

# ШЕСТИРОЛИКОВАЯ ЛИСТОПРАВИЛЬНАЯ МАШИНА. ЧАСТЬ 1. КРИВИЗНА ЛИСТА

Шинкин В.Н. ©

Доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики,  
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

## *Аннотация*

*Предложен математический метод определения оптимальных параметров холодной правки стального листа из горячекатаного рулона на шестироликовой листопрямительной машине. Расчеты позволяют определить вид и кривизну нейтральной линии стального листа при правке, а также остаточную кривизну листа после правки в зависимости от радиуса рабочих роликов, шага между роликами правильной машины, величины обжатия листа верхними роликами, толщины листа, а также модуля Юнга, предела текучести и модуля упругости металла листа. Результаты исследований могут быть использованы на металлургических заводах при производстве стального листа из горячекатанного рулона.*

**Ключевые слова:** горячекатаный стальной рулон, остаточные напряжения, кривизна листа, многороликовые листопрямительные машины, упругопластическая среда.

**Keywords:** hot-rolled steel coil, residual stresses, sheet curvature, multiroller sheet-straightening machines, elastoplastic medium.

**Правка стального листа на шестироликовой листопрямительной машине.** Основная задача технологии правки листа – рассчитать оптимальные режимы обжатия листовой заготовки рабочими роликами листопрямительных машин таким образом, чтобы на выходе из машины лист имел минимальные остаточные напряжения и кривизну [1–93].



Рис. 1. Разматыватель рулона и шестироликовая листопрямительная машина

На рис. 1 показана кинематическая схема линии предварительной правки стального листа из горячекатаного рулона, где 1 – передвижной разматыватель рулона с четырехсекционным барабаном для фиксации рулона, 2 – горячекатаный стальной рулон, 3 – механизм для исправления кривизны рулона, 4 – устройство с выдвижным столом для раскрытия рулона и проводки листа, 5 – тянущие подающие ролики, 6 – шестироликовая листопрямляющая машина (верхние три ролика имеют независимое вертикальное перемещение, нижние три ролика неподвижны), 7 – гидроцилиндры.

Пусть  $t$  – шаг между нижними роликами,  $H_2, H_4$  и  $H_6$  – величины обжатия срединной поверхности стального листа на втором, четвертом и шестом роликах,  $h$  – толщина стального листа,  $R$  – радиус рабочих роликов,  $R_0 = R + h/2$ ;  $\sigma_T, E, \Pi_p$  и  $\Pi_c$  – предел текучести, модуль Юнга и модули упрочнения стали при растяжении и сжатии;  $\rho_i$  и  $\varepsilon_i = 1/\rho_i$  – радиусы кривизны и кривизна срединной линии листа в точках касания листа с роликами,  $\varphi_i$  – углы точек касания листа и роликов ( $i = 1 \dots 6$ ) (рис. 2).

Коэффициент пружинения нейтральной линии листа при радиусе кривизны  $\rho$  равен [3, 5, 6]

$$\beta(\rho) = 1 / \left( (1 - \eta)(1 + \xi)(1 - 2\xi)^2 \right), \quad \xi = \rho \sigma_T / (h E), \quad \eta = (\Pi_p + \Pi_c) / (2E).$$

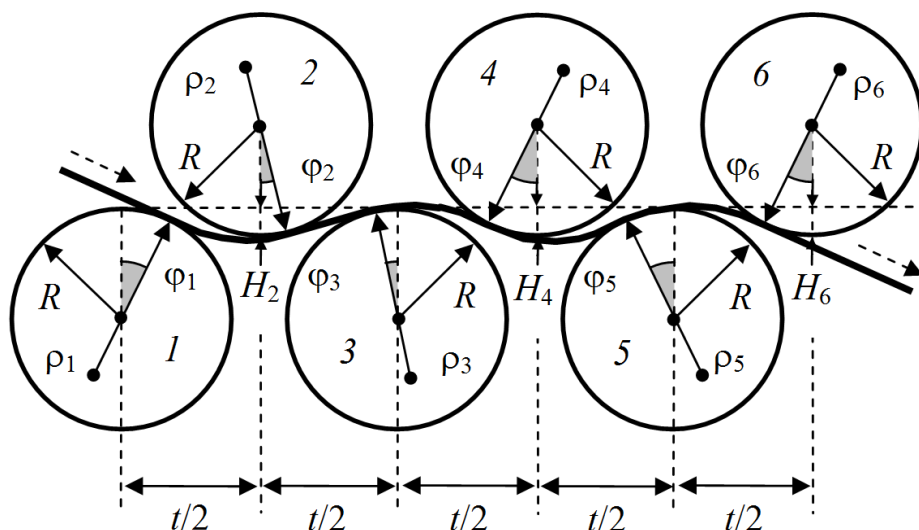


Рис. 2. Расчетная схема модели правки листа на шести роликах

Введем шесть локальных прямоугольных декартовых систем координат  $y-z$  в точках касания листа с рабочими роликами листопрямляющей машины. Оси  $z$  направим по касательной к поверхности роликов слева направо, а оси  $y$  – перпендикулярно к оси  $z$  в сторону центров соответствующих роликов. Будем аппроксимировать в этих системах координат нейтральную линию листа (между соседними точками касания листа и роликов) с помощью кубических полиномов вида  $y(z) = a z^2 - b z^3$  (метод Шинкина). Отметим, что первые два коэффициента этих полиномов равны нулю, так как лист касается роликов в начале систем координат. Обозначим  $a_i$  и  $b_i$  – коэффициенты кубических полиномов в  $i$ -ой системе координат. Составим уравнения для коэффициентов кубических полиномов, кривизны и радиусов кривизны нейтральной линии листа в точках касания листа с роликами.

Составим уравнения для коэффициентов кубических полиномов, кривизны и радиусов кривизны нейтральной линии листа в точках его касания с валками.

Первый и второй ролики:

$$z_2 = \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 + R_0 \sin \varphi_2 \right) \cos \varphi_1 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2)] \sin \varphi_1,$$

$$y_2 = -\left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 + R_0 \sin \varphi_2\right) \sin \varphi_1 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2)] \cos \varphi_1,$$

$$a_1 = \frac{3y_2 + \operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2)z_2}{z_2^2}, \quad b_1 = \frac{2y_2 + \operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2)z_2}{z_2^3},$$

$$\varepsilon_{12} = 2a_1, \quad \rho_{12} = \frac{1}{2a_1}, \quad \varepsilon_{21} = \frac{2a_1 - 6b_1z_2}{\left[1 + (2a_1z_2 - 3b_1z_2^2)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{21} = \frac{1}{\varepsilon_{21}}.$$

*Второй и третий ролики:*

$$z_3 = \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_2 - R_0 \sin \varphi_3\right) \cos \varphi_2 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3)] \sin \varphi_2,$$

$$y_3 = -\left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_2 - R_0 \sin \varphi_3\right) \sin \varphi_2 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3)] \cos \varphi_2,$$

$$a_2 = \frac{3y_3 + \operatorname{tg}(\varphi_2 - \varphi_3)z_3}{z_3^2}, \quad b_2 = \frac{2y_3 + \operatorname{tg}(\varphi_2 - \varphi_3)z_3}{z_3^3},$$

$$\varepsilon_{23} = 2a_2, \quad \rho_2 = \rho_{23} = \frac{1}{2a_2}, \quad \varepsilon_{32} = \frac{2a_2 - 6b_2z_3}{\left[1 + (2a_2z_3 - 3b_2z_3^2)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_3 = \rho_{32} = \frac{1}{\varepsilon_{32}}.$$

*Третий и четвертый ролики:*

$$z_4 = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_3 - R_0 \sin \varphi_4\right) \cos \varphi_3 - [H_4 - R_0(1 - \cos \varphi_3) - R_0(1 - \cos \varphi_4)] \sin \varphi_3,$$

$$y_4 = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_3 - R_0 \sin \varphi_4\right) \sin \varphi_3 + [H_4 - R_0(1 - \cos \varphi_3) - R_0(1 - \cos \varphi_4)] \cos \varphi_3,$$

$$a_3 = \frac{3y_4 - \operatorname{tg}(\varphi_3 + \varphi_4)z_4}{z_4^2}, \quad b_3 = \frac{2y_4 - \operatorname{tg}(\varphi_3 + \varphi_4)z_4}{z_4^3},$$

$$\varepsilon_{34} = 2a_3, \quad \rho_{34} = \frac{1}{2a_3}, \quad \varepsilon_{43} = \frac{2a_3 - 6b_3z_4}{\left[1 + (2a_3z_4 - 3b_3z_4^2)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{43} = \frac{1}{\varepsilon_{43}}.$$

*Четвертый и пятый ролики:*

$$z_5 = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_4 - R_0 \sin \varphi_5\right) \cos \varphi_4 - [H_4 - R_0(1 - \cos \varphi_4) - R_0(1 - \cos \varphi_5)] \sin \varphi_4,$$

$$y_5 = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_4 - R_0 \sin \varphi_5\right) \sin \varphi_4 + [H_4 - R_0(1 - \cos \varphi_4) - R_0(1 - \cos \varphi_5)] \cos \varphi_4,$$

$$a_4 = \frac{3y_5 - \operatorname{tg}(\varphi_4 + \varphi_5)z_5}{z_5^2}, \quad b_4 = \frac{2y_5 - \operatorname{tg}(\varphi_4 + \varphi_5)z_5}{z_5^3},$$

$$\varepsilon_{45} = 2a_4, \quad \rho_4 = \rho_{45} = \frac{1}{2a_4}, \quad \varepsilon_{54} = \frac{2a_4 - 6b_4z_5}{\left[1 + (2a_4z_5 - 3b_4z_5^2)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_5 = \rho_{54} = \frac{1}{\varepsilon_{54}}.$$

*Пятый и шестой ролики:*

$$z_6 = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_5 - R_0 \sin \varphi_6\right) \cos \varphi_5 - [H_6 - R_0(1 - \cos \varphi_5) - R_0(1 - \cos \varphi_6)] \sin \varphi_5,$$

$$y_6 = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_5 - R_0 \sin \varphi_6\right) \sin \varphi_5 + [H_6 - R_0(1 - \cos \varphi_5) - R_0(1 - \cos \varphi_6)] \cos \varphi_5,$$

$$a_5 = \frac{3y_6 - \operatorname{tg}(\varphi_5 + \varphi_6)z_6}{z_6^2}, \quad b_5 = \frac{2y_6 - \operatorname{tg}(\varphi_5 + \varphi_6)z_6}{z_6^3},$$

$$\varepsilon_{56} = 2a_5, \quad \rho_{56} = \frac{1}{2a_5}, \quad \varepsilon_{65} = \frac{2a_5 - 6b_5z_6}{\left[1 + (2a_5z_6 - 3b_5z_6^2)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{65} = \frac{1}{\varepsilon_{65}}.$$

Граничные условия задачи имеют вид

$$\rho_{12} = \rho_1, \quad \rho_{21} = -\rho_{23}, \quad \rho_{32} = -\rho_{34}, \quad \rho_{43} = -\rho_{45}, \quad \rho_{54} = -\rho_{56}, \quad \rho_{65} = \beta(\rho_{56})\rho_{56}.$$

**Результаты расчетов.** Решая систему уравнений при  $t = 0,27$  м,  $R = 0,125$  м,  $h = 0,01$  м,  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па,  $\sigma_T = 500 \cdot 10^6$  Па,  $H_2 = 0,024$  м,  $H_4 = 0,012$  м,  $H_6 = -0,014$  м и  $\rho_1 = -1$  м, получаем  $\rho_2 = 0,160$  м,  $\rho_3 = -0,174$  м,  $\rho_4 = 0,284$  м,  $\rho_5 = -1,578$  м,  $\rho_6 = -25,517$  м,  $\varphi_1 = 15,57^\circ$ ,  $\varphi_2 = 4,34^\circ$ ,  $\varphi_3 = 5,99^\circ$ ,  $\varphi_4 = 2,47^\circ$ ,  $\varphi_5 = 7,49^\circ$  и  $\varphi_6 = -4,36^\circ$  (рис. 3).

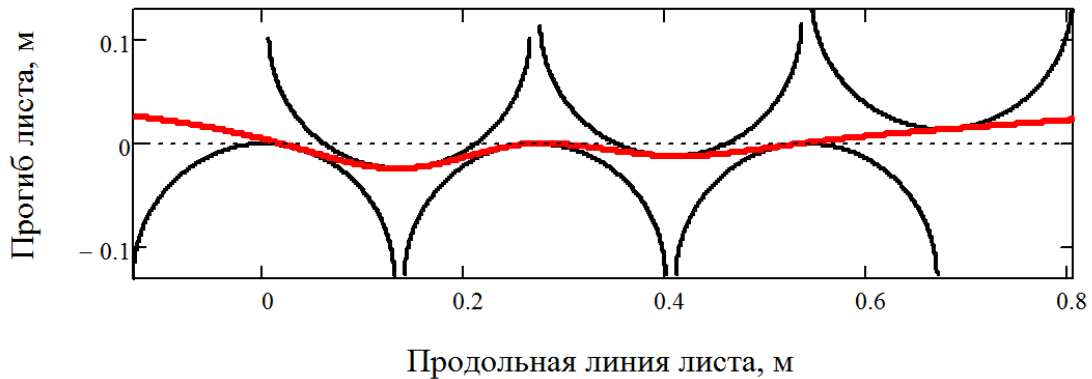
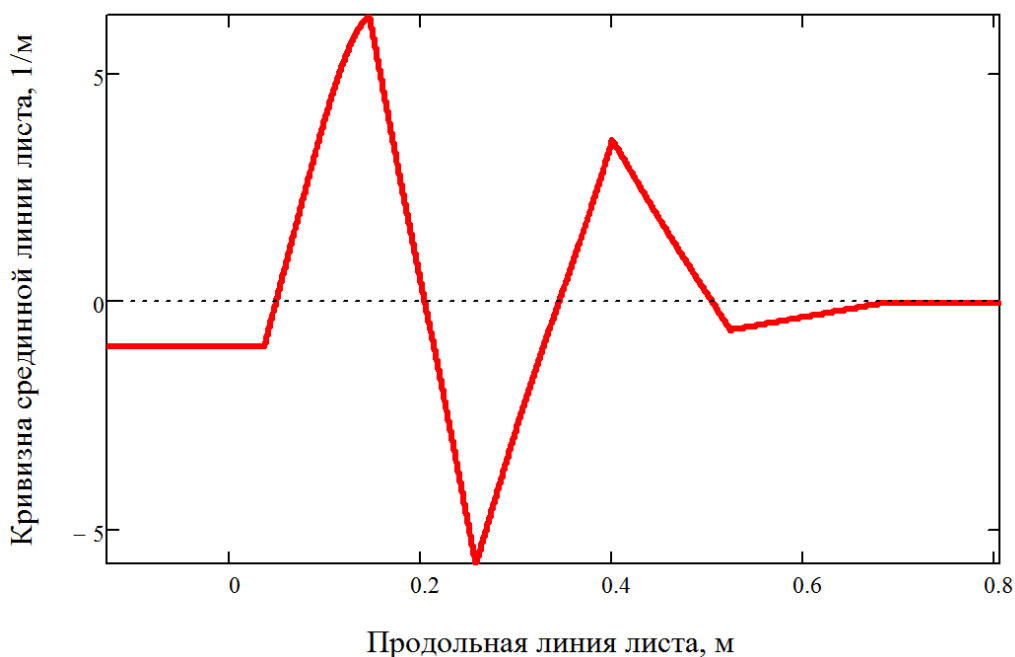


Рис. 3. Срединная линия листа между шестью роликами правильной машины

На рис. 4 показана зависимость кривизны нейтральной линии листа при правке на шестирولیковой листопрямительной машине. По оси абсцисс отложена продольная ось листа, а по оси ординат – кривизна продольных волокон срединной линии листа. Точки локальных экстремумов кривизны соответствуют точкам касания листа с рабочими роликами листопрямительной машины.

**Особенности правки стального листа.** При правильном подборе обжатий листа роликами и не очень большой начальной кривизне стальные листы при правке быстро «забывают» о своей первоначальной кривизне и после 4-го ролика кривизна всех листов становится практически одинаковой. Для этого величина обжатия листа первыми четырьмя роликами должна достигнуть некоторого оптимального значения, а доля пластической деформации по толщине листа должна составлять от 67% до 80%. После 4-го ролика обжатия стального листа подбираются так, чтобы свести кривизну листа на 6-ом ролике практически к нулю. При этом остаточные напряжения в стенке листа также уменьшаются. При очень большой начальной кривизне полностью выправить лист на правильной машине не представляется возможным, однако кривизна листа в процессе правки существенно уменьшается.



*Рис. 4. Кривизна средней линии листа при правке на шести роликах*

Особого внимания требует правка толстых высокопрочных стальных листов, для которых отношение предела текучести к пределу прочности превышает 85–90%. В этом случае металл листа становится более «хрупким», при правке листа сложнее попасть в зону оптимальных значений пластических деформаций и легко приблизиться к пределу прочности металла на поверхности стального листа, что в свою очередь может вызвать появление нежелательных дефектов металла.

Возможны разные сочетания величин обжатия на роликах листопрямительной машины. Например, можно задавать максимальное обжатие не на втором ролике, а на четвертом ролике, постепенно увеличивая кривизну листа от первого ролика к четвертому ролику. Это позволяет легче «заправить» лист в правильную машину и избежать резких нежелательных изменений кривизны листа в начале процесса правки.

**Производство труб из стального листа.** В практике производства труб большого диаметра для магистральных газонефтепроводов утвердился процесс формовки трубной заготовки из толстого стального листа по схеме JSOE [1–93]. Перед формовкой труб стальной лист правят на многороликовых (многовалковых) листопрямительных машинах [5, 6, 62, 63, 65, 67]. Дефект образования гофра продольной кромки стального листа на кромкогибочном прессе изучался в работах [5, 6, 23, 26], вредное влияние остаточных напряжений в стенке стального листа после трубоформовочного пресса на процесс экспандирования трубы – в [5, 6, 35], дефект «точка перегиба» при изгибе стального листа на трубоформовочном прессе – в [5, 6, 36], дефект несплавления сварного продольного шва при сборке трубы – в [5, 6, 34], дефект стального листа раскатной пригар с рисккой – в [5, 6, 37].

#### Литература

1. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – М.: Металлургия, 1988. – 680 с.
2. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
3. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
4. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.

5. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
6. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
7. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344–349.
8. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироликовой листопрямильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 359–365.
9. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироликовой листопрямильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). С. 361–366.
10. Шинкин В.Н. Холодная правка толстого стального листа на девятироликовой машине фирмы SMS Siemag на металлургическом комплексе стан 5000 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 467–472.
11. Шинкин В.Н. Четырехроликовый режим холодной правки толстого стального листа на пятироликовой листопрямильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). С. 356–361.
12. Шинкин В.Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225–229.
13. Шинкин В.Н. Шестироликовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205–211.
14. Шинкин В.Н. Определение критических давлений магистральных газонефтепроводов при частичном несплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). С. 222–227.
15. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261–265.
16. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318–323.
17. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231–237.
18. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238–243.
19. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88–93.
20. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с рисксой» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213–225.
21. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «доньшками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268–276.
22. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироликовой листопрямильной машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228–237.
23. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171–174.
24. Шинкин В.Н., Уандыкова С.К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 110–112.
25. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54–58.
26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. С. 14–22.
27. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69–74.
28. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. С. 53–56.
29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Известия

высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011. № 9. С. 45–49.

30. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидроиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. С. 12–19.
31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // Металлург. 2011. № 11. С. 77–81.
32. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61–66.
33. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528–531.
34. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // Производство проката. 2012. № 2. С. 14–16.
35. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // Производство проката. 2012. № 7. С. 25–29.
36. Шинкин В.Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // Производство проката. 2012. № 9. С. 21–26.
37. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с рисккой» // Производство проката. 2012. № 12. С. 19–24.
38. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // Metallurgist. 2012. Vol. 55. Nos. 11–12. P. 833–840.
39. Шинкин В.Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 3–1. С. 64–67.
40. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 4–1. С. 114–119.
41. Шинкин В.Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5–1. С. 96–99.
42. Шинкин В.Н. Расчет усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 6–1. С. 115–118.
43. Шинкин В.Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе стальной цилиндрической заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 7–1. С. 74–78.
44. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Сила давления пуансона трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 8–1. С. 78–83.
45. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математический критерий перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 9–1. С. 73–77.
46. Шинкин В.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность металла при экспандировании стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 10–1. С. 153–157.
47. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–1. С. 252–257.
48. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироликовой листопрямильной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–1. С. 257–262.
49. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатироликовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 246–251.
50. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 251–258.
51. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямильной машины //

- Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2–2. С. 134–141.
52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 139–145.
  53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 145–151.
  54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 159–165.
  55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 165–171.
  56. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5–1. С. 134–141.
  57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5–1. С. 141–149.
  58. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6–1. С. 167–174.
  59. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6–1. С. 174–181.
  60. Шинкин В.Н. Кривизна листа при упругопластической правке стального листа на девятироликовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7–1. С. 95–102.
  61. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров девятироликовой листопрямительной машины при правке толстого стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7–1. С. 102–110.
  62. Шинкин В.Н., Федотов О.В. Расчет технологических параметров правки стальной горячекатаной рулонной полосы на пятироликовой машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2013. № 9. С. 43–48.
  63. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет технологических параметров холодной правки стального листа на девятироликовой машине SMS Siemag металлургического комплекса стан 5000 // Производство проката. 2014. № 5. С. 7–15.
  64. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математическая модель расчета формы трубной заготовки после кромкогибочного прессы SMS Meeg // Евразийский союз ученых. 2014. № 5. Часть 3. С. 112–115.
  65. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2014. № 8. С. 26–34.
  66. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет формы трубной заготовки при гибке на кромкогибочном и трубоформовочном прессах фирмы SMS Meeg при производстве труб большого диаметра по схеме JSOE // Производство проката. 2014. № 12. С. 13–20.
  67. Шинкин В.Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2015. № 1. С. 42–48.
  68. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. С. 38–42.
  69. Шинкин В.Н. Оценка критических давлений при разрушении стальных труб магистральных газонефтепроводов при несплавлении сварного соединения // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2015. № 5–6. С. 7–11.
  70. Шинкин В.Н. Математический критерий разрушения стальных толстостенных труб при дефекте раскатной пригар // Мир науки и инноваций. 2015. Т. 5. № 2 (2). С. 57–64.
  71. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 74–84.
  72. Шинкин В.Н. К вопросу об остаточных напряжениях круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 84–93.
  73. Шинкин В.Н. Оценка остаточных напряжений круглого бруса при изгибе // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 101–110.
  74. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld.



2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50–58.
75. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при изгибе // Научные труды SWorld. 2016. Т. 4. № 1 (42). С. 91–100.
76. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямильной машине. Часть 1. Кривизна листа // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8 (50). Часть 3. С. 107–112.
77. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямильной машине. Часть 2. Силы и моменты // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8 (50). Часть 3. С. 112–119.
78. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1–1. С. 131–139.
79. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 133–141.
80. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 141–149.
81. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 127–134.
82. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 135–143.
83. Шинкин В.Н. Вычисление силовых параметров восьмироликовой машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 118–127.
84. Шинкин В.Н. Кривизна листа при правке на восьмироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 127–136.
85. Шинкин В.Н. Кривизна листа при предварительной правке на четырехроликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5–3. С. 137–146.
86. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров четырехроликовой машины при предварительной правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5–3. С. 146–154.
87. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа при правке на девятироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 6–1. С. 128–138.
88. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах девятироликовой листопрямильной машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 6–1. С. 138–146.
89. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа в двенадцатироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 105–114.
90. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах двенадцатироликовой листопрямильной машины при правке // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 115–125.
91. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 1. Остаточные деформации // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 125–134.
92. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 2. Критерий возникновения гофра // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 134–142.
93. Shinkin V.N. The mathematical criterion of the origin of the inflection defect under the steel sheet blank's bend on the step-by-step O-forming press by SMS Meer under the manufacturing technique of the thick single-weld tubes for the main pipelines // Nauka i studia. 2015. Т. 4. С. 60–76.