



ОТДЕЛКА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

УДК 621.771.

Теоретическое исследование процесса прохождения горячекатаной полосы через изгибно-растяжной окатиноломатель непрерывно-травильного агрегата

Д. В. Суфьянов¹, Н. Н. Огарков¹, Е. А. Мурзаева¹, В. В. Курбан² (kurban.vv@mmk.ru),
С. В. Денисов²

¹ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

²ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

Проведено аналитическое исследование процесса прохождения полосы через изгибно-растяжной окатиноломатель непрерывно-травильного агрегата с целью определения максимальной деформации полосы, при которой интенсифицируется растрескивание всех слоев окалины на ее поверхности. С использованием положений теории пластичности и с учетом свойств полосы и работоспособности окатиноломателя определены условия на контакте поверхности полосы с изгибающими роликами окатиноломателя.

Ключевые слова: горячекатаная полоса, окалина, непрерывно-травильный агрегат, изгибно-растяжной окатиноломатель, ролики, изгиб, натяжение.

При изгибании полосы в изгибно-растяжных окатиноломателях непрерывно-травильных агрегатов (НТА) происходит отделение части окалины от металла. Однако основная цель этой операции состоит в том, чтобы создать трещины в слое окалины и тем самым повысить эффективность действия кислоты при последующем травлении. Эффективность разрушения окалины зависит от радиуса изгибов полосы и от их количества. Чем больше полоса деформируется, тем эффективнее происходит отделение окалины от металла. При этом нужно учитывать состояние оборудования [1]. Поэтому разработка методики расчета технологических параметров изгибно-растяжного окатиноломателя является актуальной.

Рассмотрим чистый изгиб листа при наличии на поверхности слоя окалины. Примем, что деформация листа в направлении, перпендикулярном плоскостям изгиба, равна нулю.

Решение выполняем относительно оси симметрии для единичной ширины полосы (рис. 1).

Согласно данной схеме линейная скорость перемещения нейтрального сечения полосы в сечении $O-O_1$ определяется следующим соотношением:

$$(r + h)\omega_1 = (R + 2h)\omega - V_1,$$

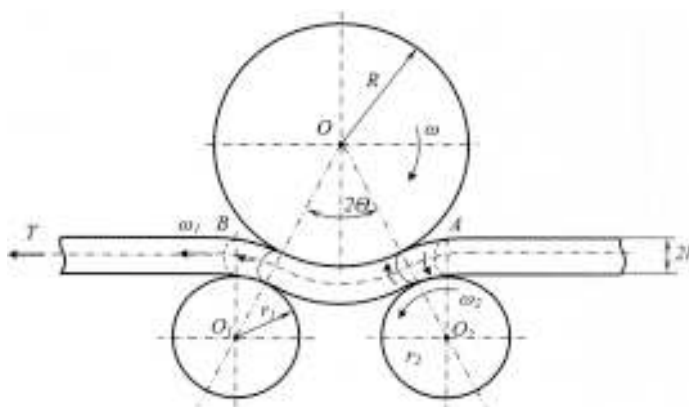


Рис. 1. Схема прохождения полосы через изгибающие ролики

где R, r — радиусы верхних и нижних изгибающих роликов соответственно, мм;
 h — толщина протягиваемой полосы, мм;
 ω — угловая скорость относительно центра вращения ролика O , 1/с;
 ω_1 — угловая скорость выходящего листа относительно центра кривизны O_1 , 1/с;
 V_1 — величина разрыва тангенциальной составляющей скорости вдоль полукруглой дуги на выходе из полосы, м/с (рис. 2).

Мощность, затрачиваемая на пластическую деформацию полосы под действием усилия T , равна:

$$N_T = \sigma_T \omega h \left[\left(1 + \frac{h}{R}\right) \left(1 + \frac{h}{r}\right) - 1 \right],$$

где σ_T — предел текучести материала полосы, МПа.

Рассмотрим процесс на следующей схеме (рис. 3).

Пусть ω_2 — угловая скорость относительно центра вращения ролика O_2 , 1/с. Тогда линейная скорость перемещения нейтрального сечения полосы в сечении $O-O_2$ определяется следующим соотношением:

$$r_2 \omega_2 = (R + 2h)\omega - V_2,$$

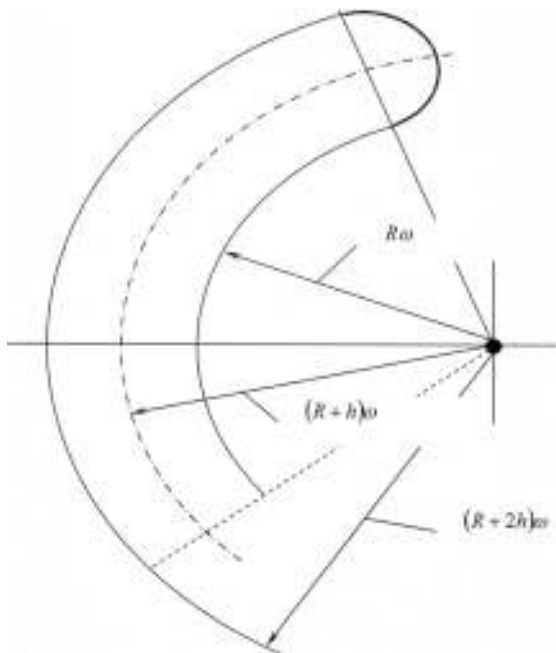


Рис. 2. Схема разрыва тангенциальной составляющей скорости вдоль полукруглой дуги на выходе полосы без учета смещения нейтральной оси

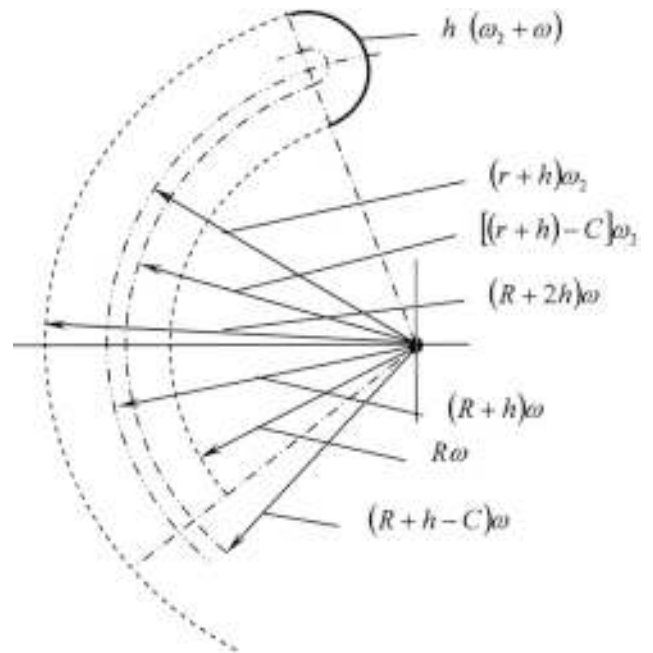


Рис. 3. Схема разрыва тангенциальной составляющей скорости вдоль полукруглой дуги на выходе полосы с учетом смещения нейтральной оси

где r_2 — радиус нижнего изгибающего ролика с центром вращения O_2 , мм;
 V_2 — величина разрыва касательной составляющей скорости вдоль дуги в сечении $O-O_2$, м/с (рис. 3).

Преобразуя в следующей последовательности:

$$\begin{aligned} (r_2 + 2h)\omega_2 &= R\omega + V_2, \\ r_2\omega_2 &= R\omega + 2h\omega - V_2, \\ r_2\omega_2 + 2h\omega &= R\omega + V_2, \\ -2h\omega_2 &= 2h\omega - 2V_2, \\ 2V_2 &= 2h(\omega_2 + \omega), \end{aligned}$$

получаем:

$$V_2 = 2h(\omega_2 + \omega).$$

Мощность, затрачиваемая на пластическую деформацию в сечении полосы $O-O_2$ при приложенном усилии, равна:

$$N_T = \sigma_T \pi (h^2 \omega_2 + h V_2) = \sigma_T \pi (h^2 \omega_2 + 2h^2 (\omega_2 + \omega)),$$

$$N_T = \sigma_T \pi h^2 (2\omega_2 + 2\omega).$$

Тогда выражение для определения усилия протягивания T (Н/мм) принимает вид:

$$T = \frac{2\pi\sigma_{\tau}h^2}{r+h} \left(1 + \frac{r+h}{R+h}\right).$$

В силу симметричности схемы деформации (см. рис. 1) суммарное усилие при протягивании листа через ролики составит:

$$T = 2\pi h\sigma_{\tau} \left[\left(1 + \frac{h}{R}\right) \left(1 + \frac{h}{r}\right) - 1 \right]. \quad (1)$$

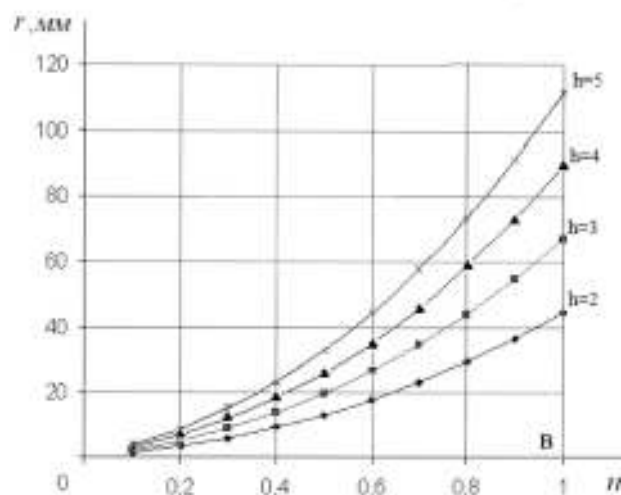
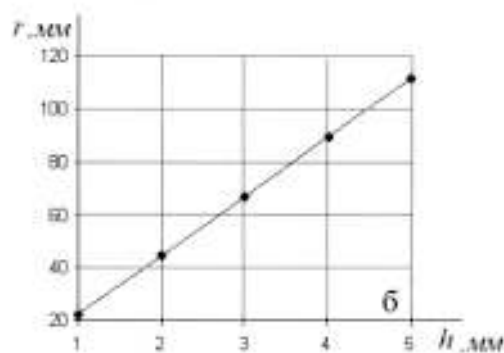
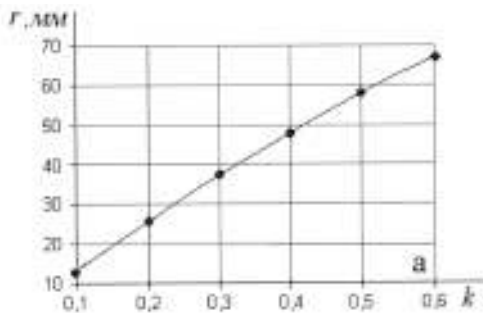


Рис. 4. Расчетная зависимость радиуса изгибающего ролика от следующих параметров:
a — коэффициента натяжения полосы, $r = f(k)$; *б* — от толщины протягиваемой полосы, $r = f(h)$; *в* — от соотношения размеров верхних и нижних изгибающих роликов при различных толщинах протягиваемой полосы, $r = f(n)$

Пусть $R = nr$, где n — коэффициент, учитывающий, во сколько раз радиус нижнего изгибающего ролика меньше радиуса верхнего, тогда выражение (1) примет вид:

$$T = \frac{2\pi\sigma_{\tau}h^2}{r+h} \left(1 + \frac{r+h}{R+h}\right) = \frac{2\pi\sigma_{\tau}h^2}{r+h} \left(1 + \frac{r+h}{nr+h}\right). \quad (2)$$

Для единичной ширины:

$$T \leq \sigma_{\tau}h; \quad T = kh\sigma_{\tau}; \quad k < 1,$$

где k — коэффициент натяжения.

Таким образом, выражение (2) запишется как:

$$k\sigma_{\tau}h = \frac{2\pi\sigma_{\tau}h^2}{r+h} \left(1 + \frac{r+h}{nr+h}\right).$$

Преобразовав его, получим квадратное уравнение относительно радиуса изгибающего ролика r :

$$k\sigma_{\tau}hnr^2 + (k\sigma_{\tau}h^2 - 2\pi\sigma_{\tau}h^2 - 2\pi\sigma_{\tau}h^2n + k\sigma_{\tau}h^2n)r + k\sigma_{\tau}h^3 = 0. \quad (3)$$

Решая уравнение (3) относительно r [2], получаем

$$r = \frac{-kh + 2\pi h + 2\pi hn - khn + h\sqrt{(k - 2\pi - 2\pi n + kn)^2 - 4k^2n}}{2kn}.$$

На рис. 4, *a*, *б* приведены зависимости радиуса изгибающего ролика окалиноломателя от коэффициента натяжения полосы $r = f(k)$ и от толщины протягиваемой полосы $r = f(h)$ при одинаковых радиусах верхних и нижних роликов.

На рис. 4, *в* представлена зависимость радиуса изгибающего ролика от соотношения размеров нижних и верхних радиусов роликов $r = f(n)$ при толщинах протягиваемой полосы 2; 3; 4; 5 мм.

На рис. 5 дана зависимость усилия протягивания полосы толщиной 3, 4 и 5 мм единичной ширины от радиуса верхних изгибающих роликов окалиноломателя. Это позволяет найти предельно-допустимое усилие протягивания полосы при прохождении ее через изгибно-растяжной окалиноломатель в зависимости от радиуса изгибающего ролика и толщины полосы, обеспечивающей наиболее эффективное растрескивание слоя окислы на полосе.

Заключение

Разработана методика расчета усилия протягивания полосы в изгибно-растяжном окалиноломателе. Представлены зависимости для определения радиуса изгибающего ролика изгибно-растяжного окалиноломателя от коэффициента натяжения полосы, толщины протягиваемой полосы и соотношения радиусов нижних и верхних роликов. Полученные результаты позволяют определить предельно-допустимую величину натяжения полосы при прохождении ее через изгибно-растяжной окалиноломатель в зависимости от радиуса изгибающего ролика и толщины полосы, обеспечивающей максимальное разрыхление слоя окалины на поверхности полосы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарев Н.И., Крылов Н.И., Слоним А.З. Теоретические основы расчета правильно-растяжных машин // Машины для обработки полосового проката: Сб.

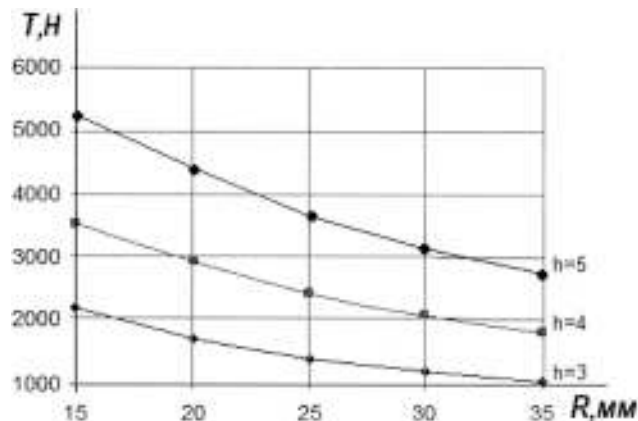


Рис. 5. Расчетная зависимость усилия протягивания полосы различной толщины ($h = 3, 4, 5$ мм) от радиусов изгибающих роликов изгибно-растяжного окалиноломателя

науч. тр. ВНИИМЕТМАШ. № 59. М.: Металлургия, 1979. С. 18—21.

2. Пат. на полезную модель № 96799 РФ. Правильно-растяжной окалиноломатель / Д.В. Суфьянов, Н.Н. Огарков // БИ. 2010. № 23. С. 1043—1044.

ОБЯЗАТЕЛЬСТВО

Автор(ы) статьи предоставляет(ют) издательству ООО «Наука и технологии» на безвозмездной основе на срок действия авторского права, предусмотренного действующим законодательством РФ, исключительную лицензию на использование созданного Автором(ами): _____ научного произведения — Статьи с названием _____

для использования в журнале _____ в пределах, предусмотренных п. 2 ст. 1270 ГК РФ.

В соответствии с п. 2 ст. 1270 ГК РФ и настоящим Обязательством под использованием Статьи понимается:

- воспроизведение Статьи или ее отдельной части на русском языке в любой материальной форме, в том числе на бумажном и электронном носителях в виде отдельного произведения, и/или в составе Журнала(ов), и/или баз данных Издателя и/или иных лиц, по усмотрению Издателя;
- распространение Статьи или ее отдельной части на любом носителе на русском языке по всему миру в виде отдельного произведения, и/или в составе Журнала(ов), и/или баз данных Издателя или иных лиц, по усмотрению Издателя;
- доведение Статьи или ее отдельной части до всеобщего сведения таким образом, что любое лицо может получить доступ к Статье из любого места и в любое время по собственному выбору (доведение до всеобщего сведения, в т. ч. через Интернет);
- право на перевод Статьи на английский язык;
- воспроизведение Статьи или ее отдельной части на английском языке в любой материальной форме, в том числе на бумажном или электронном носителях в виде отдельного произведения, и/или в составе Журнала(ов), и/или на базах данных Издателя и/или иных лиц, по усмотрению Издателя;
- распространения Статьи на английском языке или ее отдельной части на любом носителе на английском языке по всему миру в виде отдельного произведения, и/или в составе Журнала(ов), и/или баз данных Издателя или иных лиц, по усмотрению Издателя;
- доведение Статьи на английском языке или ее отдельной части до всеобщего сведения таким образом, что любое лицо может получить доступ к Статье из любого места и в любое время по собственному выбору (доведение до сведения, в т. ч. через Интернет);
- сублицензирование (выдача разрешения) полученных прав по настоящему Обязательству в целом или частичном виде для перевода, издания, распространения и доведения до всеобщего сведения на английском языке.

Подписи Автор(ов)