Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Кафедра обработки металлов давлением и металловедения.
ЕВРАЗ ЗСМК

Проектирование цехов обработки металлов давлением

Методические указания для практических занятий, курсовой,
и самостоятельной работы

Новокузнецк
2022

УДК XXXXXXXXXXXX
XXXXX

Составитель
Кузнецов Иван Семенович
Фастыковский Андрей Ростиславович

Рецензент
кандидат технических наук
заведующий кафедрой металлургии цветных металлов и химической технологии
О.А. Полях

XXXXX Проектирование цехов обработки металлов давлением: методические указания / М-во науки и высш. образования Российской Федерации, Сиб. гос. индустр. ун-т, Каф. об-
работки металлов давлением и металловедения ЕВРАЗ ЗСМК ; сост. Кузнецов И.С., Фастыковский А.Р. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2022. – URL : http://library.sibsiu.ru – Текст:элекронный

Приведены исходные данные для технологического проектирования, структура цеха и движение материального потока, назначение параметров основного и вспомогательного оборудования, расчет пропускной способности и часовой производительности цеха.

Предназначены для обучающихся по дисциплинам «Проектирование цехов обработки металлов давлением», «Проектирование решений компоновки цехов обработки металлов давлением» направления подготовки 22.03.02 Металлургия, профиль подготовки «Обработка металлов давлением», «Цифровая металлургия», квалификация выпускника бакалавр, формы обучения очная, заочная.

Публикуется по решению комиссии по совершенствованию учебно-методической работы в институте металлургии и материаловедения при ученом совете ИМиМ (протокол от 2022 г).

Издано в полном соответствии с авторским оригиналом.
© Сибирский государственный индустриальный университет, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие……..4
1. Разработка исходных данных для технологического проектирования.....4
2. Определение структуры цеха и движение материального потока.....6
3. Назначение параметров основного и вспомогательного оборудования.....7
4. Расчет пропускной способности и часовой производительности цеха …….....9
5. Задания для самостоятельной работы……36
Список рекомендуемой литературы …….....37

Предисловие

Методические указания: «Проектирование цехов обработки металлов давлением» адресованы обучающимся очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 22.03.02 Металлургия.

1. Разработка исходных данных для технологического проектирования.

Исходными данными для технологического проектирования прокатного цеха являются: проектная производственная программа, технология производства продукции, а также регламент отгрузки продукции, характеристики, источники и регламент поставок ресурсов.

Проектная производственная программа прокатного цеха должна содержать перечень видов продукции с указанием диапазона и распределения существенных потребительских характеристик, прежде всего, размеров; шифры стандартов на сортамент и условия поставки; годовой объем выпуска продукции каждого вида и общий выпуск либо общий выпуск и долю каждого вида продукции в сортаменте. Под видом продукции цеха понимают группу профилемаркоразмеров с близкими технологическими свойствами, требующих одинакового объема обработки, например: рельсы железнодорожные, балки и швеллеры; сталь угловая и полосовая. Каждый вид продукции в проектную производственную программу записывают одной позицией.

В утвержденной технологии прокатного цеха должны быть освещены следующие вопросы:

1. Полная технологическая схема производства.

2. Технология подготовки металла к прокатке: режимы нагрева заготовок в зависимости от размеров и марок стали для цехов горячей прокатки.
3. Технология прокатки, в том числе: схемы прокатки, включая режимы обжатий и натяжений для предельных и усредненных по сортаменту размеров; температурно-скоростные режимы по группам клетей, маркам стали и размерам полос; режимы охлаждения металла в потоке; способы удаления окалины с расположением устройств для этого и параметры энергоносителей; монтажные партии прокатки полос между перевалками с предельными количествами продукции каждого вида, режимы перевалок.
4. Технология отделки проката: термическая обработка, резка, сортировка, упаковка по видам продукции.
5. Технология складирования на межоперационных складах и складах готовой продукции.

Регламент отгрузки продукции — это комплекс сведений о периодичности отгрузки, размерах партий, видах внешнего транспорта. Регламент отгрузки влияет на тип производства цеха, монтаж партий, частоту перестроек и перевалок, площади складов металла. Если эти сведения специально не оговариваются, в расчет следует принимать равномерную отгрузку проката в течение суток железнодорожным транспортом. При доставке на расстояния до 500 км перспективным является автомобильный транспорт.

Ресурсы. Для каждого вида продукции должна быть определена исходная заготовка; ее размеры, способ получения (разливка в изложницы или непрерывная), источники получения (свой или другие заводы).

Для прочих ресурсов должны быть известны: для электроэнергии - род тока, напряжение; для газов (горючих, защитных, сжатого воздуха) - состав, теплотворная способность (горючие газы), температура, давление, влажность; для эмульсий, смазок, кислот - состав, плотность, вязкость, загрязненность; для теплофикационной и технической воды - температура, давление, кислотность (щелочность), жесткость общая и постоянная, содержание взвесей, масел, их состав, сухой остаток; для клетей, валков – степень готовности к использованию. Кроме того, должны быть установлены регламент поставок и уровни, где производится доводка физических

ресурсов до требований основного прокатного производства, а для отходов — до условий реализации или сброса в окружающую среду.

2. Определение структуры цеха и движение материального потока.

Прокатное производство как производственная система представляет собой динамичный комплекс, состоящий из подразделений (цехов, участков, хозяйств), связанных единым производственным процессом, со сложными агрегатами, многостадийными технологиями, требующими строгой регламентации, рациональной организации и эффективного управления для обеспечения выпуска промежуточных полупродуктов (заготовок) и готовой продукции (проката) с наименьшими издержками производства.

Каждый передел (цех-стадия) имеет свой конкретный производственный процесс, отражающий его технологическую сущность и выделенный по предметно-технологическому признаку для одного способа производства. Далее производственный процесс декомпозируется на несколько частных процессов (ступеней – отделений, участков). Организационное построение и внутреннее содержание процесса на каждом участке определяются пространственным размещением оборудования и специализированным комплексом технологически однородных производственных операций, осуществляемых в строго установленной последовательности с каждой единицей или партией продукции. Следует отметить, что участки производства неравнозначны при изучении их с различных позиций, поэтому с организационной точки зрения выделяется главный участок, на котором непосредственно осуществляется основной технологический процесс производства, то есть процесс по качественному изменению сырья и материалов в полуфабрикат или готовую продукцию.

В основных цехах прокатного производства главными участками являются участки прокатки (получение профильных видов проката при обработке заготовок в рабочих клетях прокатного стана).

В цехах прокатного производства характерна последовательная обработка исходного сырья, материалов до готового продукта, что требует согласования производственных мощностей прокатных цехов

и их работы по графику, обеспечивающему бесперебойную, ритмичную работу участка, цеха и производства в целом. Для решения вопроса структуры прокатного цеха необходимо оценивать в первую очередь выпускаемый вид продукции ее объемы, определить такты работы производственных систем.

3. Назначение параметров основного и вспомогательного оборудования

Основным параметром оборудования прокатного цеха является типоразмер прокатного стана, установленного в прокатном цехе. Основными параметрами блюмингов и слябингов являются номинальный диаметр бочки валка; заготовочных и сортовых станов — среднее расстояние между осями новых и переточенных валков чистовой клети; листовых общего назначения — длина бочки рабочего валка. Размеры валков определяют расчетом.

Диаметр рабочих валков устанавливают из следующих условий:

1. Прорабатываемости сечений (крупных).
2. Предела выкатываемости (тонких полос).
3. Захвата полосы валками.
4. Допустимой глубины вреза калибра.
5. Допустимого уменьшения диаметра валков при переточке.

Наибольшие и наименьшие размеры сечений полос известны из производственной программы, наибольшее обжатие оценивают ориентировочно по аналогии с известными станами. Допустимые углы захвата металла валками можно принимать следующими:

при прокатке в валках с насеченной или наваренной поверхностью 27 – 34 градуса;

при прокатке сортового металла 22 – 24 градуса;

при горячей прокатке листов и полос 15 -22 градуса;

при холодной рулонной прокатке со смазкой в шлифованных валках 8 – 10 градусов.

Рекомендуемые значения коэффициентов переточки валков:

блюминги - 0,10 - 0,12 и до 0,16;

сортовые станы (кроме проволочных) - 0,08 - 0,1;

проволочные станы - 0,05 - 0,08;

средне – и толстолистовые станы - 0,05 - 0,07;
тонколистовые станы - 0,03 - 0,06.

Размеры шеек и концов валков устанавливает ГОСТ 5399 в зависимости от размеров бочки, типа подшипников и способа передачи вращения. Массу валков определяют суммированием масс его элементов — бочки, шеек и концов, рассчитанных по стандартным размерам. Плотность стальных кованых валков при расчете можно принимать равной 7,85, стальных литых 7,6, чугунных 7,3 - 7,5, твердосплавных (карбид вольфрама на кобальтовой связке) - 14 т/м^3. В многоклетевых станах в целях унификации валки принимают одинаковыми для всего стана или его отдельных групп.

Наряду с типоразмером прокатного стана важным параметром оборудования является другой параметр оборудования - базовый образец. Базовым образцом называют реально достижимую совокупность значений показателей качества продукции, принятых для сравнения. Базовый образец характеризует оптимальный уровень качества на некоторый заданный период времени. На стадии разработки продукции базовым образцом могут служить показатели продукции, отвечающей реально достижимым перспективным требованиям (перспективный образец) либо планируемой к освоению. Эти показатели должны обеспечивать наибольшую эффективность в эксплуатации и потреблении продукции и отвечать требованиям государственных и отраслевых стандартов и технических условий, а также международных стандартов. Базовый образец следует устанавливать по показателям группы продукции, аналогичной по назначению, условиям эксплуатации или потребления, характеризующейся одинаковыми с оцениваемой продукцией номенклатурой показателей качества, методами определения их значений и единицами измерения. Типоразмер базового образца должен отличаться от оцениваемого не более чем на 5—10 %. В рассматриваемую группу должна входить продукция, представляющая значительную часть общего ее объема, реализуемого в России и за рубежом, и пользующаяся спросом на рынке металлопроката.

4. Расчет пропускной способности и часовой производительности цеха

Основным показателем интенсивного использования цеха как производственной системы является производительность в фактический час его работы. Ведущим участком в цехе считается прокатный стан, где осуществляется главная операция процесса – прокатка слитков (заготовок) в рабочих клетях. Остальные участки цеха являются вспомогательными, которые призваны своевременно обеспечивать ритмичную и бесперебойную работу стана. Поэтому нужна жесткая регламентация производственного процесса по всем участкам цеха.

Часовая технически возможная производительность прокатного цеха (производственной системы) определяется по формуле:

$$P^{тв} = \frac{3600 \cdot G}{T_c^{тв}}, \text{ т/ч (по всаду) – для обжимных цехов;} \quad (1)$$

$$P^{тв} = \frac{3600 \cdot G}{T_c^{тв} \cdot K_p^{тв}}, \text{ т/ч (по годному) – для передельных цехов,} \quad (2)$$

где G – масса заготовки (слитка), т;

$T_c^{тв}$ – технически возможный такт работы производственной системы (цеха), с;

$K_p^{тв}$ – технически возможный расход заготовки на тонну проката (расходный коэффициент металла), т/т.

Часовая нормативная производительность прокатного цеха определяется по формуле:

$$P^{н} = \frac{3600 \cdot G}{T_c^{н}}, \text{ т/ч (для обжимных цехов);} \quad (3)$$

$$P^{н} = \frac{3600 \cdot G}{T_c^{н} \cdot K_p^{н}}, \text{ т/ч (для передельных цехов),} \quad (4)$$

где $T_c^{н}$ – нормативный такт работы производственной системы, с;

$K_p^{н}$ – норма расхода заготовки на тонну проката, т/т.

Под тактом понимается отрезок времени между одноименными моментами обработки (начало или окончание) двух смежных единиц продукции (например, заготовка, раскат, пакет). При этом

устанавливаются границы (фиксажные точки) такта по зрительному восприятию наблюдателя. Например, границы такта прокатки в клети № 1: от момента подачи первой заготовки и до момента подачи второй заготовки в валки.

Нормативный такт работы производственной системы (цеха) определяется по формуле:

$$T_c^н = \frac{T_c^{тв}}{K_и^н}, \text{ с} \qquad (5)$$

где $K_и^н$ – нормативный коэффициент использования оборудования (применяется в пределах 0,85–0,95), зависит от степени автоматизации и механизации основного и вспомогательного оборудования).

Единый такт работы производственной системы ($T_c^{тв}$, $T_c^н$) выбирается из всех тактов работы основного и вспомогательных участков (отделений) цеха. Критерием служат максимальные затраты времени. С этой целью в работе определяются методом технического нормирования следующие технически возможные и нормативные такты процессов: нагрева в печах или ячейках колодца (такт работы участка нагрева), прокатки в клетях (такт работы участка прокатки), охлаждения на холодильнике (такт работы участка охлаждения), порезки на ножницах или пилах (такт работы участка порезки), пакетирования на механизированных устройствах (такт работы участка пакетировки).

Такт работы цеха (производственной системы) определяется из условия:

$$T_c^{тв(н)} = max\left\{ T_{y1}^{тв(н)}, T_{y2}^{тв(н)}, \ldots T_{ym}^{тв(н)} \right\},$$

где $T_{y1}^{тв(н)}$, $T_{y2}^{тв(н)}$, ... $T_{ym}^{тв(н)}$ – технически возможный (нормативный) такт работы *m*-го участка, с.

Такт работы каждого участка цеха определяется по формуле:

$$T_y^{тв(н)} = \frac{T_1^{тв(н)}}{Z_o}, \text{ с} \qquad (6)$$

где $T_1^{тв(н)}$ – такт работы одного типового оборудования на участке, с;

Z_o – количество параллельно работающего типового оборудования на участке, шт.

Если на участке параллельно функционирует разнотипное оборудование, то расчеты проводятся по следующей формуле:

$$T_y^{тв(н)} = \frac{T_1^{тв(н)} + T_2^{тв(н)}}{Z \cdot k_{ср}}, \quad (7)$$

где Z – количество параллельно работающего разнотипного оборудования, шт.;

$k_{ср}$ – коэффициент усреднения.

В общем виде такт работы оборудования состоит из следующих элементов:

$$T_1 = t_1 + t_2 + t_3, \quad (8)$$

где t_1 – время подачи (загрузки) заготовки (слитка, раската, полосы, пачки) в агрегат (оборудование);

t_2 – время обработки заготовки в агрегате;

t_3 – время выдачи (выгрузки) заготовки из агрегата.

В зависимости от вариантов выполнения операций в конкретном оборудовании (с учетом параллельно-последовательного или параллельного их протекания) выражение (28) может принять следующий вид:

$$T_1 = t_1 + t_2; \quad T_2 = t_2 + t_3; \quad T_1 = t_2.$$

В работе рассчитываются технически возможные такты работы оборудования по участкам цеха для одного заданного маркопрофилеразмера (на основании выданного задания кафедрой обработки металлов давлением на курсовой проект по технологии прокатного производства). Все такты работы участков должны определяться на одну единицу продукции (заготовку или слиток).

Для обоснования такта работы оборудования на каждом участке цеха и наглядного его представления необходимо построить графики процессов обработки металла (заготовки, раската, пачки, пакета) и изобразить схематично с указанием длительности операций, цикла, такта, перекрытия циклов и описанием их

характеристик.

Рассмотрим расчет такта работы нагревательных устройств.

Печь методическая толкательная

Вариант № 1 загрузки-выгрузки (рисунок 1а):

- подача заготовки в печь: торцевая при помощи толкателя;
- выдача заготовки из печи: боковая при помощи выталкивателя.

Такт работы методический печи по варианту № 1 определяется по формуле:

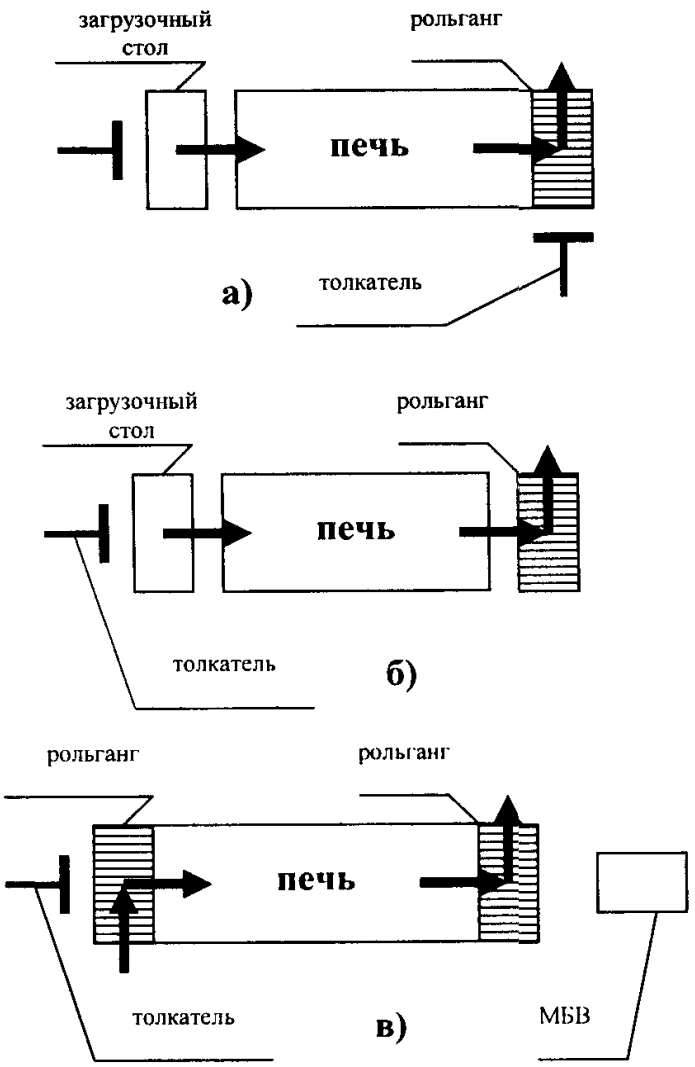
$$T_н^{тв} = t_з + \frac{t_н}{E_п} + t_в, \qquad (9)$$

где $t_з$ – время подачи заготовки в печь толкателем, с;

$t_í$ – время нагрева заготовки в печи (по технологической инструкции цеха для заготовки заданного сечения и конкретной марки стали), ч (с);

$E_п$ – емкость печи (количество заготовок одновременно нагреваемых в печи, шт.);

$t_в$ – время выдачи заготовки из печи выталкивателем (с учетом возврата его в исходное положение), с.



а) торцевая подача и боковая выдача толкателями;
б) торцевая подача толкателем, выдача самопроизвольная;
в) боковая подача по рольгангу и толкателем, выдача машиной (МБВ) на рольганг.

Рисунок 1 – Схема загрузки заготовок в печь и выгрузки их из печи по вариантам

Время торцевой подачи заготовки в печь при помощи толкателя рассчитывается по формуле:

$$t_з = \tau_{оз} + \frac{в_з}{V_m} + \tau_{зз} \text{ или } t_з = 2\tau_{оз} + \frac{в_з}{V_m}, \text{ если } \tau_{оз} = \tau_{зз},$$

где $\tau_{оз}(\tau_{зз})$ – время открытия (закрытия) заслонки печи (определяется на основе хронометражных данных), с;

$в_з$ – ширина заготовки, м;

V_m – скорость движения толкателя, м/с.

Время боковой выдачи заготовки из печи при помощи выталкивателя рассчитывается по формуле (с учетом движения выталкивателя вперед и возврата его в исходное положение):

$$t_в = 2 \cdot \frac{l_m}{V_g}, \qquad (10)$$

где l_m – длина хода выталкивателя, м;

V_g – скорость движения выталкивателя, м/с.

Емкость печи определяется по формуле:

$$E_n = \frac{L_n \cdot Z_{pn} \cdot K_n}{в_з}, \text{ шт.}, \qquad (11)$$

где L_n – длина активного (полезного) пода печи, м;

Z_{pn} – количество продольных рядов заготовок в печи, шт.;

K_n – коэффициент, учитывающий плотность укладки заготовок в печи (K_n = 0,95–0,98).

Технические характеристики печи приведены в технологической инструкции цеха (или отдельно по участку нагрева).

Ритмичная работа печи достигается при строгом соблюдении обслуживающим персоналом (операторов постов управления и рабочих-нагревальщиков) регламентированного режима нагрева металла. Металл, нагретый до температуры ниже установленного минимума, вызывает нарушения процесса прокатки, приводит к аварийному состоянию оборудовании стана, а металл, нагретый выше допустимой температуры, увеличивает удельный его расход за счет образования брака и дополнительного угара, окалины, а также повышает расход топлива и снижает качество выпускаемой продукции.

При установлении температуры и продолжительности нагрева заготовок в печи производится группировка металла по следующим основным признакам:

- химическому составу (примерно одинаковому);
- теплопроводности;

- сопротивлению деформации.

В случае отсутствия в технологической документации обоснованного времени нагрева заготовки (слитка) до температуры прокатки необходимо его рассчитать по нижеприведенным формулам.

Время нагрева для холодной заготовки или слитка (холодный посад):

$$t_н^x = \tau_y \cdot d \text{, ч} \quad \text{или} \quad t_н^x = (0,75 + 0,05d) \cdot d \text{, мин} \qquad (12)$$

где τ_y – удельное время нагрева (для углеродистых марок стали τ_y = 0,10–0,15; для легированных конструкционных τ_y = 0,15–0,20; для высоколегированных конструкционных и специальных марок стали τ_y = 0,30–0,40), ч/см;

d – диаметр или сторона сечения заготовки или слитка, см.

Время нагрева для горячей заготовки или слитка (горячий посад):

$$t_н^x = (4,5 + 0,01d) \cdot d \cdot k_t \text{, мин,} \qquad (13)$$

где k_t – коэффициент, учитывающий температуру заготовки при подаче в нагревательные печи (колодцы), k_t = 0,60–0,75.

Среднее время нагрева при загрузке заготовок в печь *с учетом доли холодного* (a_x) *и горячего* $(a_г)$ *металла* определяется по формуле:

$$t_н = a_x \cdot t_н^x + a_г \cdot t_н^г \text{, ч.} \qquad (14)$$

Вариант № 2 загрузки-выгрузки (рисунок 1б):

- подача заготовки в печь: торцевая при помощи толкателя;
- выдача заготовки из печи: торцевая самопроизвольная (осуществляется одновременно с процессом подачи), то есть
  $t_в$ = 0.

Такт работы методической печи по варианту № 2 примет вид:

$$T_н^{тв} = t_з + \frac{t_н}{E_п}. \qquad (15)$$

Вариант № 3 загрузки-выгрузки (рисунок 1в):

- подача заготовки в печь: боковая при помощи внутрипечного рольганга, а затем толкателя;
- выдача заготовки из печи: боковая при помощи машины безударной выдачи (*МБВ*) на внутрипечной рольганг.

Такт работы методической печи по варианту № 3 определяется по формуле (9), а время задачи и выдачи заготовок определяется по следующим формулам:

$$t_з = \frac{в_з}{V_р} + 2\frac{l_Т}{V_Т}; \qquad t_в = t_{МБВ} + \frac{l_з}{V_р}, \qquad (16)$$

где $l_з$ – длина заготовки, м;

$V_р$ – скорость внутрипечного рольганга, м/с;

$t_{МБВ}$ – время подачи заготовки с пода печи на внутрипечной рольганг при помощи машины безударной выдачи (с учетом захвата, перемещения и опускания), с.

Печь методическая с шагающим подом (или балками)

Такт работы печи с шагающим подом определяется с учетом времени нагрева при параллельном процессе загрузки-выгрузки, в связи с этим формула (9) примет вид:

$$T_н^{тв} = \frac{t_н}{E_п}; \qquad E_п = \frac{L_п}{в_з + i_з}; \qquad i_з = ш_б - в_з, \qquad (17)$$

где $i_з$ – интервал между заготовками, м;

$ш_б$ – шаг балки печи, м

Нагревательная ячейка колодца

Такт работы нагревательной ячейки определяется по формуле:

$$T_я^{тв} = t_{зя} + \frac{t_н}{E_я} + t_{вя} + \tau_{зк} + \frac{\tau_{шл}}{E_я \cdot K_{сд}}, \qquad (18)$$

где $t_{зя}$ – время загрузки партии слитков электромостовым краном в ячейку, с;

$t_н$ – время нагрева слитка в ячейке (по технологической инструкции с учетом температуры металла, поступающего в отделение, типа слитка и марки стали), ч(с);

$E_я$ – емкость (садка) ячейки (количество слитков одновременно нагреваемых в ячейке), шт;

$t_{вя}$ – время выгрузки партии слитков электромостовым краном из ячейки, с;

$\tau_{зк}$ – время закрытия (открытия) крышки ячейки, с;

$\tau_{шл}$ – время шлакоудаления (чистки подины от шлака), с;

$K_{сд}$ – количество садок (интервал, через который производится чистка подины), шт.

Время загрузки (выгрузки) партии слитков электромостовым краном определяется по формуле:

$$t_{зя(вя)} = t_{кр} \cdot \left(\frac{K_{рк}}{K_{сл}} - 1 \right) - t_{кр1}, \qquad (19)$$

где $t_{кр}$ – время одного рейса крана при загрузке (выгрузке) ячейки, с;

$K_{рк}$ – количество рейсов крана при полной загрузке ячейки (соответствует емкости ячейки), шт.;

$K_{сл}$ – количество слитков, одновременно загружаемых (выгружаемых) за один рейс крана, шт.;

$t_{кр1}$ – время последнего рейса крана (перемещение порожнего крана и опускание крюка крана), не учитывается при расчете $t_{зя(вя)}$, так как одновременно с этим производится закрытие или открытие крышки ячейки.

Время одного рейса электромостового крана при загрузке (выгрузке) рассчитывается по формуле:

$$t_{кр} = \tau_{зх} + 2\lambda \cdot \left(\frac{H_1}{V_к} + \frac{S}{V_{кр}} + \frac{H_2}{V_к} \right) + \tau_{ус} + \tau_{ос}, \qquad (20)$$

где $t_{зх}$ – время захвата слитка клещами крана, с;

H_1 и H_2– высота подъема и опускания слитка на высоту перемещения, м;

S – расстояние от железнодорожного состава до ячейки (при загрузке) и от ячейки до слитковоза или рольганга (при

выгрузке), м;

$V_к$ – скорость подъема (опускания) клещей крана, м/с;

$V_{кр}$ – скорость тележки крана, м/с;

$\tau_{ус}$ – время установки слитка в ячейке или укладки его на слитковоз (рольганг), с;

$\tau_{ос}$ – время освобождения клещей крана от слитка, с;

λ – коэффициент, учитывающий разбег и торможение электромостового крана (λ=1,3–1,4).

Такт работы нагревательного колодца определяется по формуле:

$$T_{нк}^{тв} = \frac{T_{я}^{тв}}{Z_{я}}, \qquad (21)$$

где $Z_{я}$ – количество ячеек в одном колодце, шт.

Такт работы отделения (участка) нагрева рассчитывается по формуле:

$$T_{онк}^{тв} = \frac{T_{нк}^{тв}}{Z_{нк}}, \qquad (22)$$

где $Z_{нк}$ – количество нагревательных колодцев в отделении, шт.

Рассмотрим расчет такта работы прокатных клетей. Рассматриваются варианты функционирования основного оборудования (рабочих клетей) на участке прокатки в зависимости от типа и технологических особенностей стана, назначения и степени непрерывности процесса.

Такт прокатки (такт работы клети) в общем виде состоит из элементов:

$$T_{п}^{тв} = \tau_0 + t_м + t_{вс}, \qquad (23)$$

где τ_0 – начальная пауза (время подготовки валков к прокатке или заготовки перед подачей ее в валки), с;

$t_м$ – машинное время прокатки (время обработки заготовки или раската в валках, с;

$t_{вс}$ – вспомогательное время прокатки (паузы между обработкой металла в валках, связанные с кантовкой и передачей раската), с.

Прокатные клети по направлению вращения рабочих валков различаются на:

• *реверсивные клети* (с переменным направлением вращения валков), которые имеют переменную скорость прокатки внутри каждого пропуска (при разгоне, установившемся в процессе прокатки, при замедлении);

• *нереверсивные клети* (с постоянным направлением вращения валков), которые имеют постоянные обжатия и скорости в соответствующем пропуске для определенного профилеразмера.

Рабочая клеть реверсивная двухвалковая (дуо).

Процесс прокатки слитков (заготовки) в клети осуществляется последовательно в нескольких калибрах за нечетное количество пропусков.

Такт работы реверсивной клети дуо определяется по формуле:

$$T_n^{тв} = \tau_0 + \sum_{j=1}^{\sigma} t_{мj} + \sum_{j=1}^{\sigma-1} t_{всj}\,, \qquad (24)$$

где $t_{мj}$ – машинное время j-го пропуска, с;

j – порядковый номер пропуска $(j = 1, 2, 3, \ldots \sigma)$.

Длительность начальной паузы выбирается из соотношения:

$$\tau_0 = max\{\tau_{01},\ \tau_{02},\ \tau_{03}\},$$

где τ_{01}, τ_{02}, τ_{03} – продолжительность соответственно: подъема верхнего валка для подачи слитка в первый пропуск, установки направляющих линеек в исходное положение, снижения скорости вращения валков после последнего пропуска до скорости захвата слитка для первого пропуска.

Вспомогательное время каждого j-го пропуска включает следующие элементы:

$$t_{всj} = t_{вс1} + t_{вс2} + t_к + t_{вс3},$$

где $t_{вс1}$ – время выброса раската из валков (от момента выброса до момента остановки раската на рольганге), с;

$t_{вс2}$ – время перемещения раската манипулятором из калибра в калибр, с;

$t_к$ – время кантовки раската (по технической характеристике кантователя), с;

$t_{вс3}$ – время подачи раската в следующий калибр (от момента включения рольганга до момента захвата раската валками), с.

Машинное время прокатки в каждом пропуске характеризуется продолжительностью пребывания раската в валках клети и определяется скоростью прокатки и длиной раската. На реверсивных станах скорость прокатки j-го пропуска является переменной величиной. Это связано с необходимостью надежного захвата слитка (раската) валками при наиболее выгодном числе их оборотов после реверса, с разгоном двигателя до определенного максимального числа оборотов (с целью сокращения машинного времени прокатки) и замедлением двигателя к концу пропуска (во избежание чрезмерного выброса раската из валков и достижения минимального времени реверсирования).

Машинное время пропуска определяется с учетом одного из двух графиков прокатки в клети:

- *для трапецеидального графика*, если $w_{max} \geq w_0$, то $w_2 = w_0$:

$$t_м = t_{м1} + t_{м2} + t_{м3},$$

где $t_{м1}$, $t_{м2}$ и $t_{м3}$ – машинное время соответственно при разгоне, при постоянной скорости и при замедлении двигателя, с;

w_{max} и w_0 – максимальное и основное число оборотов двигателя, об/мин.

Машинное время одного пропуска рассчитывается по формуле:

$$t_м = \frac{w_2 - w_1}{a} + \frac{w_2 - w_3}{b} + \frac{l_p - (l_1 + l_3)}{V_n}, \qquad (25)$$

где w_1, w_2, w_3 – обороты двигателя соответственно в момент захвата металла, в период постоянной скорости (принимается по условиям загрузки двигателя, что $w_2 = w_0$) и в момент выхода металла из валков, об/мин;

a и b – ускорение двигателя в период разгона и замедления, (об/мин)/с;

l_p – полная длина раската, м;

l_1, l_2 – части длины раската соответственно при разгоне и за медлении валков, м;

V_n – скорость прокатки при установившемся процессе, м/с.

- *для треугольного графика*, где $w_{max} \le w_0$, $t_м = t_{м1} + t_{м2}$.

Длина части раската, прокатываемого при разгоне или замедлении валков, определяется по формуле:

$$L_{1(3)} = V_{1(3)} \cdot t_{1(3)},$$

где $V_{1(3)}$ – скорость прокатки при разгоне или замедлении, м/с.

$$V_{1(3)} = \frac{\pi\, D_к \cdot (w_{max} + w_{1(3)})}{2 \cdot 60}, \qquad (26)$$

где $D_к$ – катающий диаметр бочки валков, м.

Скорость прокатки при установившемся движении определяется по формуле:

$$V_n = \frac{\pi D_к \cdot w_0}{60}.$$

Максимальное число оборотов двигателя в пропуске рассчитывается по формуле:

$$w_{max} = \sqrt{60 \cdot \frac{2 \cdot a \cdot b}{a+b} \cdot \left(\frac{l_p}{\pi D_к} + \frac{w_1^2}{120a} + \frac{w_3^2}{120b} \right)}. \quad (27)$$

Катающий диаметр бочки валков определяется по следующим формулам с учетом равномерности обжатия по ширине калибра:

- *при равномерном обжатии* по ширине калибра (ящичные калибры):

$$D_к = D_o - (h_к - S_к), \quad (28)$$

где D_o – диаметр валков по буртам (если валки, составляющие калибр, разные по диаметру, то D_o находится как среднее арифметическое между ними), мм,

$h_к$ – высота калибра, мм,

$S_к$ – зазор между валками, мм;

- *при неравномерном обжатии* по ширине калибра (квадратные, ромбические калибры):

$$D_{к.ср.} = D_o - (h_{к.ср.} - S_к), \quad (29)$$

где $D_{к.ср.}$ – средний катающий диаметр, мм,

$h_{к.ср.}$ – средняя высота калибра, мм.

$$h_{к.ср.} = \frac{F_c}{b_к} \quad (30)$$

где F_c – площадь поперечного сечения раската после пропуска, мм^2;

$b_к$ – ширина калибра, мм.

Время выхода раската из валков определяется по формуле:

$$t_{вс1} = \frac{V_{nj}}{q \cdot f}, \quad (31)$$

где q – ускорение свободного падения (q =9,8 м/с);

f – коэффициент трения раската о ролики рольганга (f =0,204).

Время перемещения раската манипулятором из калибра в калибр рассчитывается по формуле:

$$t_{вс2} = \frac{S_{кк}}{V_{мн}}, \qquad (32)$$

где $S_{кк}$ – расстояние между центрами калибров, мм;

$V_{мн}$ – скорость перемещения манипуляторных линеек, м/с.

Время подачи раската в следующий калибр определяется по формулам:

$$t_{вс3} = \frac{S_j}{V_n}, \qquad S_j = \frac{V_{nj}^2}{2 \cdot q \cdot f}.$$

После преобразования формула примет вид:

$$t_{вс3\,j} = \frac{V_{nj}^2}{2 \cdot q \cdot f \cdot V_{рг}}. \qquad (33)$$

Непрерывный прокатный стан.

Прокатка заготовки на стане (состоящем из двух-трех групп рабочих клетей) осуществляется непрерывно, то есть один раскат одновременно обрабатывается в нескольких последовательно расположенных клетях с соблюдением постоянства секундных объемов металла, проходящего через клети:

$$F_1V_1 = F_2V_2 = ...F_\gamma V_\gamma = const$$ – константа калибровки,

где F_1, F_2, ... F_γ – площадь поперечного сечения раската после первой, второй, γ-й клети, м^2;

V_1, V_2, ... V_γ – скорость прокатки в первой, второй, γ-й клети, м/с.

$$F_1V_1 \cdot (1 + k_0) = const.$$

Опережение (k_0) при расчете константы калибровки учитывается только на мелкосортных, проволочных и чистовых группах клетей среднесортных непрерывных станов.

Такт прокатки в каждой клети непрерывного стана одинаковый, поэтому расчеты обычно проводятся по первой или последней клети:

$$T_n^{тв} = \tau_0 + t_м = \tau_0 + \frac{l_з \cdot \mu_1}{V_{n1}}, \qquad (34)$$

где $l_з$ – длина заготовки, м;

μ_1 – вытяжка в первой клети;

V_{n1} – скорость прокатки в первой клети, м/с.

Прокатный стан ступенчатого типа с прерывным последовательным расположением клетей.

Прокатка заготовки на стане, состоящем из нескольких рабочих клетей, расположенных зигзагообразно в три линии осуществляется последовательно.

Такт прокатки определяется в каждой γ-й клети по формуле:

$$T_{n\gamma}^{тв} = \tau_{0\gamma} + \frac{l_з(L_{p\gamma})}{V_{n\gamma}}. \qquad (35)$$

Начальная пауза зависит от способа подачи (задачи) заготовки (раската) в γ-ю клеть.

Возможны следующие варианты расчета начальной паузы:

$$\tau_{0\gamma} = \frac{L_{рг} - l_з(L_{p\gamma})}{V_{рг}}; \quad \tau_{0\gamma} = \tau_к; \quad \tau_{0\gamma} = \frac{L_{рг}}{V_{n\gamma}}; \quad \tau_{0j} = t_{шлп} + \frac{L_{рг} - L_p}{V_{рг}},$$

где $L_{рг}$ – длина рольганга, м;

$t_{шлп}$ – время передачи раската шлеппером с одной технологической линии на другую, с.

Такт работы участка прокатки на стане ступенчатого типа с прерывным последовательным расположением клетей определяется из условия:

$$Ò_{óï}^{òâ} - max\{Ò_{n1}^{òâ}, Ò_{n2}^{òâ}, ..., Ò_{n\gamma}^{òâ}\}.$$

Шаропрокатный стан.

Процесс прокатки горячекатаной круглой заготовки осуществляется на стане дуо с горизонтальным расположением валков.

Такт прокатки на шаропрокатном стане определяется по формуле:

$$T_n = \tau_0 + \frac{G \cdot 60}{g_ш \cdot n}, \qquad (36)$$

где G – масса заготовки, кг;

$g_ш$ – масса шара, кг;

n – число оборотов валков в минуту при прокатке шара данного размера.

Рассмотрим расчет такта работы охлаждающих устройств.

Холодильник шлепперного типа.

Процесс охлаждения раската осуществляется на холодильнике шлепперного типа.

Такт работы одной секции холодильника (такт процесса охлаждения) рассчитывается по формуле:

$$T_x = \tau_o + \frac{t_{охл}}{E_x}, \qquad (37)$$

где τ_o – время перекладывания раската с рольганга на секцию холодильника (начальная пауза), с;

$t_{охл}$ – время охлаждения одного раската (или одной части раската) на секции холодильника, с;

E_x – емкость секции холодильника (количество одновременно охлаждаемых раскатов), шт.

Время естественного охлаждения раската можно определить по следующим эмпирическим формулам в зависимости от размеров и назначения проката:

• *для сортовой стали*

$$t_{охл} = 5{,}6 \frac{F_c}{П} \cdot (lg\, t_1 - lg\, t_2), \text{ мин}, \qquad (38)$$

где F_c – площадь поперечного сечения раската, мм^2;

$П$ – периметр сечения раската, мм;

t_1, t_2 – температура, с которой раскат соответственно поступает на холодильник и уходит с холодильника, °С;

• *для листовой стали*

$$t_{охл} = 28 \cdot S \cdot (lg\, t_1 - lg\, t_2), \text{ мин}, \quad (39)$$

где S – толщина (высота) охлаждаемого раската, см;

• *для мелкосортной стали*

$$t_{охл} = \frac{0{,}53 \cdot G_{охл} \cdot c}{F_{охл} \cdot k_{лч}}, \text{ ч}, \quad (40)$$

где $G_{охл}$ – масса охлаждаемого раската, кг;

c – теплоемкость стали, кДж (кг·град);

$F_{охл}$– теплоотдающая поверхность одного метра длины охлаждаемого раската, м^2;

$k_{лч}$ – коэффициент лучеиспускания абсолютно черного тела, кДж (м^2·ч·град).

$$G_{îõë} = h \cdot b \cdot l_p \cdot \rho; \quad G_{охл} = g_{пг} \cdot l_p; \quad l_p = l_з \cdot \mu_{общ},$$

где h, b, l_p – высота, ширина и длина раската, дм;

ρ – плотность стали (7,8 кг/дм^3);

$g_{пг}$ – масса раската длиной 1м (погонный метр), кг/м;

$\mu_{общ}$ – общая вытяжка.

Практические исследования показали, что при t_1 = 1000 °С и t_2 =150 °С время охлаждения $(t_{охл})$ зависит от диаметра проката, то есть: для круглой стали $t_{охл}$ $(мин) \approx d$ $(мм)$.

Например, круги диаметром 10 мм ориентировочно охлаждаются за 10 мин, а круги диаметром 60 мм – за 60 мин (1 ч), то есть профили, имеющие относительно большую поверхность, охлаждаются быстрее.

Существуют следующие варианты охлаждения металла после прокатки:

• *естественное охлаждение*, когда раскат охлаждается при скорости потока воздуха 0 м/с;

- *принудительное охлаждение* (воздушное душирование путем ввода вентиляционных установок), когда раскат охлаждается при увеличении скорости потока воздуха;
- *принудительное охлаждение* (водо-воздушное душирование путем ввода после прокатки установки термического упрочнения металла), для увеличения качественных характеристик металла и снижения температуры приходящего раската на холодильник (на 200 – 250 °С).

Время охлаждения раската на холодильнике уменьшается с учетом воздушного душирования (для проката толщиной 20 мм в 1,7–1,8 раза, а толщиной 100 мм в 1,35–1,4 раза) и может определяться по формуле:

$$t_{охл} = \frac{G_{охл} \cdot \tau_{охл}}{F_{охл}}, \text{ ч} \qquad (41)$$

где $\tau_{охл}$ – время охлаждения проката (принимается по таблице 17).

Время охлаждения проката, представленное в таблице 17, соответствует скорости потока воздуха: при 0 м/с – для сортовых профилей, при 2 м/с – для листов и широких полос.

Для определения емкости секции холодильника необходимы ее габаритные размеры: длина (L_x) и ширина (B_x) из технической документации цеха, рисунок 38.

Емкость секции холодильника (в раскатах) рассчитывается по формуле:

$$E_x = \frac{L_x}{b_p} \cdot k_{зх}, \qquad (42)$$

где L_x – длина секции холодильника, мм;

b_p – ширина раската (полосы), мм;

$k_{зх}$ – коэффициент заполнения холодильника ($k_{зх} = 0{,}9 - 0{,}95$).

При расчете емкости холодильника проверяется условие – длина раската после прокатки превышает или нет ширину холодильника, то есть:

• если $l_p < (B_x - \Delta x)$, то производится расчет емкости в раскатах (E_x); Δx – нормативное ограничение полезной площади по ширине холодильника, мм;

• если $l_p > (B_x - \Delta x)$, то производится предварительно расчет раскроя раската на части (l_p^x) с учетом ширины полезной площади холодильника по формуле:

$$z_{øò} = \frac{l_p}{B_x}, \text{ мм} \qquad (43)$$

Порезка раската на части осуществляется на летучих ножницах горячей резки непрерывного стана, установленных после чистовой прокатной клети (перед холодильником).

Емкость секции холодильника (при условии порезки раската на штанги) рассчитывается по формуле:

$$E_{x.шт} = \frac{L_x}{b_p} \cdot k_{зх} \cdot z_{шт}, \text{ штанги.}$$

Для приведения такта работы холодильника в сопоставимый вид с другими тактами работы участков (оборудования) необходимо при расчете емкости холодильника количество штанг перевести в раскаты.

Холодильник реечного типа

Раскаты охлаждаются на зубчатых рейках (зубьях).

Такт работы одной секции холодильника реечного типа рассчитывается по формуле (60). Емкость секции холодильника реечного типа определяется по следующей формуле:

$$E_x = \frac{B_x}{ш_з}, \qquad (44)$$

где $ш_з$ – шаг зубчатой рейки (шаг раскладки, размещения раскатов на холодильнике), из технической характеристики оборудования, мм.

Крюковой конвейер

Прокат (в виде мотков или бунтов) естественно охлаждается на конвейере.

Такт работы крюкового конвейера рассчитывается по формулам:

$$T_{k1}^{тв} = \frac{t_{тр}^{к}}{Z_{крк}}; \qquad t_{тр}^{к} = \frac{L_к}{V_к}; \qquad Z_{крк} = \frac{Z_{вк} \cdot L_к}{ш_{кк}}, \tag{45}$$

где $L_к$ – длина конвейера, м;

$V_к$ – скорость движения конвейера, м/с;

$Z_{вк}$ – количество ветвей конвейера, шт.;

$Z_{крк}$ – количество крюков на конвейере, шт.;

$ш_{кк}$ – шаг крюков конвейера, м.

При расчете необходимо проверить условие – время транспортировки бунта катанки по конвейеру соответствует или нет технологическому времени охлаждения бунта $(t_{охл}^{k})$, то есть:

- если $t_{охл}^{k} \leq t_{тр}^{k}$, то рассчитывается $T_{k1}^{тв}$;
- если $t_{охл}^{k} > t_{тр}^{k}$, то рассчитывается $T_{k2}^{тв} = T_{k1}^{тв} + (t_{охл}^{k} - t_{тр}^{k})$.

Время, необходимое для охлаждения бунта катанки в процессе транспортирования его конвейером, определяется по формуле:

$$t_{охл}^{k} = \frac{t_1 - t_2}{V_t}, \tag{46}$$

где V_t – скорость снижения температуры бунта катанки на конвейере (по практическим данным 0,125 град/с).

Для предупреждения образования флокенов используются колодцы (ямы, короба) замедленного охлаждения. Такт работы колодца рассчитывается с учетом времени охлаждения проката в одном колодце, емкости колодца, времени загрузки и разгрузки колодца электромостовым краном.

Рассмотрим расчет такта работы правильной машины.

Для правки проката в зависимости от его вида применяют правильное оборудование (правильные машины и штемпельные прессы различных конструкций).

Такт работы правильной машины имеет общий вид:

$$T_{прм} = \tau_0 + t_{прм}, \qquad t_{прм} = \frac{l_p}{V_{прм}} \cdot \frac{Z_{рс}}{Z_{прм}}, \tag{47}$$

где τ_0 – начальная пауза правки (подготовки раската), с;

$t_{прм}$ – машинное время правки, с;

$V_{прм}$ – скорость правки (проката, раската), м/с;

$Z_{рс}$ – количество одновременно выправляемых раскатов, шт.;

$Z_{прм}$ – количество пропусков при правке одного раската, шт.

В случае правки, порезки раската на части (штанги) необходимо произвести пересчет длины штанги в длину раската.

Рассмотрим расчет такта работы режущих агрегатов.

Применяются ножницы следующих типов.

Ножницы с параллельными ножами:

• для резки в горячем состоянии (блюмов, слябов и заготовок квадратного и прямоугольного сечения);

• для резки в холодном состоянии (сортовых профилей небольших сечений и фасонных профилей).

Ножницы с наклонным ножом (гильотинные) в горячем и холодном состоянии:

• с верхним подвижным наклоном ножа для резки листов, полос и мелких сортовых профилей в пачках;

• с нижним подвижным наклоном ножа для резки листов и полос.

Ножницы дисковые:

• для обрезки в горячем состоянии кромок и продольной резки листов и широких полос;

• для продольной резки в холодном состоянии тонколистовой стали.

Ножницы летучие:

• для обрезки концов и резки движущегося раската (в горячем потоке) при выходе его из чистовой клети стана.

Работа ножниц характеризуется рабочим усилием (усилием резания), определяющим максимальную толщину и площадь сечения разрезаемого металла и числом резов в единицу времени.

Пилы дисковые горячей резки в зависимости от способа подачи диска делятся на следующие типы:

• *салазковый тип* пилы (наиболее распространенный), если полоса разрезается одновременно несколькими пилами, то соответственно длине отрезаемых частей пилы перемещаются вдоль рольганга по направляющим; применяется для крупнолистовых и среднесортных профилей непрямоугольного сечения (рельсов, балок, кругов и др.), так как порезка раскатов этих профилей на ножницах затруднена;

• *маятниковый тип* пилы (используется на старых прокатных станах для поштучной резки раската) имеет ограниченный ход диска.

Такт работы резочного агрегата в общем виде состоит из следующих элементов:

$$T_{нж(пл)} = (\tau_{ус} + t_{нж(дс)} + t_{тр}) : Z_{рт}, \qquad (48)$$

где $\tau_{ус}$ – начальная пауза, то есть время установки раската под ножи (диски пил) или время выравнивания пачки штанг под упор для реза, с;

$t_{нж(дс)}$ – время порезки раската ножами (дисками пил) на мерные длины, с;

$t_{тр}$ – время транспортировки (продвижения) раската под ножами (пилами), с;

$Z_{рт}$ – количество одновременно разрезаемых раскатов (штанг), шт.

В зависимости от типа резочных агрегатов формула (48) может принять следующие виды:

$$T_{нж} = t_{нж}; \quad T_{нж} = t_{тр}; \quad T_{нж} = t_{нж} + t_{тр}.$$

Время установки раската (полосы, пачки штанг) под упор для порезки ножами или пилами определяется на основе обработки хронометражных наблюдений.

Время резки раската (полосы, пачки штанг) рассчитывается по формулам:

$$t_{нж(пл)} = t^{1}_{рез.нж} \cdot Z_{рез}; \qquad t^{1}_{ðåç.íæ} = \frac{60}{v};$$
$$t^{1}_{рез.дс} = t_{дс.1} + t_{дс.2} + t_{дс.3}, \tag{49}$$

где $t^{1}_{рез.нж(дс)}$ – время собственно одного реза раската (полосы, пачки штанг) ножами (пилами), с;

$Z_{рез}$ – количество последовательно осуществляемых резов ножами (пилами) для порезки одного раската (полосы, пачки штанг) на мерные длины, шт;

v – число резов (ходов ножа) в единицу времени (минуту), шт/мин;

$t_{дс.1}$, $t_{дс.2}$, $t_{дс.3}$ – время работы дисков пил соответственно при выходе их из исходного положения, машинной резки раската и возврата дисков в исходное положение, с.

Время транспортировки раската (полосы, пачки штанг) под ножами (пилами) рассчитывается по формуле:

$$t_{тр} = \frac{l_р}{V_{рг}}.$$

Для определения количества резов при порезке раската на мерные части *необходимо произвести раскрой его длины* с учетом следующих факторов:

- заданной длины готового проката (по условиям заказов);
- нормативной технологической обрези, которая отрезается от раската с одного или двух его концов в зависимости от маркопрофилеразмера (причем для получения блюмов и слябов обрезь отрезается от головной части раската от одного до трех раз, а от дон-ной – один раз).

Следует отметить, что на ножницах и маятниковой пиле раскрой раската производится последовательно, а на салазковых пилах порезка раската на мерные длины осуществляется одновременно несколькими дисками или в зависимости от длины раската и количества пил сначала отрезается передняя обрезь, а потом происходит порезка остальной части раската.

В случае, когда раскат после прокатки разрезается на части, соответствующие ширине холодильника, то необходимо формулу (48) привести в сопоставимый вид с предшествующими тактами работы оборудования, то есть: $T'_{нж} = T_{нж} \cdot z_{шт}$.

Такт работы дисковых ножниц при обрезке продольных кромок полосы (листа) определяется по формуле:

$$T_{днж} = \tau_{ус} + t_{днж}; \qquad t_{днж} = \frac{l_p}{\vartheta_{днж}}; \qquad \vartheta_{днж} = \frac{\pi \cdot D_д \cdot n_д}{60}, \qquad (50)$$

где $t_{днж}$ – время резки полосы на дисковых ножницах, с;

$\vartheta_{днж}$ – скорость резки на дисковых ножницах, м/с;

$D_д$ – диаметр режущих дисков, м;

$n_д$ – число оборотов дисков в минуту.

На летучих ножницах раскат разрезается без его остановки, то есть порезка осуществляется «в потоке».

Такт работы летучих ножниц определяется по формуле:

$$T_{лнж} = \frac{l_p}{V_{пп}}, \qquad (51)$$

где $V_{пп}$ – скорость движения раската, соответствующая скорости прокатки в последней клети.

Рассмотрим расчет такта работы пакетировочных устройств.

В зависимости от вида и назначения готового проката применяют следующие пакетирующие устройства:

- *карманы* (для набора пачки кругов, квадратов или листов с последующей обвязкой их проволокой при помощи рабочих);
- *агрегаты* (для пакетировки фасонных, квадратных, полосовых или листовых профилей в пачки машиной-укладчиком с последующей обвязкой пакетовязальными машинами).

Такт пакетировки (пакетирования) проката в карман состоит из следующих элементов (начиная с момента сброса первой партии продукции в карман и заканчивая увязкой готовой пачки):

$$T_{пк} = \tau_{сб} \cdot z_{сл} + t_{тр} + \tau_{обв}; \qquad z_{сл} = \frac{G_{пч}}{G_{сл}}; \qquad t_{тр} = \frac{l_г}{V_{рг}} \cdot (z_{сл} - 1);$$

$$G_{сл} = q_{пг} \cdot l_г \cdot z_{ш.сл}; \qquad \tau_{обв} = \frac{(\tau_{об1} + \tau_{об2} + \tau_{об3}) \cdot z_{обв}}{z_{чел}},$$

где $\tau_{сб}$ – время сброса одной партии (слоя) продукции в карман, с;

$z_{сл}$ – количество партий (слоев) в готовой пачке, шт.;

$t_{тр}$ – время транспортировки (подачи) одной партии (слоя) продукции к карману, с;

$l_г$ – длина готовой пачки, м;

$G_{пч}$ – масса пачки готового проката (причем, $G_{пч} \le G_{кр}$), т;

$G_{кр}$ – грузоподъемность крана (с учетом магнита, клещей), т;

$q_{пг}$ – масса погонного метра готового профиля, т/м;

$z_{ш.сл}$ – количество проката в одной партии (слое), шт.;

$\tau_{обв}$ – время обвязки пачки продукции проволокой вручную рабочим-вязальщиком, с;

$\tau_{об1}$ – время взятия рабочим обвязочной проволоки, с;

$\tau_{об2}$ – время подхода рабочего к месту обвязки, с;

$\tau_{об3}$ – время собственно обвязки проволокой пачки проката вручную рабочим-вязальщиком, с;

$z_{обв}$ – количество обвязов одной пачки готового проката, шт.;

$z_{чел}$ – количество рабочих одновременно производящих обвязку проволокой пачки проката в нескольких местах, чел.

В результате преобразований такт пакетировки проката в карман примет вид:

$$T_{пк} = \frac{\tau_{сб} \cdot G_{пк} \cdot z_{сл}}{q_{пг} \cdot l_г \cdot z_{ш.сл}} + \frac{l_г}{V_{рг}} \cdot (z_{сл} - 1) + \tau_{обв} \qquad (52)$$

Такт работы пакетирующего агрегата состоит из следующих элементов:

$$T_{па} = t_{ук} + t_{обп},$$

где $t_{ук}$ – время набора пакета проката машиной-укладчиком, с;

$t_{обп}$ – время обвязки пачки проката пакетовязальной машиной, с.

$$t_{ук} = t_к \cdot z_{сл} + t_{тр.у} \cdot (z_{сл} - 1); \qquad t_{тр.у} = \frac{l_{р.у} - l_г}{V_{рг}},$$

$$t_{обп} = (\frac{2 \cdot S_{пк1}}{V_{пк1}} + \frac{d_{пк}}{V_{вг}}) \cdot z_{обв} + \frac{S_{пк2}}{V_{пк2}} \cdot (z_{обв} - 1), \qquad (53)$$

где $t_к$ – время кантовки слоя проката магнитным кантователем, с;

$l_{р.у}$ – длина рольганга перед магнитным укладчиком, м;

$t_{тр.у}$ – время транспортировки (подачи) одного слоя к укладчику, с;

$S_{пк1}$ и $S_{пк2}$ – путь поперечного и продольного перемещения пакетовязальной машины, м;

$V_{пк1}$ и $V_{пк2}$ – скорость поперечного и продольного перемещения пакетовязальной машины, м;

$d_{пк}$ – диаметр обвязываемой пачки проката, м;

$V_{вг}$ – скорость перемещения вязальной головки машины, м/с.

5. Задания для самостоятельной работы.

Изучить самостоятельно методику расчета производительности прокатного оборудования. Освоить методику определения тактов работы основного и вспомогательного оборудования при производстве проката.

Список рекомендуемой литературы

1 Зайцев В.С. Основы технологического проектирования прокатных цехов : учебник для вузов / В.С. Зайцев. - Москва : Металлургия, 1987. - 336 с. : ил.;

2 Шехтер В.Я. Проектирование кузнечных и холодноштамповочных цехов : учебник для вузов / В.Я. Шехтер. - Москва : Высшая школа, 1991. - 367 с.;

3 Технология процессов обработки металлов давлением / П. И. Полухин, А. Хензель, В. П. Полухин [и др.]; под ред. П. И. Полухина. - Москва : Металлургия, 1988. - 406 с. : ил. - Библиогр.: с. 403-406.;

4 Рудской, А. И. Теория и технология прокатного производства : учебное пособие / А. И. Рудской, В. А. Лунев ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. – Санкт-Петербург : Наука, 2008. – 527 с. : ил.,табл., схем. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=363045.