

УДК 621.77

*М.В. Ерпалов, Д.Ш. Нухов, А.А. Богатов*

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург)

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ УТЯЖИНЫ НА ЗАДНЕМ КОНЦЕ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПРОШИВКЕ

**Аннотация.** В связи с использованием непрерывнолитой заготовки в линии трубопрокатного агрегата целесообразно осуществлять обжатие заготовки перед прошивкой, добиваясь повышения качества структуры и технологических свойств стали. Для этой цели на ТПА-80 ОАО «Синарский трубный завод» был установлен трехвалковый стан винтовой прокатки для обжатия заготовок. При освоении нового технологического процесса была выявлена проблема возрастания брака труб по вмятинам, причиной появления которых является образование утяжины на заднем конце заготовки при обжатии и последующем образовании полуколец при прошивке, их отрывом и попаданием в очаг деформации. Рассмотрены причины образования вмятин на трубах при прокатке. Приведены результаты математического моделирования процесса прошивки заготовок на прошивном стане винтовой прокатки, дана рекомендация по снижению образования поверхностных дефектов на трубах при прокатке на ТПА-80 с обжимным станом.

**Ключевые слова:** заготовка, прошивка, трубопрокатный агрегат, очаг деформации.

## THEORETICAL STUDY OF SHAPE CHANGES OF THE SINK MARK ON THE BACK END OF THE MATERIAL BLANK DURING BROACHING

**Abstract.** In connection with the use of an uninterruptedly-casted blank in the line of a pipe-rolling plant it is appropriate to carry out blank cobbing before broaching achieving increase of the structure quality and technological properties of steel. For this goal on the TPA-80 LLC Sinarskiy Trubniy Zavod a three-high unit of screw rolling for blank cobbing was installed. In a new technological process there was a problem of defects increase due to compression marks caused by formation of a the sink mark on the back end of the material blank during cobbing and subsequent formation of semirings during broaching, their detachment to the deformation zone. The causes of sink marks formation on the pipes and rolling are investigated. The results of mathematical simulation of the process of blanks broaching on the piercing mill of screw rolling are given, recommendation for reduction of surface defects formation on the pipes during rolling on TPA-80 with cogging mill is provided.

**Keywords:** blank, during broaching, pipe-rolling plant, deformation zone.

Одной из актуальных проблем производства горячедеформированных труб является применение непрерывнолитой заготовки. На трубопрокатном агрегате ТПА-80 ОАО «Синарский трубный завод» (СинТЗ) с этой целью установлена трехвалковая обжимная клеть. После применения операции обжатия непрерывнолитых заготовок с diam. 150 (156) мм на круг 120 мм производительность трубопрокатного агрегата возросла на 15 %, а себестоимость труб снизилась на 10 %<sup>1</sup>. Однако при освоении обжимного стана на ТПА-80 увеличился брак по вмятинам на поверхности готовых труб (рис. 1). Причиной появления этих дефектов является образование утяжины (рис. 2, а) на заднем конце заготовки при обжатии и разрушение металла в виде полуколец при прошивке (рис. 2, б). Частицы металла, попадая на поверхность труб, оставляют следы в виде недопустимых дефектов.

По результатам физического и математического моделирования на СинТЗ был сделан вывод о том, что на глубину утяжины в наибольшей степени оказывает влияние форма конца заготовки. Прокатка заготовки с профилированным задним концом обеспечила уменьшение глубины утяжины на 62 %. Для профилирования конца заготовки перед обжимным станом был разработан но-

вый способ резки (см. сноску). Освоение нового метода способствовало уменьшению брака труб по вмятинам. Однако отсутствие результатов исследования формоиз-



Рис. 1. Вмятина на поверхности готовой трубы

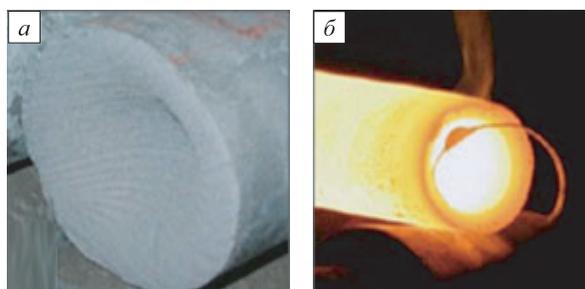


Рис. 2. Образование утяжины на заготовке (а) и полукольца на гильзе (б)

<sup>1</sup> Овчиников Д.В., Богатов А.А., Ерпалов М.В. // Черные металлы. 2012. № 3. С. 18 – 21.

менения профилированного конца заготовки при прошивке затрудняет определение оптимальных режимов новой технологии.

В настоящей работе были поставлены задачи исследования и изменения формы утяжины на заднем конце заготовки при прошивке, а также математического моделирования с применением метода конечных элементов при использовании программного комплекса DEFORM-3D v10.0. Геометрические модели валков, линеек и оправки были созданы с помощью программы SolidWorks. Заготовка, проводки и толкатель были построены средствами самой программы DEFORM-3D. Позиционирование валков производилось в зависимости от углов подачи  $\beta = 12^\circ$  и раскатки  $\delta = 8^\circ$ . Сведение валков обеспечило получение диаметра заготовки 120 мм на выходе из прошивного стана. Температуры нагрева заготовок принята равной  $1180^\circ\text{C}$ , инструмента –  $150^\circ\text{C}$ , окружающей среды (воздуха) –  $20^\circ\text{C}$ . Граничные условия для температурной задачи сформулированы как граничные условия третьего рода: тепловой поток равен  $q = \alpha_i \Delta\theta$ , где  $\alpha_i$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м·К);  $\Delta\theta$  – разность температур,  $^\circ\text{C}$ . Для воздуха и валков коэффициент теплоотдачи был принят соответственно равными 0,02 и 5 Вт/(м·К). На поверхностях контакта заготовки с инструментом кроме условий теплопроводности был принят закон трения по Зибелю:  $\tau = \psi\tau_s$ , где  $\tau$  – напряжение трения, МПа;  $\psi$  – показатель трения;  $\tau_s$  – сопротивление деформации материала на сдвиг. Показатель трения между валком и заготовкой следует принять равным  $\psi = 1$ , между оправкой и заготовкой –  $\psi = 0,2$ , между линейкой и заготовкой –  $\psi = 0,4$ . Для обеспечения достоверности расчетных данных число конечных элементов для заготовки диам. 120 мм и длиной 700 мм следует принять 200 000. По рекомендациям разработчиков DEFORM-3D размер элемента должен быть не более 2,5 мм. В этом случае геометрические параметры очага деформации соответствуют реальным.

Исследование было направлено на определение влияния формы заднего конца заготовки при прошивке. Исследовались заготовки с глубиной утяжины:  $l_{\text{yt}1} = 30$  мм,  $l_{\text{yt}2} = 16$  мм,  $l_{\text{yt}3} = 0$  мм (заготовка с прямым концом) и  $l_{\text{yt}4} = -25$  мм (заготовка с профилированным концом). Единственным варьируемым параметром в исследованиях являлась относительная глубина утяжины заднего конца заготовки, отнесенная к диаметру заготовки:  $l'_{\text{yt}} = l_{\text{yt}}/d_3$ . В качестве постоянных параметров приняты следующие величины: диаметр заготовки  $d_3 = 120$  мм, углы подачи  $\beta = 12^\circ$  и раскатки  $\delta = 8^\circ$ , число оборотов валков  $n = 100$  об/мин и настройка инструмента прошивного стана. Решение задачи не позволило обнаружить в процессе прошивки образование полуколец в том виде, как оно происходит в действительности. Однако решение задач методом конечных элементов позволило выявить образование так называемых «пятак» (рис. 3, а) и «кольцевых отслоений» (рис. 3, б) на концах заготовок. Для оценки результатов

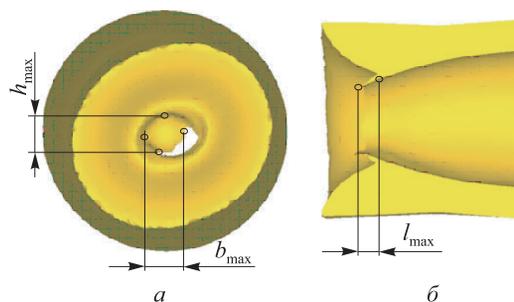


Рис. 3. Характерные размеры пятак (а) и кольцевых отслоений (б)

технических мероприятий с целью уменьшения образования полуколец можно ограничиться рассмотрением образования кольцевых отслоений. Введем следующие обозначения концевой части гильзы:  $b_{\text{max}}$  и  $h_{\text{max}}$  – ширина и высота пятака;  $l_{\text{max}}$  – длина кольцевого отслоения.

Результаты расчета относительных значений длины кольцевого отслоения  $l'_{\text{max}}/d_3$ , ширины  $b'_{\text{max}}/d_3$  и высоты  $h'_{\text{max}}/d_3$  пятака приведены в таблице, по данным которой был построен график (рис. 4) зависимости относительной длины кольцевых отслоений  $l'_{\text{max}}/d_3$  от относительной глубины утяжины заднего конца заготовки  $l'_{\text{yt}}/d_3$  перед прошивкой. Согласно графику, наименьшее значение относительной длины кольцевого отслоения  $l'_{\text{max}}/d_3$  соответствует заготовке с профилированным

#### Результаты математического моделирования

Геометрический параметр	Значения геометрических параметров в зависимости от исходной глубины утяжины, равной			
	-0,208	0	0,130	0,250
Длина «кольцевого отслоения» $l'_{\text{max}} = l_{\text{max}}/d_3$	0,097	0,105	0,109	0,134
Ширина «пятака» $b'_{\text{max}} = b_{\text{max}}/d_3$	0,199	0,206	0,203	0,208
Высота «пятака» $h'_{\text{max}} = h_{\text{max}}/d_3$	0,192	0,188	0,190	0,219

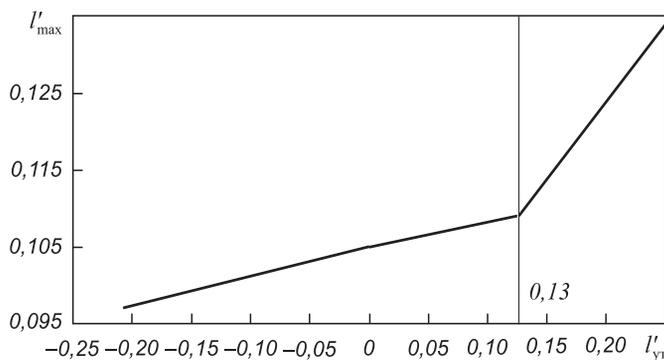


Рис. 4. График зависимости относительной длины  $l'_{\text{max}}$  кольцевых отслоений от относительной глубины  $l'_{\text{yt}}$  утяжины заднего конца заготовки перед прошивкой

концом  $l_{\text{ут}}/d_3 = 0,208$ . При увеличении глубины утяжины ( $l_{\text{ут}}/d_3 = 0,130$ ) больше критической, абсолютная величина которой равна 16 мм, происходит резкое возрастание длины кольцевого отслоения, что говорит о снижении вероятности образования полуколец на гильзах при прошивке.

**Выводы.** Глубина утяжины на заднем конце заготовки после обжимного стана существенно влияет на образование кольцевых отслоений и на процент брака труб по вмятинам. Установлено два диапазона влияния глубины утяжины  $l'_{\text{ут}}$  на длину кольцевого

отслоения. При  $l'_{\text{ут}} > 0,130$  резко возрастает величина кольцевого отслоения металла, и как следствие вероятность образования полукольца на гильзе при прошивке. Оптимальная настройка технологического процесса обжатия непрерывнолитой заготовки и профилирование заднего конца заготовки обеспечивают значение  $l'_{\text{ут}} < 0,130$  и гарантируют уменьшение брака труб по вмятинам.

© 2013 г. М.В. Ерпалов, Д.Ш. Нухов, А.А. Богатов  
Поступила 13 августа 2012 г.

УДК 669.05

**В.А. Коротков**

Нижнетагильский технологический институт – филиал  
Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ

**Аннотация.** Исследованы скорость охлаждения и твердость тонких пластин при упрочнении плазменной закалкой, а также ее влияние на износостойкость конструкционной стали.

**Ключевые слова:** плазменная закалка, конструкционная сталь, тонкая пластина, упрочнение.

## STUDY OF PLASMA HARDENING OF STRUCTURAL STEEL

**Abstract.** Velocity of cooling and hardness of thin plates under strengthening by plasma hard-ening as well as its influence on structural steel strength are investigated.

**Keywords:** plasma hardening, structural steel, thin plates, strengthening.

Плазменная закалка, известная с 80-х годов прошлого столетия [1 – 3], в начале двадцать первого века получила усовершенствование. Была разработана установка УДГЗ-200, с помощью которой стало возможно проведение поверхностной плазменной закалки вручную. При помощи закалочной горелки можно добираться до труднодоступных мест и осуществлять закалку. Это расширило применение плазменной закалки и позволило решить важные производственные проблемы на металлургических предприятиях Урала [4, 5]. В настоящей работе продолжено исследование ручной плазменной закалки в отношении ее способности к упрочнению тонких пластин и к увеличению износостойкости конструкционной стали.

### Исследование скорости охлаждения

Пластины толщиной от нескольких до десятков миллиметров используются в металлургической промышленности для различного назначения (футеровочные листы бункеров, лицевые планки на прокатных клетях, регулировочные прокладки и пр.). Объемная

закалка этих изделий сопровождается деформациями, делающими дальнейшее применение пластин затруднительным или невозможным. Поверхностная закалка плазменной дугой деформирует пластины в меньшей степени, и поэтому она стала находить применение в производстве. Но оставались неизученными следующие вопросы: как воспринимают закалку без сопутствующего охлаждения водой тонкие пластины, и насколько эффективным в этом случае может быть водяное охлаждение.

Закалка выполнялась при силе тока 180 – 200 А установкой УДГЗ-200 [5].

Для экспериментального определения скоростей охлаждения при плазменной закалке использовали термопару хромель-алюмель ТХА (К). Ее сваренный конец плотно закрепляли в отверстиях образца, подлежащего закалке. При этом дугу перемещали по его поверхности над местом закрепления термопары, показания которой снимали прибором ТРМ-200 и через адаптер сети АС 4 передавали на компьютер. Затем при помощи программы Excel строили графики изменения температур в зависимости от времени. Скорость охлаждения является