

УДК 621.777

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

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ПРОКАТКЕ В КАЛИБРАХ ПРОСТОЙ ФОРМЫ

В настоящее время значительно увеличился спрос на сортовой прокат, изготовленный из специальных сталей. Это связано с увеличением в машиностроении доли изготовления ответственных деталей и изделий. К специальным сталям относят стали определенного назначения и качества: качественные конструкционные, инструментальные, высокопрочные, нержавеющие и прочие. Специальные стали содержат легирующие элементы, которые существенно влияют на характер формоизменения металла при пластической деформации. При прокатке нержавеющих сталей ферритного класса с повышенным содержанием хрома и углерода наблюдается склонность к повышенному уширению. Это приводит к снижению коэффициентов вытяжки в калибрах и невозможности получения профилей необходимых размеров [1]. В производственных условиях эта проблема решается увеличением обжатий в калибрах или использованием дополнительных проходов. Однако это приводит к изменению существующей калибровки и снижению производительности.

В литературных источниках рассмотрено несколько объяснений влияния химического состава стали на уширение.

Одним из первых авторов, который рассматривал влияние химического состава стали на уширение при прокатке, был Чижиков Ю. М. Уширение при горячей прокатке связано со структурой стали. Оно увеличивается с повышением степени легирования аустенита. Исключение составляет быстрорежущая сталь. Наименьшее уширение имеют стали с нелегированным аустенитом, наибольшее стали с высоколегированным аустенитом. При наличии в стали избыточной фазы (феррит, ледебурит), нерастворимой при температурах прокатки, уширение уменьшается. У ферритных сталей почти такое же высокое уширение, как и у высоколегированных аустенитных сталей [2]. Однако в своих исследованиях Чижиков Ю. М. использовал клиновидные образцы, что могло оказывать влияние на характер формоизменения.

Некоторые авторы связывают повышенное уширение с условиями трения на контактной поверхности: от химического состава металла зависит состав окалина и ее свойства, т. е. коэффициент трения и, как следствие, уширение. Влияние химического состава на коэффициент трения в условиях горячей прокатки тесно связано с влиянием состава и свойств окалины на контактной поверхности. Было установлено, что при прокатке углеродистых сталей коэффициент трения несколько уменьшается с повышением содержания углерода в стали. Это объясняется изменением свойств окалины и ростом давления. Существенное значение при этом имеет то обстоятельство, что с увеличением содержания углерода в стали ослабевают силы молекулярного притяжения между металлическими поверхностями. Сказанное подтверждается тем фактом, что при прокатке нержавеющих сталей (типа X18N9T, X17, X20N20V3T2 и др.), склонных к налипанию, коэффициент трения в 1,3–1,5 раза выше, чем при прокатке углеродистых сталей [3].

Целью работы является исследование влияния химического состава стали на формоизменение металла при прокатке в сортовых калибрах простой формы с помощью компьютерного моделирования.

Для исследования уширения была использована программа компьютерного моделирования процессов обработки металлов давлением Rolling 3 (разработчик Миленин А. А.) [4]. Дополнительно к ранее проведенным исследованиям [5, 6] было проведено компьютерное

моделирование прокатки свинцовой заготовки в овальном калибре с целью определения влияния условий контактного трения на уширение. В качестве экспериментальных данных были взяты исследования, которые проводились Э. Зибелем (рис. 1, 1) [3].

Моделирование проводилось для таких условий: материал заготовки свинец, температура прокатки 20 °С, отношение ширины калибра к высоте 4,2, заготовка сечением 20 × 20 мм, скорость прокатки 0,1 м/с, диаметр валков 200 мм, зазор между валками составляет 1 мм. Результаты моделирования представлены на рис. 1.

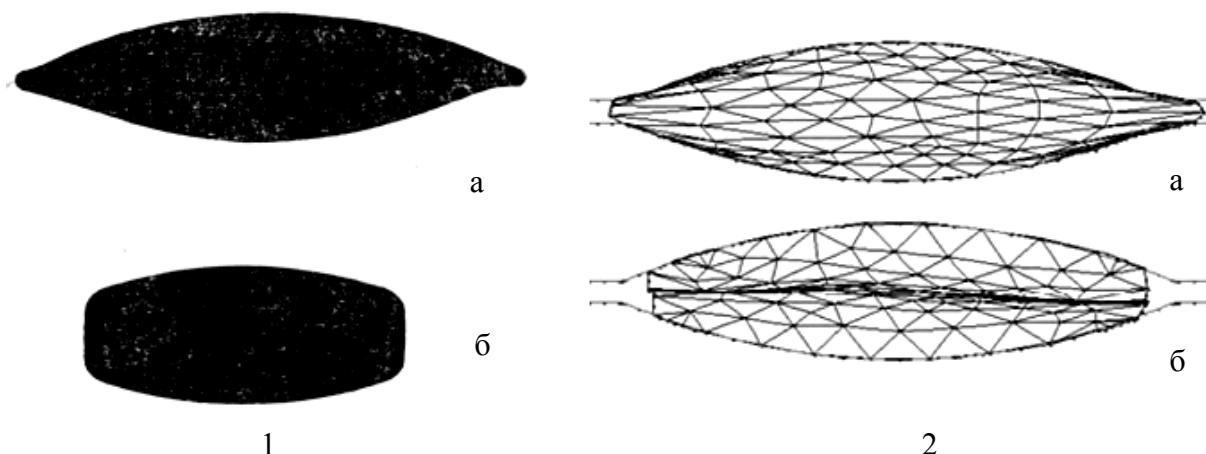


Рис. 1. Заполнение овального калибра при прокатке свинцовых полос сечением 20 × 20 мм:

1 – по данным Э. Зибеля; 2 – при компьютерном моделировании; а – валки с шероховатой поверхностью; б – валки с гладкой поверхностью

Сравнение результатов моделирования и экспериментальных данных подтверждает возможность использования Rolling 3 для исследования уширения при прокатке в сортовых калибрах простой формы.

Для определения закономерности изменения уширения по проходам в условиях производства было проведено моделирование прокатки круга Ø 45 из сталей X12 и 12X25T, с начальным размером заготовки 145 × 145 мм, температурой начала прокатки 1150 °С, скоростью прокатки, равной 3 м/с, по калибровке стана 550 ОАО «Днепропетцсталь». Схема калибровки представлена на рис. 2.

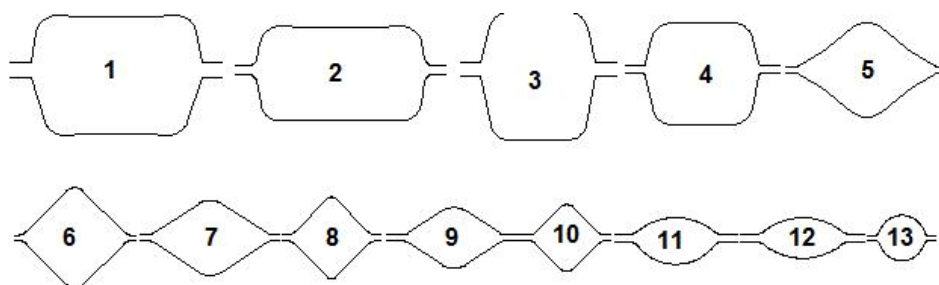


Рис. 2. Схема калибровки валков стана 550 ОАО «Днепропетцсталь»

Для учета влияния свойств окалины на уширение при прокатке, был рассчитан коэффициент трения, который учитывает химический состав стали [7]:

$$f = f_0 \cdot k_g \cdot k_t \cdot k_m \cdot k_v \cdot k_e \cdot k_{cm} \cdot k_{ok}, \quad (1)$$

где  $f_0$  – базовый коэффициент трения, полученный на основании промышленных исследований;

$k_g, k_t, k_m, k_v, k_e, k_{cm}, k_{ok}$  – поправочные коэффициенты, учитывающие соответственно влияние состояния поверхности валков, твердости валков, материала полосы, окружной скорости валков, относительного обжатия, типа технологической смазки, состояния окалины на поверхности полосы.

Результаты моделирования программы по прокатанным маркам стали и рассчитанный коэффициент трения приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Показатели деформации при прокатке двух марок стали 12Х25Т и Х12

12Х25Т								
калибр	$b_0$	$h_0$	$b_1$	$h_1$	$\lambda$	$\Delta b/\Delta h$	$\varepsilon$	$f$
1) ящичный	145	145	151,8	116	1,2	0,23	20	0,431
2) ящичный	151,8	116	158	92	1,21	0,26	20,69	0,443
3) ящичный	92	158	96,1	127	1,19	0,13	19,62	0,449
4) ящичный	96,1	127	101,68	100	1,22	0,21	21,26	0,457
5) ромбический	125,62	125,62	132,58	93,17	1,38	0,21	25,83	0,465
6) квадратный	93,17	132,58	96	99	1,23	0,08	25,33	0,472
7) ромбический	96	99	103,5	73,6	1,17	0,20	23,33	0,477
8) квадратный	73,6	103,5	79,66	81	1,37	0,27	21,74	0,482
9) ромбический	79,66	81	83,74	60	1,12	0,19	25,93	0,487
10) квадратный	60	83,74	66,2	66,02	1,23	0,35	21,16	0,493
11) овальный	51,95	51,96	56	45,8	1,15	0,66	11,86	0,497
12) овальный	56	45,8	58,9	39,85	1,11	0,49	12,99	0,5
13) круглый	39,85	58,99	47	45	1,29	0,51	23,72	0,505
Х12								
калибр	$b_0$	$h_0$	$b_1$	$h_1$	$\lambda$	$\Delta b/\Delta h$	$\varepsilon$	$f$
1) ящичный	145	145	150	116	1,21	0,17	20	0,288
2) ящичный	150	116	154,8	92	1,22	0,20	20,69	0,295
3) ящичный	92	154,8	94,904	127	1,19	0,10	17,96	0,3
4) ящичный	94,9	127	99,04	100	1,22	0,15	21,26	0,305
5) ромбический	125,81	125,82	128,97	93,17	1,37	0,10	25,95	0,31
6) квадратный	93,17	128,97	95,47	99	1,23	0,08	23,24	0,315
7) ромбический	95,47	99	99,49	73,6	1,19	0,16	25,66	0,318
8) квадратный	73,6	99,49	77,22	81	1,36	0,20	18,58	0,322
9) ромбический	77,22	81	79,42	60	1,12	0,10	25,93	0,325
10) квадратный	60	79,42	62,42	66,02	1,23	0,18	16,87	0,328
11) овальный	51,96	51,97	55,15	45,8	1,16	0,52	11,87	0,332
12) овальный	55,15	45,8	57,75	39,85	1,11	0,44	12,99	0,334
13) круглый	39,85	57,75	45	45	1,28	0,40	22,08	0,337

Зависимость показателя уширения  $\left(\frac{\Delta b}{\Delta h}\right)$  по проходам для двух марок стали 12Х25Т и Х12 приведена на рис. 3.

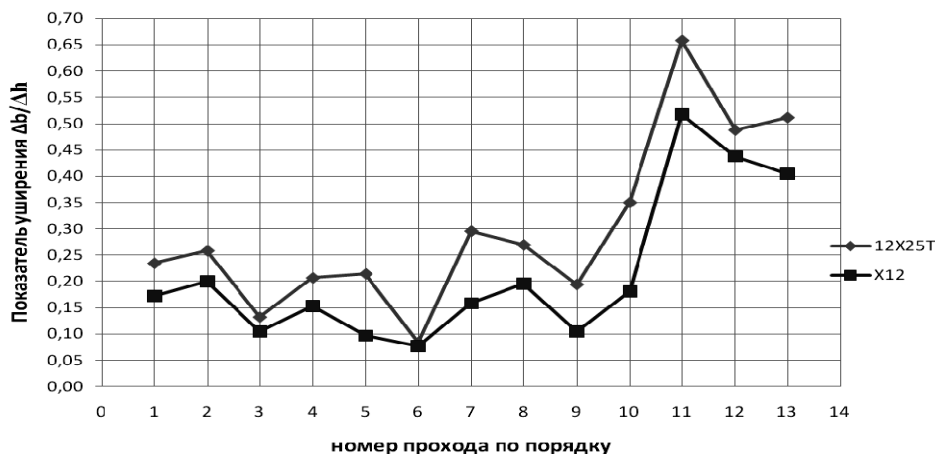


Рис. 3. Распределение показателя уширения  $\left(\frac{\Delta b}{\Delta h}\right)$  по проходам

Представленная диаграмма распределения показателя уширения по проходам показывает, что сталь 12X25T уширяется значительно больше, чем сталь X12, наибольший скачок показателя уширения проявляется в 11 овальном калибре. Это связано с изменением условий деформации, а именно с изменением формы калибра. Также значительные отличия показателя уширения имеют место в 5, 7, 9 и 10 проходах. На рис. 4 представлена диаграмма изменения абсолютного уширения по проходам для сталей 12X25T и X12.

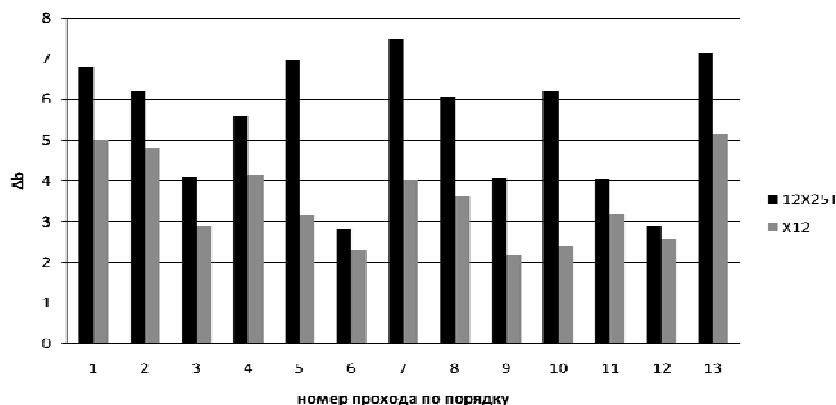


Рис. 4. Изменение абсолютного уширения по проходам для сталей 12X25T и X12

Из этого графика видно, что наибольшая разница абсолютного уширения наблюдается в пятом (ромбическом) калибре. Рассмотрим напряжения в этом калибре. Ниже представлены сечения заготовок на выходе из очага деформации, с распределением продольных ( $\sigma_x$ ) и поперечных ( $\sigma_y$ ) напряжений (рис. 5 и 6 соответственно).

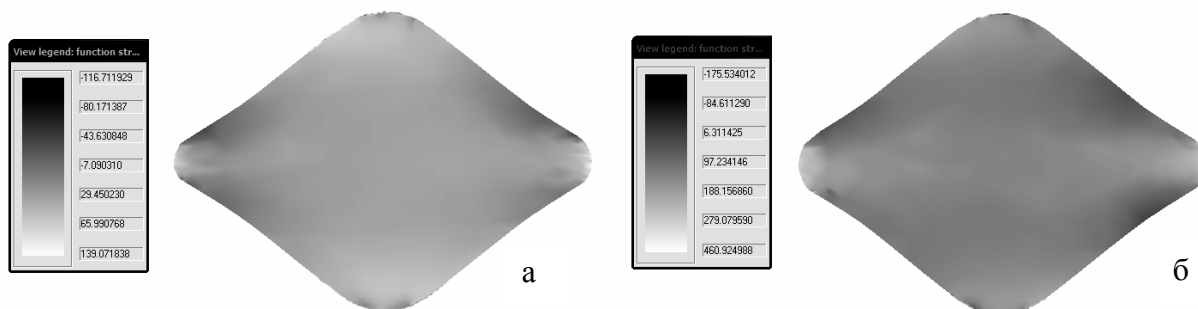


Рис. 5. Распределение продольных напряжений  $\sigma_x$  заготовки на выходе из очага деформации для стали 12X25T (а) и для стали X12 (б) в пятом калибре

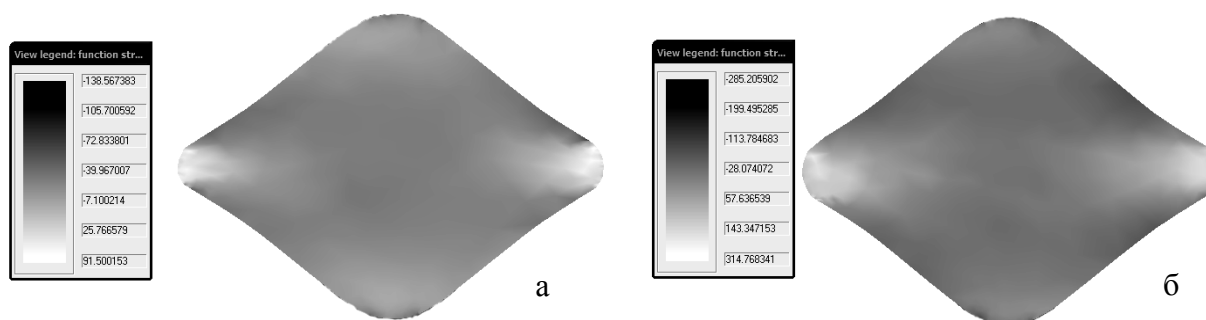


Рис. 6. Распределение поперечных напряжений  $\sigma_y$  заготовки на выходе из очага деформации для стали 12X25Т (а) и для стали X12 (б) в пятом калибре

Анализ значений напряжений показывает, что напряжения  $\sigma_y$  и  $\sigma_x$  при прокатке стали 12X25Т незначительно отличаются, следовательно, течение металла в этих направлениях одинаково. А для стали X12 разница этих напряжений значительна и, соответственно, течение металла в продольном направлении преобладает.

### ВЫВОДЫ

Анализ литературных источников показал, что химический состав стали оказывает влияние на уширение при прокатке через следующие факторы: содержание углерода в сталях, увеличение степени легирования аустенитом, состав окалины и её свойства. Однако степень влияния этих факторов не определена.

Наибольшая разница в уширении стали при компьютерном моделировании прокатки в условиях завода «Днепроспецсталь» проявляется в пятом (ромбическом) и в десятом (квадратном) калибре.

Анализ напряжений показал, что соотношение продольных и поперечных напряжений для стали 12X25Т меньше, чем для стали X12.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдштейн М. И. Специальные стали / М. И. Гольдштейн, С. В. Грачев, Ю. Г. Векслер. – М. : Металлургия, 1985. – 408 с.
2. Чижигов Ю. М. Влияние состава стали на уширение при прокатке / Ю. М. Чижигов // Сталь. – 1945. – № 11–12. – С. 402–412.
3. Грудев А. П. Внешнее трение при прокатке / А. П. Грудев. – М. : Metallurgy, 1973. – 288 с.
4. Миленин А. А. Проблемы разработки и применения трехмерных численных моделей для оптимизации процессов прокатки / Миленин А. А. // Наукові вісті : сучасні проблеми металургії. – Т. 5. – Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ : Системні технології, 2002. – С. 36–46.
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. Самсоненко А. А. Численное моделирование трансформации поверхностных дефектов в процессе прокатки / А. А. Самсоненко, А. А. Миленин, И. К. Огинский, В. Н. Данченко // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні : тематич. зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА. – 2007. – С. 62–66.
7. Николаев В. А. Расчет усилия при горячей прокатке / В. А. Николаев // Известия вузов черной металлургии. – 2005. – № 11. – С. 24–29.

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

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск;  
 ГМА – Горно-металлургическая академия, г. Краков, Польша.

E-mail: alik\_r@i.ua