

<sup>1</sup> Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Беларусь<sup>2</sup> Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр, Украина**ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ РАЗВАЛКИ РУЧЬЯ КАЛИБРА И ВЕЛИЧИНЫ ПРУЖИНЫ КЛЕТИ СТАНА ХПТ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЖАТИЯ ПО ТОЛЩИНЕ СТЕНКИ МЕЖДУ ПРЯМЫМ И ОБРАТНЫМ ХОДАМИ КЛЕТИ**

**Вступление.** Интенсификация процесса холодной пильгерной прокатки, широкое применение интенсивных режимов деформации, возможность вести процесс ХПТ с подачей и поворотом в обоих положениях клетки, вести процесс на высоких числах двойных ходов требуют более точных расчетов силовых параметров процесса ХПТ [1-5]. При этом необходимо обеспечить все время повышающиеся требования к качественным характеристикам труб, среди которых такие, как заранее заданные, предсказуемые свойства металла готовых труб [1], его микроструктура и пр. [2-4]. Точность расчетов силовых параметров зависит от точности определения деформационных [4-6], таких как величина обжатия металла по толщине стенки вдоль конуса деформации. Данная величина является определяющей при расчёте обжатия в мгновенном очаге деформации, от которой зависит точность расчётов энергосиловых параметров процесса.

**Цель статьи.** Анализ существующего метода расчёта величины обжатий по толщине стенки вдоль конуса деформации, а также исследование влияние величины развалки ручья калибра и величины пружины клетки стана ХПТ на распределение обжатия между прямым и обратным ходами клетки [5-8].

**Анализ исследований.** Для расчета величины обжатия по толщине стенки трубы вдоль конуса деформации за двойной ход пильгерной прокатки могут использоваться две формулы [5]:

– формула Я. Е. Осады:

$$\Delta S_{\Sigma} = \sqrt{S_x^2 + 2 \cdot \frac{mS_3(S_3 - D_3)}{D_x - S_x} (\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha)} - S_x; \quad (1)$$

– формула Б. М. Рогова [5]

$$\Delta S_{\Sigma} = m\mu_{\Sigma x} (\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha) \quad (2)$$

где  $\mu_{\Sigma x} = F_3 / F_x$ ;  $\operatorname{tg} \gamma = \frac{D_{x-1} - D_x}{2L_{x-1 \div x}}$  и  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{d_{x-1} - d_x}{2L_{x-1 \div x}}$  – конусность развертки калибра и оправки на участке.

Распределение обжатия вдоль конуса деформации между прямым и обратным ходами осуществляется с помощью эмпирического коэффициента  $K_t = 0,3 \dots 0,4$  [5]:

$$\Delta S_{\text{пр}} = \Delta S_{\Sigma} (1 - K_t); \quad (3)$$

$$\Delta S_{\text{обр}} = \Delta S_{\Sigma} K_t. \quad (4)$$

Согласно результатам экспериментальных исследований [5] определено, что деформируемая во время обратного хода клетки часть металла может колебаться в пределах 20–45 % (рис. 1), а в некоторых случаях доходить до 50 %. Причем до 85 % металла, который остался не деформированным после рабочего хода клетки (рис. 2) припадает

на ту часть металла, которая не деформируется из-за наличия упругой деформации клетки [5, 10]. Исходя из этого, кроме изменения геометрических параметров ручья калибра (величины и угла развалки), на распределение величины обжатия между ходами клетки оказывают влияние все факторы процесса ХПТ, влияющие на величину пружины клетки в каждом сечении конуса.

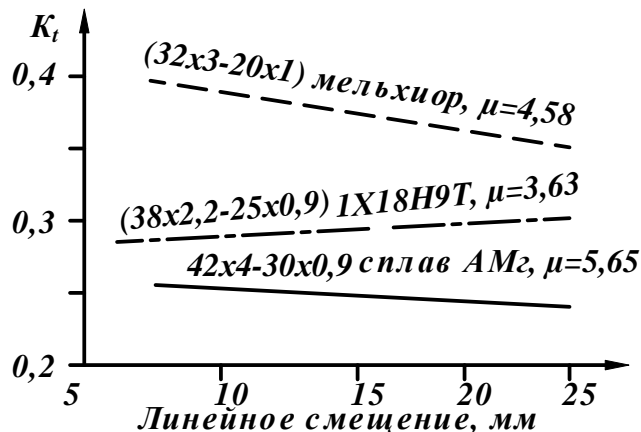
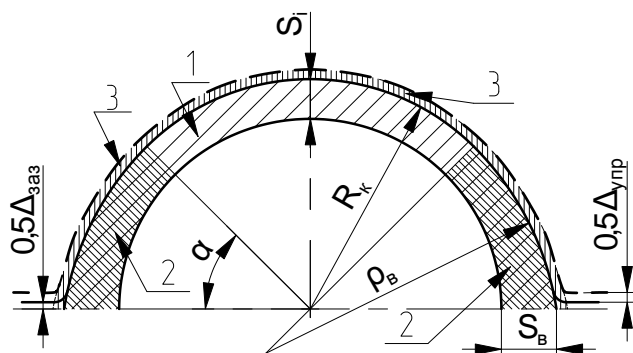


Рисунок 1 – Изменение коэффициента  $K_i$  в зависимости от параметров процесса ХПТ [5]



- 1 – часть металла с толщиной стенки согласно калибровке;
- 2 – часть металла с утолщенной стенкой в выпусках калибра;
- 3 – часть, оставшаяся не деформированной из-за наличия упругих деформаций клетки ( $0,5\Delta_{\text{упр}}$ )

Рисунок 2 – Схема к определению не деформированной части металла в произвольном сечении конуса деформации после рабочего хода стана ХПТ

С целью учета влияния выше перечисленных факторов на распределение величины  $\Delta S_{\Sigma}$  между ходами клетки, предложено рассчитывать величину обжатия по толщине стенки после прямого хода клетки по формуле [9]:

$$\Delta S_{\text{пр.х}} = \frac{m \cdot \pi (D_3 - S_3) S_3 \cdot (\text{tg} \gamma - \text{tg} \alpha)}{4 \left( \frac{0,5\pi - \alpha}{2} (R_{\text{тр.х}}^2 - R_{\text{оп.х}}^2) + 0,5 \arcsin \left( \frac{0,5B \cdot \sin(\pi - \alpha)}{\rho_B} \right) (\rho_B^2 - (\rho_B - S_B)^2) \right) + \pi \cdot (D_i + \Delta_{\text{упр.х}}) \Delta_{\text{упр}}}, \quad (5)$$

где  $\Delta S_{упр}$  – величина упругих деформаций при прямом ходе [5];  $S_B$  – толщина стенки в выпусках;  $\alpha$  – угол выпуска в радианах;  $R_{тр.х}$  и  $R_{оп.х}$  – радиус трубы и оправки в сечении конуса согласно калибровке;  $\rho$  – радиус выпуска калибра;  $B$  – ширина калибра.

**Выделение не решенного.** Величина  $\Delta S_{обр}$  рассчитывается из разницы величин  $\Delta S_{\Sigma}$  и  $\Delta S_{пр}$ . С помощью зависимости (5) можно (с большой степенью точности) определить, в какой мере изменение параметров развалки или изменение величины пружины клетки влияют на распределение обжатия за двойной ход клетки  $\Delta S_{\Sigma}$  между прямым и обратным ходами, таким образом уточнив степень важности учета этих параметров.

**Основной материал.** В процессе ХПТ (рис. 3), при ведении процесса классическим способом подача металла осуществляется перед прямым ходом, а после поворота трубы перед обратным совершается обжатие той части металла, которая осталась не деформированной после прямого хода. В данном случае, после прямого хода клетки в поперечном сечении трубы можно выделить зону вершины калибра (рис. 3, а), и зону выпусков. Площадь поперечного сечения трубы в вершинной части калибра ( $F_{вер}$ , см. рис. 2) увеличивается (в соотношении с площадью согласно калибровке) за счет наличия упругих деформаций клетки (см. рис. 2,  $\Delta S_{упр}$ ).

Площадь поперечного сечения трубы в зоне выпусков ( $F_{вып}$ ) увеличивается (относительно кольцевой составляющей, согласно калибровке) не только за счет наличия упругой деформации клетки, но и за счет наличия выпусков ( $S_B$  см. рис. 2 и 3). Таким образом, упругая деформация увеличивает не деформированную часть трубы, как в вершинной части калибра, так и в районе выпусков. После обратного хода (холостого) площадь трубы (в первом приближении) можно считать кольцевидной, с толщиной стенки равной толщине стенки согласно калибровке для этого сечения (рис. 3, б). Ведение процесса с подачей и поворотом в обоих положениях клетки усложняет процесс (рис. 3 в, г), так как оба хода являются рабочими.

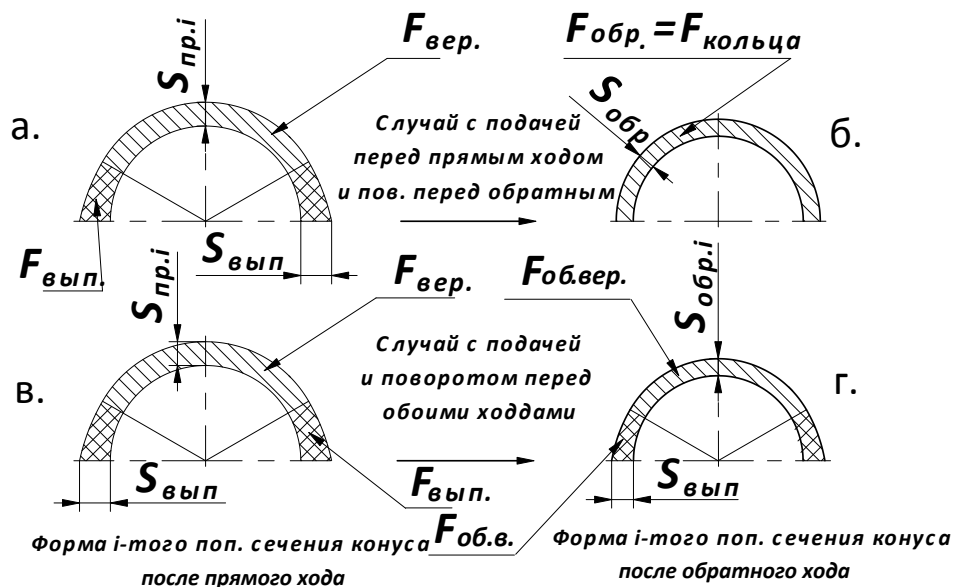


Рисунок 4 – Схема изменения формы поперечного сечения трубы при ведении процесса ХПТ различным способом

Для анализа степени влияния параметров развалки или изменение величины пружины клетки на распределение  $\Delta S_{\Sigma}$  между прямым и обратным ходами выбран маршрут прокатки труб 50,8×4,75 — 38,1×2,3, стан ХПТ-55. Рассчитана калибровка, рассчитаны все деформационные и силовые параметры (по данной калибровке изготовлен деформационный инструмент и прокатана промышленная партия труб).

Степень влияния величины развалки на распределение  $\Delta S_{\Sigma}$  между прямым и обратным ходами определялась следующим образом (величина пружины клетки при изменении величины развалки оставалась стандартной, согласно расчетов [5]):

– рассчитана величина  $\Delta S_{пр}$  (5) при стандартной для данного маршрута величине развалки [5-7];

– величина развалки во всех сечениях увеличена на 50 и на 100 %, рассчитаны величины  $\Delta S_{пр}$  для каждого случая (5);

– величина развалки во всех сечениях уменьшено на 50, рассчитана величина  $\Delta S_{пр}$  для этого случая (5).

– из полученных данных произведен анализ, на сколько процентов изменяется  $\Delta S_{пр}$ , относительно значений этой величины при стандартной величине развалки (рис. 5).

Как видно из графиков (рис. 5), изменение величины развалки в диапазоне от -50 % до +100 % от ее стандартной величины [5] изменение величины обжатия за прямой ход от +1,39 %  $\Delta S_{пр}$  до -2,99 %  $\Delta S_{пр}$  (максимум). При увеличении развалки величина  $\Delta S_{пр}$  уменьшается, таким образом увеличивая величину  $\Delta S_{обр}$  и наоборот, но величина этих изменений незначительна.

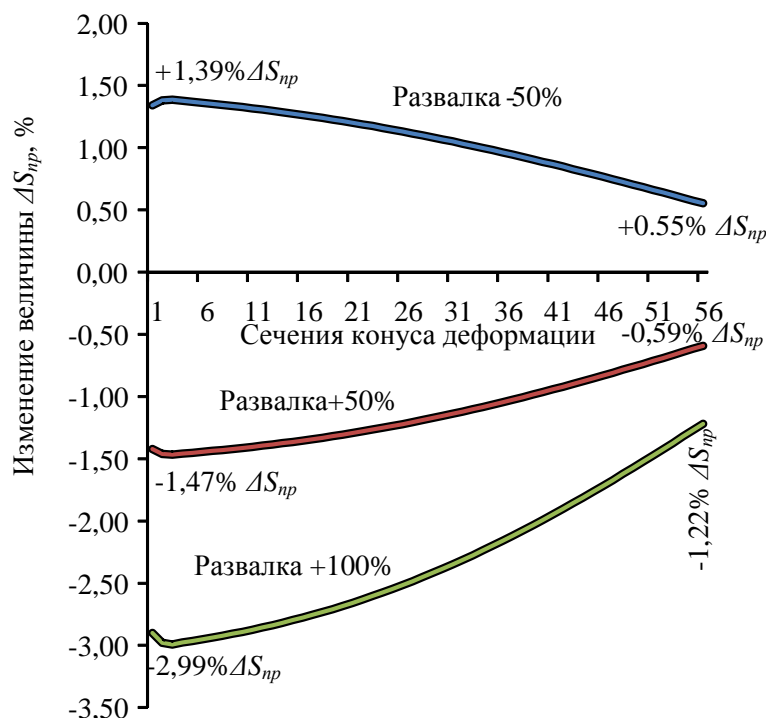


Рисунок 5 – Влияния величина развалки на величину обжатия по толщине стенки вдоль конуса деформации при прямом ходе клетки ( $\Delta S_{пр}$ )

Степень влияния величины упругих деформаций клетки на распределение  $\Delta S_{\Sigma}$  между прямым и обратным ходами определялась следующим образом (величина развалки во всех случаях оставалась стандартной для данного случая прокатки [5]):

– рассчитана величина  $\Delta S_{пр}$  (5) при стандартной для данного маршрута величине пружины клетки  $\Delta_{упр}$  [5];

– величина  $\Delta_{упр}$  во всех сечениях увеличена на 10, 50 и на 100 %, рассчитаны величины  $\Delta S_{пр}$  для каждого случая (5);

– величина  $\Delta_{упр}$  во всех сечениях уменьшена на 10, 50 и на 90 %, рассчитаны величины  $\Delta S_{пр}$  для каждого случая (5);

– из полученных данных произведен анализ, на сколько процентов изменяется  $\Delta S_{пр}$ , относительно значений этой величины при стандартной величине  $\Delta_{упр}$  (рис. 6).

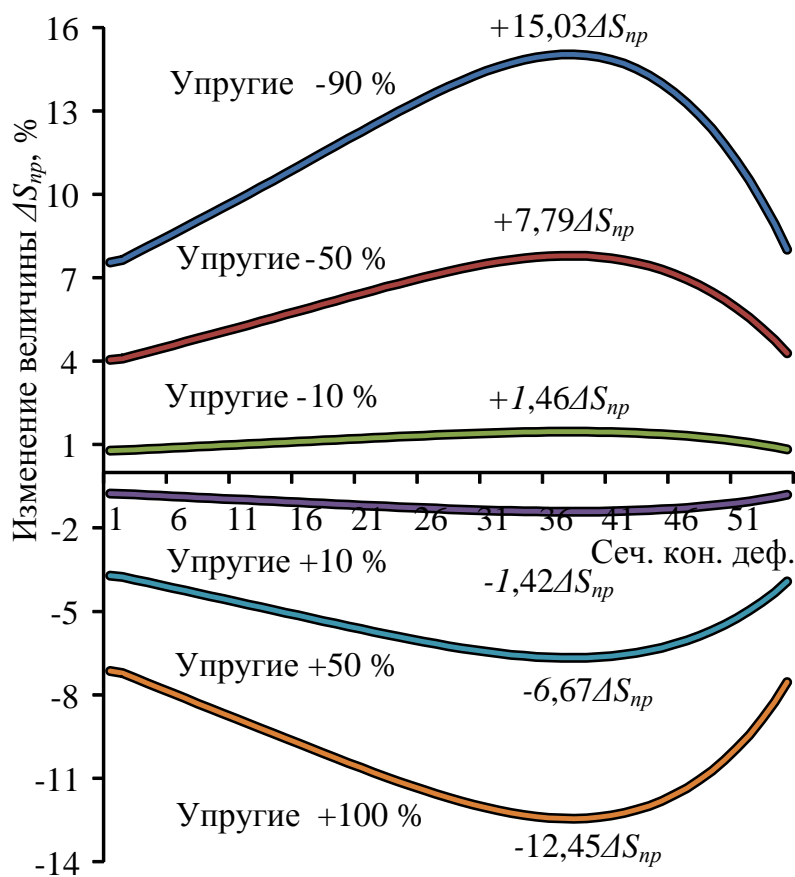


Рисунок 6 – Влияния  $\Delta_{упр}$  на величину  $\Delta S_{пр}$

Изменение величины пружины клетки от +100 до –90 % ведет к изменению величины  $\Delta S_{пр}$  от –12,45 %  $\Delta S_{пр}$  до +15,03 %  $\Delta S_{пр}$  (максимум). При уменьшении величины упругих деформаций величина  $\Delta S_{пр}$  растет, а при увеличении уменьшается. Причем наблюдается значительное влияние величины упругих деформаций на распределение величины обжатия между прямым и обратным ходами клетки и игнорировать это влияние при моделировании процесса приводит к значительному искажению полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Frolov Ya.V. Prediction of Changes in the Mechanical Properties of the Metal at Cold Pilger Rolling / Ya. V. Frolov, V. N. Danchenko // Metallurgical and Mining Industry, Vol. 3. – 2011. – № 7. – P. 39–44.
2. Houghthon A. C. Aspects of texture control with TI-3Al-2.5V seamless cold worked aircraft hydraulic tube / A. C. Houghthon, A. W. Bowen // Ironmaking and Steel making. – 1995. – № 1. – P. 68 –70.
3. SAE AMS 4945A – 1992 «Titanium Alloy Tubing, Seamless, Hydraulic, 3Al – 2.5V, Controlled Contractile Strain Ratio, Cold Worked, Stress Relieved».
4. Balakin V. F. Influence of the parameters of the process of the cold pilger tube rolling on the Q-factor distribution along the cone of deformation / V. F. Balakin, S. V. Pilipenko // Itatube-journal. – 2016. – № 1. – P. 94–97.
5. Шевакин Ю. Ф. Калибровка и усилия при холодной прокатке труб / Ю. Ф. Шевакин. – М. : Metallurgizdat, 1963. – 269 с.
6. Емельяненко П. Т. Теория кривой и пилигримовой прокатки / П. Т. Емельяненко. – М. : Metallurgizdat, 1949. – 491 с.
7. Орро П. И. Производство стальных тонкостенных труб : [Монография] / П. И. Орро, Я. Е. Осада. – М. : Харьков : Metallurgizdat, 1951. – 416 с.
8. Попов В. М. Совершенствование процесса периодической прокатки труб / Попов В. М., Атанасов С. В., Беликов Ю. М. – Днепропетровск : Дива, 2008. – 191 с.
9. Пилипенко С. В. Метод расчета величины обжатий по толщине стенки вдоль конуса деформации станов холодной пильгерной прокатки труб : [Электронный ресурс] Metaljournal. 2015. 21 сентября. URL: <http://www.metaljournal.com.ua/calculation-method-of-thickness-reduction-value-along-the-cone-of-deformation-of-cold-pilger-pipe-rolling-mills/> (дата обращения: 09.10.2017).
10. Neumann W. Das Kaltpilgern von Rohren / W. Neumann, Sibel E. // Stahl u. Eisen – 1951. – Bd. 74. – P. 434–445.

УДК 621.771

ПОДКОРЫТОВ А. Л., ген. директор  
СЕМИОН И. Ю.,  
ЧУДНОВЕЦ А. Н., сов. ген. директора  
ОРОБЦЕВ А. Ю., нач. тех. управления

ПАО «Днепропетровский меткомбинат», г. Каменское, Украина

**129 ЛЕТ ДМК – ГОДЫ ТРУДОВЫХ СВЕРШЕНИЙ**

В марте 2018 года исполнилось 129 лет со дня пуска Днепропетровского металлургического комбината. Трудовой путь всемирно известного предприятия, расположенного в городе Каменское Днепропетровской области, отмечен уникальными производственно-технологическими решениями, новациями в переработке сырья, производстве сталелитейной и прокатной продукции, а также немалым количеством престижных наград. Вот лишь несколько ярких примеров из солидного наградного списка: продукция завода, построенного в 1889 году Южно-Русским Днепропетровским металлургическим обществом, была отмечена Большой золотой медалью в том же году на Всемирной промышленной выставке в Париже; в конце 1940 года заводу присвоено почётное звание лучшего металлургического в СССР; 2 февраля 1966 года коллектив металлургов за досрочное выполнение семилетнего плана награждён орденом Ленина, десятки инженеров и рабо-