

УДК 621.777

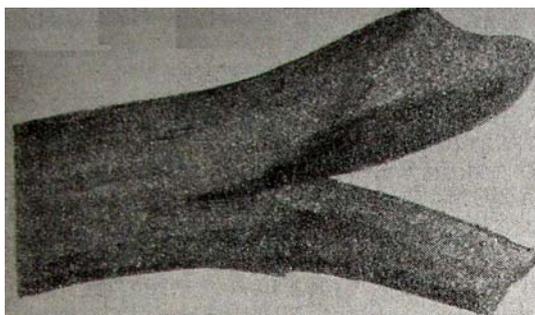
Данченко В. Н.  
Миленин А. А.  
Ярошенко О. А.  
Андреев В. В.  
Самсоненко А. А.

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОКАТКЕ СОРТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ИЗ СПЕЦИАЛЬНЫХ МАРОК СТАЛЕЙ

В настоящее время, при производстве прокатной продукции, все большее применение получают специальные виды стали.

Производство сортового проката из специальных сталей имеет ряд особенностей в режимах нагрева, деформации и термообработки, а также в явлениях, сопровождающих процесс прокатки (повышенное уширение сталей, расщепление концов проката, деформация поверхностных дефектов и другие). Отсюда следует, что выбор режима обжатий должен основываться не только на энергосиловых параметрах процесса, но и учитывать условия прокатки металла без разрушения. Это требование особенно важно при разработке режима обжатий заготовок, имеющих пониженную пластичность. Такой подход к решению проблемы качества требует детального изучения напряженного состояния металла при прокатке в зависимости от температуры, скорости деформации, макроструктуры и ряда других факторов.

На заводе ОАО «Днепрспецсталь» (г. Запорожье) при прокатке заготовок из высокоуглеродистых высокохромистых, быстрорежущих сталей происходит так называемое расщепление конца полосы. Расщеплением называется расслоение или трещина, разошедшаяся в процессе прокатки при выходе переднего конца полосы из валков (рис. 1). Это явление приводит к браку, значительному снижению производительности, потерям металла и нередко к оковыванию валков.



а



б

Рис. 1. Расщепление концов при прокатке стали X12:  
а – по Ю. М. Чижикову [1]; б – профиль, прокатанный на ОАО «Днепрспецсталь»

Наиболее часто данное явление наблюдается при прокатке высокоуглеродистых высокохромистых и быстрорежущих (значительно реже) сталей. Высокохромистые стали типа Х12 характеризуются наличием ледебуритной сетки, пониженной пластичностью, высоким сопротивлением деформации (при температуре 1050 °С в два раза больше, чем у сталей с содержанием углерода 0,6 %), низкой теплопроводностью (в два раза меньше чем у «мягких» сталей) и пониженной температурой нагрева перед прокаткой.

Как правило, данный вид разрушения происходит при прокатке полосы в ромбических или квадратных калибрах и образуется по горизонтальной оси полосы [1].

Существуют различные объяснения явления расщепления концов проката.

По мнению ряда авторов, причиной возникновения расщепления является значительная неравномерность распределения температур по объему раската [1–4]. Поскольку прокатка сталей указанных выше марок производится со сравнительно низкой температурой нагрева и с небольшими скоростями (из-за затруднений с захватом полосы валками), то значительно подстуживаются торцы полосы. Вследствие этого под действием внутренних, более пластичных, слоев металла на торце полосы возникают значительные растягивающие напряжения, которые могут приводить к возникновению расщепления (рис. 2).

С другой стороны явление расщепления связано с неравномерным распределением температуры металла по сечению полосы. В результате этого в металле в верхней и в нижней частях поперечного сечения прокатываемой полосы возникают силы, стремящиеся изогнуть металл в верхней части вокруг верхнего валка, а в нижней части – вокруг нижнего валка. В центральном слое прокатываемой полосы в этом случае возникают напряжения, стремящиеся разделить его на две части по горизонтальной плоскости (рис. 3) и вызвать расщепление. Если на выходящем из валков конце имеются несплошности (усадочная рыхлость, остатки усадочной раковины, следы порезки), снижающие прочность металла, то это еще более способствует расщеплению [1].

Значительная неравномерность температур по сечению полосы также может возникнуть при прокатке в чрезмерно холодных валках [4].

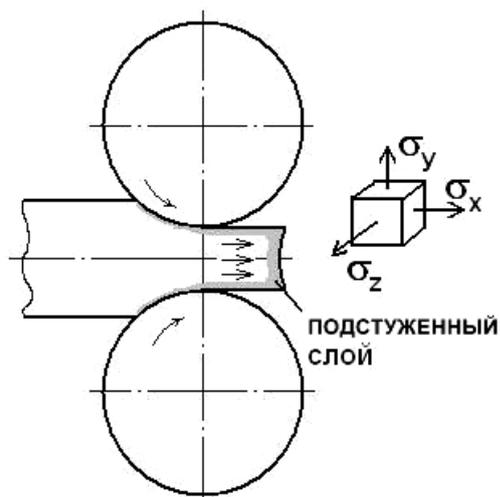


Рис. 2. Схема прокатки раската с подстуженными концами и схема напряженного состояния на торце

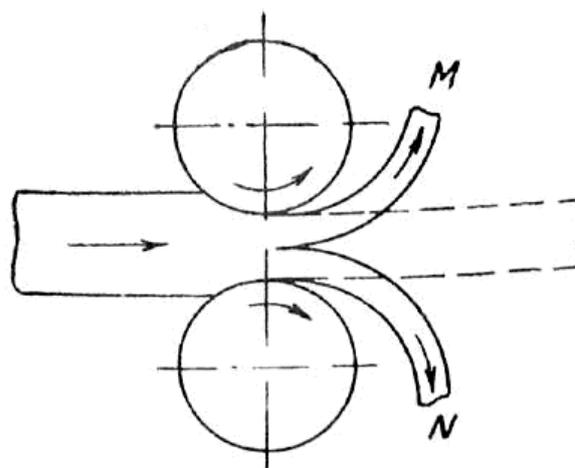


Рис. 3. Схема расщепления переднего конца полосы при более низкой температуре наружных слоев по сравнению с сердцевиной [1]

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 [2].

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 стали X12 и стали 10.

Для математического моделирования процесса прокатки простых профилей использовалась программа Rolling3 (автор Миленин А. А.) [5, 6]. Данный программный продукт не позволяет получить решение задачи прямым путем (расщепление непосредственно не представлено), однако позволяет анализировать напряженное состояние в очаге деформации. На основании этого анализа можно сделать вывод о возможном расщеплении переднего конца раската. Была проведена проверка адекватности модели условиям прокатки в простых калибрах, которая показала достаточную сходимость результатов моделирования и экспериментов [7]. После подготовки исходных данных было проведено пробное моделирование.

При моделировании процесса прокатки были приняты исходные данные, соответствующие условиям прокатки на стане 550 ОАО «Днепроспецсталь»: исходной заготовкой служила квадратная полоса сечением 145 мм. Конечный продукт – круглый профиль диаметром 45 мм. Прокатка производилась в 13-ти калибрах: первые четыре – обжимные (ящичные); шесть калибров по системе ромб-квадрат; два овальных и последний калибр – чистой круглый. Начальная температура прокатки 1055 °С, скорость прокатки во всех типах калибров принималась постоянной 3 м/с.

В процессе моделирования после каждого прохода происходил отбор данных о напряжениях ( $\sigma_x; \sigma_y; \sigma_z$ ) на переднем конце раската по схеме, представленной на рис. 4.

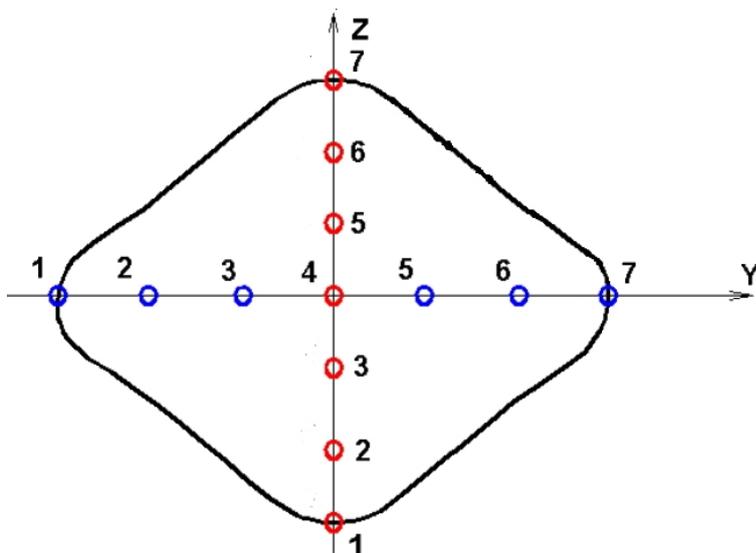


Рис. 4. Схема для отбора данных о напряжениях в образце

Полученные данные, которые приведены ниже, могут быть использованы в качестве оценки для разработки технологии прокатки без разрушения.

В ходе анализа полученных результатов предполагается, что возникновению расщепления способствует наличие растягивающих напряжений. Рассмотрим отдельно проходы, в которых возникают максимальные растягивающие напряжения (рис. 5). Для сравнения здесь же приведены значения напряжений при прокатке по аналогичной схеме стали 10 (не склонной к расщеплению).

В первую очередь следует обратить внимание на то, что максимальные значения растягивающих напряжений для стали X12 примерно в 1,5...3 раза больше, чем для стали 10. Однако характер распределения напряжений в одинаковых калибрах совпадает.

Наибольшее значение имеет напряжение  $\sigma_x$  в вершине первого квадратного калибра. Но, по нашему мнению, наиболее критическим, с позиций расщепления, является второй квадратный калибр (рис. 5), в котором в центральной части переднего торца проката наблюдается площадка растягивающих напряжений  $\sigma_z$  как по вертикальной оси, так и по горизонтальной. А значения напряжений для стали X12 превышают значения напряжений для стали 10 в 2 раза. При этом отношение пределов текучести этих сталей составляет 1,5.

По отношению к пределу текучести напряжения в стали 10 составляют 35 %, а для стали X12 – 54 %. На основании этих данных можно косвенно судить о склонности к разрушению этих сталей.

Более точная оценка полученных данных и их анализ будут проведены в дальнейших исследованиях.

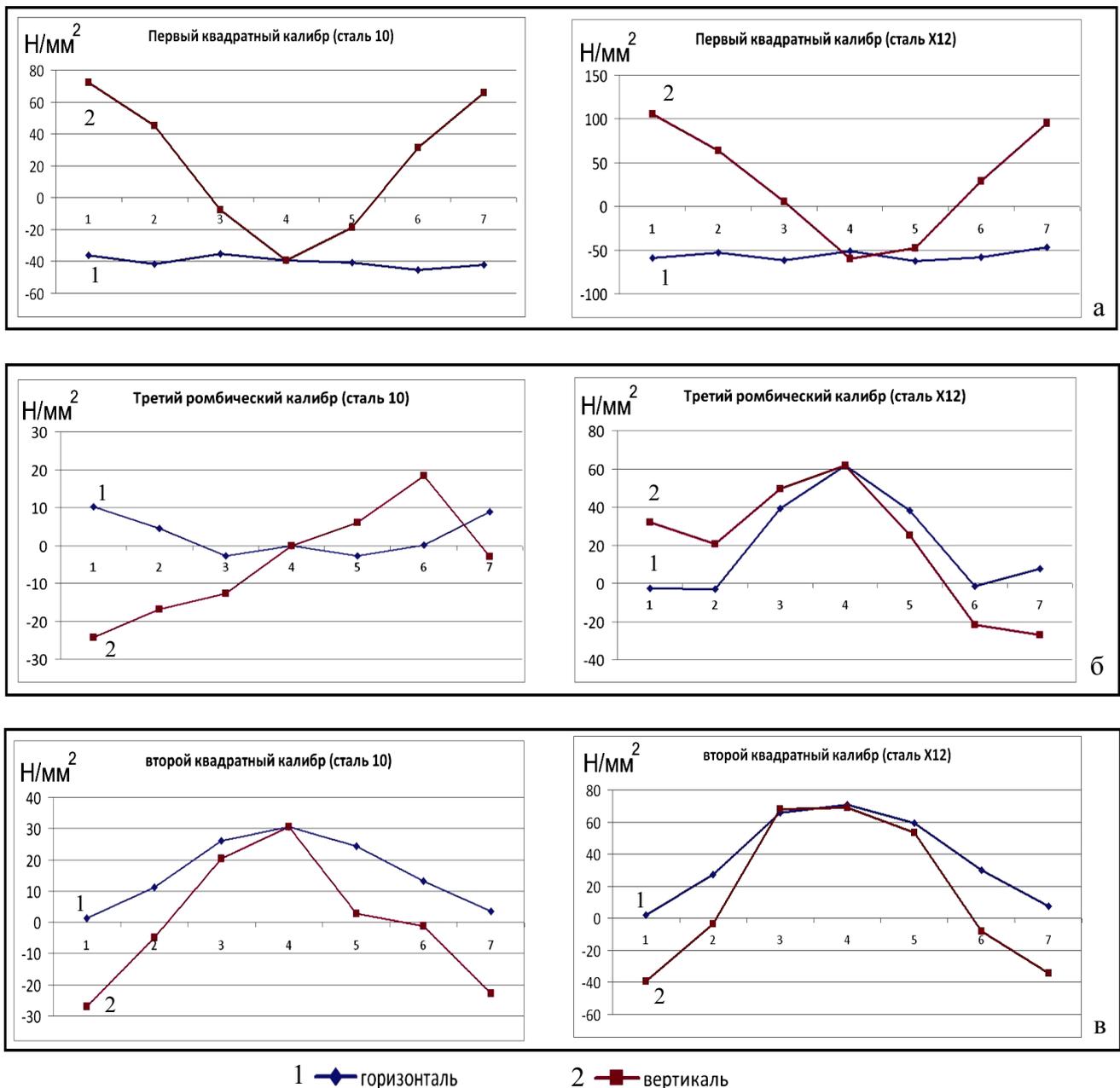


Рис. 5. Сравнительная характеристика напряжений в калибрах:  
а –  $\sigma_x$ ; б –  $\sigma_y$ ; в –  $\sigma_z$

## ВЫВОДЫ

Проведен литературный анализ причин и факторов, при которых возникает явление расщепления переднего конца полосы при прокатке сортовых профилей из специальных марок сталей в калибрах простой формы: неравномерность распределения температур, как по сечению, так и по объему полосы; неравномерность деформации по высоте полосы.

Получены сравнительные данные о напряженном состоянии стали X12 и стали 10 с последующим их сравнением.

Предварительный графический анализ полученных данных показал наличие больших по величине растягивающих напряжений во втором квадратном калибре, в сравнении с остальными типами калибров.

Отношение величины растягивающих напряжений к величине предела текучести составляет 54 %, что по нашему мнению свидетельствует о большой склонности к разрушению.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чижиков Ю. М. Прокатка и ковка высоколегированных сталей / Ю. М. Чижиков. – М : Металлургиздат, 1941.
2. Дзугутов М. Я. Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов / М. Я. Дзугутов. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : «Металлургия», 1977. – 479 с.
3. Павлов И. М. Теория прокатки и основы пластической деформации металлов / И. М. Павлов. – М. : ГОНТИ, 1938.
4. Трофимчук В. Д. Дефекты прокатной стали и меры борьбы с ними / В. Д. Трофимчук. – М. : Металлургиздат, 1954.
5. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. Численные методы / [Данченко В. Н., Миленин А. А., Кузьменко В. И., Гринкевич В. А.]. – Днепропетровск : «Системные технологии», 2005. – 448 с.
6. Миленин А. А. Проблемы разработки и применения трехмерных численных моделей для оптимизации процессов прокатки / А. А. Миленин // Наукові вісті : сучасні проблеми металургії. – Т. 5. – Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ : Системні технології, – 2002. – С. 36–46.
7. Самсоненко А. А. Численное моделирование поверхностных дефектов в процессе прокатки / А. А. Самсоненко, А. А. Миленин, И. К. Огинский, В. Н. Данченко // Удосконалення процесів і обладнання обробки металів тиском у металургії і машинобудуванні : темат. зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА. – 2007. – С. 62–66.

Данченко В. Н. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой НМетАУ;  
Миленин А. А. – д-р техн. наук, проф. ГМА, г. Краков, Польша;  
Ярошенко О. А. – гл. прокатчик ОАО «Днепроспецсталь», г. Запорожье;  
Андреев В. В. – магистрант НМетАУ;  
Самсоненко А. А. – ассистент НМетАУ.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск;

ГМА – Горно-металлургическая академия, г. Краков, Польша.

E-mail: vitalik\_dndz@mail.ru