#### Технология производства листа электротехнической стали

#### Введение.

Технология прокатного производства это комплекс взаимосвязанных технологических переделов, определяющих качество прокатной продукции и технико-экономические показатели работы прокатных цехов, металлургических заводов. В условиях постоянно возрастающих требований к качеству металлопродукции, оснащения предприятий современным прокатным оборудованием, расширения марочного и размерного сортамента проката, создания новых и усовершенствования существующих технологических процессов, а также высоких темпов развития прокатного производства, знание всех технологических факторов производства проката позволит наиболее эффективно решать вопросы, связанные с работой прокатных цехов, с дальнейшим внедрением новой техники и достижений науки в производстве, тем самым обеспечивая более высокий уровень качества проката и эффективность его производства.

Развитие современного прокатного производства базируется на использовании нового, более совершенного нагревательного, прокатного и отделочного оборудования, характеризующегося поточностью ряда технологических процессов и операций, более высокими скоростями и более интенсивными режимами работы, все возрастающими массами исходного продукта, повышением качества исходного слитка и непрерывнолитой заготовки.

На технологию современного прокатного производства существенное влияние оказывают все возрастающие требования и к отделке готового проката. Новые автоматические линии и станочное оборудование заводов машиностроения переопределили особые требования к качеству прокатной продукции по чистоте и степени отделки поверхности, прямолинейности, обработке торцов сортового проката, точности профиля и ряду других требований.

Существенные сдвиги в технологии производства проката происходят в связи со значительным увеличением доли проката, характеризующегося высокими прочностными свойствами при высокой пластичности и в ряде случаев регламентированной микроструктуре и величине зерна. Это достигается путем увеличения количества проката из легированных и низколегированных марок стали, производство которого имеет специфическую технологию с особенностями нагрева, прокатки охлаждения и отделки металла.

Принимаемые на заводах черной металлургии меры по повышению качества стали по чистоте от неметаллических включений, по улучшению поверхности слитков, заготовок и проката, позволяет намного уменьшить запороченность дефектами поверхности заготовок и готового проката и, следовательно, сократить объем зачистки металла для ряда назначений.

Отсутствие поверхностных дефектов на прокате обусловлено не только необходимостью исключения ослабленных мест и концентраторов напряжения на прокате, предназначенном для изготовления ответственных деталей машин и конструкций, но и возможностью дальнейшего передела проката в металлопотребляющих отраслях промышленности. Оснащение цехов высокопроизводительным зачистным оборудованием обеспечит выполнение этой задачи.

Особенностью современного развития прокатного производства являются также высокие темпы наращивания мощностей четвертого передела, в том числе для получения холоднокатаного и калиброванного металла, проката, подвергнутого термической обработкой, и проката с покрытиями, технология производства которого имеет свои особенности, обеспечивающие параметры качества готового проката, оговоренные соответствующими стандартами и техническими условиями. Технология производства подката для четвертого передела, особенности подготовки металла для холодной деформации, многооперационность этих технологических процессов определяют технико-экономические показатели производства этой продукции.

Изучение вопросов технологии производства проката с оценкой влияния основных технологических процессов и операций по всем переделам прокатного производства на качество готовой прокатной продукции, на возможности расширения марочного и размерного сортамента проката и эффективность производства – важное условие дальнейшего повышения технического уровня и развития прокатного производства.

При разработке мероприятий, связанных с развитием прокатного производства, учитываются результаты комплекса научно-исследовательских и проектно-конструкторских разработок, позволивших значительно усовершенствовать технологию прокатного производства, оснастить цехи современным высокопроизводительным оборудованием, постоянно расширять марочный и размерный сортамент проката в условиях значительного улучшения параметров качества проката по физико-химическим и эксплуатационным свойствам, структуре, величине зерна, состоянию и отделке поверхности.

Проблема улучшения качества проката в значительной мере определяется вопросами стандартизации. При разработке технологии производства проката различного назначения исходят прежде всего из необходимости обеспечить выпуск продукции, полностью соответствующей требованиям стандартов или технических условий. При этом учитывается, что в зависимости от эксплуатационных требований, предъявляемых к готовому прокату в условиях его службы в машинах, конструкциях, приборах, средствах транспорта, связи и т.д., к качеству металла могут быть предъявлены требования, соответствующие высоким категориям качества, оговоренным стандартом, или ТУ.

Создание новых видов машин , оборудования , приборов , внедрение ряда прогрессивных технологических процессов в металлопотребляющих отраслях промышленности связано с широким использованием холоднокатаного листового и ленточного проката , характеризующегося высокой степенью отделки поверхности , точностью размеров и заданными физико-механическими свойствами .

Значительные темпы создания мощностей по выпуску листовой стали с покрытиями цинком, хромом, оловом, свинцом, алюминием, пластиками связаны с использованием холоднокатаной стали. Холоднокатаная сталь для изготовления трансформаторов и электромашин в виде листового и ленточного проката характеризуется высокими магнитными свойствами и обеспечивает значительное повышение экономичности и создание новых типов энергетического оборудования и машин. Применение в качестве конструкционного и обшивочного материала холоднокатаной нержавеющей стали является определяющим в технических характеристиках различных видов ответственных машин и конструкций. Холоднокатаный ленточный прокат с заданными физико-механическими свойствами является основным видом продукции в производстве прецизионных сплавов, широко применяемым в приборостроении и т.д.

#### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПРОКАТКИ.

Подготовленные к прокатке горячекатаные травленые рулоны со склада травленых рулонов электромостовым краном устанавливают на цепной транспортер с зазором 610-1460мм в зависимости от ширины рулона .

Цепным транспортером рулоны транспортируют к поворотному устройству , на ролики которого сталкиваются с помощью подъемного стола или сталкивателя.

После надевания рулона на головки разматывателя передний конец полосы с помощью задающих роликов подается в валки 1-й клети. Прижим пресс-проводкового стола 1-й клети в момент задачи переднего конца полосы поднят. Полоса располагается в направляющих стола. После захвата полосы рабочими валками 1-й клети прижим пресс-проводкового стола опускается на полосу. Это увеличивает натяжение полосы строго по оси стана.

Прокатка полосы начинается с захвата ее переднего конца валками 1-й клети. После выхода переднего конца полосы из рабочих валков первой клети и захвата ее рабочими валками 2-й клети старший вальцовщик четырехклетевого стана замеряет толщину обжатого переднего конца и доводит ее до значений, указанных в режимах обжатий. При этом после перевода стана на рабочую скорость толщина полосы, выходящей из 1-й клети, должна быть равна толщине полосы, приведенной в таблицах режима обжатий.

В момент захвата полосы рабочими валками 2-й клети полоса получает натяжение.

Прокатка полосы во 2—4-й клетях осуществляется так же , как и в 1-й клети.

Вышедший из 4-й клети передний конец полосы с помощью автоматического захлестывателя заправляется на барабан моталки и после 4-5 витков полосы на барабане моталки стан плавно переводится на рабочую скорость.

При прохождении швов через рабочие валки стана скорость прокатки снижается до 3-5м/с.

Задний конец полосы прокатывается при опущенных прижимах пресс-проводковых столов. Это увеличивает натяжение полосы перед рабочими валками и предохраняет рабочие валки от выброса полосы в сторону, а значит , от порезов и наваров.

Задние концы полос должны быть равными , не должны иметь хвостов. Это предохраняет рабочие валки клетей от порезов.

Подъемный стол, приняв на себя рулон, передвигается к цепному транспортеру. Снятый с барабана моталки рулон устанавливается на цепной транспортер, а сниматель рулонов возвращается под барабан моталки.

В таблице 1 приведены данные о выпуклости верхнего рабочего валка, зависящей от ширины прокатываемого металла.

*Таблица 1.Выпуклость рабочего валка*

|  |  |
| --- | --- |
| Ширина полос , мм | Выпуклость , мм |
| 1-я клеть | 2-я клеть | 3-я клеть | 4-я клеть |
| До 1260 ………………1260—1290…………..1300 и выше…………. | 0,400,250,13 | 0,350,200,13 | 0,350,200,13 | 0,350,250,13 |

Поверхность рабочих валков 1-й и 4-й клетей насекается с целью улучшения условий захвата металла и предупреждения свариваемости витков рулона при отжиге.

Допустимая разница в диаметрах рабочих валков на четырехклетевом стане – не более 2мм.

Для обеспечения качественного профиля прокатываемых полос осуществляют перевалку рабочих и опорных валков. Данные о допустимых количествах металла, прокатываемого между перевалками, приведены в таблице 2.

Температура эмульсии, подаваемой на стан, должна быть зимой не ниже 25-30 град.С., летом 28-34 град.С.

Охлаждение валков – эмульсией с содержанием эмульсола 4-10%. Охлаждение валков должно начинаться одновременно с прокаткой и прекращаться с остановкой стана.

При временных задержках в работе стана вращение валков не прекращается.

На валках, заваленных в клеть после их перешлифовки, необходимо для лучшего использования их бочек начинать прокатку с более широких полос и постепенно переходить к более узким.

Рабочие валки, имеющие максимальную твердость, обычно устанавливают в дрессировочный стан и четвертую клеть непрерывного стана.

По мере перешлифовки валки перемещают от четвертой к первой клети.

После травления утяжеленные рулоны взвешивают на транспортере и подают к стану холодной прокатки.

Непрерывный стан состоит из четырех клетей кварто с диаметром валков рабочих 500мм и опорных 1400мм и с длиной бочки 1700мм. Установка четырех клетей позволила прокаливать листовую сталь более широкого сортамента с наименьшей толщиной 0,4мм и применять в этом случае горячекатаные рулоны полос толщиной 1,8мм. Суммарное обжатие в этом случае составляет 80%. Скорость прокатки в последней клети достигает 25м/с.

*Таблица 2. Количество металла, прокатываемого между перевалками рабочих и опорных валков.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Клеть | Тип валка | Количество металла , т , при толщине проката , мм |
| 0,7—2,0 | 0,4—0,6 |
| 1234 | РабочиеОпорныеРабочиеОпорныеРабочиеОпорныеРабочиеОпорные | 200060000-65000170060000-65000140040000-45000110040000-45000 | 150060000-65000120060000-6500090040000-4500060040000-45000 |

Кроме основных потоков холоднокатаной листовой стали, в цехе предусмотрен поток выдачи термически обработанной листовой стали в горячекатаном виде.

Цех холодной прокатки с пятиклетевым непрерывным станом холодной прокатки имеет термическое отделение для рекристаллизационного отжига холоднокатаной стали в защитной среде. Все отжигательные печи – колпаковые одностопные, рассчитаны на садку массой 180т. Максимальная высота стопы рулонов 4,8т. Топливом является смешанный коксо-доменный газ с теплотворной способностью 1600ккал/м3 . Заданная производительность цеха по термической обработке обеспечивается 166 стендами при 66 нагревательных колпаках. Размер колпаков – высота 6,86м , наружный диаметр 4,78м. Они футерованы шамотным кирпичом. Масса колпака 35т. Количество муфелей, изготовленных из нержавеющей теплостойкой стали, соответствует количеству стендов и резервного количества, необходимого для ремонта. В качестве защитного газа, предохраняющего рулоны от окисления, применяется защитный газ, состоящий из 96% азота и 4% водорода. Между рулонами и под низ стопы укладываются конвекторные кольца, обеспечивающие интенсивную теплопередачу между защитным газом и торцами рулонов. Сверху стопа рулонов закрывается специальной крышкой для того, чтобы весь защитный газ проходил через конверторные кольца.

Циркуляционный вентилятор засасывает защитный газ из внутренней полости стопы рулонов и через направляющий аппарат подает его в пространство между стенкой муфеля и стопой рулонов, откуда он через конверторные кольца вновь поступает во внутреннюю полость стопы рулонов. Совершая этот путь, защитный газ передает тепло от муфеля металлу, а при охлаждении отнимает его у металла.

Транспортирование рулонов, стендов, муфелей, обслуживание термических печей осуществляется мостовыми кранами грузоподъемностью 20/20тс.

Размеры рулонов массой до 45т, подвергаются термической обработке, определяются сортаментом холоднокатаной стали, прокатываемой на пятиклетевом стане.

Размеры отжигаемых рулонов, мм:

Толщина полосы………………………………0,4-3,5

Ширина полосы…………………….…...…700-1560

Максимальный наружный диаметр рулонов…2700

Внутренний диаметр рулонов……………..……600

Рулоны металла, поступающие на отжиг, должны удовлетворять следующим требованиям: смотка должна быть плотной с плотно прилегаемыми наружными и внутренними витками; выступы отдельных витков в рулонах допускаются не более чем на 20мм; телескопичность рулонов допускаетсяне более 50мм; овальность рулонов не допускается; каждый рулон должен быть увязан по окружности двумя поперечными обручами на расстоянии не более 1м от наружного конца.

Садки металла для отжига комплектуются поплавочно из одной марки стали и одного размера рулонов. Допускается догружать садку другой плавкой с близкими по размерам рулонами, при этом рулоны меньшего диаметра, меньшей толщины и большей ширины полосы укладываются на верх стопы.

В целях эффективного использования стендов термических печей после охлаждения садки под муфелем до заданной температуры муфель снимают и стопу рулонов переносят на другой стенд участка ускоренного охлаждения. При этом между рулонами устанавливаются те же кольца, которые были в стопе на печном стенде. Данные о снижении температуры на участке ускоренного охлаждения приведены в таблице 3.

*Таблица 3. Температура охлаждаемого металла.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Сталь | Поставляется по ГОСТ | Температура охлажденного металла |
| Холоднокатаная, малоуглеродистая, качественная для холодной штамповки..Углеродистая :Качественная конструкционная………...Обыкновенная…………………………… | 9045—7016523—70\*16523—70\* | До 40>>50>>60 |

Дальнейшее охлаждение металла осуществляют на складе отожженных рулонов. На дрессировку весь металл подают при температуре не выше 40град.С.

В технологических инструкциях оговариваются возможные виды брака из-за нарушения технологии термической обработки или неисправности оборудования. Ниже перечислены *виды брака и причины их возникновения*:

Виды брака Причины возникновения

Сваривание металла 1.высокая температура отжига

 2.смятие кромки рулонов

 3.неисправность термопар или приборов

Слипание витков рулона 1.недостаточная шероховатость прокатных валков

 2.загрязнение эмульсии

 3.неполное удаление эмульсии с поверхности полосы после прокатки

 4.плохая подготовка конвекторных колец, деформация колец, попадание на кольца металла

Цвета побежалости 1.некачественный состав защитного газа (наличие кислорода или влаги)

 2.низкое давление защитного газа

 3.высокая температура при распаковке

 4.неплотности в кладке стенда или его металлоконструкциях

 5.неисправность муфеля

 6.недостаточная продувка садки

 7.непросушеный стенд

Неудовлетворительные

механические свойства 1.несоблюдение режима отжига

 2.перепутывание марок стали

 3.недостаточное охлаждение металла перед дрессировкой

 4.аварийная остановка циркуляционных вентиляторов

 5.сползание витков с рулонов при накрывании упакованной стопы рулонов муфелем

 6.неправильная укладка верхней крышки стопы

 7.засорение конвекторных колец.

Последовательность операций при продольном роспуске рулонов холоднокатаной стали на меньшую ширину: обрезка поперечной кромки полосы на гильотинных ножницах, промасливание рулонов, резка их на дисковых ножницах на заданные ширины с одновременной обрезкой продольных кромок. Перед дисковыми ножницами на направляющем столе с помощью вертикальных валков осуществляют центрирование полосы относительно оси агрегата. На большинстве агрегатов ножи имеют диаметр 330—360 мм, изготовлены они из инструментальной стали 5Х2СФ. Продольную кромку сматывают на кромкомоталку. Перед моталкой, на которую сматывается разрезанная на заданную ширину полоса, т.е. между дисковыми ножницами и моталкой, имеется проводковый стол, предназначенный для подачи полосы к зеву барабана моталки во время заправки полосы в агрегат и для удержания полос перед смоткой в горизонтальном положении.

По заданным массе, толщине и ширине рулона, пользуясь таблицей 4, где приведены размеры и масса холоднокатаной рулонной полосы наиболее распространенных размеров (толщина 0,4—2 мм, ширина 200—1500 мм), можно определить ее количество.

*Таблица 4. Размеры и масса холоднокатаной рулонной стали.*

|  |  |
| --- | --- |
| Ширина ленты, мм | Толщина ленты, мм |
| 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,56 | 0,60 | 0,63 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,00 | 1,10 | 1,20 | 1,40 | 1,50 | 1,60 | 1,80 | 2,00 |
| Масса 1м стали, кг |
| 20021022024025026028030032034035036038040042045048050053056060063065067071075080085090095010001100125014001500 | 0,6280,6590,6910,7540,7850,8160,8790,9421,0101,0701,1001,1301,1901,2601,3201,4101,5101,5701,661,761,881,982,042,102,232,362,512,672,832,963,14---- | 0,7070,7420,7770,8480,8830,9190,9891,0601,1301,2001,2401,2701,3401,4101,4801,5901,7001,7701,871,982,122,232,302,372,512,652,833,003,183,363,53---- | 0,7850,8240,8640,9420,9811,0201,1001,1801,2601,3401,3701,4101,4901,5701,6501,7701,8701,9602,082,202,362,472,552,632,792,943,143,343,533,733,93---- | 0,8790,9230,9671,0601,1001,1401,2301,3201,4101,5001,5401,5801,6701,7601,8501,9802,1102,2002,332,462,642,772,862,953,123,303,523,744,004,184,40---- | 0,9420,9891,0361,1301,1781,2301,3201,4101,5101,5701,6501,7001,7901,8802,0002,1202,2603,3602,502,642,832,973,063,163,343,533,774,004,244,484,71---- | 0,9891,0401,0901,1901,2301,2901,3901,4801,5601,6801,7301,7801,9001,9802,0802,2302,3702,4702,622,772,973,123,223,313,513,713,964,204,454,504,96---- | 1,101,151,211,321,371,431,541,651,761,871,921,982,092,202,312,472,692,752,913,083,303,463,573,683,904,124,404,674,955,525,60---- | 1,261,321,381,511,571,631,761,882,012,142,202,262,392,512,642,833,013,143,303,523,723,964,084,214,464,715,025,345,655,976,28-8,839,8910,60 | 1,411,481,551,701,771,841,982,122,262,402,472,542,692,832,973,183,393,533,753,964,244,454,594,735,025,305,656,016,366,717,077,779,8111,0011,78 | 1,571,651,731,881,962,042,202,362,512,872,752,832,983,143,303,533,773,934,164,404,714,955,105,265,575,696,286,677,077,607,868,6310,7912,0912,95 | 1,731,811,902,072,162,252,422,592,762,943,023,113,283,493,633,894,154,324,584,845,185,445,615,796,136,486,917,347,778,208,649,5011,7813,1914,13 | 1,881,982,072,262,362,452,642,833,013,203,303,393,583,773,964,244,524,714,995,265,655,946,126,316,697,077,548,018,488,959,4210,3613,7415,3916,49 | 2,202,312,422,642,752,863,083,303,523,743,853,964,184,404,624,955,285,505,836,156,596,927,147,367,808,248,799,349,9010,4410,9912,0914,7216,7817,66 | 2,362,472,592,832,943,063,303,533,774,004,124,244,484,714,955,305,655,896,246,597,077,427,657,398,368,839,4210,0110,6011,1911,7812,9515,7017,5818,84 | 2,512,642,763,013,143,273,523,774,024,274,404,524,775,025,285,656,036,286,667,037,547,918,168,428,929,4210,0410,6811,3011,9312,5613,8217,6619,7821,20 | 2,832,973,113,393,533,673,964,244,524,804,955,095,375,655,946,366,787,077,497,918,488,909,199,4710,0410,6011,3012,0112,7213,4214,1315,5419,6321,9823,55 | 3,143,303,453,773,934,084,404,715,025,345,505,655,976,286,597,077,547,858,328,799,429,8910,2110,5211,1511,7812,5613,3514,1314,9215,7017,27 |

Технологией резки рулонного проката на листы предусматривается после обрезки дефектных концов полосу направлять в листоправильную машину, а затем транспортировать ее к направляющему столу дисковых ножниц. После сближения вертикальных роликов стола и центрирования полосы относительно оси агрегата полоса захватывается дисковыми ножницами, на которых образуются кромки полосы. Полоса после обрезки направляется ко второй листоправильной машине, а затем к летучим ножницам, а обрезанная кромка – к кромкомоталке. На современных агрегатах работу кромкомоталки контролируют с помощью телевизионной установки.

Листы заданной длины после резки на летучих ножницах получаются за счет подбора линейной скорости движения ножей летучих ножниц и скорости движения полосы в агрегате. Разрезанные листы направляются в соответствующие секции. После набора пачки листов заданной массы в одной секции листы направляются в другую секцию агрегата. Перед секциями пакетирующего устройства листы промасливают на промасливающих машинах. На ряде современных агрегатов поперечной резки предусматривается установка в потоке третьей роликоправильной машины для дополнительной правки листов.

В таблице 5 описаны дефекты листов, возникающие в процессе резки, и причины их образования.

*Таблица 5. Дефекты листов и полос, возникающие при порезке на агрегатах резки.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Дефекты | Описание и внешний вид дефекта | Причины образования дефекта |
| Царапины, рискиНемерностьЗаусеницыКосой рез | Механические повреждения листа в виде продольных или поперечных углубленийОтклонения ширины или длины листа от номинальных размеров, превышающих величину допускаНебольшие выступы металла по длине и ширине на кромках листов или полос под прямым углом к поверхностиКромки листа обрезаны не под прямым углом | Выступающие металлические детали оборудования, застрявшие обрывки металлаНеправильная настройка дисковых или летучих ножниц, плохая установка летучих ножницТупые ножи; неправильная настройка дисковых или летучих ножницСерповидность полосы; неправильная задача полосы в агрегат поперечной резки; неправильная настройка направляющих роликов  |
| Мелкая волнаНаварНаколМятостьРазбросЗабитая кромкасерповидность | Небольшая волнистость полосы пот кромкам с обеих сторон или с одной стороныОтпечатки на поверхности листа или полосы разной формы и размеров в виде пятен или продольных полосМеханические повреждения на поверхности полос или листов в виде мелких острых углублений, отпечатков или рисокПерегибы и изломы листов в различных направлениях, загнутые углы и кромкиПри пакетировании пачек смещение листов подлине или ширине пачки (одних относительно других) больше допустимогоМеханическое повреждение кромок листа или заворот углов в пачкеПолоса изогнута в виде серпа | Перекос тянущих роликов; неправильная настройка дисковых ножей или роликов правильной машиныНалипание металлических частей на тянущих роликах. То же, на ролики правильной машиныПопадание на полосу при резке мелких металлических или инородных частиц от тянущих роликов правильной машиныНадавы на внешних винтах рулона, небрежная заправка полосы в правильно-тянущие ролики. Застревание листов в пакетирующих устройствахНеправильная настройка проводковой арматуры, неполадки в работе ленточных транспортеров, чрезмерно низкое или высокое положение подъемного стола карманаНеправильная установка упоров в карманах пакетирующих устройствНеправильная настройка дисковых ножниц. Неправильная установка проводок и вертикальных роликов |

## Понятие о калибровке прокатных валков.

Одним из главных вопросов производства проката является рациональная калибровка валков при прокатке сортовой стали. При расчете и проектировании калибровок валков для прокатки блюмов и слябов, различных профилей – простого и фасонного сечения – необходимо учитывать влияние на условия деформации металла в калибрах физико-механических свойств стали, температурного интервала начала и конца прокатки, формы профиля.

Калибровка валков должна обеспечивать высокое качество готового проката, наиболее высокую производительность прокатного стана и минимальный расход металла.

Расчет калибровки валков определяет изменения сечения и формы профиля при прокатке в калибрах. При этом величина обжатия по проходам устанавливается с учетом формы раската, химического состава стали, температуры прокатки, допустимой величины обжатия, исходя из условий захвата металла валками, прочности валков и мощности станового двигателя.

Общая схема калибровки тем рациональнее и экономичнее, чем меньше число проходов при прокатке данного профиля, так как тогда требуется меньше дорогостоящих прокатных валков, вводной и выводной валковой арматуры, упрощается настройка клетей, облегчается обслуживание стана.

Задачей калибровки также является рациональное использование бочки валков при расположении калибров, при обеспечении соответствующей прочности буртов и выбор оптимальных размеров и формы калибров в целях обеспечения простоты настройки прокатных клетей, минимальных затрат времени на простои стана, связанные с переходами с одного профиля на другой и с перевалками валков.

При рациональной калибровке валков условия формоизменения металла должны быть такими, чтобы температура раската уменьшалась незначительно, т.е. обеспечивалась бы деформация металла в калибрах при высокой и равномерно распределенной по сечению температуре в условиях правильного заполнения калибров металлом. Это определяющее условие нормального процесса прокатки и получения заданных размеров и элементов готового профиля, определенных соответствующими стандартами и техническими условиями.

## ХОЛОДНАЯ ПРОКАТКА ШИРОКОПОЛОСНОЙ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ.

Для холодной прокатки листовой стали в рулонах применяют различные станы в зависимости от объема производства, программы прокатки и назначения листовой стали.

При небольшом объеме производства, когда установка непрерывного стана невыгодна, применяют одноклетевые реверсивные станы кварто.

На одноклетевых реверсивных станах кварто прокатывают тонколистовую углеродистую и легированную сталь обычно толщиной не более 0,5мм. Однако в некоторых случаях эти станы применяют для прокатки листовой стали толщиной менее 0,5мм. Например при небольшом объеме производства их применяют для прокатки трансформаторной и нержавеющей листовой стали.

По сравнению с непрерывными станами производительность непрерывных станов кварто в 3-5 раз меньше, но они более удобны при настройке и прокатке полос различной толщины. Поэтому их широко применяют для прокатки разнообразного сортамента рулонов (по толщине, маркам стали и т.д.). поскольку стан реверсивный и оба конца полосы заправляют в моталки, то очевидно, что эти концы не прокатываются и остаются утолщенными, что снижает выход годного проката. Для экономии металла при прокатке легированной стали к концам рулонов приваривают концы длиной 3-5 метров из углеродистой стали; в дальнейшем эти концы отрезают. Значительное увеличение объемов производства холоднокатаной листовой и ленточной сталей с высокими требованиями к точности размеров по толщине, а также производство их из легированных сталей, характеризующихся относительно низкой технологической пластичностью, предопределили широкое применение многовалковых одноклетевых реверсивных станов холодной прокатки, в основном ,20-валковых.

Широкое применение для холодной прокатки листовой стали получили непрерывные станы – четырех, пяти и в ряде цехов шестиклетевые.

Для холодной прокатки листовой стали широкого сортамента получили наибольшее применение непрерывные четырехклетевые станы.

Четырехклетевые непрерывные станы кварто применяют для холодной прокатки тонкой (0,5-2,0 мм) полосы шириной 1500-2350мм из горячекатаной полосы толщиной 2-6мм в рулонах массой 20-30т и более. В зависимости от сортамента и качества листовой стали скорость прокатки на этих станах составляет 10-25м/с.

В соответствии с шириной полосы длина бочки валков равна 1700-2500мм ; диаметры валков рабочих 500-600мм и опорных 1400-1600мм . годовая производительность станов равна 1-1,5млн.т.

Расположение оборудования в цехах холодной прокатки со станами 1200,1700 и 1400, а также станом 2000 показано на рис.1,2,3.

## ХОЛОДНАЯ ПРОКАТКА ШИРОКОПОЛОСНОЙ СТАЛИ НА НЕПРЕРЫВНЫХ СТАНАХ.

Непрерывные станы холодной прокатки по производительности , степени автоматизации и себестоимости прокатываемой продукции для условий прокатки массового сортамента имеют значительные преимущества перед одноклетевыми реверсивными станами.

В современных цехах холодной прокатки работают непрерывные станы - двухклетевые , трехклетевые , четырехклетевые , пятиклетевые и шестиклетевые.

В зависимости от сортамента холодного проката устанавливают необходимое число клетей с таким расчетом, чтобы за один пропуск через непрерывный стан получить заданную толщину проката.

Трехклетевые непрерывные станы допускают прокатку полосы за один пропуск через стан с суммарным обжатием 45-60% ;четырехклетевые непрерывные станы допускают за один пропуск через стан суммарное обжатие полосы 70-80% и пятиклетевые – суммарное обжатие полосы за пропуск до 90%.

Непрерывные станы целесообразно применять при прокатке очень больших партий проката одного размера.

В непрерывных станах последняя клеть предназначается исключительно для отделочного пропуска , поэтому качество поверхности ленты здесь более высокое, чем при прокатке полос в реверсивных станах , где обжимные и отделочные пропуски производятся в одной клети.

Производительность непрерывных станов благодаря применению высоких скоростей прокатки , больших обжатий и главным образом сокращению холостого хода значительно выше производительности реверсивных станов. Именно этим объясняется широкое применение непрерывных станов при прокатке массовой продукции.

#### ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И СВОЙСТВА ХОЛОДНОКАТАНОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ СТАЛИ.

Одно из основных условий создания высокоэкономичных трансформаторов и электрических машин - применение для их изготовления высококачественной холоднокатаной трансформаторной стали, которая характеризуется меньшими удельными (ваттными) потерями и более высокой магнитной индукцией, .чем горячекатаная. Магнитная индукция холоднокатаной трансформаторной стали на 25-30% выше, а удельные потери в 1,5-2 раза ниже, чем у горячекатаной.

Применение высококачественной холоднокатаной трансформаторной стали в трансформаторах, в крупных электрических машинах и приборах уменьшает их массу и габариты, значительно сокращает потери электроэнергии, расход материалов и средств.

Применение на заводах электротехнической промышленности рулонной трансформаторной стали вместо листовой позволяет значительно увеличить производительность труда в заготовительных цехах, обеспечивая механизацию и автоматизацию трудоемких операций штамповки и резки этой стали, сокращая на 10-20% расход металла благодаря более рациональному раскрою деталей из рулона. Все это позволяет организовать изготовление витых сердечников значительного диапазона размеров.

Обычно листовые заготовки из трансформаторной стали подвергают на заводах трансформаторостроения двух и трехкратной лакировке. Нанесение на заводах черной металлургии на поверхность стали электроизоляционной пленки позволяет не покрывать лаком заготовки для распределительных трансформаторов.

## СВОЙСТВА ХОЛОДНОКАТАНОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ СТАЛИ

Холоднокатаную листовую трансформаторную сталь поставляют следующих размеров: толщиной 0,28; 0,30; 0,35 и 0,5 мм, шириной в основном 750, 860 и 1000 мм. Использование протяжных печей для обезуглероживающей обработки позволило поставлять сталь в рулонах такой же толщины и ширины, как и листовой прокат. Ленточный прокат, полученный роспуском рулонов на заданную ширину, поставляют шириной 170, 190, 200, 240, 250, 300 и до 500 мм. Ленту трансформаторной стали толщиной 0,04-0,08 мм и шириной 5-240 мм (в зависимости от толщины) ряд заводов поставляет по специальным техническим условиям. Магнитные свойства трансформаторной стали должны соответствовать требованиям стандартов.

У поликристаллических материалов, кристаллы которых ориентированы случайно, магнитные свойства в различных направлениях практически одинаковы. В процессе производства листовой холоднокатаной трансформаторной стали в ней создается преимущественная ориентировка кристаллов - текстура стали, вызывающая анизотропию магнитных свойств. Текстура характеризуется совмещением диагональной плоскости куба с плоскостью прокатки и ориентацией ребра куба вдоль направления прокатки.

Благодаря тому, что в решетке железа ребро куба является направлением легкого намагничивания вдоль направления прокатки, при такой текстуре магнитные свойства будут тем лучше, чем резче выражена текстура.

Следовательно, лучшие магнитные характеристики холоднокатаной трансформаторной стали получаются в направлении прокатки. В направлении, перпендикулярно прокатке, т. е. под углом 90° к направлению прокатки, располагается диагональ грани куба, т. е. направление более трудного намагничивания, и в этом направлении сталь обладает значительно худшими магнитными свойствами. Чем более текстурована сталь, тем выше анизотропия магнитных свойств.

Холоднокатаная трансформаторная сталь имеет в направле­нии прокатки меньшие потери на гистерезис и вихревые токи и более высокую магнитную индукцию, чем горячекатаная сталь. Это объясняется текстурой стали. Высокие магнитные свойства холоднокатаной трансформаторной стали объясняются также крупным зерном феррита, которое получается в результате высоко­температурного отжига. Различают *электротехническую сталь с ребровой текстурой* или текстурой Госса и *электротехническую сталь с кубической текстурой.* В ребровой текстуре (110) [100] диагональная плоскость куба (110) совпадает с плоскостью про­катки, а направление — ребро куба [100] совпадает с направле­нием прокатки (рис, ). Таким образом, направление легкого намагничивания в решетке к-железа [100] совпадает с направле­нием прокатки, направление трудного намагничивания [111] находится под углом 45° к направлению прокатки, а направление среднего намагничивания [110] — под углом 90° к направлению прокатки. Следовательно, магнитные свойства стали с ребровой текстурой зависят от направления, в котором они измеряются. Более высокая магнитная индукция и низкие ваттные потери у та­кой стали будут в направлении холодной прокатки.

 Направление прокатки>> Направление прокатки>>

*Рис.4. Ребровая (а) и кубическая (б) текстуры электротехнической стали*

Анизотропия магнитных свойств трансформаторной стали учитывается при производстве трансформаторов. Конструкция должна быть такова, чтобы магнитный поток в ней совпадал с направле­нием прокатки, т. е. с направлением наименьших ваттных потерь и максимальной магнитной индукции.

Для изготовления электрических машин и аппаратов с круго­вым магнитным потоком трансформаторная сталь со значительной анизотропией магнитных свойств не применяется. В настоящее время освоено производство малотекстурованной холоднокатаной трансформаторной стали толщиной 0,35 и 0,5 мм, у которой раз­ница в значениях магнитных свойств вдоль и поперек листа неве­лика.

В кубической текстуре (100) [100] грань куба—плоскость (100) — совпадает с плоскостью прокатки, а ребро куба — на­правление [100]—совпадает с направлением прокатки. Таким образом, в сталях с кубической текстурой вдоль и поперек про­катки ориентируются ребра куба — направления легкого намаг­ничивания [100], а направление средней трудности намагничи­вания [110] находится под углом 45° к направлению прокатки. Следовательно, магнитные свойства у сталей с кубической тексту­рой одинаковы вдоль и поперек направления прокатки или мало зависят от направления прокатки. Это позволяет без значительных потерь изменять направление магнитного потока Е трансформато­рах и электрических машинах. Холоднокатаную трансформатор­ную сталь прокатывают с меньшими допусками, чем горячеката­ную. Она имеет более чистую и гладкую поверхность, что позво­ляет улучшить конструкцию трансформаторов. При холодной прокатке трансформаторной стали предъявляют повышенные тре­бования к допускам по ширине и толщине, а также по геометрии полос. Волнистость и коробоватость, характеризующие плоскост­ность готовой стали, не допускаются. От плоскостности листов зави­сит коэффициент заполнения объема при изготовлении магнито-проводов.

В настоящее время для травления подката трансформаторной стали применяют сернокислотные растворы (150-200 г/дм3) при температуре 75-95° С. В эти растворы добавляют поваренную соль из расчета 40-50 г/дм2.

При определении производительности непрерывных травильных линий и установлении скорости движения полосы необходимо учитывать, что скорость травления трансформаторной стали ниже, чем углеродистой, так как из-за повышенного содержания окислов кремния в окалине требуется более длительное пребывание полосы в травильном растворе.

На ряде заводов скорость движения полосы трансформаторной стали на непрерывных травильных линиях находится в пределах 20-40 м/мин. Скорость травления можно значительно увеличить применением комбинированного метода очистки поверхности полосы от окалины, при котором окалина предварительно механически разрыхляется и частично удаляется.

При травлении трансформаторной стали сернокислотный раствор насыщается кремнием, в результате чего выделяется кремневая кислота, затрудняющая процессы травления металла и извлечения железного купороса из отработавших растворов. При переработке отработавших растворов кремневая кислота задерживает выпадение кристаллов железного купороса.

В связи с указанным для нормальной работы травильного и купоросного отделений при круговом процессе использования травильных растворов необходимо предварительно выделять из них кремневую кислоту.

Холодная прокатка трансформаторной стали на отечественных заводах осуществляется на одноклетевых реверсивных, трехклетевых и пятиклетевом непрерывных и многовалковых станах. Обязательным условием прокатки трансформаторной стали с большим обжатием является наличие мощного прокатного оборудования пятнклетевых непрерывных либо одноклетевых многовалковых станов и применение высокоэффективных технологических смазок.

Сопоставление данных о силовых условиях деформации трансформаторной и малоуглеродистой сталей на одном и том же стане при относительно одинаковых условиях прокатки позволяет сделать вывод, что давление и расход энергии при прокатке трансформаторной стали на 10-15% больше, чем при прокатке малоуглеродистой стали.

###  Обжатие, %

*Рис.5 . Изменение удельного давления при холодной прокатке кремнистой стали.*

При увеличении содержания кремния в стали значительно повышается сопротивление металла деформации. Удельное давление металла на валки при холодной прокатке стали с содержанием 4% Si; в четыре раза, а с содержанием 3,5 Si в 2,5 раза больше, чем при прокатке стали 1 % Si.

На рис.5. и в табл.6 показаны величины удельного давления при холодной прокатке кремнистой стали.

Принятые при холодной прокатке трансформаторной стали интенсивные обжатия в первом пропуске (35-45%) в результате значительной деформации обеспечивают нагрев полосы до 100- 150° С, что благоприятно влияет на процесс прокатки рулона в последующих пропусках, так как нагрев полосы до такой температуры (в результате деформации) приводит к значительному снижению сопротивления деформации при прокатке.

*ТАБЛИЦА 6. УДЕЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ КРЕМНИСТОЙ СТАЛИ*

|  |  |
| --- | --- |
| Обжатие,% | Удельное давление, кгс/мм2, при содержании Si, % |
| 1 | 2.5 | 3.1 | 3.5 | 4 | 4.3 |
| 102025304060 | 32--45-60 | 52--62-88 | 60--75-160 | 80--105-305 | 105--225340- | 185290360--- |

Для обезжиривания полосы после холодной прокатки могут быть применены различные способы, в том числе электролитический, химический, ультразвуковой.

В настоящее время для обезжиривания рулонов химическим способом применяют растворы следующего состава, г/дм3:

# Сода кальцинированная…50

Тринатрийфосфат………..20

Каустическая сода….……5

Эмульгатор ОП-7…….…..3

## ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ХОЛОДНОКАТАНОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ СТАЛИ

Решающее влияние на качество холоднокатаной трансформаторной стали оказывает термическая обработка - предварительный, промежуточный и окончательный высокотемпературный отжиги.

Изменения магнитных характеристик трансформаторной стали при термической обработке вызываются: а) изменением формы углерода (лучшие свойства получаются, когда углерод находится в виде графита); б) выгоранием углерода и дегазацией металла; в) увеличением размеров зерен; г) рекристаллизацией наклепанной стали (при которой происходит снятие внутренних напряжений, изменение величины зерен и их ориентация).

Промежуточный рекристаллизационный отжиг холоднокатаной трансформаторной стали необходим для снижения твердости ленты после

*Рис.6.Протяжная печь для нормализации рулонов трансформаторной стали:*

*1,2—камеры нагрева и охлаждения соответственно*

первого передела холодной прокатки. Опыт работы показал, что такой отжиг

трансформаторной стали в колпаковых печах с различной защитной атмосферой практически не влияет на снижение содержания углерода в стали.

Высокотемпературный отжиг холоднокатаной трансформаторной стали проводится в колпаковых печах при 1100-1200° С в вакууме или в сухом водороде.

При высокотемпературном отжиге происходит укрупнение зерен феррита, коагуляция включений, изменение формы углерода и уменьшение количества вредных примесей в стали.

В последние годы для обезуглероживания и окончательного отпуска трансформаторной стали строили башенные и горизонтальные печи, характеризующиеся высокой производительностью, позволяющие проводить значительное обезуглероживание металла.

В современном производстве подката из трансформаторной стали предусматривается технологический передел слитков большой массы в слябы на блюмингах или слябингах либо получение слябов с установок непрерывной разливки стали с использованием стали, содержащей 2,9-3,2% Si. При производстве катаных слябов слитки в колодцевые печи загружаются горячим всадом с температурой поверхности слитков при посадке 800-950° С. Продолжительность нагрева слитков в зависимости от температуры всада 7-10 ч, имея в виду, что не менее 75% общего времени должно расходоваться на томление слитков при температуре выдачи. Прокатанные слябы в потоке обжимных станов подвергаются зачистке на машинах огневой зачистки, после чего подвергаются термической обработке (отжигу) при температуре 750° С с загрузкой слябов в печь горячим всадом. Охлаждение садки после отжига должно быть замедленным со скоростью 40-50° С. Регламентированный режим нагрева и охлаждения слябов кремнистой стали исключает образование трещин из-за значительных термических напряжений.

При необходимости дополнительной зачистки поверхностных дефектов на слябах ее осуществляют на остывших слябах на адъюстаже.

Слябы перед прокаткой на широкополосном стане нагреваются в зависимости от химического состава трансформаторной стали до 1200-1400° С. Преимуществом использования полунепрерывных станов для прокатки рулонного подката является возможность регулирования числа проходов и величины обжатия в зависимости от химического состава стали, температуры сляба и толщины рулонного подката. Перед чистовой группой клетей температура раската толщиной 18-25 мм должна быть в пределах 950- 1050° С, температура конца прокатки не ниже 850° С и температура полосы при смотке на моталку не выше 600° С.

Толщина рулонного горячекатаного подката определяется режимом его прокатки на стане холодной прокатки и конструкцией стана. Обычно толщина подката равна 2,5 мм.

#### ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ХОЛОДНОКАТАНОЙ ДИНАМНОЙ СТАЛИ

Развитие производства электротехнических сталей характеризуется увеличением выпуска холоднокатаной динамной стали и сокращением производства горячекатаной динамной стали.

У холоднокатаной динамной стали по сравнению с горячекатаной значительно точнее размеры толщины, более высокая планшетность, лучшее состояние поверхности, отсутствует окалина. Более высокие параметры качества холоднокатаной динамной стали при изготовлении электромашин позволяют получить более высокий коэффициент заполнения, обеспечивающий значительную экономию электроэнергии и возможность в ряде случаев увеличить мощность электромашин при сохранении их масс и габаритов. Этому способствует незначительная анизотропия магнитных свойств холоднокатаной стали, т. е. разница в магнитных свойствах листов в направлении прокатки и в перпендикулярном направлении.

Применение холоднокатаной динамной стали в рулонах позволяет значительно сократить расход металла на изготовление деталей машин и аппаратов в результате рационального раскроя полосы и организовать их производство на высокопроизводительных автоматических и полуавтоматических линиях.

Более высокое качество поверхности холоднокатаной динамной стали по сравнению с горячекатаной обеспечивается прокаткой рулонов протравленного подката на современных непрерывных или реверсивных станах холодной прокатки, в то время как горячекатаная листовая динамная сталь прокатывается пакетами на клетях горячей прокатки устаревшей конструкции с применением тяжелого ручного труда.

Прокатка на станах горячей и холодной прокатки рулонов, кроме значительного увеличения производительности по сравнению с листовой прокаткой горячекатаного металла, способствует получению проката с более стабильными свойствами, так как создаются постоянные условия при обработке большого количества металла на различных технологических операциях.

## ПЛАСТИЧНОСТЬ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ

Листы холоднокатаной малотекстурованной стали при испытании на хрупкость должны выдерживать не менее 10 гибов для сталей Э1100, Э1200 и Э1300 и не менее 5 гибов для сталей Э3100, Э3200.

Число гибов, которое выдерживают образцы этой стали, превышает приведенные нормы.

Ударная вязкость стали с 1 % Si равна 12 кгс м/см2. Механические свойства электротехнической стали (в отожженном состоянии) зависят от содержания кремния .

Высокая пластичность холоднокатаной динамной стали с содержанием до 2% Si определяет возможность прокатывать эту сталь на высокопроизводительных непрерывных и реверсивных станах холодной прокатки, без существенного снижения их производительности по сравнению с прокаткой малоуглеродистой стали.

Технология производства холоднокатаной динамной стали должна обеспечивать получение листовой и рулонной стали: а) с минимально возможными удельными потерями и максимально возможной индукцией; б) с минимально возможной анизотропией магнитных свойств; в) пластичность, точность прокатки и чистота поверхности должны соответствовать заданным стандартами или техническими условиями.

Решающее влияние на магнитные свойства стали оказывает химический состав. Сейчас динамную сталь выплавляют с 1,3- 1,8% Si. Выплавка стали с содержанием кремния ближе к верхнему пределу позволяет снизить удельные потери на 0,1-0,2 Вт/кг. При повышении содержания кремния в стали увеличивается ее способность к текстурообразованию и, следовательно, к увеличению анизотропии. Чем меньше газов и неметаллических включений содержит динамная сталь, тем лучше ее магнитные свойства. Следует, поэтому рекомендовать вакуумирование жидкой стали в ковше, что позволяет снизить в ней количество углерода и уменьшить содержание газов.

Разливка динамной стали в современных цехах осуществляется в крупные слитки массой 5-12 т. Возможно применение слитков массой до 24 т.

Подготовка поверхности слитков, слябов и подката динамной стали не отличается от принятой в производстве углеродистой стали.

Существенное влияние на магнитные свойства холоднокатаной динамной стали оказывает технология ее передела в цехах холодной прокатки.

*ТАБЛИЦА 7. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ.*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Si, % | ,кгс/см2 | , кгс/мм2 | , % |
| 11,52,02,5 | 32364046 | 20242933 | 54454542 |

# *ТАБЛИЦА 8. СХЕМА ПРОКАТКИ ПОЛОСОВОЙ ДИНАМНОЙ СТАЛИ*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| №пропуска | Толщина полосы, мм | Обжатие за пропуск | Суммарное обжатие, % | Передел текучести, кгс/мм2 |
| До пропуска | После пропуска | Абсолютное, мм | Относительное, мм | До пропуска | После пропуска |
| 12345 | 21,30,950,70,58 | 1,30,950,70,580,5 | 0,70,350,250,120,08 | 3527261714 | 3552,7657175 | 3872808587 | 7280858788 |

Протравленные рулоны после обрезки кромок и промасливания прокатывают на заданную толщину за один пропуск через стан.

Высокая пластичность динамной стали и относительно небольшое сопротивление деформации позволяют холодную прокатку этой стали производить с суммарным обжатием до 80%, без промежуточного отжига.

Холодная прокатка динамной стали с содержанием кремния до 2% производится из рулонного горячекатаного подката толщиной 2-2,5 мм в один передел. В табл. 96 приведена схема прокатки рулонной динамной стали с начальной толщины 2 мм до 0,5 мм на пятиклетевом стане холодной прокатки.

Замерами энергосиловых параметров работы пятиклетевого непрерывного стана 1200 при прокатке малоуглеродистой стали (08кп, СтЗ) и динамной стали установлено, что при прокатке последней при прочих равных условиях удельный расход электро-энергии составлял 123-128 кВт-ч/т, а при прокатке малоуглеродистой стали 90-115 кВт-ч/т, т. е. в 1,1-1,4 раза больше. Решающее влияние на магнитные свойства динамной стали имеет со, держание углерода, поэтому наряду с мерами, принимаемыми в сталеплавильных цехах по снижению содержания углерода в слитках, высокие магнитные свойства динамной стали обеспечиваются специальной обезуглероживающей обработкой. Эта обработка может быть осуществлена при обезуглероживающем отжиге горячекатаных рулонов в непрерывных агрегатах, где отжиг производится в обезуглероживающей среде, подобной применяемым в производстве холоднокатаной трансформаторной стали.

Обезуглероживающая термическая обработка усиливает анизотропию магнитных свойств динамной стали, что видно из данных таблицы 9.

*ТАБЛИЦА 9. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СТАЛИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ* .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вид термической обработки | Удельные потери, Вт/кг | Магнитная индукция, Гс |
| Р10 | Р15 |
| Без обработки…………………Черный отжиг(775-825 град.С в течение 40ч)………………….. | 1,841,841,821,95 | 4,164,244,104,47 | 15600155001600015650 |

В числителе указаны магнитные свойства для продольных образцов, а в знаменателе - для поперечных.

\*\* По Международной системе СИ 1 Гс == 10~4 Тл.

Для окончательной термической обработки – отжига холоднокатаной динамной стали - могут применяться колпаковые и проходные термические печи. При термической обработке стопы рулонов в колпаковых печах (температура отжига 880-940° С, выдержка 12 ч, охлаждение под колпаком до 650° С, а затем под муфелем до 200° С) обеспечиваются заданные магнитные свойства, но при этом в результате некоторой деформации части витков рулонов отожженные рулоны следует подвергать дрессировке.

Для снятия напряжений в металле после дрессировки проводят повторный отжиг металла. Это связано с дополнительной загрузкой прокатного оборудования, отжигательных печей и с нерациональным удлинением технологического процесса производства стали.

Второй отжиг рулонов после дрессировки осуществляли при 750° С и выдержке 12 ч с последующим охлаждением под муфелем до 200° С. В связи с этим в новых цехах для производства холоднокатаной динамной стали термическая обработка рулонов после холодной прокатки осуществляется в проходных печах.

Наряду с листовой динамной сталью массового применения для изготовления некоторых крупных электромашин необходима сталь с еще меньшими удельными потерями.

При одинаковой толщине листа и одинаковом химическом составе наибольшее влияние на удельные потери оказывает величина зерна (чем оно крупнее, тем ниже удельные потери).

Рост зерна при отжиге в значительной степени зависит от величины обжатия полосы на последнем переделе при холодной прокатке. Наиболее крупные зерна вырастают в случае применения так называемых «критических обжатий», величина которых для динамной стали находится в пределах 8-10%.

Повышение температуры отжига также способствует росту зерна, уменьшает остаточные напряжения и искажения решетки, поэтому по мере повышения температуры нагрева при отжиге коэрцитивная сила и удельные потери снижаются.

Однако при этом следует иметь в виду, что в стали с содержанием до 2,0% Si даже при минимальном содержании углерода при 950-1000° С происходит фазовое превращение ее во всем объеме. Переход через критические точки при нагреве и охлаждении обычно сопровождается измельчением зерен.

При отжиге в проходной печи лучшие магнитные свойства получаются при отжиге ниже температуры фазового превращения. Повышение температуры отжига с 960 до 1100° С приводит к увеличению удельных потерь на 3-5%. Снижение содержания углерода с 0,050 до 0,020% уменьшает удельные потери на 20-25%. Эффективным мероприятием в отношении снижения удельных потерь является применение прокатки с небольшим суммарным обжатием (критическая деформация). Наилучшие результаты получаются при сочетании обезуглероживания и критической деформации.

На электротехническую тонколистовую и ленточную сталь ГОСТ предусматривает выпуск стали трех классов, определяющихся условиями производства - горячекатаная изотропная (1-й класс), холоднокатаная изотропная (2-й класс) и холоднокатаная анизотропная (3-й класс). В каждом из указанных классов оговаривается содержание кремния, которое фиксируется соответствующим шифром. Так, например, в холоднокатаной изотропной стали цифровой шифр для стали с различным содержанием кремния будет:

Цифровой шифр……. 1 2 3 4 5

Содержание Si, %…..до 0,4 0,4-0,8 0,8-1,2 1,8-2,8 2,8-3,8

Холоднокатаная анизотропная сталь изготовляется только с содержанием кремния в пределах 2,8-3,8% и имеет один цифровой шифр - 4.

Для каждой из включенных в стандарт марок стали оговорены магнитные характеристики, определяющие качество листовой и ленточной стали по величине удельных потерь и индукции в определенной толщине проката, обозначаемые соответствующим цифровым индексом. Комплекс перечисленных выше характеристик электротехнической стали, определяющих структурное состояние, содержание кремния, характер и уровень магнитных свойств, обозначается цифрой из четырех знаков: первый знак - класс по структурному состоянию; второй знак - содержание кремния; третий знак - основная нормируемая характеристика; четвертый- уровень магнитных нормируемых характеристик для соответствующей группы сталей. Для примера приведено условное обозначение холоднокатаной листовой анизотропной стали с удельными потерями Р1,5/50 не более 1,0 Вт/кг-3415. Стандарт оговаривает также разделение электротехнической стали на листовую горячекатаную, листовую холоднокатаную и ленту холоднокатаную, а также для холоднокатаной стали с поверхностью, покрытой электроизоляционным покрытием и без покрытия. В зависимости от точности размеров по толщине прокат может поставляться нормальной точности (Н) и повышенной точности (П). Предусматривается, в соответствии с требованиями потребителя, поставка электротехнической листовой и ленточной стали с термической обработкой и без нее. Листовая холоднокатаная сталь поставляется листами или рулонами толщиной 0,35; 0,5 и 0,65мм, шириной 750, 900 и 1000 мм и длиной листов для соответствующей толщины и ширины 1500-2000 мм. Лента поставляется той же толщины и шириной от 170 мм до 500 мм-

Горячекатаная листовая сталь по ГОСТу может изготовляться толщиной в пределах 0,1-1 мм, шириной 500-1000 мм и длиной для соответствующих толщины и ширины в пределах 600-2000 мм.

Допуски по толщине листового и ленточного проката определяются в зависимости от степени точности и ширины проката. Так, например, холоднокатаная листовая сталь толщиной 0,35 мм при ширине листа 750 мм должна иметь предельные отклонения по толщине: для проката нормальной точности ±0,03 мм, а для проката повышенной точности ±0,02 мм. Стандарт включает также параметры качества по точности размеров ширины и длины, по плоскостности, ребровой кривизне для ленты и рулонов. Для соответствующих классов стали оговорены требования по качеству поверхности. Достижение установленных стандартом требований к качеству соответствующих видов электротехнической стали определяют специфические условия и технологию производства этой стали.

Комбинированный агрегат для обработки холоднокатаной динамной стали приведен на рис.7.

#### Технико-экономические показатели листопрокатного производства.

Технология и условия производства листового проката в листопрокатных цехах определяют технико-экономические показатели их работы.

Определяющим показателем является *производительность стана*, которая может быть подсчитана по формуле

#### Q=3600\*G/Т\*Kи,

Где Q—часовая производительность стана, т;

 G—масса исходного сляба или слитка, т;

 Т—ритм прокатки, с;

 Ки—коэффициент использования стана.

Ки=0,85-0,92 и зависит от конструкции стана и уровня механизации и автоматизации процесса.

В целях наиболее полного использования мощности двуклетевых листовых станов при расчете режимов обжатий и распределения пропусков по клетям стремятся, чтобы каждая клеть стана была загружена одинаковое время.

На непрерывных широкополосных станах наиболее благоприятной является прокатка на заданную ширину тяжеловесных слябов – «на прямую» без использования уширительной клети с одинаковым временем прокатки раската в черновой и чистовой группах клетей. Обычно на современных станах при прокатке тонкого листа (толщина 1,2-1,8 мм) время прокатки в чистовой группе клетей несколько больше, чем в черновой группе. При синхронной работе черновой и чистовой групп клетей в широком диапазоне автоматизированного регулирования скоростным режимом прокатки в каждой клети можно обеспечить наименьшую продолжительность прокатки, если при выходе полосы из последних клетей чистовой группы новая полоса будет прокатываться в чистовом окалиноломателе.

Решающими факторами, определяющими производительность этих станов, являются увеличение массы сляба, рулона и высокие скорости прокатки.

Расход металла наибольший при прокатке толстолистовой стали на станах линейного типа, где боковая обрезь весьма велика; ее величина составляет 5-10% ширины листа. Обрезь переднего и заднего концов листа составляет 5-10% длины листов.

Расход металла уменьшается при прокатке на универсальных клетях, где боковые кромки обрабатываются в вертикальных валках и обрезка их не нужна. На универсальных станах прокатывают более длинные полосы,чем на толстолистовых линейного типа, обрезь концов на этих станах также меньше. Расход металла будет наименьшим при прокатке листовой стали на непрерывных станах, особенно при получении рулонов. Ниже приведены коэффициенты расхода слябов при горячей прокатке листовой стали в листах (числители) и рулонах (знаменатели) на двуклетевом стане линейного типа (1) и на непрерывном (2):

 (1) (2)

 1,18-1,23 1,065-1,075

Сталь кипящая углеродистая --------------- ----------------

 --- 1,03-1,05

 1,2-1,25 1,075

Спокойная углеродистая --------------- ----------------

 --- 1,03-1,075

 1,2-1,27 1,075

Низколегированная -------------- ----------------

 --- 1,075

*Расход электроэнергии.* На действующих станах расход электроэнергии колеблется в широких пределах в зависимости от типа стана, размеров исходных материалов и сортамента листовой стали. Можно рекомендовать для разных станов следующие расходы электроэнергии, кВт\*ч/т:

Толстолистовой линейного типа…………………………….60

Непрерывный полунепрерывный тонколистовой…………..60

Непрерывный и четырехклетевой холодной прокатки……..90-100

Нормы включают расход энергии на прокатку, отделку и термическую обработку металла.

# *Расход топлива*. При нагреве холодных слябов расход топлива на 1т листовой стали составляет, тыс.ккал:

Толстолистовой и универсальный……..600

Непрерывный и полунепрерывный……..500

Расход топлива в цехах холодной прокатки на 1т листовой стали составляет, тыс.ккал:

Колпаковые одностопные печи для отжига……..250

Проходные печи для отжига……………………...230

*Расход воды.*расход воды на различных листовых станах приведен в таблице (общий расход воды указан без учета повторного ее использования).

## Таблица 10. Расход воды на листовых станах м3/ч

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Стан | Охлаждение | Смыв окалины | Общий |
| Нагревательных устройств | валков | воздуха | Смазочных устройств | Вспомогательных механизмов идр. |
| Непрерывный и полунепрерывный 1700Толстолистовой и универсальный (одноклетевой)Толстолистовой двухклктевой | 1600(4 печи)800(2 печи)800(2 печи) | 600\*300500 | 2000400500 | 1150150200 | 1500200300 | 650250300 | 750021002600 |