

В.Н.Левченко канд.техн.наук

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» г.Харьков, Украина

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРАВКИ ОСТРЯКОВЫХ РЕЛЬСОВ НА РОЛИКОПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЕ

Якість правки рейок на роликотправильній машині залежить від ряду технологічних параметрів. Розроблено методику розрахунку енергосилових характеристик правки рейок, яка дозволяє розрахувати оптимальні параметри настройки роликотправильної машини. Отримані результати експериментально перевірено в рейкобалоночному цеху меткомбінату «Азовсталь».

The quality of straightening of rails in gagger depends on the technological parameters. The methods of calculation of energy parameters for rails straightening which allows to obtain optimum setting parameters for gagger are developed. The calculated data were experimentally mustered in the rail-and-structural shop of the "Azovstal" metallurgical plant.

Качество правки рельсов на роликотправильной машине (РПМ) определяется: величиной и распределением по длине рельса усилий и изгибающих моментов, а также величиной и стабильностью деформации рельса в процессе правки. Нагружение рельса в РПМ соответствует изгибу по схеме статически неопределенной многопролетной неразрезной балки [1, 2]. Для анализа усилий и изгибающих моментов при продвижении рельса в машине рассматриваем нагружение рельса по участкам его длины тремя роликами: крайними опорными и средним изгибающим.

Продольные деформации рассматриваем одинаковыми по ширине сечения и разными в каждой точке поперечного сечения. Одинаковые по поперечному сечению продольные деформации и напряжения имеют одинаковые индексы.

Расчет параметров правки рельсов основан на следующих допущениях. Кривая изгиба профиля от каждого ролика – окружность. Разгрузка профиля происходит в точке, которая находится на сопряжении окружностей соседних роликов. Возникающие деформации, которые превышают предельно упругие, принимаем равными им, а для деформаций, не превышающих предельно упругих, значения сохраняем.

При таких упрощениях в пределах упругой области σ_{ij} будет пропорционально ϵ_{ij} , а в пластической области равно пределу текучести [3, 4].

Под четными роликами перемещения профиля задаем, под нечетными – рассчитываем. Проведем ось z по касательной к поверхностям нижних роликов. Для ролика с нечетным номером $k = 1$ перемещение z_1 равно нулю:

$$y = \frac{x \cdot (y_{k-1} - y_{k+1}) + x_{k-1} \cdot y_{k+1} - x_{k+1} \cdot y_{k-1}}{x_{k-1} - x_{k+1}}.$$

Соответственно определяем координаты перемещений для остальных роликов. При правке рельсов используют РПМ с равным шагом роликов, т.е. величина y при

$x = (x_{k-1} + x_{k+1})/2$ равна $y = (y_{k-1} + y_{k+1})/2$. Перемещения нечетных роликов $z_k = -y$. Таким образом $z_3 = (z_2 + z_4)/2$, $z_5 = (z_4 + z_6)/2$.

Центр тяжести сечения профиля:

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^n b_i \cdot [(i-1) \cdot \Delta y + \Delta y/2]}{\sum_{i=1}^n b_i},$$

где $F_i = b_i \cdot \Delta y$;

$y_i = \Delta y \cdot (i-1)$ – высота i -го сечения профиля;

$\Delta y = \frac{h}{n-1}$ – шаг по высоте расчетной сетки;

h – расчетная высота профиля;

b_i – ширина i -го сечения профиля.

y_c – расстояние от центра тяжести профиля до крайнего волокна.

Аналогично, в плоскости меньшей жесткости.

Начальной эпюрой деформаций перед правкой является эпюра остаточных продольных напряжений после предыдущего передела. Задаемась максимальной величиной деформации с тем или иным знаком ε_n и рассчитываем эпюру деформаций по линейному закону:

$$\varepsilon_{0i} = \varepsilon_n \cdot \left(1 - \frac{y_i}{y_c}\right),$$

где ε_n – максимальная заданная деформация;

$$\varepsilon_{0i} = \frac{\sigma_{teki}}{E} \cdot \frac{\varepsilon_{0i}}{|\varepsilon_{0i}|},$$

где σ_{teki} – предел текучести для i -го сечения.

При превышении деформации предельно упругой величины, деформация принимается равной последней с соответствующим знаком $\frac{\varepsilon_{0i}}{|\varepsilon_{0i}|} = 1$, который определяется знаком числителя.

Расчет радиусов изгибов полосы для 2-го, 3-го, 4-го и 5-го роликов $h_m = h_{mk-1} + h_{mk}$; для четных k : $f_k = -z_k$; для нечетных k : $f_k = \frac{z_{k-1} + z_{k+1}}{h_{mk-1} + h_{mk}} \cdot h_{mk-1}$.

Радиус изгиба равен $R_k = \frac{h_m^2}{8 \cdot f_k}$.

Перемещения z_k , определены ранее. Деформации и напряжения нагрузки здесь имеют индекс t .

Из рассмотрения подобия секторов окружности на границе профиля и на нейтральной оси:

$$\varepsilon_h = \frac{y_c - h}{|R_k|},$$

где h – высота профиля.

Деформации нагрузки складываются с деформациями от предыдущей разгрузки в каждом сечении или каждой точке профиля

$$\varepsilon_{rki} = \varepsilon_{tki} + \varepsilon_{0k-1i},$$

где:

$$\varepsilon_{tki} = (-1)^k \cdot \left[\varepsilon_h + (\varepsilon_b - \varepsilon_h) \cdot \frac{i-1}{n-1} \right],$$

где k – номер ролика (для четных – плюс, для нечетных – минус).

если $|E \cdot \varepsilon_{rki}| < \sigma_{teki} : \sigma_{rki} = E \cdot \varepsilon_{rki}$,

если $|E \cdot \varepsilon_{rki}| \geq \sigma_{teki} : \sigma_{rki} = \sigma_{teki} \cdot \frac{\varepsilon_{rki}}{|\varepsilon_{rki}|}$.

Аналогично, для других точек профиля:

$$\varepsilon_{rkij} = \varepsilon_{tki} + \varepsilon_{0k-1ij}; \quad (1)$$

если $|E \cdot \varepsilon_{rkij}| < \sigma_{tekij} :$

$$\sigma_{rkij} = E \cdot \varepsilon_{rkij}, \quad (2)$$

если $|E \cdot \varepsilon_{rkij}| \geq \sigma_{tekij} :$

$$\sigma_{rkij} = \sigma_{tekij} \cdot \frac{\varepsilon_{rkij}}{|\varepsilon_{rkij}|}. \quad (3)$$

В формулах (1–3) и во всех последующих предполагается, что σ_{tekij} – предел текучести для точки с индексами i и j .

Деформация при разгрузке для сечений если $|E \cdot \varepsilon_{rki}| < \sigma_{teki} : \varepsilon_{rki} = \varepsilon_{rki}$,

если $|E \cdot \varepsilon_{rki}| \geq \sigma_{teki} : \varepsilon_{rki} = \frac{\sigma_{teki}}{E} \cdot \frac{\varepsilon_{rki}}{|\varepsilon_{rki}|}$.

Обозначив эту деформацию в сечениях плоскости большей жесткости через ε_{0k} , определим подлежащий минимизации функционал:

$$F = \sum_{i=1}^n \left[\varepsilon_{0k} \cdot \left(1 - \frac{y_i}{y_c} \right) - \varepsilon_{0ki} \right]^2 \cdot b_i = \min.$$

Для определения ε_{0k} продифференцируем F по ε_{0k} и приравняем полученную производную нулю.

$$\varepsilon_{0k} = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_{0ki} \cdot \left(1 - \frac{y_i}{y_c}\right) \cdot b_i}{\sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{y_i}{y_c}\right)^2 \cdot b_i}.$$

Деформации в сечениях плоскости меньшей жесткости:

$$F = \sum_{j=1}^l \left[\varepsilon_{0k} \cdot \left(1 - \frac{x_j}{x_c}\right) - \varepsilon_{0kj} \right]^2 \cdot h_j = \min,$$

где l – число разбинок профиля по ширине;

h_j – высота профиля в j сечении;

$$\varepsilon_{0k} = \frac{\sum_{j=1}^l \varepsilon_{0kj} \cdot \left(1 - \frac{x_j}{x_c}\right) \cdot h_j}{\sum_{j=1}^l \left(1 - \frac{x_j}{x_c}\right)^2 \cdot h_j}.$$

Деформации в точках плоскости большей жесткости:

$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l \left(\varepsilon_{0y} \cdot \left(1 - \frac{y_i}{y_c}\right) - \varepsilon_{0kij} \right)^2 \cdot \Delta b_i \cdot \Delta b_j = \min; \quad \varepsilon_{0ky} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l \varepsilon_{0kij} \cdot \left(1 - \frac{y_i}{y_c}\right) \cdot \Delta b_i \cdot \Delta b_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l \left(1 - \frac{y_i}{y_c}\right)^2 \cdot \Delta b_i \cdot \Delta b_j}.$$

Аналогично для деформаций в точках плоскости меньшей жесткости.

Остаточный радиус кривизны:

$$R_{0k} = y_c \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{y_i}{y_c}\right)^2 \cdot b_i}{\sum_{i=1}^n \varepsilon_{0ki} \cdot \left(1 - \frac{y_i}{y_c}\right) \cdot b_i}.$$

Если $\sum_{i=1}^n \varepsilon_{0ki} \cdot \left(1 - \frac{y_i}{y_c}\right) \cdot b_i < 10^{-7}$, то принимаем $R_{0k} = 10^7$.

По остаточному радиусу кривизны в каждой плоскости определяем стрелу прогиба на одном метре длины профиля: $f_{0m} = \frac{1000^2}{8 \cdot R_{0m}}$.

Если f_{0m} равно или меньше допустимого, то рельс считается прямым.

Введен следующий критерий уровня остаточных напряжений: $s = \sum_{i=1}^n |\varepsilon_{0i}|$.

Поскольку $|\varepsilon_{0i}| \leq \frac{\sigma_{teki}}{E}$, то, умножив s на E , получим суммарную величину абсолютных значений напряжений.

Перебором заданной области значений z_2, z_4, z_6 с определенным шагом изменения этих величин (0,5 мм) производим расчет характеристик правки. Значения z_2, z_4, z_6 должны удовлетворять принятым критериям правки.

Согласно [4]:

$$F = A - A_p = \min ,$$

где A – суммарная работа деформации;

A_p – работа внешних сил на подвижных роликах:

$$A_k = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{tki} \cdot \sigma_{tki} \cdot b_i \cdot l_k \cdot \Delta y ;$$

σ_{tki} – напряжение нагрузки;

l_k – длина очага деформации под k -м роликом.

Значение σ_{tki} в зависимости от величины $E \cdot \varepsilon_{tki}$: если $|E \cdot \varepsilon_{tki}| < \sigma_{teki}$, $\sigma_{tki} = E \cdot \varepsilon_{tki}$,

если $|E \cdot \varepsilon_{tki}| \geq \sigma_{teki}$, $\sigma_{tki} = \sigma_{teki} \cdot \frac{\varepsilon_{tki}}{|\varepsilon_{tki}|} + \alpha \cdot \left(\varepsilon_{tki} - \frac{\sigma_{teki}}{E} \cdot \frac{\varepsilon_{tki}}{|\varepsilon_{tki}|} \right)$, где α – коэффициент

упрочнения.

Для роликов с номерами от третьего до $(m-1)$ -го:

$$l_k = \frac{(h_{mk-1} + h_{mk}) \cdot R_{k-1}}{2 \cdot (R_{k-1} + R_k)} .$$

Эти формулы следуют из условия сопряжения двух окружностей.

Для второго ролика:

$$l_2 = \frac{(h_{m1} + h_{m2}) \cdot R_2}{2 \cdot (R_2 + R_3)} + \frac{h_{m1}}{2} .$$

Для предпоследнего ролика:

$$l_{m-1} = \frac{(h_{mm-1} + h_{mm}) \cdot R_{m-2}}{2 \cdot (R_{m-2} + R_{m-1})} + \frac{h_{mm}}{2} .$$

Суммарная работа деформации равна $A = \sum_{k=2}^{m-1} A_k$.

По заданным P_2, P_4, P_6 необходимо для шестирюликовой машины найти такие z_2, z_4, z_6 , которые минимизируют функционал:

$$F = \sum_{k=1}^{m-1} \sum_{i=1}^n \varepsilon_{tki} \cdot \sigma_{tki} \cdot b_i \cdot l_k \cdot \Delta y - (P_2 \cdot z_2 + P_4 \cdot z_4 + P_6 \cdot z_6) . \quad (4)$$

Функционал (4) решаем методом покоординатного спуска – исходя из произвольного начального значения переменных z_2, z_4, z_6 , с помощью некоторого числа изменений переменных z_2, z_4, z_6 последовательно уменьшается.

Обозначим значение z_2, z_4, z_6 перед началом итерации через z_{02}, z_{04}, z_{06} . Функционал от z_{02}, z_{04}, z_{06} обозначим через F_0 . Рассчитаем F по (4) согласно приведенной выше методике расчета напряжений, деформаций, работы деформации и работы внешних сил. Если $F < F_0$, новое значение функционала $F_0 = F$ и новое значение переменных z_{02}, z_{04}, z_{06} : $z_{02} = z_2$; $z_{04} = z_4$; $z_{06} = z_6$. Принимаем $z_2 = z_{02} - \Delta z$; $z_4 = z_{04}$; $z_6 = z_{06}$. Если F_0 не изменилось по сравнению с его значением перед началом итерации, это является признаком конца итераций. Если F_0 уменьшилось по сравнению с его значением перед началом итерации, возвращаемся к началу итераций.

По разработанному алгоритму составлена программа расчета настройки роликотправильной машины по усилиям правки. Расчет производили для рельса ОР65 при правке его в плоскости большей жесткости. Усилия P_2, P_4, P_6 подбирали такие, чтобы получить мягкую настройку машины.

При усилиях $P_2 = 2890$ кН, $P_4 = 3210$ кН, $P_6 = 1050$ кН получили $z_2 = 13$ мм, $z_4 = 8$ мм и $z_6 = 5,5$ мм. Под вторым роликом наибольшее перемещение и площадка текучести больше, чем под остальными. Подбор усилий при автоматизации процесса с помощью описанного алгоритма покоординатного спуска, должен производиться с малым шагом по усилиям, так как изменение усилий в пределах 10 кН заметно влияет на значение настройки.

Для определения режимов правки путем минимизации суммарной работы деформации металла и РПМ предположим, что неподвижные нижние ролики правильной машины имеют бесконечно большую жесткость, а подвижные конечную жесткость G [Н/мм]. Если обозначить через Z_2, Z_4, Z_6 – расстояние от линии, соединяющей неподвижные ролики, то в силу конечной жесткости G , величины $Z_2 - z_2, Z_4 - z_4$ и $Z_6 - z_6$ будут упругой отдачей машины на подвижных роликах. Значения усилий равны: $P_2 = G \cdot (Z_2 - z_2), P_4 = G \cdot (Z_4 - z_4), P_6 = G \cdot (Z_6 - z_6)$.

Работа упругой отдачи подвижных роликов:

$$A_{\text{упр}} = \frac{1}{2} \cdot G \cdot \left[(Z_2 - z_2)^2 + (Z_4 - z_4)^2 + (Z_6 - z_6)^2 \right].$$

По известным Z_2, Z_4 и Z_6 находим z_2, z_4 и z_6 , чтобы:

$$F = A + A_{\text{упр}} = \min ;$$

$$F = \sum_{k=1}^{m-1} \sum_{i=1}^n \varepsilon_{tki} \cdot \sigma_{tki} \cdot b_1 \cdot l_k \cdot \Delta y + \frac{1}{2} \cdot G \cdot \left[(Z_2 - z_2)^2 + (Z_4 - z_4)^2 + (Z_6 - z_6)^2 \right].$$

По разработанному алгоритму составляем программу расчета настройки роликов по выставленным перемещениям подвижных роликов. Расчет производим для рельса типа ОР65 при правке его в плоскости большей жесткости. Перемещения роликов: $Z_2 = 13$ мм, $Z_4 = 8$ мм и $Z_6 = 6$ мм. Проведенные опыты по правке рельсов типа ОР65 в соответствии с расчетными в шестироликовой машине рельсобалочного цеха

комбината «Азовсталь» в плоскости большей жесткости показали, что погрешность расчетов не превышает 15%.

Рассматривая схему нагружения рельса при правке в роликоправильной машине, как статически неопределенную многопролетную неразрезную балку, из уравнения минимума суммарной работы деформации металла и роликоправильной машины получены аналитические зависимости для определения оптимальных режимов правки.

Проведенные опыты по правке острых рельсов типа ОР65 в вертикальной роликоправильной машине рельсобалочного цеха комбината «Азовсталь» в соответствии с разработанными режимами показали, что погрешность расчетов не превышает 15%.

Список литературы

1. Жученко А.Н. Анализ технологических параметров правки рельсов на роликоправильных машинах // Качество, надежность и эксплуатационная стойкость железнодорожных рельсов и колес: Отрасл. сб. науч. тр. – Харьков: УкрНИИМет, 1988, с. 75-79.
2. Жученко А.Н., Ясинский И.Ф., Пашенко А.А. Влияние способов нагружения при правке рельсов на предел текучести стали // Технология производства железнодорожных рельсов и колес: Отрасл. сб. науч. тр. – Харьков: УкрНИИМет, 1989, с. 62-66.
3. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. – М.: «Мир», 1987, 542с.
4. Амензаде Ю.А. Теория упругости. – М.: «Высшая школа», 1976, 272 с.

УДК 621.992.7

Д55

**С.С.Добрянський, канд.техн.наук, доцент, Д.О.Артамонов, студ.
НТУ України "Київський політехнічний інститут" м.Київ, Україна**

НАРІЗУВАННЯ, НАКАТУВАННЯ І ОБКАТУВАННЯ РІЗЬБ ГОЛОВКАМИ

Нарезание, накатывание и обкатывание резьб головками.

Приведены результаты исследования точности и шероховатости поверхностей нарезанных, накатанных и обкатанных резьб. Рассмотрены три схемы обкатывания резьб. Предложены формулы для определения диаметров и точности заготовок под накатывание резьб, диаметров заготовок под обкатывание резьб.

Cutting, rolling and running thread with thread cutting head.

Here are results of precision and roughness researches of cutting, rolling and running threads. Three schemes of running were analysed. Some formulas were described for finding blank's precise and diameter, diameters for running threads.

У машинобудуванні для виготовлення зовнішніх різьб на універсальних металорізальних верстатах широко застосовують різьбонарізні головки типу *K* і *KA* та різьбонакатні головки типу ВНГН, які працюють з осьовою подачею і самі розкриваються.