагональ поперечного сечения непрерывнолитой заготовки.

Уровни и интервалы варьирования факторов представлены в табл. 1. Определение интервала варьирования фактора коэффициент ромбичности K_p было выполнено на основании данных промышленного исследования геометрических параметров непрерывнолитой и горячекатаной заготовки различных производителей [6].

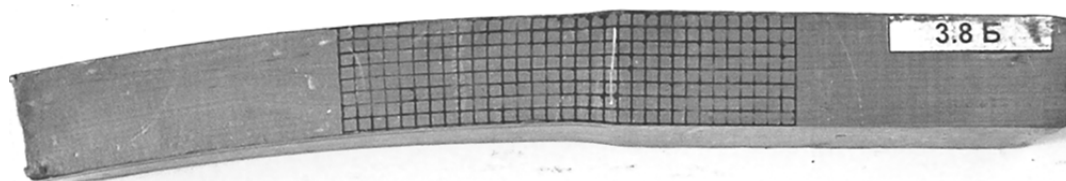


Рис. 1. Внешний вид свинцового образца после прокатки

Таблица 1

Уровень и интервалы варьирования факторов

Управляющий фактор	Интервал варьирования	Уровень		
		Верхний	Основной	Нижний
Относительное обжатие ε	0,1	0,3	0,2	0,1
Степень заземления a	0,03	1,07	1,04	1,01
Коэффициент ромбичности K_p	0,02	1,05	1,03	1,01

В качестве функций отклика, для оценки НДС непрерывнолитой сортовой заготовки с дефектом формы «ромбичность» во время прокатки, был выбран показатель накопленной степени деформации Λ [4]. Данный показатель позволит прогнозировать возможность появления поверхностных дефектов в результате исчерпания ресурса пластичности. Для обработки экспериментальной информации, полученной после обмера сетки на боковой поверхности образцов, использовался метод Е. Зибеля.

В результате обработки экспериментальных данных получали поля распределения показателя Λ по высоте физического очага деформации. Следует особо отметить, что показатель Λ включает в себя несколько составляющих. В частности, наибольший вклад вносит высотная деформация, которая определяется величиной ε . Вклад поперечной деформации, сминания углов непрерывнолитой сортовой заготовки, ее изгиба, а также скручивания несколько меньше. Однако, в некоторых случаях именно эти составляющие имеют главенствующее значение.

Установлено, что полученная величина показателя Λ лежит в пределах 0,17...0,81. Однако, с точки зрения оценки исчерпания ресурса пластичности наибольший интерес представляет область максимальных значений показателя Λ . Как показали результаты обработки данных, максимальная величина показателя Λ наблюдается в приконтактных слоях (рис. 2, а). Однако, в том случае, когда наблюдается скручивание или изгиб раската, максимальная величина показателя Λ локализуется в слоях непрерывнолитой сортовой заготовки, примыкающих к продольной оси симметрии раската (рис. 2, б). Именно в этих областях и концентрируются приугловые трещины, поэтому такое НДС может приводить к их раскрытию. Данный факт объясняет, почему именно ромбичная НЛЗ подвержена такому дефекту.

На рис. 3–5 представлены графические зависимости влияния изменения величины управляющих факторов ε , K_p и a на величину показателя Λ . Их анализ показывает, что фактически величину максимальной степени накопленной деформации Λ_{\max} определяет величина ε . При этом, зависимость имеет практически линейный характер (рис. 3). В то же время, влияние управляющих факторов ε и K_p носит взаимообусловленный характер.

При минимальных значениях $K_p = 1,01$ наблюдается самый широкий интервал значений показателя Λ , который колеблется в пределах 0,17...0,81. При этом, чем больше величина a , тем значения Λ меньше (рис. 4). Это объясняется тем, что деформации непрерывнолитой сортовой заготовки с малыми степенями a сопровождается ее изгибом или скручиванием и, как следствие, возникновением дополнительной составляющей общей накопленной деформации.

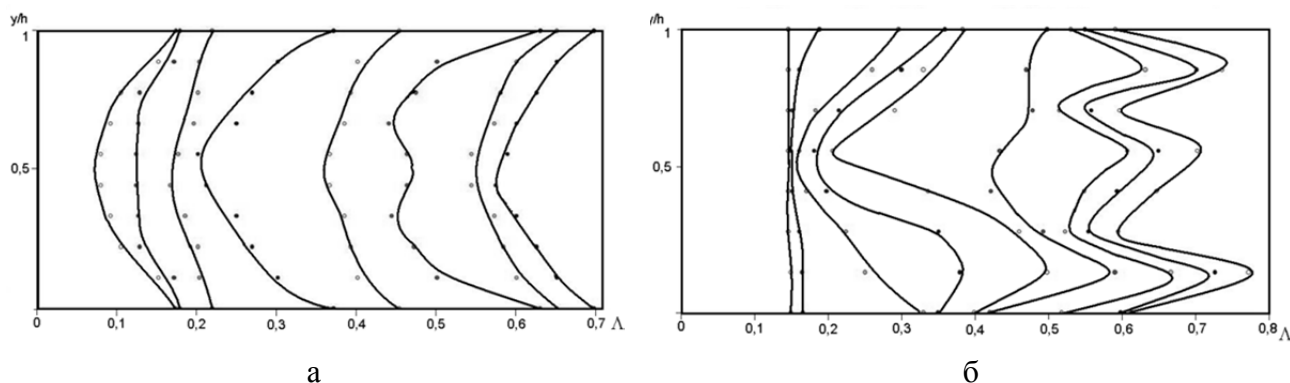


Рис. 2. Распределение показателя Λ по высоте раската в очаге деформации при наличии изгиба непрерывнолитой сортовой заготовки (б) и его отсутствия (а)

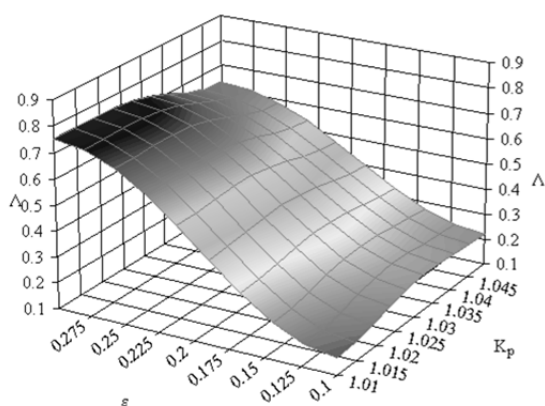


Рис. 3. Зависимость максимальной величины показателя Λ от K_p и ε

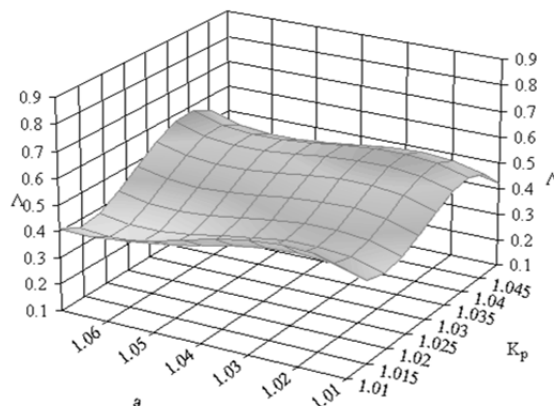


Рис. 4. Зависимость максимальной величины показателя Λ от K_p и a

При увеличении величины K_p до значения 1,03 наблюдается несколько иной характер зависимости. В этом случае превалирует повышенное значение Λ при высоких значениях ε и $a = 1,04$ (рис. 3, 4), что обусловлено, в свою очередь, большой деформацией от изгиба раската.

Максимальное значение Λ у непрерывнолитых сортовых заготовок с коэффициентом начальной ромбичности равным 1,05 (рис. 4) наблюдается при максимальном значении a , что объясняется повышенной деформацией угловых участков. При этом значение Λ достигает 0,64, что несколько меньше, чем при других значениях K_p . Это объясняется тем, что НЛЗ, характеризующиеся повышенными начальными значениями K_p , имеют большую ширину, а, следовательно, и большую поддержку со стороны боковых стенок. Кроме того, они не испытывают дополнительную деформацию от изгиба.

Несколько меньшая величина Λ в заготовках, прокатанных с минимальным значением a , вследствие того, что они испытывают дополнительную деформацию от изгиба из-за отсутствия дополнительной поддержки со стороны боковых стенок калибра. При значении $a = 1,04$ накопленная деформация минимальна.

Также следует отметить, что при минимальных значениях a и ε , величина Λ практически не зависит от величины K_p и лежит в пределах 0,18...0,3 (рис. 5). В свою очередь такой характер объясняется тем, что при малых значениях ε изгиба НЛЗ фактически не наблюдалось, а повышенная деформации угловых участков при малых значениях a практически отсутствует. Вследствие этого величина Λ зависит только от характера распределения деформации по высоте (которое в этом случае одинаково) и, соответственно, должна иметь фиксированное значение. В то же время, при максимальных ε с увеличением K_p наблюдается снижение Λ , что обусловлено большей устойчивостью непрерывнолитых сортовых заготовок при прокатке. Наибольшее влияние величины K_p наблюдается при средних значениях ε , близких к 0,2. При этом величина Λ изменяется в пределах 0,38 ... 0,63.

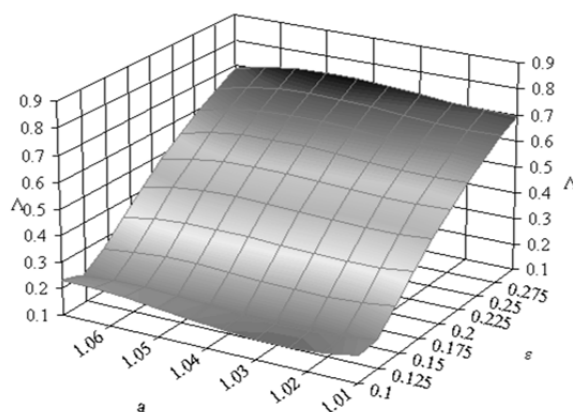


Рис. 5. Зависимость максимальной величины показателя Δ от ε и a

Таким образом, в общем случае с позиции минимизации величины Δ , рекомендованную ранее прокатку заготовок с минимальной начальной величиной K_p при максимальных значениях ε следует осуществлять при значении $a = 1,04$, что обусловлено предотвращением скручивания этих заготовок и повышенной деформацией их углов.

ВЫВОДЫ

Определено НДС на боковой поверхности раската при прокатке в прямоугольных калибрах. Показано, что в случае прокатки непрерывнолитой сортовой заготовки с начальной ромбичностью в пределах $K_p = 1,00 \dots 1,01$ максимум накопления деформации, характеризуемой величиной Δ , наблюдается в слоях металла, контактирующих с дном калибра. В то же время, по мере увеличения величины K_p вплоть до 1,05 положение максимума степени накопленной деформации смещается в слои металла, в которых вероятно наличие подповерхностных трещин, что может привести к нарушениям сплошности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Платов С. И. *Моделирование и развитие технологической системы «прокатка катанки – волочение» для повышения эффективности производства* : автореф. дис. на соискание уч. ст. д-ра техн. наук : спец. 05.16.05 / С. И. Платов. – Магнитогорск, 2006. – 35 с.
2. Жучков С. М. *Применение косвенных методов контроля качества непрерывнолитых заготовок* / С. М. Жучков, А. Б. Стеблов // *Сталь*. – 2002. – № 10. – С. 61–63.
3. Платов С. И. *Аналитические исследования процессов формоизменения при бескалибровой прокатке: Сообщение 1. Сравнительный анализ трехмерного НДС при прокатке заготовок квадратного и ромбического поперечных сечений в гладких валах* / С. И. Платов // *Производство проката*. – М., 2005. – № 5. – С. 19–23.
4. Стеблов А. Б. *Прогнозирование качества поверхности сортовой заготовки на основе теории разрушения* / А. Б. Стеблов, Д. В. Ленартович, В. Д. Егоров // *Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Т. 8. Пластична деформація металів*. – Дніпропетровськ, 2005. – С. 304–308.
5. Белан А. К. *Алгоритм выбора рациональных схем сортовой прокатки на основе оценки устойчивости полосы в калибре* / А. К. Белан, Е. Л. Кандауров, С. Я. Унру // *Производство проката*. – 2007. – № 9. – С. 18–21.
6. *К вопросу прокатки непрерывнолитых заготовок в обжимных клетях сортовых станков* / Минаев А. А., Григорьев М. В., Зуб В. В. и др. // *Машиностроение и техносфера XXI века* : сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе 8–14 сентября 2003 г. – Донецк : ДонНТУ, 2003. – В 4-х томах. Т. 2 – С. 257–262.

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

ДонНТУ – Донецкий национальный технический университет, г. Донецк.

E-mail: fan-fl@yandex.ru