



## Основные принципы создания автоматизированной системы идентификации и прослеживаемости продукции, оперативного контроля толщины стенки труб на агрегатах трубопрокатной установки

*Рассмотрены принципы разработки автоматизированной системы идентификации и прослеживаемости продукции непосредственно на трубопрокатной установке и контроля толщины стенки труб в процессе их изготовления. Библиогр.: 11 назв.*

**Ключевые слова:** автоматизированная система, идентификация, прослеживаемость, измерение, диаметр, длина, оперативное определение, средняя толщина стенки, агрегаты, трубопрокатная установка, снижение, брак, расход металла

*Principles of automated identification and traceability of products directly to the installation and pipe-rolling pipe wall thickness control during the manufacturing process.*

**Keywords:** automated system, identification, traceability, measurement, diameter, length, operational definition, the average thickness of the wall units and pipe installation, reducing the marriage, metal

Идентификация продукции и ее прослеживаемость являются необходимым условием исключения потерь и смешивания продукции [1, 2], а оперативный контроль толщины стенки труб в значительной степени обеспечивает снижение брака по толщине стенки и соответственно сокращение расхода металла.

Трубопрокатные установки, производящие основную массу горячекатаных бесшовных труб, в своем составе включают нагревательные печи для нагрева заготовки, станы для получения гильзы (прошивные станы), станы, осуществляющие основную деформацию по толщине стенки труб (автоматический стан, клетки продольной прокатки, пилигримовый стан, непрерывный стан, трехвалковый раскатной стан), станы, обеспечивающие доводку трубы до конечных размеров (обкатные станы, калибровочный либо редуцирующий стан) [3].

Прослеживаемость продукции на трубопрокатной установке может автоматически обеспечиваться комплексом датчиков штатной автоматики, определяющих по направлению движения проката количество годной и отсортированной продукции на каждом из агрегатов. На основании данных прослеживаемости формируются ведомости сопровождения, включающие общее количество заданного металла, потери на каждом из агрегатов, количество готовой продукции и суммарные потери металла по всей установке.

Для непосредственного измерения толщины стенки на агрегатах трубопрокатной установки возможно использование измерительной системы LASUS компании SMS Meer (Германия). Процесс измерения этой системы базируется на лазерно-ультразвуковой технологии. Такие системы применяются для измере-

ния толщины стенки на калибровочном (редукционном) станах (одна, две системы). Однако применение этих систем на каждом из агрегатов трубопрокатной установки (от 4 до 8 систем на установку) связано с большими затратами.

Определение средней толщины стенки возможно расчетным путем по диаметру и длине, измерение которых осуществляется без остановки проката (заготовки, гильзы, труб).

Для измерения диаметра и длины заготовки, гильз и труб могут использоваться известные устройства (например, система обеспечения качества QAS, Quality Assurance System производства Германии компанией SMS Meer, датчика бесконтактного измерения длины горячих заготовок и труб VLM320 производства Германии, лазерная бесконтактная система измерения длины LSV6200 производства Германии фирмой POLYTEC, бесконтактный измеритель диаметра горячих труб отечественного производства ООО «НИИАчермат» и др. [4-7]).

Функционирование предлагаемой автоматизированной системы осуществляется следующим образом. При посадке в печь заготовок по каждой позиции задания с рабочей станции вводится информация о количестве штук в каждом пакете и его весе, автоматически определяется суммарное количество посаженного металла в штуках и тоннах. Прослеживание за каждой заготовкой требует обязательную информацию о ее весе. Взвешивание каждой заготовки перед посадом в нагревательную печь нецелесообразно в связи с тем, что возможны выбросы заготовки из печи, а также практически невозможно соблюдение одного порядка посадки заготовок в печь и их выдачи. Информация о весе заготовки должна быть получена

после выдачи ее из печи и гидросбива с нее окалины. В связи с тем, что устройства для непосредственно взвешивания требуют дополнительных затрат времени, предлагается определять расчетный вес по не требующим затрат времени автоматическим замерам диаметра ( $D_3$  в мм) и длины ( $\ell_3$  в мм)

$$G_3 = 0,006165 \cdot D_3^2 \cdot \ell_3.$$

При выборе методов измерения диаметра следует учитывать необходимость получения средневзвешенного среднего диаметра сечения заготовки для исключения влияния дефектов ее формы (некруглости).

Заготовке присваивается порядковый номер (автоматически) и ее идентификатор, включающий вводимые с рабочей станции первого агрегата трубопрокатной установки (прошивной стан, пресс для прошивки заготовки) дату, смену, номер позиции в рапорте проката, а также измерения диаметра, длины заготовки и ее теоретический вес.

Идентификатор заготовки передается в систему. Если эта заготовка определена комплексом датчиков как отсортированная продукция, то ее идентификатор не передается на рабочую станцию для прошивки гильзы, а заносится в массив данных по отсортированной продукции.

На агрегате (стане) для получения гильзы автоматически определяется длина гильзы ( $\ell_2$  в мм) и диаметр ( $D_2$  в мм). Вычисляется коэффициент вытяжки при прошивке

$$\mu_n = \frac{\ell_2}{\ell_3}.$$

Толщина стенки гильзы ( $S_2$  в мм) определяется расчетным путем из равенства веса (объемов) заготовки и гильзы

$$S_2 = \frac{\mu_n D_2 - \sqrt{(\mu_n D_2)^2 - \mu_n D_3^2}}{2\mu_n}.$$

На экран рабочей станции прошивного стана обслуживающему персоналу для принятия решений по корректировке настройки стана выдаются следующие данные: идентификатор заготовки,  $D_2$ ,  $\ell_2$ ,  $S_2$ ,  $\mu_n$ . Все параметры, которые выходят за пределы допусков, выделяются цветом или миганием. Аналогично выполняется и на всех других агрегатах (станах) трубопрокатной установки.

Информация по гильзе передается в систему. Для гильзы, которая не отсортирована, информация передается на экран рабочей станции стана, где происходит основная деформация по толщине стенки, а информация по отсортированной продукции заносится в отдельный массив данных.

На стане, определяющем основную деформацию по толщине стенки труб, автоматически определяется длина трубы после прокатки на стане ( $\ell_m$  в мм) и диаметр трубы ( $D_m$  в мм). Для пилигримового стана определяются общая длина трубы ( $\ell_{\text{общ}}^n$  в мм) и длина ( $\ell_m$ ) без пильгерголовки и затравочного конца.

Вычисляется коэффициент вытяжки  $\mu_m$

$$\mu_m = \frac{\ell_m}{\ell_2}.$$

Толщина стенки трубы ( $S_m$  в мм) определяется расчетным путем по известному диаметру ( $\delta_m$  в мм) оправки (дорна) и автоматически определенному диаметру трубы  $D_m$

$$S_m = \frac{D_m - \delta_m}{2}.$$

На экран рабочей станции обслуживающему персоналу для принятия решений выдается следующая информация: идентификатор заготовки,  $D_2$ ,  $S_2$ ,  $\ell_2$ ,  $D_m$ ,  $\ell_m$ ,  $S_m$ ,  $\delta_m$ ,  $\mu_m$ .

Для установки с пилигримовым станом следует учитывать потери металла на пильгерголовку и затравочный конец как в весе, так и в длине.

После пилигримового стана труба может делиться на части (от одной до трех частей). Вес каждой части трубы ( $G_m^{N_2}$  в кг) определяется по данным автоматического измерения длины ( $\ell_m^{N_2}$ ), диаметра ( $D_m^{N_2}$ ) каждой части и расчетной величины стенки ( $S_m^{N_2}$ ) каждой части трубы, определенной по приведенной выше формуле для  $S_m$

$$G_m^{N_2} = 0,024661 S_m^{N_2} (D_m^{N_2} - S_m^{N_2}) \ell_m^{N_2}.$$

Суммарная длина затравочного конца ( $\ell_x$  в мм) и пильгерголовки ( $\ell_{\text{гол}}$ ) определяется как разница между общей длиной трубы после пильгерстана ( $\ell_{\text{общ}}^n$ ) и суммарной длиной ( $\ell_m$ ) частей трубы ( $\ell_m^{\sum N_2}$ ). Суммарный вес отходов (пильгерголовка  $q_x$  и затравочный конец  $q_x$ ) определяется как разница между весом соответствующей заготовки  $G_3$  и суммарным весом частей трубы ( $G_m^{\sum N_2}$ ).

В связи с тем, что на выходе пилигримового стана труба может делиться на части к идентификатору трубы, передаваемому в систему, добавляется номер части трубы. Кроме того, так как в состав установки входят два пилигримовых стана, в идентификатор также заносится номер пильгерстана.

Если в составе трубопрокатной установки есть станы для обкатки труб, то информация со станов, формирующих толщину стенки, передается по неотсортированной трубе на обкатные станы.

На обкатном стане автоматически определяются длина ( $\ell_{\text{об}}$  в мм) и диаметр ( $D_{\text{об}}$  в мм) трубы. Далее определяются коэффициент вытяжки ( $\mu_{\text{об}}$ ) и подъем по диаметру ( $k_{\text{об}}$  в мм)

$$\mu_{\text{об}} = \frac{\ell_{\text{об}}}{\ell_m},$$

$$k_{\text{об}} = D_{\text{об}} - D_m.$$

Толщина стенки трубы определяется расчетным путем из равенства объемов труб после предыдущего агрегата и после обкатных станов.

$$S_{\text{об}} = \frac{D_{\text{об}} \mu_{\text{об}} - \sqrt{(D_{\text{об}} \mu_{\text{об}})^2 - 4 \mu_{\text{об}} (D_m - S_m)}}{2 \mu_{\text{об}}}.$$

Вес трубы после обкатного стана ( $G_{\text{об}}$  в кг) определяется по известной зависимости по определению веса 1 пог. м труб и длине трубы после обкатки  $\ell_{\text{об}}$

На экран рабочей станции обслуживающему пер-

соналу для принятия решений выдается следующая информация: идентификатор заготовки, номер обкатного стана,  $D_m, S_m, l_m, D_{m1}, S_{m1}, l_{m1}, \mu_{m1}, k_{m1}$ .

На станах (калибровочном, редуционном), где производится доводка трубы до конечных размеров, автоматически измеряется диаметр трубы соответственно после калибровочного ( $D_k$  в мм) и редуционного стана ( $D_p$  в мм) и длина трубы после калибровочного ( $l_k$  в мм) и редуционного стана ( $l_p$  в мм), работающего без натяжения.

Вычисляется коэффициент вытяжки на калибровочном ( $\mu_k$ ) и редуционном стане ( $\mu_p$ ), обжатие по диаметру на калибровочном ( $\Delta D_k$ ) и редуционном стане ( $\Delta D_p$ )

$$\mu_k = \frac{l_k}{l_p},$$

$$\mu_p = \frac{l_p}{l_p},$$

$$\Delta D_k = D_{m1} - D_k,$$

$$\Delta D_p = D_{m1} - D_p.$$

Длина трубы на предыдущем стане ( $l_{m1}$  в мм) для установок с пилигримовым станом равна длине части труб ( $l_m^{N_0}$ ).

Как известно, редуционные станы могут работать с натяжением между клетями, но при этом имеют место утолщенные концы труб. Длина и вес утолщенных концов при известном натяжении  $Z$  может определяться по известным зависимостям [8-11], по данным действующих технологических инструкций, а также уточняться на основании статистических данных.

Для труб после редуцирования с натяжением должны определяться длина труб ( $l_p^z$  в мм) без утолщенных концов, т.е. от длины определенной измерителем следует вычесть расчетную величину длин переднего и заднего утолщенных концов ( $l_{m1}, l_{m2}$  в мм)

$$l_p^z = l_p - l_{m1} - l_{m2}$$

Длина труб без утолщенных концов учитывается при определении коэффициента вытяжки редуционного стана, работающего с натяжением.

Все трубы  $G_p^z$  после обрезки утолщенных концов весом соответственно переднего ( $q_{m1}$  в кг) и заднего ( $q_{m2}$  в кг) составит

$$G_p^z = G_{m1} - q_{m1} - q_{m2}$$

Толщина стенки трубы после калибровочного ( $S_k$ ) и работающего без натяжения редуционного ( $S_p$ ) станов определяется исходя из веса 1 пог. м трубы на основе информации о весе трубы, поступившей с предыдущего стана ( $G_m$  в кг), длины трубы ( $l_k, l_p$ ) после соответствующего стана (калибровочного, редуционного)

$$S_k = \frac{0,02466D - \sqrt{(0,02466D)^2 - 0,09864 \frac{G_m \cdot 10^3}{l_k}}}{0,4932},$$

$$S_p = \frac{0,02466D - \sqrt{(0,02466D)^2 - 0,09864 \frac{G_m \cdot 10^3}{l_p}}}{0,4932}.$$

При определении толщины стенки после редуционного стана, работающего с натяжением, учитывается длина трубы без утолщения концов ( $l_p^z$ ).

На экран обслуживающему персоналу для принятия решения выдаются следующие данные:

- на калибровочном стане: идентификатор заготовки, предыдущий стан,  $D_m, S_m, l_m, D_{m1}, S_{m1}, l_{m1}, \mu_{m1}, \Delta D_k$ ,

- на редуционном стане: идентификатор заготовки, номер предыдущего стана,  $D_m, S_m, l_m, D_{m1}, S_{m1}, l_{m1}, \mu_{m1}, \Delta D_p, l_k, l_p$ .

После калибровочного (редуционного) станов трубам присваивается идентификатор для дальнейшего автоматизированного слежения при их обработке. После калибровочного и редуционного станов трубы могут делиться на части.

Идентификатор трубы, которая не делится на части после калибровочного стана, включает: дату, смену, позицию в рапорте проката, номер заготовки,  $D_k, S_k, l_k, G_k$ . При делении трубы на части идентификатор каждой части дополнительно включает номер части, ее длину ( $l_k^{N_0}$ ) и вес ( $G_k^{N_0} = \frac{G_k \cdot l_k^{N_0}}{l_k}$ ).

Идентификатор трубы, которая не делится на части после редуционного стана, работающего без натяжения, включает: дату, смену, позицию в рапорте проката, номер заготовки,  $D_p, S_p, l_p, G_p$ .

При делении на части идентификатор каждой части дополнительно включает номер части, ее длину ( $l_p^{N_0}$ ) и вес ( $G_p^{N_0} = \frac{G_p \cdot l_p^{N_0}}{l_p}$ ).

При делении трубы на части трубы после редуционного стана, работающие с натяжением, идентификатор каждой части включает  $D_p, S_p, l_p^z$ , номер части трубы, длину годной части трубы ( $l_p^{N_0}$ ) и ее вес ( $G_p^{N_0}$ ),  $l_k$  (только для первой части),  $l_x$  (только для последней части).

Длина первой и последней части готовой трубы должна быть меньше полученной при разрезке на длину соответственно переднего и заднего утолщенных концов.

Вес каждой годной части трубы равен

$$G_p^{N_0} = \frac{G_p^z}{l_p^z} \cdot l_p^{N_0}$$

В системе прослеживания определяется суммарный вес труб партии (по позиции сменного рапорта проката) и суммарная длина. Определяется вес 1 пог. м труб партии и сравнивается с теоретической массой при поставке труб по теоретической массе.

Предложенная автоматизированная система обеспечит прослеживаемость прохождения продукции и контроль толщины стенки проката на каждом из агрегатов с целью оперативного изменения настройки агрегатов для получения геометрических размеров проката в соответствии с таблицами прокатки, рассчитанными с учетом фактических размеров исходной заготовки и рабочего инструмента (валки, оправки и др.).

Оперативная корректировка настройки станов позволит сократить количество отсортированной продукции и брака по толщине стенки прокатываемых труб.

Наличие в системе данных о параметрах настройки станов, геометрических размерах проката позволяет создать статистическую базу для определения корреляционных зависимостей толщины стенки на каждом из агрегатов от входных геометрических размеров проката, параметров настройки станов. Эти зависимости в дальнейшем могут быть использованы в системе управления толщиной стенки.

Данные системы обеспечивают получение необходимой информации для учета и анализа производства трубопрокатной установки за любой промежуток времени и по необходимым запросам (например, производство по бригадам, по размерам труб, по стандартам и др.), для объективной корректировки норм расхода металла, для определения пропускной способности установки, для получения объективных критериев мотивирования эффективной работы, персонала по повышению качества продукции и др.

### **Заключение**

Оперативная корректировка настройки станов для получения труб с заданной толщиной стенки, автоматическая прослеживаемость изготовления труб, обеспечивающая точный учет всех потерь металла, объективное установление норм расхода металла на основе фактических данных, учет веса труб позволяют:

- значительно сократить потери металла за счет уменьшения отбраковки труб по толщине стенки;
- объективно планировать потребность в металле на основе скорректированных норм расхода металла по фактическим данным;
- сократить отгрузку заказчику по теоретической массе неоплаченной продукции при прокатке труб в поле плюсовых допусков, что определяется по расчетной массе 1 пог. м труб непосредственно на трубопрокатной установке.

### **Библиографический список**

1. Сокуренок В.П., Фридман В.М., Островский И.П. и др. Совершенствование методов и средств для обеспечения идентификации и прослеживаемости продукции в системе управления качеством товаро-

производящих цехов // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* – 2001. - № 7. - С. 38-41.

2. Абросимова Т.Н., Островский И.П., Фридман В.М. Совершенствование системы идентификации и прослеживаемости при производстве труб. *Вісник Криворізького ТУ.* Зб. наук. пр. - 2011. – Вип. 29. - С. 239-242.

3. Гуляев Г.И., Коба А.С., Миронов Ю.М. и др. Совершенствование производства горячекатаных труб. – К.: Техника, 1985. – 136 с.

4. Аронов И.А. Измерение длины изделий в прокатном и трубном производстве. - М.: ЦНИИТИАМ, 1963. – 96 с.

5. Волков В.В., Достенко Н.А., Тетиор Л.И. Автоматизация трубопрокатных и трубосварочных станов. - М.: *Металлургия*, 1976. – 248 с.

6. Абодан В.Я. Автоматический контроль измерения сечения сортового проката и труб. - М.: *Металлургия*, 1995.

7. Иерусалимов И.П., Цыпин В.Н. Оптические стереокамеры для металлургии // *Датчики и системы.* – 2010 - № 10. – С. 35.

8. Анисидоров А.П., Зельдевич Л.С., Курганов В.Д. и др. Редукционные станы. – М.: *Металлургия*, 1971. – 256 с.

9. Шевченко А.А., Юргеленас В.А. Непрерывная прокатка труб без оправки в условиях предельных значений натяжения. *УкрНТОЧМ, Труды, том 8, Днепрпетровск*, 1958.

10. Рукобратский В.П., Довгаль А.И., Гуляев Г.И. и др. Сокращение обрезки концов труб при их прокатке в редуционном стане // *БНТИ Черная металлургия.* – 1979. - № 13. – С. 52-53.

11. Столетний М.Ф. Экономическим целесообразные режимы натяжения при редуцировании труб // *Сталь.* – 1971. - № 7. – С. 636-639.

**Поступила 17.07.2013**



**В РЕДАКЦИИ МОЖНО ЗАКАЗАТЬ ЭЛЕКТРОННУЮ  
ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА**

**стоимость электронного варианта - 288 грн.,  
стоимость печатного варианта - 430 грн.**

**контактный телефон, факс 0562-46-12-95**