**1. Расчет режима обжатий**

**1.1 Расчет максимального обжатия**

**1.1.1 Максимальное обжатие по условию захвата металла валками**

В соответствии с рекомендациями принимаем  для первого калибра (бочки валков) 120 мм, для остальных калибров – 140 мм, зазор между буртами валков выбираем 15 мм.

Тогда рабочий диаметр валков определим по формуле [2, стр. 27]:

, где (1.1)

- рабочий диаметр валков, мм;

 – номинальный диаметр валков, мм;

 – глубина вреза, мм;

 – зазор между буртами, мм.

в первом калибре:



в остальных калибрах:



Определяем окружную скорость валков при  по формуле [2, стр. 6]:

, где (1.2)

 – окружная скорость валков, м/с

 - рабочий диаметр валков, мм;

 – средняя частота вращения валков в момент захвата раската, об/мин.

в первом калибре:



в остальных калибрах:



По таблице 2.1 [1, стр. 23] допустимый угол захвата  составит:

при прокатке на гладкой бочке валков – 22,460

в калиброванных валках без насечки – 24,560

в калиброванных валках с насечкой – 30,020

Определяем максимальное обжатие [2, стр. 6]:

, где (1.3)

 – максимальное обжатие по условию захвата металла валками, мм;

 – допустимый угол захвата, град.

в первом калибре:



для калиброванных валков без насечки:



для калиброванных валков с насечкой:



**1.1.2 Максимальное обжатие по мощности электродвигателя**

По таблице 2 [2, стр. 14] для двух электродвигателей П34–160–9К находим:

номинальный крутящий момент 

маховой момент якоря электродвигателей 

частота вращения электродвигателей 

допустимый момент перегрузки 

Допустимый момент электродвигателей определим по формуле [2, стр. 11]:

, где (1.4)

 – допустимый момент электродвигателя, ;

 – допустимый момент перегрузки;

 – номинальный крутящий момент, .



Далее определяем:

приведенный маховой момент [2, с. 13]:

, где (1.5)

 – приведенный маховой момент, ;

 – маховой момент якоря электродвигателя, .



динамический момент при  [2, стр. 13]

, где (1.6)

 – динамический момент, ;

 – ускорение валков, .



момент холостого хода [2, стр. 13]:

, где (1.7)

 – момент холостого хода, .



Находим допустимый крутящий момент прокатки на валках блюминга при  и  [2, с. 12]

, где (1.8)

 – допустимый крутящий момент прокатки, ;

 – механический КПД при передаче крутящего момента от электродвигателей к рабочим валкам без шестеренной клети;

 – коэффициент, учитывающий снижение крутящего момента электродвигателя привода вследствие ослабления магнитного потока при частоте вращения валков n больше номинальной nн, принимаем .



Размеры поперечного сечения слитка посередине . Ориентировочное значение обжатия найдем по формуле [2, стр. 15]:

, где (1.9)

 – ориентировочное значение обжатия, мм.



Относительное обжатие рассчитаем по формуле [2, стр. 9]:

, где (1.10)

 – относительное обжатие;

 – средняя высота слитка, мм



Определим рабочий радиус [2, стр. 9]:

, где (1.11)

 – рабочий радиус, мм.



Скорость деформации при  рассчитаем по преобразованной формуле А.И. Целикова [2, стр. 9]:

, где (1.12)

 – скорость деформации, ;

 – частота вращения валков, .



Сопротивление деформации зависит от марки металла, его температуры, степени и скорости деформации, для стали 60с2 рассчитывается по формуле Б.П. Бахтинова [1, с. 25]:

, где (1.13)

 – базисное значение сопротивления деформации, МПа;

 – температурный коэффициент;

 – степенной коэффициент;

 – скоростной коэффициент.

По данным [3] для стали 60с2 находим: ; ; ;  при температуре 12000С. [3, стр. 8, 21]



Находим длину очага деформации [2, стр. 7]:

, где (1.14)

 – длина очага деформации, мм.



Фактор формы очага деформации [1, стр. 24]:

, где (1.15)

 – фактор формы очага деформации.

Коэффициент напряженного состояний, учитывающий влияние на контактное давление внешнего трения *n* зависит от фактора формы очага деформации , где *Hcp=*0,5 *(H0 +H1)* при *=*0,2…0,5*,* принимается равным 1 [2, с. 9].

Коэффициент *nж* рассчитывают по эмпирической формуле [2, стр. 9]:

, где (1.16)

*nж* – коэффициент, учитывающий влияние внешних зон по отношению к геометрическому очагу деформации.



Коэффициент *n* учитывает влияние ширины раската. При прокатке на блюминге принимается равным 1,15.

Контактное давление по формуле А.И. Целикова [2, стр. 7]:

, где (1.17)

 – контактное давление, МПа.



Определим по формуле А.П. Чекмарева [2, стр. 11]:

, где (1.18)

 – коэффициент плеча равнодействующей.



Находим длину очага деформации, принимая ,  и *B*ср=675 мм [2, с. 13, 14,15]

, где (1.19)

 – длина очага деформации, мм;

 – коэффициент трения в шейках валков;

 – диаметр шейки валка, мм;

*B*ср – средняя ширина слитка, мм.



Определим максимальное обжатие по мощности электродвигателей [2, стр. 15]:

, где (1.20)

 – максимальное обжатие по мощности электродвигателя, мм.



Повторяем расчет при 





























Принимаем .

**1.1.3 Максимальное обжатие по прочности валков**

В соответствии с рекомендациями [2, стр. 17] для блюминга 1100 принимаем длину бочки валков , длину шейки , ширину крайнего бурта , ширину калибра по дну , ширину калибра по буртам при выпуске калибра , ширину вреза рассчитаем по формуле [2, стр. 30]:

, где (1.21)

 – ширина вреза, мм;

 – ширину калибра по дну, мм;

 – выпуск калибра.



Тогда получим [2, стр. 30]:

, где (1.22)

 – длина шейки, мм.



Для используемых стальных кованых валков принимаем допустимое напряжение на изгиб [2, с. 30],

Находим допустимое усилие прокатки [2, с. 16]:

, где (1.23)

 – допустимое усилие прокатки, кН;

 – допустимое напряжение на изгиб, МПа;

L – длина бочки валков, мм.



Определяем максимальное обжатие по прочности валков при  и  [2, стр. 17]:

, где (1.24)

 – максимальное обжатие по прочности валков, мм.



**1.1.4 Выбор максимального обжатия**

В результате расчетов получили значения :

по условию захвата валками 

по мощности электродвигателей 

по прочности валков 

Окончательно принимаем 

**1.2 Среднее обжатие за проход и число проходов**

Определим среднее обжатие за проход .

Числовой коэффициент принимаем равным 0,9 – так как, слиток и блюм имеют разные сечения [2, стр. 17].

, где (1.25)

 – среднее обжатие за проход, мм;

 – максимальное обжатие, мм.



Находим число проходов, необходимое для прокатки блюмов сечением  при  [2, стр. 18]:

, где (1.26)

 – число проходов;

 – высота блюма, мм;

 – ширина блюма, мм.



Так как, по предварительным расчетам число проходов слишком мало для обжатия данной заготовки, то принимаем число проходов 

Уточняем среднее обжатие [2, стр. 19]:

 (1.27)



**1.3 Предварительная схема обжатий**

Составляем предварительную схему обжатий. Принимаем первую кантовку после второго прохода.

Таблица 1. Предварительная схема обжатий при прокатке блюмов сечением 250Ч250 на блюминге 1100

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер прохода | Номер калибра | Размер |  |  |  |
| 0 | - | 700х700  (625х625) | - | - | - |
| 1 | I | 625х705  (590х630) | 75 (35) | 5 |  |
| 2 | I | 555х710  (555х635) | 70 (35) | 5 | 1,28 |
| кантовка | | | | | |
| 3 | I | 610х565  (590х565) | 100 (45) | 10 |  |
| 4 | I | 545х575 | 65 (45) | 10 | 1,06 |
| кантовка | | | | | |
| 5 | II | 475х555 | 100 | 10 |  |
| 6 | II | 375х565 | 100 | 10 | 1,51 |
| кантовка | | | | | |
| 7 | III | 445х390 | 120 | 15 |  |
| 8 | III | 325х405 | 120 | 15 | 1,25 |
| кантовка | | | | | |
| 9 | IV | 305х345 | 100 | 20 |  |
| 10 | IV | 230x365 | 75 | 20 | 1,59 |
| кантовка | | | | | |
| 11 | V | 250x250 | 115 | 20 |  |

**1.4 Окончательная схема обжатий**

Составляем окончательную схему обжатий с учетом уширения по кривым А.Ф. Головина [2, стр. 21]. Результаты уширения приведены в таблице 2.

Окончательная схема обжатий при прокатке блюмов сечением 250Ч250 мм из слитка , массой 5500 кг на блюминге 1100 приведена в таблице 3.

Таблица 2. Результаты уширения по методу А.Ф. Головина при прокатке блюмов сечением 250х250 мм на блюминге 1100

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| номер прохода | мм | мм | мм |  |  |  |  | |
| расчетное | принятое |
| 1 | - | - | - | - | - | - | - | 5 |
| 2\* | - | - | - | - | - | - | - | 5 |
| 3 | - | - | - | - | - | - | - | 10 |
| 4\* | 177,1 | 570 | 577,5 | 0,31 | 1,01 | 0,1 | 6,5 | 5 |
| 5 | 217,37 | 550 | 525 | 0,4 | 0,95 | 0,13 | 13 | 15 |
| 6\* | 217,37 | 560 | 425 | 0,39 | 0,76 | 0,13 | 13 | 15 |
| 7 | 238,12 | 382,5 | 505 | 0,62 | 1,32 | 0,185 | 22,2 | 20 |
| 8\* | 238,12 | 397,5 | 385 | 0,6 | 0,97 | 0,195 | 23,4 | 25 |
| 9 | 217,37 | 335 | 355 | 0,65 | 1,06 | 0,2 | 20 | 20 |
| 10\* | 188,25 | 355 | 267,5 | 0,53 | 0,75 | 0,18 | 13,5 | 15 |
| 11 | 233,1 | 240 | 307,5 | 0,97 | 1,28 | 0,225 | 25,88 | 25 |

Таблица 3. Окончательная схема обжатий при прокатке блюмов сечением 250Ч250 мм на обжимном реверсивном стане 1100

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| номер прохода | номер калибра |  |  |  |  |
| 0 | - | 700х700  (625х625) | - | - | - |
| 1 | I | 625х705  (590х630) | 75 (35) | 5 |  |
| 2 | I | 555х710  (555х635) | 70 (35) | 5 | 1,28 |
| кантовка | | | | | |
| 3 | I | 595х565  (575х565) | 115 (60) | 10 |  |
| 4 | I | 510х570 | 85 (65) | 5 | 1,12 |
| кантовка | | | | | |
| 5 | II | 480х525 | 90 | 15 |  |
| 6 | II | 390х540 | 90 | 15 | 1,38 |
| кантовка | | | | | |
| 7 | III | 425х410 | 115 | 20 |  |
| 8 | III | 315х435 | 110 | 25 | 1,38 |
| кантовка | | | | | |
| 9 | IV | 335х335 | 100 | 20 |  |
| 10 | IV | 225x350 | 110 | 15 | 1,56 |
| кантовка | | | | | |
| 11 | V | 250x250 | 100 | 25 |  |

**1.5 Длина раската и коэффициент вытяжки по проходам**

В первом и втором проходах длину раската принимаем равной длине слитка, а именно 1500 мм.

Рассчитаем длину раската и коэффициент вытяжки в третьем проходе.

Площадь поперечного сечения раската составит:

, где (1.28)

 – площадь поперечного сечения раската в проходе, дм2;

 – высота слитка в проходе, мм;

 – ширина слитка в проходе, мм.



Объем обжатого металла найдем следующим образом:

, где (1.29)

 – объем обжатого металла, м3;

 – масса слитка, кг;

 – плотность обжатого металла, обычно принимают 



Длина раската составит [2, с. 22]:

, где (1.30)

 – длина раската в проходе, м.



Коэффициент вытяжки определим по формуле [2, стр. 22]:

, где (1.31)

 – коэффициент вытяжки.



Рассчитаем длину раската и коэффициент вытяжки в четвертом проходе.

Площадь поперечного сечения раската составит:



Объем обжатого металла найдем следующим образом:



Длина раската составит:



Коэффициент вытяжки определим по формуле:



Рассчитаем длину раската и коэффициент вытяжки в пятом проходе.

Площадь поперечного сечения раската составит:



Объем обжатого металла найдем следующим образом:



Длина раската составит:



Коэффициент вытяжки определим по формуле:



Рассчитаем длину раската и коэффициент вытяжки в шестом проходе.

Площадь поперечного сечения раската составит:



Объем обжатого металла найдем следующим образом:



Длина раската составит:



Коэффициент вытяжки определим по формуле:



Рассчитаем длину раската и коэффициент вытяжки в седьмом проходе.

Площадь поперечного сечения раската составит:



Объем обжатого металла найдем следующим образом:



Длина раската составит:



Коэффициент вытяжки определим по формуле:



Рассчитаем длину раската и коэффициент вытяжки в восьмом проходе.

Площадь поперечного сечения раската составит:



Объем обжатого металла найдем следующим образом:



Длина раската составит:



Коэффициент вытяжки определим по формуле:



Рассчитаем длину раската и коэффициент вытяжки в девятом проходе.

Площадь поперечного сечения раската составит:



Объем обжатого металла найдем следующим образом:



Длина раската составит:



Коэффициент вытяжки определим по формуле:



Рассчитаем длину раската и коэффициент вытяжки в десятом проходе.

Площадь поперечного сечения раската составит:



Объем обжатого металла найдем следующим образом:



Длина раската составит:



Коэффициент вытяжки определим по формуле:



Рассчитаем длину раската и коэффициент вытяжки в одиннадцатом проходе.

Площадь поперечного сечения раската составит:



Объем обжатого металла найдем следующим образом:



Длина раската составит:



Коэффициент вытяжки определим по формуле:



Результаты расчетов длины раската L1, коэффициентов вытяжки , углов захвата  и показания циферблата S по проходам приведены в табл. 4.

Таблица 4. Длина раската L1, коэффициенты вытяжки , углы захвата  и показания циферблата S по проходам

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| номер прохода |  |  |  |  |  |  |
| 0 | 700х700 | - | - | - | - | - |
| 1 | 625х705 | - | 1,5 | 1 | 15,48 | 505 |
| 2\* | 555х710 | - | 1,5 | 1 | 15,48 | 435 |
| 3 | 595х565 | 33,62 | 2,08 | 1,39 | 20,31 | 475 |
| 4\* | 510х570 | 29,07 | 2,41 | 1,16 | 21,15 | 390 |
| 5 | 480х525 | 25,2 | 2,78 | 1,15 | 25,21 | 340 |
| 6\* | 390х540 | 21,06 | 3,32 | 1,19 | 25,21 | 250 |
| 7 | 425х410 | 17,425 | 4,02 | 1,21 | 28,56 | 285 |
| 8\* | 315х435 | 13,7 | 5,11 | 1,27 | 27,92 | 175 |
| 9 | 335х335 | 11,22 | 6,24 | 1,22 | 26,6 | 195 |
| 10\* | 225х350 | 7,875 | 8,89 | 1,42 | 27,92 | 85 |
| 11 | 250х250 | 6,25 | 11,2 | 1,26 | 26,6 | 110 |

**2. Определение размеров калибров**

Определяем размеры калибров и составляем эскизы валков.

Рекомендуемая глубина ручья при отношении сторон раската Н/В≤1,3 [1, стр. 33]

, где (2.1)

 – глубина ручья, мм;

 – минимальная высота раската при прокатке в данном калибре, мм.

во втором калибре 

в третьем калибре 

в четвертом калибре 

в пятом калибре 

С целью сокращения числа ступеней станинных роликов примем у второго, третьего и четвертого калибров глубину ручьев одинаковой  или .

Глубина ручья у первого калибра принята, как указывалось выше, 60 мм, следовательно, .

Определим размеры второго калибра

Ширина калибра по дну ручья находится по формуле [1, стр. 34]:

, где (2.2)

 – минимальная ширина раската, задаваемого в калибр, мм.



Ширина калибра по буртам [1, с. 34]:

, где (2.3)

 – максимальная ширина раската после прокатки в калибре, мм.



Выпуск калибра определим следующим образом [1, стр. 44]:

 (2.4)



Радиусы закругления в калибрах принимаются в соответствии с рекомендованными значениями [1, стр. 34]:

, где (2.5)

 и  – радиусы закругления в калибре, мм.



Из указанного интервала принимаем 

Определим размеры третьего калибра

Ширина калибра по дну ручья:



Ширина калибра по буртам:



Выпуск калибра:



Радиусы закругления в калибрах:



Из указанного интервала принимаем 

Определим размеры четвертого калибра

Ширина калибра по дну ручья:



Ширина калибра по буртам:



Выпуск калибра:



Радиусы закругления в калибрах:



Для последнего калибра принимаем 

Определим размеры пятого (последнего) калибра

Ширина калибра по дну ручья:



Ширина калибра по буртам в последнем калибре определяется по формуле [2, с. 36]:





Выпуск калибра:

В последнем калибре примем равным 10% [1, стр. 34]



Радиусы закругления в последнем калибре [1, стр. 34]:

, где

*H* – сторона квадрата



Для последнего калибра принимаем 

Определим размеры первого калибра

Ширина по буртам определена по разности между длинной бочки валков и шириной буртов [2, стр. 36]:

, где (2.6)

 – ширина буртов, мм.



Ширина по дну при выпуске  составит [2, стр. 36]:

 (2.7)



Радиусы закругления принимаем 

Показания циферблата найдем по формуле [1, с. 34]:

, где (2.8)

 – показания циферблата, мм.

* для первого прохода 
* для второго прохода 
* для третьего прохода 
* для четвертого прохода 
* для пятого прохода 
* для шестого прохода 
* для седьмого прохода 
* для восьмого прохода 
* для девятого прохода 
* для десятого прохода 
* для одиннадцатого прохода 

Показания циферблата указаны в таблице 4.

Размеры калибров приведены в таблице 5

Таблица 5. Размеры калибров

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| калибр | первый | второй | третий | четвертый | пятый |
| размер |
| длина бочки валков (L), мм | 2800 | | | | |
| зазор между валками (S), мм | 15 | | | | |
| номинальный диаметр валков (D), мм | 1100 | | | | |
| ширина буртов (), мм | 105 | 60 | 60 | 60 | 105 |
| ширина по дну (), мм | 693 | 500 | 390 | 315 | 250 |
| ширина по буртам (), мм | 741 | 550 | 440 | 355 | 264 |
| выпуск калибра (),% | 40 | 35,71 | 35,71 | 28,57 | 10 |
| радиусы закругления (), мм | 40 | 40 | 35 | 30 | 25 |
| высота (), мм | 135 | 155 | 155 | 155 | 155 |