

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова

А.А. Кальченко
В.В. Рузанов

ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА К ВОЛОЧЕНИЮ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск
2011

УДК 621.73

Рецензенты:

Заведующий кафедрой машиноведения
ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет»,
профессор, доктор технических наук
В.С. Славин

Ведущий преподаватель инженерно-педагогического колледжа
Д.Б. Зуев

Кальченко А.А., Рузанов В.В.

Подготовка поверхности металла к волочению: учеб. пособие. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2011. 102 с.

В пособии изложены основные технологические процессы подготовки металла к волочению, различные способы травления, а так же механические способы удаления окалины.

Пособие предназначено для студентов специальности 150201 «Машины и технология обработки металлов давлением».

УДК 621.73

© Магнитогорский государственный
технический университет
им. Г.И.Носова, 2011
© Кальченко А.А., Рузанов В.В., 2011

ВВЕДЕНИЕ

Технология (от греч. *techne* – искусство, мастерство, умение и *logos* – слово, учение) – наука о способах воздействия на элементы материального мира соответствующими средствами труда на основе фундаментальных знаний и опыта, накопленных человечеством. Цель технологии как науки – выявление, освоение и использование на практике наиболее эффективных, экономичных и экологически чистых производственных процессов.

На рубеже XXI в. металл и металлические изделия останутся важнейшими конструкционными материалами. Особенность современного развития черной металлургии – ориентация не столько на рост объемов производства, сколько на существенные качественные изменения в ее технике и технологии.

Метизное производство – это подотрасль черной металлургии. Метизами называют группу широко распространенных металлических изделий промышленного назначения: проволоку и проволочные изделия (стальные канаты, металлокорд, пружины, сварочные электроды, металлические сетки и др.); крепежные изделия (болты, винты, шурупы, шайбы и т.п.); ленту холоднокатаную и плющеную; калиброванную сталь (сортовая холодноотянутая, се-ребрянка, стальные фасонные профили высокой точности). Метизы – продукция четвертого передела, заключающая металлургический цикл (производство чугуна, стали, проката).

Проволока – основной вид метизных изделий, занимающий наибольший удельный вес в их общем выпуске.

В работе представлены современные технологические процессы подготовки поверхности, термообработки, нанесения металлопокрытий и волочения, большое внимание уделено вопросам интенсификации и улучшения качества проволоки и проволочных изделий, так как решение проблемы качества одновременно решает проблему количества. Некоторые перспективные процессы изложены в информационном плане для применения их в проектах при разработке новых, эффективных, экологически чистых и ресурсосберегающих технологий.

Глава 1. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА ПЕРЕД ВОЛОЧЕНИЕМ

1.1. Промывка

Катанка и передельная заготовка промываются перед травлением, а также после травления, меднения и фосфатирования.

Перед травлением промывка необходима для удаления грязи с поверхности сырой катанки и для снятия остатков селитры с поверхности патентированной заготовки. После травления, меднения и фосфатирования промывкой удаляют остатки раствора с поверхности проволоки и травильный шлам.

Обычно промывку проводят в два этапа: сначала в проточной горячей воде, а затем сильными струями холодной воды. Эффективна промывка с использованием вибрации бунтов и мотков или ультразвуковых колебаний в поточных установках. Холодной водой промывают под давлением 0,1–0,15 МПа (10–15 атм) в специальных баках. Продолжительность промывки составляет 2–3 мин, т.е. до тех пор, пока с проволоки не будет стекать чистая вода. Воду для промывки используют многократно, до накопления в ней 0,1% кислоты.

Патентированную заготовку диаметром 2,0 мм и ниже в бунтах, во избежание перепутывания витков проволоки, рекомендуют промывать в душирующем устройстве под низким давлением.

После травления катанку, передельную заготовку из сталей марок У7А–У12А и передельную заготовку диаметром 3,0 мм и менее из стали ШХ15 подвергают кипячению в воде в течение 30 мин для уменьшения травильной хрупкости.

После обработки в расплаве щелочей катанку и заготовку из легированной стали промывают в ваннах с холодной проточной водой в течение 20 мин. При этом происходит не только удаление с поверхности металла остатков щелочи и селитры, но и растрескивание и частичное удаление окалина из-за разности в коэффициентах температурного расширения металла и окисных слоев.

Важное экономическое и экологическое значение имеет качество очистки промывной воды и ее многократное использование в замкнутом технологическом цикле.

После промывки катанку и заготовку подвергают дополнительным операциям для нанесения подмазочных слоев.

Подмазочный слой выполняет несколько функций:

- он должен иметь хорошую адгезию к металлу и надежно экранировать его поверхность от поверхности волочильного инструмента;

- быть смазконосителем, т.е. хорошо и прочно присоединять технологическую смазку и в сочетании с ней снижать потери на внешнее трение;
- нейтрализовать остатки кислых растворов после промывки.

1.2. Желтение

Желтение (томление или ржавление) состоит в образовании на поверхности проволоки тонкого слоя гидрата окиси железа $Fe(OH)_3$.

Желтение производят опрыскиванием проволоки водой в специальном баке. Под воздействием влаги и кислорода воздуха на поверхности проволоки сначала образуется гидрат закиси железа $Fe(OH)_2$ зеленоватого цвета, который постепенно под воздействием кислорода воздуха переходит в гидрат окиси $Fe(OH)_3$ желто-коричневого цвета.

Поверхность проволоки после желтения и волочения приобретает естественный металлический блеск.

Процесс желтения углеродистых сталей происходит в течение 20–60 мин. Для ускорения процесса к струям воды добавляют обдувку паром. Иногда в камеры желтения нагнетают воздух.

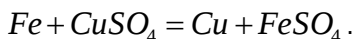
Зеленоватые пятна на поверхности после желтения свидетельствуют о плохой промывке и наличии железного купороса на поверхности проволоки. В таких случаях проволоку необходимо снова тщательно промыть и повторить желтение.

Желтение применяют при изготовлении проволоки, к качеству поверхности которой (например, кардной или игольной) предъявляются особо высокие требования.

1.3. Меднение

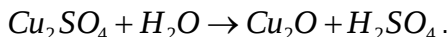
Меднение проволоки состоит в нанесении на ее поверхность слоя меди контактным методом – погружением металла в водный раствор медного купороса (4–8 г/л) и серной кислоты (25–40 г/л) при комнатной температуре с постоянным перемешиванием ванны сжатым воздухом.

При нанесении слоя меди контактным способом в растворе протекают следующие реакции:

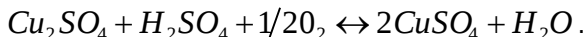


Выделяющаяся медь оседает на поверхности стали.

При недостатке кислоты и кислорода воздуха из-за присутствия в медном купоросе ионов одновалентной меди возможна реакция гидролиза с образованием закиси меди



Выделения закиси меди ухудшают качество медного покрытия. Для предотвращения его образования раствор медного купороса подкрепляют раствором серной кислоты и постоянно продувают ванну воздухом



При меднении проволоки из средне- и высокоуглеродистых сталей в ванну добавляют столярный клей в количестве 0,2 кг/м³ раствора. Накопление железного купороса допускается не более 100–120 г/л, поскольку при его последующем увеличении замедляется процесс меднения и ухудшается процесс сцепления медного покрытия с проволокой. Время выдержки навески в растворе приведено в табл. 1.

Таблица 1

Время меднения в зависимости от содержания железного купороса (содержание H_2SO_4 – 25–40 г/л), с

Концентрация CuSO_4 , г/л	Содержание FeSO_4 , г/л				
	0-10	11-25	26-55	58-85	86-100
8	2	3	4	6	7
6	3	4	6	7	8
4	4	5	7	8	9

При таком меднении на поверхности оседает слой меди толщиной 1,0–1,5 мкм в количестве 8–12 г/м², имеющий пористое строение и прочное сцепление со стальной основой.

Меднению подвергают заготовку, предназначенную для волочения с высокими суммарными обжатиями (например, для изготовления пружинной проволоки).

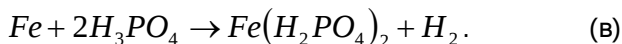
Меднение, улучшая условия смазки при волочении и эффективно снижая потери на внешнее трение, одновременно может вызывать ускоренную коррозию проволоки. В местах нарушения сплошности медного покрытия во влажной атмосфере возникают локальные микрогальванические пары, приводящие к точечному растрескиванию стальной основы. Из-за этого меднению не подлежит проволока, предназначенная для длительной эксплуатации, например канатная.

Медная проволока должна быть тщательно промыта холодной водой в душирующем устройстве и подвергнута нейтрализации с последующей сушкой.

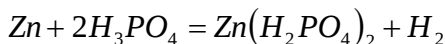
1.4. Фосфатирование

Фосфатирование состоит в образовании на предварительно подготовленной поверхности металла пленки нерастворимых в воде фосфорно-кислых солей различных металлов. Фосфатная пленка микропориста, хороший смазконоситель, она прочно сцеплена с поверхностью стали и является подсмазочным слоем при волочении, ее жаростойкость достигает 600°C.

Процесс фосфатирования происходит в результате взаимодействия монофосфата цинка $Zn(H_2PO_4)_2$ и ортофосфорной кислоты H_3PO_4 с поверхностью стали. При этом образуются нерастворимые вторичные и третичные фосфаты цинка и первичные фосфаты железа, которые и служат подсмазочным слоем при волочении.



Монофосфат цинка образуется при взаимодействии цинка с технической ортофосфорной кислотой



Образующиеся однозамещенные фосфаты $[Fe(H_2PO_4)_2]$ хорошо растворимы в воде; двухзамещенные ($FeHPO_4$ и $ZnHPO_4$) – труднорастворимы; а трехзамещенные фосфаты цинка $[Zn_3(PO_4)_2]$ практически не растворяются. Последние два соединения – это основа пленки, формирующейся на поверхности металла.

Образование слоя двух- и трехзамещенных фосфатов связано с наличием в растворе свободной фосфорной кислоты. В первой стадии процесса происходит травление металла кислотой по реакции (в). При этом выделяется водород, в растворе накапливаются ионы двухвалентного железа и уменьшается концентрация

водородных ионов. По этой причине нарушается равновесие реакции (б) со сдвигом вправо, что приводит к дальнейшему выпадению нерастворимых трехзамещенных фосфатов. Поскольку понижение концентрации водородных ионов в растворе и нарушение равновесия, в первую очередь, происходит на границе металл – фосфатирующий раствор, то нерастворимые фосфаты образуются преимущественно в районе этой границы. Нерастворимые фосфаты, находясь на поверхности, создают весьма прочное и плотное мелкокристаллическое покрытие фосфатов. Сдвиг равновесия вправо приводит к накоплению в растворе свободной фосфорной кислоты, и концентрация водородных ионов достигает исходного значения. Таким образом, необходимое соотношение свободной кислотности к общей восстанавливается.

Из химизма процесса следует, что образование фосфатного покрытия связано с наличием определенной концентрации водородных ионов в растворе, которая должна поддерживаться на одном уровне в течение всего процесса. Понижение концентрации водородных ионов в растворе против оптимальной приводит к образованию шлама и вызывает ухудшение свойств покрытия, а повышение концентрации мешает образованию сплошной фосфатной пленки, причем продолжительность процесса значительно удлиняется. Для сохранения постоянства концентрации водородных ионов фосфатирующий препарат должен обладать буферными свойствами. Эти свойства присущи монофосфатам железа, марганца, цинка, кадмия и некоторых других металлов. Вследствие гидролиза по реакции (б) на поверхности металла образуется мелкокристаллический прочно сцепленный с металлом слой, состоящий из вторичных и третичных нерастворимых фосфатов. При этом несмотря на то, что раствор постепенно разбавляется за счет удаления в осадок растворимых солей по реакции (в), кислотность раствора все же поддерживается на постоянном уровне из-за гидролиза по реакции (б), что создает стабильные условия для процесса. Таким образом, кислотность ванны – решающий фактор в процессе образования фосфатного покрытия.

Кислотность ванны обусловлена отношением общей кислотности раствора к свободной. Значение общей и свободной кислотности устанавливают титрованием 10 мл фосфатирующего раствора 0,1 *N* раствором *NaOH*. Общая кислотность определяется титрованием пробы с фенолфталеином, а свободная – в присутствии метилоранжа. Количество миллилитров раствора щелочи, пошедшего на титрование, условно выражают в точках или единицах. Например, если на титрование 10 мл раствора идет 30 мл децинормального раствора *NaOH* в присутствии фенолфталеина, то общая кислотность фосфатирующего раствора со-

ставит 30 ед. Практикой установлено, что для горячего фосфатирования оптимальное значение отношения общей кислотности к свободной должно быть не ниже 5. Фосфатирующий раствор корректируют по его кислотности: если общая кислотность выше требуемого значения, в раствор добавляют воду; при понижении общей кислотности вводят монофосфат цинка.

В состав фосфатного покрытия по реакции (а) входит нерастворимый фосфат закисного железа $FeHPO_4$. Фосфаты железа способны окисляться кислородом воздуха с изменением структуры самих фосфатов. Это обуславливает повышение пористости покрытия, ухудшение прочности сцепления покрытия с металлом. Отрицательная роль фосфатов закисного железа начинает проявляться при их концентрации свыше 8 г/л. По содержанию закисного железа раствор корректируют введением окислителей (например нитратов). Окислители переводят избыток закисного железа в окисное, которое образует с фосфорной кислотой наименее растворимое соединение $Fe_3(PO_4)_2$ выпадающее из раствора в шлам. При этом состав покрытия становится более стабильным, а пористость покрытия незначительной.

Следует отметить, что реакции (а) – (в) протекают относительно медленно по двум причинам: выделяющийся водород скапливается на поверхности металла и создает газовую прослойку, затрудняя доступ фосфатирующего раствора; чистое железо, взаимодействуя с монофосфатом цинка и фосфорной кислотой, образует фосфаты железа, в результате чего раствор фосфата цинка превращается постепенно в раствор смеси фосфатов цинка и железа, что требует большей продолжительности реакции и более высокой температуры.

В этом случае окислители типа нитратов и нитритов играют роль ускорителей процесса фосфатирования металлов.

С чисто химической точки зрения окислители воздействуют на атомарный водород с его последующим окислением в воду, устраняя образование водорода. Одновременно окислитель, как это было отмечено, устраняет вредное действие закисного железа. В связи с изложенными обстоятельствами нитраты должны вводиться в растворы в достаточно большом количестве таким образом, чтобы соотношения $NO_3 : PO_4$ достигали 2:1 или 3:1.

Рабочие растворы для фосфатирования приготавливают либо из концентрата монофосфата цинка, либо из концентратов КФЭ–1 и КФЭ–2 (табл.2). Температура рабочего раствора должна быть не ниже 90°С, продолжительность фосфатирования – от 17 до 30 с.

Таблица 2

Режимы фосфатирования проволоки в потоке термотравильных агрегатов (данные МКЗ)

Диаметр проволо- ки, мм	Марка стали	Характеристика фосфатного раствора					Средняя масса покры- тия, г/м ²	Рас- ход КФЭ— 2, кг/т
		Кислотность		Кислотный показатель $n = K_{общ} / K_{своб}$	Содержание, г/л			
		общая	сво- бодная		Zn^{2+}	$Zn(NO_3)_2 - 6H_2O$		
1,0	50	95	18,8	5,1	29,1	98,3	6,79	30
1,2	50	95	18,8	5,1	29,1	98,3	7,59	30
1.35	50	95	18,8	5,1	29,1	98,3	8,55	30
1,35	50	85	16,2	5,25	25,2	89,0	8,05	22
1,5	60	85	16,2	5,25	25,2	89,0	8,12	22
1,6	60	48,5	9,4	5,2	15,1	61,4	7,54	15
1,7	70	48,5	9,4	5,2	15,1	61,4	7,87	15
1,8	70	48,5	9,4	5,2	15,1	61,4	8,05	15

Количество фосфатного покрытия по влиянию на процесс волочения обуславливается массой (толщиной) покрытия и размерами кристаллов фосфата.

Для сталей большинства марок, независимо от содержания углерода в них и диаметра проволоки, используют фосфатное покрытие порядка 3–8 г/м, что достаточно для волочения со скоростью 150–900 м/мин и обжатиями до 95%. Для тяжелых условий волочения и обжатий 98–99% плотность покрытия должна быть больше 10 г/м².

Металл после фосфатирования тщательно промывают в холодной воде и подвергают нейтрализации в растворах буры, извести и мыла.

1.5. Оксаламирование

Оксаламирование применяют при обработке высоколегированных нержавеющей сталей. Оно состоит в нанесении на поверхность проволоки слоя солей щавелевой кислоты ($H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$). При оксаламировании происходит растворение поверхности стали с одновременным отложением на ней оксалата железа, служащего хорошим подмазочным слоем и смазконосителем.

Растворение коррозионно-стойких сталей происходит в присутствии активаторов – $NaCl$, KCl и др. Кроме активаторов в состав оксаламирующего раствора вводят окислители – перманганат калия (K_2MnO_4), двуххромовокислый калий ($K_2Cr_2O_7$) и другие, способствующие переводу труднорастворимого щавелевокислого закисного железа в хорошо растворимое окисное железо.

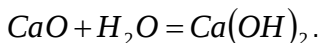
Например, при волочении проволоки из хромоникелевых сталей используют раствор такого состава: щавелевая кислота ($H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$) – 24 г/л, щавелево-кислое закисное железо ($FeC_2O_4 \cdot 2H_2O$) – 12 г/л, двуххромовокислый калий ($K_2Cr_2O_7$) – 6 г/л, поваренная соль ($NaCl$) – 180 г/л.

Прочное сцепление оксалатного покрытия на стали получается при выдержке в течение 15 мин. Покрытие хорошо адсорбирует и удерживает смазку, обеспечивает высокую скорость волочения (до 6 м/с), повышенную стойкость волок и точные размеры проволоки.

1.6. Известкование

Задача известкования – нейтрализация остатков кислотных растворов после промывки, нанесение вторичного подсмазочного слоя и лучший захват технологической смазки.

Раствор для известкования приготавливается из известкового теста, которое представляет собой продукт гашения сухой комовой извести Ca с избытком воды



Обожженная известь должна содержать не менее 98% CaO и не более 1% MgO , которые понижают адгезию извести к проволоке; возможно меньшее количество кремнезема, силикатов и металлических оксидов.

Обожженный известняк следует гасить вскоре после обжига, поскольку известь поглощает из воздуха углекислый газ и превращается в грубый порошок. Известковое тесто выдерживают в отстойниках не менее трех недель, в течение которых полностью завершается процесс гашения; гашеная известь становится пластичной и мелкодисперсной.

Катанку и заготовку известкуют несколькими одноминутными погружениями садки в горячий (85–100°C) водный раствор извести, содержащий 30–90 г/л $CaOH$. После каждого погружения садку выдерживают в воздухе над ванной до высыхания верхних витков.

Для высокоскоростного волочения низкоуглеродистой проволоки к известковому раствору добавляют железный купорос в количестве 20 г/л.

При известковании заготовки, предназначенной после волочения под цинкование на готовом размере, добавляют поваренную соль в количестве 60–70 г/л.

В известь, наносимую на поверхность легированных сталей для стабилизации процесса волочения и уменьшения прилипания металла к поверхности волоки, вносят также поваренную соль, но в количестве 240–300 г/л. Известкование проводят тремя–пятью погружениями в известковый раствор в течение 5–15 мин. Раствор используют до накопления сульфата кальция $CaSO_4$ до 20 г/л.

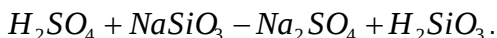
Известкование рекомендуется применять перед механическим удалением окалины с поверхности катанки. В этом случае на катанке предотвращается выпадение росы при пониженной цеховой температуре, а известь, оставшаяся на свежезачищенной поверхности, выполняет функции подсмазочного слоя.

Недостатки известкования следующие: загрязнение рабочих мест и оборудования известковой пылью, гигроскопичность и вредность использования известкового покрытия для проволоки, предназначенной для электроконтактной сварки из-за его диэлектрических свойств.

1.7. Остекление

Остекление применяют после желтнения, меднения и фосфатирования вместо известкования. Остекление производится в водном растворе жидкого стекла $nNa_2O \cdot mSiO_2$.

Обработка металлов в жидком стекле нейтрализует остатки растворов кислоты, образует подсмазочный слой и способствует захвату технологической смазки. Нейтрализация остатков кислоты происходит по реакции



Рабочий раствор дозируется таким образом, чтобы модуль раствора $M = \frac{\%SiO_2}{\%NaO} \cdot 1,032$ был в пределах 2–2,5.

Концентрация жидкого стекла в водном растворе составляет 100–250 г/л. Температуру раствора поддерживают в интервале 70–90°С. Остекление катанки и патентированной заготовки производят одно–трехкратным погружением в раствор жидкого стекла на 25–30 с.

Недостатки остекления – засорение муфтелей патентировочных и отжигательных печей, трудности волочения на жидких смазках и гигроскопичность, отрицательное воздействие на процесс горячего цинкования. Нельзя обрабатывать в жидком стекле заготовку, предназначенную для изготовления проволоки с последующим покрытием резиной, из-за резкого ухудшения адгезии.

1.8. Бурирование

Покрытие бурой ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) – относительно новый и эффективный вид подсмазочного слоя.

Бурирование производится в растворе концентрацией 150–200 г/л при температуре 80–95°. К раствору буры часто добавляют тринатрийфосфат в количестве 10% массы буры. Эта добавка упрочняет сцепление покрытия с проволокой и предотвращает образование пыли.

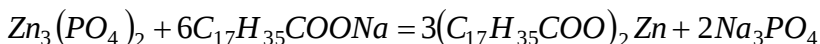
Преимущества бурирования состоят в отсутствии загрязненности рабочих мест, легкорастворимости буры в теплой воде, повышенной скорости волочения, а также экономичности по сравнению с фосфатированием. Более экономично использовать буру в виде соединений $Na_2B_4O_7 \cdot 7H_2O$ или $Na_2B_4O_7$. Продолжительность службы раствора с бурой - от трех до шести месяцев или до накопления в нем 0,3% солей железа. Расход буры составляет 1,3–4,5 кг/т в зависимости от диаметра обрабатываемой катанки или проволоки. Согласно последнему рекомендуется следующая длительность пребывания проволоки в ванне с бурой:

Диаметр, мм	До 2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
Продолжительность обработки, с	4,0-4,5	4,5-5,5	5,5-7,0	7,0-7,5	7,5-8,0	8,0-9,0	9,0-10,0

Чтобы получить оптимальное для волочения покрытие бурой, необходимо, чтобы в момент высыхания покрытия на поверхности металла его температура была выше 60°C. Однако температура сушки не должна превышать 200°C, поскольку при таких температурах бура превращается в твердую стекловидную массу, что снижает эффективность волочения. Пленка буры негигроскопична, поэтому проволоку после обработки можно долго хранить перед волочением, не опасаясь ее ржавления. Она является хорошим флюсом и позволяет без предварительной очистки сварить концы проволоки, в то время как известковые покрытия необходимо полностью удалять.

1.9. Нейтрализация в растворе мыла

Проволоку нейтрализуют в растворе мыла погружением на 20–30 с в ванну с подогретой до 80°C водой, содержащей около 2% мыла. Мыло нейтрализует сохранившуюся после промывки кислоту, предохраняет проволоку от ржавления и служит хорошим дополнением к технологической смазке. Например, при обработке поверхности металла после фосфатирования в растворе мыла между фосфатным покрытием и мылом протекает реакция



Результат этой реакции – образование на поверхности металла комплексного смазочного слоя. Кристаллы фосфата цинка химически связаны со сталью, а образовавшийся стеарат цинка - с внешним слоем фосфатного покрытия, и, наконец, избыток стеа-

рата натрия образует внешнее покрытие. Подобный трехслойный подсмазочный слой обеспечивает высокоскоростное волочение с большими суммарными обжатиями.

В растворе мыла обрабатывают проволоку тонких поперечных сечений из стали и цветных металлов.

1.10. Сушка

Сушка – это завершающая операция подготовки поверхности металла к волочению.

Сушка предназначена для удаления влаги с поверхности проволоки, предотвращения ее ржавления и устранения водородной хрупкости. Для этой цели используют баковые сушилки с электрическим или газовым подогревом. Продолжительность сушки тем больше, чем выше содержание углерода в стали. Скоростную сушку проводят на установках с усиленной циркуляцией воздуха при температуре 300-350°С в течение 5–20 мин. При такой сушке происходит прочное спекание подсмазочного слоя, обеспечивающее хорошее взаимодействие проволоки с мыльным порошком в процессе волочения. Выделяющиеся при сушке проволоки пары из-за высокой температуры не осаждаются на поверхности проволоки.

Упражнение

Выбор и обоснование состава оборудования
травильного отделения

Пример. Выбрать и обосновать состав оборудования травильного отделения для подготовки поверхности катанки под изготовление канатной проволоки сменной потребностью 60 т.

Ответ. В качестве представителя выберем ускоренно-охлажденную катанку из стали 60. Масса навески равна 2,5 т. Из экономических соображений примем вариант двухстадийного травления при следующих режимах: ванна предварительного травления – концентрация серной кислоты 5–60 г/л; железного купороса – до 280 г/л; поваренной соли – 20 г/л; присадки ЧМ – 0,5 г/л при температуре раствора 80°С. Количество ванн предварительного травления составляет

$$n_1 = \frac{V(t_{mp} + t_n + t_{don})}{60MT_c} = \frac{60(25 + 5 + 16)}{60 \cdot 2,5 \cdot 7,67} = 2,4;$$

$$n_1 = 3.$$

Ванна основного травления – концентрация серной кислоты 60–120 г/л; железного купороса – до 180 г/л; поваренной соли – 20 г/л; присадки ЧМ – 0,5 г/л при температуре раствора 80°C. Количество ванн основного травления

$$n_2 = \frac{60(20 + 5 + 8)}{60 \cdot 2,5 \cdot 7,67} = 1,72;$$

$$n_2 = 2.$$

Расчетное количество ванн – пять. Всегда, как минимум, должна быть одна ванна в резерве, всего – шесть ванн травления.

Для дополнительной подготовки поверхности выберем:

- струйную промывку холодной водой под давлением 0,15 МПа (15 атм) в течение 2–3 мин до и после травления;
- обработку в растворе буры концентрацией 100–170 г/л при температуре 85–90°C в течение 8–10 с. В раствор буры добавляется тринатрийфосфат в количестве 10–15 г/л;
- сушку в баковом сушиле с рециркуляцией воздуха при температуре 200–300°C в течение 10–15 мин.

Таким образом, для выполнения сменного задания потребуются шесть травильных ванн, ванна для промывки с душирующим устройством, ванна для бурирования и баковое сушило.

Глава 2. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ В УСТАНОВКАХ СТАЦИОНАРНОГО И НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

2.1. Подготовка поверхности на поточных термотравильных агрегатах

При подготовке поверхности катанки и термически обработанной передельной заготовки к волочению на установках периодического действия трудно обеспечить равномерное и высокое качество обработки поверхности по всей длине бунта, его внутренних витков, особенно для проволоки средних и тонких сечений, тем более при использовании бунтов и мотков большой массы.

Современные проволоочные цехи оснащаются агрегатами поточной обработки проволоки – комбайнами, на которых совмещают термообработку и подготовку поверхности проволоки к волочению, патентирование, цинкование и другие процессы в общий техноло-

гический поток. При этом проволока или катанка обрабатывается нитью, количество которой на одном комбайне составляет от 12 до 48. Этот способ обработки позволяет существенно повысить качество подготовки поверхности, увеличить производительность процессов, сократить количество вспомогательных промежуточных операций (транспортных перевозок, числа обслуживающего персонала, отходов проволоки и т.д.).

На рис. 1, 2 изображены схемы многониточных комбайнов для термообработки и подготовки поверхности передельной заготовки из низкоуглеродистых и углеродистых сталей. Рассмотрим назначение отдельных узлов и агрегатов.



Рис. 1. Схема многониточного комбайна:

- 1 – размоточное устройство; 2 – методическая печь для патентирования; 3 – селитровая ванна; 4 – входная стойка;
- 5 – первая и вторая промывные ванны; 6 – лоток струевого душа;
- 7 – ванна травления; 8 – третья промывная ванна; 9 – лоток струевого душа;
- 10 – ванна для фосфатирования или меднения;
- 11 – ванна для промывки; 12 – струевой душ; 13 – ванна для бурирования, известкования или омыления;
- 14 – выходная стойка;
- 15 – электросушило; 16 – намоточный аппарат

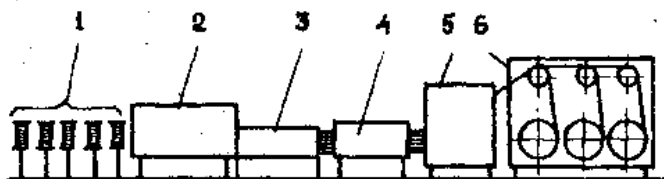


Рис. 2. Схема расположения узлов агрегата по подготовке

- проволоки к волочению: 1 – размоточное устройство;
- 2 – печь отжига; 3 – холодильник; 4 – ванна для известкования;
- 5 – сушило; 6 – намоточное устройство

Размоточное устройство. На размоточной площадке, имеющей длину около 17 м, устанавливают 24 устройства для размотки

проволоки с катушек массой 500 и 1000 кг. Для постоянного натяжения проволоки устройства снабжены тормозными шкивами. Участок оборудуется также электросварочным аппаратом с наждачным кругом.

Патентировочная печь предназначена для нагрева проволоки до температур $A_{C_3} + (40-50)^{\circ}C$. Время нахождения проволоки в печи определяется ее диаметром и содержанием углерода. Печь работает на природном газе. Проволока нагревается в атмосфере защитного газа такого состава: 95–98% азота и 2–5% окиси углерода.

Селитровая ванна предназначена для изотермического распада аустенита с образованием структуры сорбита. Ванна обогревается электрическими трубчатыми нагревателями.

Ванны для горячей и холодной промывки. Вода подогревается острым паром. Кроме промывки водой поверхность проволоки подвергается дополнительной очистке пеньковыми обтирами, мелким речным песком и душирующими установками.

Ванны для травления, меднения и фосфатирования. В этих ваннах находятся растворы кислот, поэтому их корпус должен быть достаточно футерован.

Ванны для нейтрализации (известкования, бурирования, омыления) изготавливают из листовой низкоуглеродистой стали.

Электросушильная установка предназначена для удаления влаги с поверхности проволоки, предотвращения ржавления и ликвидации водородной хрупкости.

Намоточный аппарат служит для намотки на катушки термообработанной проволоки с подготовленной поверхностью массой 500 и 1000 кг. Бесступенчатое регулирование скорости отдельно для правой и левой сторон комбайна позволяет одновременно производить термообработку проволоки различных диаметров или одного диаметра, но разных марок стали.

Основные технологические режимы патентирования и подготовки поверхности на этих агрегатах приведены в табл.3, 4; их технические характеристики – в табл. 5, 6.

Таблица 3

Технологические режимы обработки проволоки на комбайне 24/1000 (данные МКЗ)

Диаметр проволоки, мм	Скорость прохождения проволоки, м/мин	Технологические операции							
		Патентирование		Горячая промывка t , °C	Подготовка поверхности проволоки к волочению				
		Время пребывания проволоки, с			Травление			Промывка	
					Концентрация, г/ л		t , °C		Время выдержки, с
		в печи	в ванне		H_2SO_4	$FeSO_4$			
1,8–2,2	16,9–21,6			71–55	19–15	60–90	140–200	Не более 80	70–80
2,2–2,6	16,9–20,7	71–58	19–15						
2,6–3,1	15,0–19,8	80–60	21 – 16						
3,1–3,4	15,0–16,9	91–71	24–19						
3,5–4,1	11,3–15,0	106–80	28–21						
1,8–2,2	16,9–21,6	20–30	25–35	Не более 80	20–24	14–27	В проточной воде	100–170	85–95
2,2–2,6	16,9–20,7								
2,6–3,1	15,0–19,8								
3,1–3,4	15,0–16,9								
3,5–4,1	11,3–15,0								

Таблица 4

Технологические режимы обработки проволоки на комбайне 24/500 (данные МКЗ)

Диаметр проволоки, мм	Скорость прохождения проволоки, м/мин	Технологические операции							
		Патентирование		Горячая промывка при t , °C	Подготовка поверхности проволоки к волочению				
		Время пребывания проволоки, с			Травление			Промывка с обтирами	
		в печи	в ванне		Концентрация, г/л		t , °C		Время выдержки, с
					H_2SO_4	$FeSO_4$			
1,8–2,1	17,6–23,1	52,5–40,0	17,8–	60–90	160–200	Не более 60	70–80	16–30	Холодная душирующая и горячая проточная при $t=60-90^{\circ}C$
1,5–1,8	23,1–30,3	40,0–30,5	13,5						
1,1 – 1,5	24,2–30,8	38,2–30,0	13,5–						
0,9–1,1	25,3–31,3	36,5–29,5	10,3						
1,8–2,1	17,6–23,1	Общая кислотность 60–120 ед.	Не менее 90	17–31	Чистой проточной водой	3,0–5,5	100	1,5–2,8	240–300
1,5–1,8	23,1–30,3	Свободная кислотность 10–20 ед.							
1,1–1,5	24,2–30,8	Содержание $Zn \geq 15$ г/л							
0,9–1,1	25,3–31,3	Содержание $Zn(NO_3)_2$ г 30–100 г/л Содержание $Fe \leq 12$ г/л							

Таблица 5

**Характеристика основного оборудования
на комбайне 24/1000**

Наименование оборудования	Размеры, мм			Объем, м³	Материал
	длина	ширина	глубина		
Патентировочная печь	19,9	1,4	—	—	—
Ванны:					
селитровая	6,3	1,5	0,45	3,7	Ст 3
горячей промывки	4,6	1,45	0,7	4,5	Ст 3
травильная	9,5	1,38	0,8	9,2	Ст 3, футерованная кислотоупорным кирпичом
холодной промывки после травления	2,0	1,37	0,7	1,8	Ст 3
меднения	6,7	1,38	0,8	6,5	Ст 3, футерованная кислотоупорным кирпичом
холодной промывки после меднения	3,0	1,44	0,78	3,5	Ст 3, выложенная кафельными плитами
бурирования	3,8	1,44	0,78	3,7	Ст 3
Сушильные камеры	2,3	0,76	0,09	—	Ст 3

2.2. Дополнительное подтравливание металла после механического удаления окалины

Иногда после механического удаления окалины в роликовых окатиноломателях или после дробеструйной обработки без применения тонкой очистки катанку подвергают дополнительному травлению. Время травления в этом случае невелико и составляет несколько секунд. Последующее нанесение подсмазочных покрытий ликвидирует все трудности для процесса волочения по сравнению с условиями непосредственной деформации свежезачищенного металла в потоке с окатиноломателем. Однако дополнительное подтравливание требует содержания кислотного хозяйства, регенерации и нейтрализации отработанных травильных растворов, что приводит к значительным расходам.

Таблица 6

**Характеристика основного оборудования
на комбайне 24/500**

Наименование оборудования	Размеры, мм			Объем, м³	Материал
	длина	ширина	глубина		
Патентировочная печь	15,4	1,4	–	–	
Ванны:					
селигровая	6,35	1,55	0,42	3,85	– Ст 3
горячей промывки после селигровой ванны	4,6	1,45	0,7	4,0	
травильная	9,9	1,38	0,8	9,55	Ст 3, футерованная кислотоупорным кирпичом Ст 3
холодной промывки после травления	2,0	1,37	0,7	1,92	
фосфатирования	10,0	1,38	0,8	9,65	Ст 3, футерованная кислотоупорным кирпичом Ст 3
холодной промывки после фосфатиро- вания	2,9	1,44	0,78	3,36	
известкования	1,5	1,44	0,78	1,47	Ст 3
Сушильные каме- ры	2,3	0,765	0,09	–	Ст 3

2.3. Вибрационное травление

При обычных методах травления трудно добиться равномерного и полного удаления окалины с поверхности катанки из-за значительной разницы в ее количестве на внутренних и внешних витках бунта, плохого доступа травильного раствора внутрь больших бунтов, взаимного перекрытия витков и т.п. Результатом являются местные перетравы и недотравы, увеличивается длительность травления, усиливается склонность к наводороживанию и последующему ржавлению.

Указанных недостатков можно избежать, если использовать вибрационное травление.

На рис.3 показаны методы вибрационного травления бунтов катанки и прутков. Бунт, подвешенный на С-образном крюке, погружается, как обычно, в стационарную травильную ванну. Крюк опирается на две специальные подпружиненные прокладки. Виб-

рация сообщается крюку дебалансными двигателями, рассчитанными на частоту колебания 16, 24 и 150 Гц, с сегментообразными грузами, в отверстия которых вставлены стальные и свинцовые болты. Можно использовать магнитные вибраторы на 50 и 100 Гц с вибрирующим якорем, пневматические двигатели с дроссельными заслонками и грузом или возбудителем дебаланса с посторонним приводом. В любой виброустановке в принципе можно выделить три системы: рабочую, обеспечения колебаний и защиты фундамента от колебаний. Рабочая система виброустановки предназначена для передачи вынужденных колебаний катанке и состоит из волновода 1 с вибраторами и самой катанки. В систему обеспечения достаточной амплитуды колебаний катанки в рабочей системе входят упругие элементы 2, подпружинивающие волновод. Система защиты фундамента от колебаний содержит массивную раму 3 и предохранительные пружины 4, исключаяющие передачу вибрации на фундамент 5.

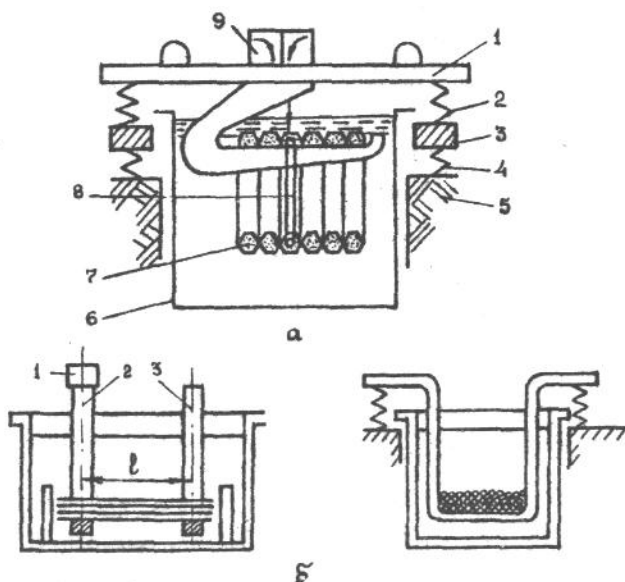


Рис. 3. Принципиальные схемы вибротравления:
а – бунтового металла: 1 – волновод (крюк); 2 – пружины; 3 – рама;
 4 – предохранительные пружины; 5 – фундамент; 6 – травильная ванна; 7 – катанка; 8 – виток; 9 – вибратор; **б – пруткового металла:** 1 – вибратор; 2 – волновод; 3 – отражатель

Для объяснения действия вибрационного травления следует рассмотреть замкнутое пространство между тремя витками. Это самый неблагоприятный случай, который может возникнуть в каждом бунте и который определяет длительность травления всего бунта, качество его травления. В этом пространстве на единицу длины приходится для данного количества окарины определенное количество кислоты и этот объем можно рассматривать как изолированный. Внутри подобного квазизамкнутого пространства кислота, как правило, расходуется полностью, а длительность травления при этом значительно возрастает. Если же придать катанке колебательное движение, это квазизамкнутое пространство раскроется и все части бунта будут омываться свежим раствором.

На длительность травления влияет и другое обстоятельство. При травлении скорость химической реакции гораздо больше скорости перемещения реагирующих веществ в травильном растворе. Эта скорость перемещения, или скорость диффузии реагирующих веществ в растворе, и определяет скорость травления.

Перемещение реагирующих веществ путем диффузии происходит вяло. Оно облегчается свободной конвекцией, вызванной разницей в плотности травильного раствора, ускоряется выделяющимся водородом, однако эти процессы не улучшают качества травления, особенно для внутренних витков бунта.

При возбуждении колебаний в бунте скорость проволоки относительно раствора из-за постоянного изменения направления движения становится большой. Раствор не увлекается подвергаемым травлению материалом, как при травлении в качающейся ванне. Возникают турбулентные потоки, в которых перемешивание раствора ускоряется. Из-за этих двух обстоятельств принудительное наложение колебаний уменьшает время травления на 70% по сравнению с травлением без вибрации. Это уменьшение времени не зависит от видов стали, окаринообразования и состава травильной ванны.

После промывки травленых бунтов в стационарной ванне можно в стекающей с бунта воде определить все концентрации кислоты – от концентрации в травильной ванне до концентрации в промывочной. Даже при длительном пребывании бунтов в промывочной ванне травильный раствор, имеющийся между витками плотно сматанных бунтов, почти не удаляется. То же относится и к процессам нейтрализации и известкования после промывки. Длительность хранения травленной и известкованной проволоки тем меньше, чем выше содержание кислоты в ваннах для промывки и известкования. В результате недостаточной промывки и нейтрализации уже через несколько часов вылеживания на воздухе на по-

верхности известкованной проволоки появляется ржавчина. При промывке с вибрацией устанавливается резкий перепад концентрации между промывочными ваннами, причем отношение содержания хлора в первой, второй промывочной ваннах и в ванне известкования составляет 10000:100:1. При промывке без вибрации это отношение равно 10000:1000:100. Таким образом, при промывке с вибрацией улучшается качество промывки и нейтрализации и существенно снижается расход воды в травильном отделении.

2.4. Каскадно-противоточный способ травления

Наилучшее качество подготовки поверхности при выполнении той или иной операции обеспечивается максимально постоянным во времени температурным режимом и концентрационным составом ванн. Температура ванн регулируется автоматически с помощью специальных систем контроля и управления. Постоянство состава ванн обеспечивают каскадно-противоточным способом травления, при котором садку с металлом последовательно перемещают против направления перекачки травильных растворов и промывочной воды из ванны в ванну (рис. 4).

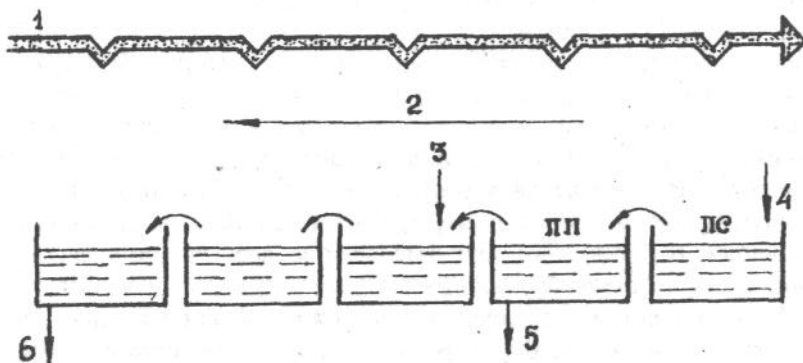


Рис. 4. Схема каскадно-противоточного травления и промывки металла: 1 – движение обрабатываемого металла; 2 – перемещение травильных растворов и воды; 3, 4 – подача свежей соответственно кислоты и воды; 5 – отвод промывочной воды в скруббер; 6 – спуск отработанного травильного раствора

Свежую кислоту через расходомеры подают непрерывно в последнюю травильную ванну, а затем последовательно в остальные две ванны по направлению от первой. Из первой ванны, куда

сначала опускают садку, отработанный травильный раствор сливают и направляют для использования по другому назначению или для регенерации через общий сборник.

Протравленный металл промывают также каскадно-противоточным способом. Садку промывают сначала погружением в воду в ванне ПП, а затем струями воды под высоким давлением в ванне ПС. Свежую воду подают только в ванну с душирующим устройством, откуда она поступает в ванну для промывки погружением. Из последней ванны часть воды, содержащей кислоту, подают в необходимом количестве для составления свежего травильного раствора для третьей травильной ванны. Оставшаяся часть этой воды поступает в скруббер для мокрой очистки или регенерации кислоты, после чего снова используется по оборотному циклу рециркуляционной системы. Таким образом, осуществляется экономия воды и предотвращается вынос кислот и железосодержащих стоков в окружающую среду.

2.5. Струйный метод травления

Струйный метод травления содержит химическое и механическое воздействие раствора кислоты на обрабатываемую поверхность металла. В этом случае металл не погружают в травильные ванны, а обрабатывают его струями раствора под давлением, который свободно стекает с поверхности металла.

Эффективность применения струйного метода травления определяется углом подачи раствора на обрабатываемую поверхность. Обычно на практике струи травильного раствора подают под углом 45–90° к поверхности, но самый эффективный при этом угол подачи 90°. Струйный способ травления полосы в вертикальном и наклонном положениях снижает производительность травления на 15–20%.

Скорость струи раствора при использовании раствора серной кислоты составляет 15–30 м/с, соляной кислоты – 20–26 м/с при давлении 1–2 атм.

Увеличение скорости травления при струйном методе связано с постоянным обновлением пограничного слоя травильного раствора с обрабатываемой поверхностью. Возможность применения менее концентрированного травильного раствора улучшает условия труда.

При струйном травлении уменьшается наводороживание металла из-за отрыва потоком жидкости от поверхности выделяющегося водорода. Наряду с этим на поверхности не остается шлама и продуктов травления.

2.6. Применение ультразвука при травлении

Для интенсификации процессов травления применяют упругие механические колебания с частотой свыше 16–20 кГц, которые условно называют ультразвуковыми. Эти колебания имеют большую механическую энергию, которая и определяет ускорение процесса травления.

Механизм удаления окислов при травлении с использованием ультразвука представляется следующим.

При распространении в жидкости ультразвуковых колебаний в ней попеременно возникают локальные сжатия и разрежения. В момент разрежения происходят локальные разрывы жидкости и образуются полости (пузырьки), которые заполняются парами жидкости, растворенным в ней воздухом и, в частности, водородом, образующимся в процессе травления. В момент сжатия пузырьки захлопываются, возникают кавитационные силы, сопровождающиеся сильными гидравлическими ударами. Предполагают, что возникновение и исчезновение пузырьков одновременно сопровождается местным появлением электрических зарядов, так как стенка пузырька заряжена отрицательно, а капельки жидкости в них – положительно. Электрические явления, сопутствующие процессу кавитации, способствуют энергичному удалению окислов с поверхности и тем самым резко ускоряют процесс травления.

Оптимальный состав травильного раствора с применением ультразвука – 10%-й раствор серной кислоты с добавкой 3–4% поваренной соли. При травлении в растворе соляной кислоты максимальная скорость травления достигается при концентрации кислоты около 12%.

Скорость травления при использовании ультразвука возрастает в десятки раз. Ультразвуковая обработка одновременно снижает расход кислоты, улучшает поверхность травленого металла и снижает травильную хрупкость.

Упругие механические колебания звуковой и ультразвуковой частоты получают с помощью магнитострикционных преобразователей, называемых излучателями, или вибраторами.

Основной тип вибратора, применяемый при травлении, – магнитострикционный (рис.5).

Он состоит из наложенных друг на друга пластин никелевого сплава, которые имеют непосредственную связь со специальным передаточным звеном, помещенным в ванну для травления или промывки. Магнитострикционный преобразователь создает колебательные движения под действием изменяющегося магнитного поля. При этом магнитострикционные пластины расширяются и

сжимаются в продольном направлении, а возникающие при этом упругие механические колебания через передаточное звено передаются травильному раствору.

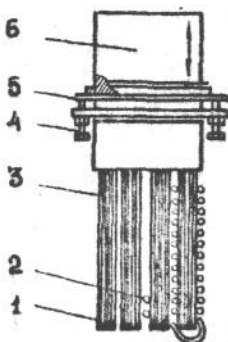


Рис. 5. Магнестрикционный трансформатор:
1 – вибратор; 2 – катушка с медным проводом для создания изменяющегося магнитного поля; 3 – магнестрикционные пластины из никелевого сплава; 4 – закрепительный болт;
5 – дно ванны; 6 – передаточное звено (массивный блок из нержавеющей стали)

При травлении, как правило, ультразвуковую энергию подводят сбоку травильной ванны, а в установках для обезжиривания или промывки трансдуктор монтируют у дна ванны.

Считают, что использование ультразвука для травления катанки и заготовки рационально только при непрерывном осуществлении процесса, когда катанка или проволока обрабатывается нитью.

2.7. Электролитическое травление

Электролитический способ удаления окалины – это процесс химического травления, интенсифицированного электрическим током. Основные преимущества этого комбинированного метода заключаются в значительном ускорении процесса удаления окалины, получении более высокого качества поверхности, уменьшении потерь металла. Наиболее часто этот способ применяется на непрерывных термотравильных агрегатах и линиях металлопокрытий.

Известны три разновидности электролитического травления – анодное, катодное и биполярное.

Анодное травление основано на электрическом растворении металла (проволока-анод), окислении низших оксидов до высших и

механическом отрыве окалины выделяющимся кислородом. При анодном травлении электролитом служит раствор кислоты, слабо-кислый раствор сульфата или соли щелочного металла, причем не наблюдается травильной хрупкости. Этот метод наиболее используемый при удалении окалины с поверхности нержавеющей сталей. Однако этот процесс требует тщательного соблюдения режимов, так как поверхность может быть перетравлена или протравлена неравномерно.

Недостаток анодного травления – образование на поверхности труднорастворимого шлама.

При анодном травлении углеродистых и легированных сталей наиболее часто применяют электролиты следующих составов:

а) H_2SO_4 – 150 г/л; NaCl – 50 г/л;

б) FeSO_4 – 200–300 г/л; MgSO_4 – 50–60 г/л; H_2SO_4 – 10 г/л.

Обработку ведут при плотности тока 5–10 А/дм и температуре 20–60°С в течение 10–20 с в зависимости от марки стали.

Катодный метод травления состоит в том, что металл, погруженный в кислый электролит, является катодом. При включении тока процесс, протекающий на катоде, сводится к разряду ионов водорода. Хотя оксидная пленка плохо проводит электрический ток, в ней имеется достаточно большое количество пор, через которые ток протекает к поверхности основного металла и вызывает разряд ионов водорода.

Атомарный водород восстанавливает высшие труднорастворимые оксиды железа Fe_3O_4 и Fe_2O_3 до низших FeO , которые легко растворяются в кислоте, а образовавшиеся молекулы газообразного водорода проникают под окалину, способствуя ее рыхлению и механическому отрыву.

На Белорецком металлургическом комбинате применяют процесс бесшламного электрохимического катодного травления в растворе серной кислоты проволоки диаметром 0,8–7,2 мм из высокоуглеродистых сталей (60–80; У7А) на непрерывных термотравильных агрегатах, работающих со скоростью протягиваемой нити металла 35–90 м/мин.

Травление ведется в многосекционной ванне. При этом проволока, проходя в виде нити бесконтактно между одноименно заряженными электродами, приобретает противоположный по знаку заряд. По сравнению с бестоковым режимом длительность удаления оксидов сокращается в 2–6 раз. Для проволоки указанных диапазонов диаметров оптимальная плотность тока равна 50–100 А/дм². Дальнейшее повышение плотности тока не уменьшает длительности удаления окалины.

Оптимальные температуры травления составляют 40–60°C. При этих температурах исчезает зависимость длительности обработки от диаметра проволоки.

Травильный раствор сохраняет электрохимическую активность при концентрации серной кислоты 200–250 г/л и содержании сульфата железа до 100 г/л. При этих концентрациях длительность травления наименьшая. Снижение концентрации H_2SO_4 до 100 г/л и повышение концентрации $FeSO_4$ до 300 г/л приводят к увеличению длительности травления в 2–2,5 раза и значительно ухудшают качество поверхности проволоки.

При биполярном травлении проволока попеременно бывает анодом и катодом. На рис. 6 изображена схема для биполярного травления коррозионно-стойких сталей аустенитного, ферритного и мартенситного классов с циркуляцией нейтрального электролита.

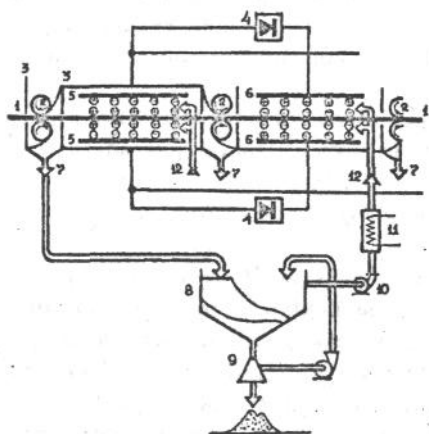


Рис. 6. Схема травильной ванны с системой циркуляции электролита

В качестве электролита используют водный раствор сульфата натрия (Na_2SO_4) концентрацией 150 г/л при температуре травления 80–85°C. В зависимости от марки стали применяют ток плотностью 2–10 А/дм², напряжением около 500 В.

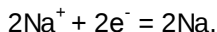
Очищаемый металл 1 проходит с помощью направляющих роликов 2 через ванну для травления. Комплекты направляющих роликов находятся между перегородками 3, образующими отдельные секции по всей длине травильной ванны. В каждой отдельной секции над полосой и под ней находятся стальные электроды, защищенные от коррозии свинцовым слоем. Электроды секции под-

ключены к положительным или отрицательным полюсам выпрямителя 4 так, что полярность всех секций чередуется. Ток протекает от положительных электродов 5 через нейтральный электролит на полосу, которая служит токопроводящим соединением со следующей травильной секцией. Во второй секции ток через электролит поступает на отрицательные электроды 6. Таким образом, полоса по отношению к положительным электродам является катодом, а по отношению к отрицательным – анодом.

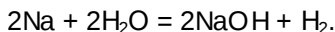
Сульфат натрия в водном растворе диссоциирует на ионы

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 = 2\text{Na}^+ + \text{SO}_4^{--}.$$

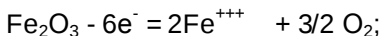
Нейтральный электролит выполняет в различных секциях различные функции. Если электроды являются катодами, а полоса – анодом, на поверхности полосы концентрируются анионы и там разряжаются.



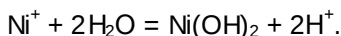
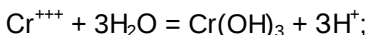
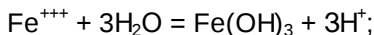
Образующийся натрий моментально вступает в реакцию с водой с образованием щелочи и водорода



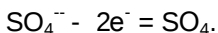
При этом показатель электролита (водородный показатель pH) непосредственно около полосы понижается и у окалины отнимаются электроны. Содержащиеся в окалине атомы металлов ионизируются, причем железо растворяется в трехвалентной форме, никель – в двухвалентной и хром – в трехвалентной



В тех секциях, где катодом служит полоса, электролит вблизи поверхности полосы становится кислым и его pH повышается. Восстанавливается трехвалентный хром и образованные ионы металлов превращаются в нерастворимые гидроксиды металлов

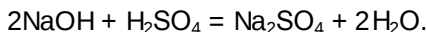


Реакция на положительно заряженном аноде 5 зависит от материала, из которого он изготовлен. На анодах из свинца или из стали высокого качества разряжаются, главным образом, отрицательно заряженные ионы сульфата натрия



Образовавшийся сульфат-радикал вступает в реакцию с водой с образованием серной кислоты и кислорода.

Образовавшаяся на катоде щелочь натрия вступает в реакцию с серной кислотой



Таким образом, растворяется окалина, образующиеся гидроокиси металлов выделяются в твердом виде и восстанавливаются сульфат натрия. В процессе травления электролит постоянно регенерируется и может использоваться в течение многих лет.

Образовавшиеся при травлении металлические гидроокиси выпадают в виде шлама, минимальное количество которого в нейтральном электролите не препятствует травлению. Однако при высокой производительности травления образуется значительное количество шлама, который необходимо удалять. С этой целью нейтральный электролит протекает через донные отводы 7 в нижний бак 8. Через некоторое время гидроокисный шлам осаждается в нижней части бака, откуда он поступает в центрифугу 9, обезживается и удаляется. Очищенный электролит направляется через центробежные насосы 10, теплообменники (нагрев паром) 11 и через систему трубопроводов 12 обратно в секции.

Результаты исследования этого процесса показали, что при травлении в нейтральном электролите растворяется только окалина, причем с 20-кратной скоростью по сравнению с основным материалом. Процесс травления, кроме того, проходит только при включенном постоянном токе, так что в случае остановки линии металл можно оставлять в ванне для травления, не опасаясь его повреждения.

2.8. Метод восстановления окалины с поверхности катанки

Разработана технология подготовки поверхности катанки перед волочением путем восстановления окалины с ее поверхности. Сущность технологии состоит в предварительном удалении окалины в роликовом окалиноломателе до ее остаточного количества 1,1–1,5 кг/т с последующим восстановлением оставшихся оксидов в среде слабовосстановительного азотного газа (2–3% H_2 ; 2% CO ; 95–96% N_2 ; следы CO_2 и O_2). В основу процесса положен метод восстановления оксидов железа водородом и окисью углерода. Процесс восстановления оксидов был совмещен со структурным

отжигом металла. При 90% восстановлении окислы расход азотного газа составлял 17–20 м/т при скорости прохождения катанки 10,4 м/мин. При этом производительность агрегата (на 24 нитки) составила 85,2 т/сут. После восстановления окислов низкоуглеродистую катанку подвергли желтению и известкованию и подвергали волочению на станах Грюна 6–7/550 по маршруту 6,5–2,0 со скоростью 950–1000 м/мин. Характер волочения катанки не отличается от обычного при удалении окислов кислотным способом.

2.9. Очистка дугowym разрядом

Поверхность катанки и проволоки можно очищать от окислов, ржавчины, смазки и других загрязнений дугowym разрядом.

На рис.7 показана схема установки для очистки поверхности проволоки электродуговым разрядом. Установка оборудована электродуговой камерой 1, снабженной динамическими уплотнителями 2 и 3. Внутри камеры концентрично с проволокой расположен кольцевой электрод-анод 4. Между ним и проволокой-катодом 5 горит дуга, вращающаяся под действием магнитного поля, создаваемого катушкой 6. Для питания установки служит генератор постоянного тока ГД, а для возбуждения дуги – высокочастотный генератор Гз. Для защиты источника питания от высокочастотной составляющей генератора цепь снабжена катушкой индуктивности L и конденсатором C. Регулирование тока осуществляется реостатом R.

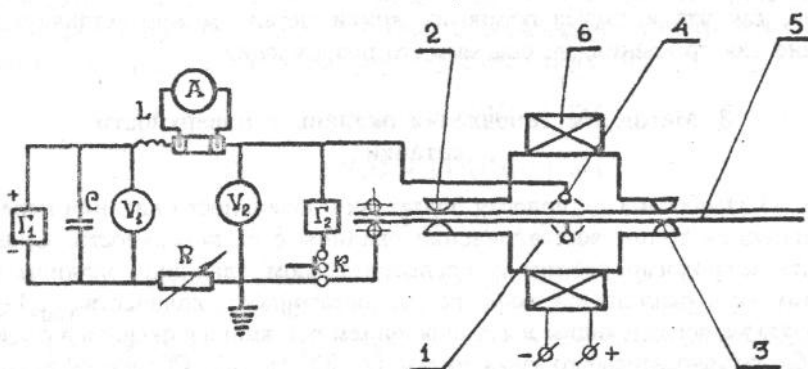


Рис. 7. Схема установки для очистки поверхности проволоки электродуговым разрядом

Наибольший эффект очистки достигается в вакууме или при пониженном давлении порядка 10–15 мм рт. ст. Аккумулированная проволокой при очистке теплота (температура проволоки при выходе из установки составляет 150–200°C) может быть использована в технологических целях: для улучшения адгезии с покрытием при горячем цинковании, получения металлического сцепления при прессовании сталеалюминиевой проволоки после удаления технологической смазки, сушки наносимого подсмазочного слоя и т.д.

В исследованном диапазоне диаметров проволоки (1,5–5 мм) и скоростей (1–25 м/мин) скорость очистки примерно обратно пропорциональна диаметру проволоки. В результате обработки дуговым электроразрядом получается более развитая микрогеометрия поверхности, что улучшает захват смазки в процессе волочения и обеспечивает надежное сцепление наносимого на проволоку покрытия.

2.10. Обработка проволоки витками и спиралью

Обработка проволоки прямой нитью через многониточные проходные агрегаты – комбайны имеет ряд недостатков. Для прохождения металла через агрегат требуется сложное намоточное оборудование. Длина комбайна достигает 100 м и более. Большие габаритные размеры требуют больших производственных площадей, а также увеличивают трудоемкость и штат обслуживающего персонала.

Трудоемка и занимает много времени операция заправки многониточного комбайна при переходе на другой типоразмер или при обрыве проволоки в агрегате.

За рубежом разработаны новые способы обработки катанки и проволоки перемещением их по агрегату витками и спиралью. Первый способ разработан в США и получил название Лупро (виток, петля), второй во Франции под названием Геликофил (от французских слов *helico* – виток, спираль и *fil* – проволока).

При обработке металла витками и спиралью резко уменьшаются габаритные размеры агрегата и количество обслуживающего персонала. Большое преимущество состоит и в возможности совмещения при данном способе в одну поточную линию различных технологических процессов и операций: волочения, термической обработки и подготовки поверхности или волочения, термической обработки, травления и электролитического нанесения металлических покрытий. Например, при способе Лупро проволока с

волоочильного стана горизонтально уложенными витками поступает в проходную печь для термической обработки (нормализации, рекристаллизационного и сфероидизирующего отжига, воздушного и газозвушного патентирования), а из нее – в ванны с соответствующими растворами. При этом весь совмещенный агрегат может обслуживаться одним или двумя операторами вместо большой бригады рабочих, необходимой при обычных способах производства с отдельными технологическими процессами. Производительность этих способов обработки значительно выше, чем при обработке с перемещением нити.

Агрегаты, работающие способами Лупро и Геликофил, применимы для производства проволоки как из низкоуглеродистых и легированных сталей, так и из цветных металлов и сплавов.

На рис. 8 схематически изображен агрегат для подготовки поверхности катанки способом Лупро.

Катанка диаметром 5,0–9,5 мм из средне- и высокоуглеродистых сталей из бунтов массой 2–3 т разматывается и проходит нитью через двухроликовый окалиноломатель, где очищается на 85–95% от окалины. Затем на виткообразователе катанка формируется в витки диаметром 970 мм и подается на конвейер, движущийся со скоростью до 7 м/мин. Вместе с конвейером катанка проходит травильную ванну с 15–20%-м раствором соляной кислоты при температуре 18–22°C. После выхода из травильной ванны витки проходят через секцию струйной промывки водой, секции нанесения подмазочных покрытий (фосфатов, буры и извести) и сушильное устройство с температурой 200–300°C. Затем витки формируются в бунт массой до 3 т.

Производительность такого агрегата при обработке катанки диаметром 5,5 мм составляет 2,5–3,0 т/ч. Агрегат обслуживается только одним травильщиком. Расход соляной кислоты составляет 3,6–4,5 кг на 1 т протравленного металла. Значительное увеличение производительности и экономии производственной площади достигается при использовании двухрядных агрегатов. Двухрядный агрегат с описанной технологией имеет производительность 5,2 т/ч или 35 тыс. т/год. Длина агрегата составляет 27 м, ширина – 1,5 м, высота – 5,5 м. Потребляемая мощность – 150 кВт/ч. Коэффициент использования оборудования – 0,8.

Подготовка поверхности катанки и проволоки способом Лупро совмещается с процессами волочения, термической обработки и нанесения защитных и декоративных покрытий.

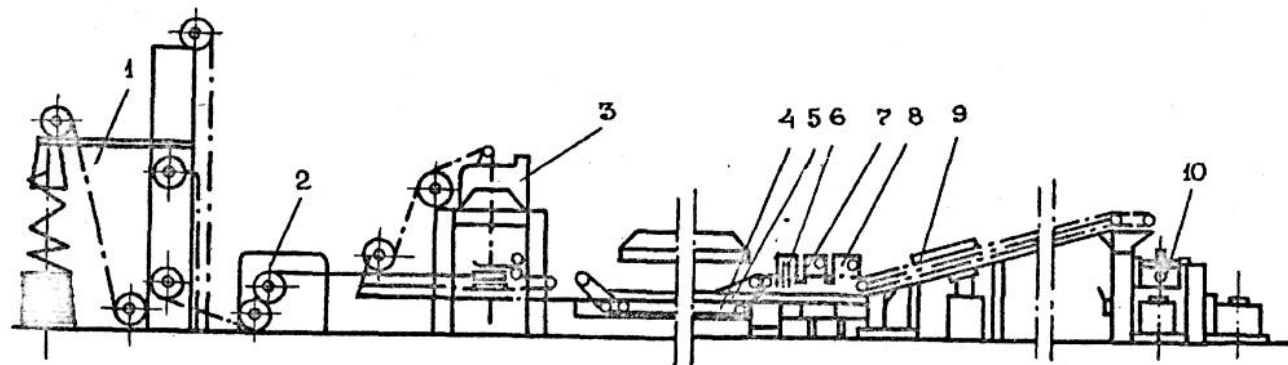


Рис.8. Схема агрегата для подготовки поверхности катанки и проволоки по способу Лупро:
 1 – размоточное устройство; 2 – окалиноломатель; 3 – виткообразователь; 4 – конвейер;
 5 – травильная ванна-- промывочное устройство; 7 - устройство для нанесения буры
 или фосфата; 8 - устройство для известкования; 9 – сушило; 10 – бунтообразователь

На рис.9 изображены схемы таких агрегатов. На них изготавливают омедненную сварочную проволоку диаметром 1,5–2,5 мм из низкоуглеродистой марганцовистой стали, которая используется для сварки в среде углекислого газа. Катанка диаметром 5,0–5,5 мм обрабатывается на агрегате Лупро по технологии, показанной на рис.8. Затем на двухрядном агрегате (рис.9) катанку протягивают на передельную проволоку диаметром 2,5–3,6 мм и раскладывают витками диаметром 610 мм при шаге 50 мм на движущийся роликовый под проходной печи, где подвергают отжигу с применением защитной атмосферы. Скорость движения роликового пода печи равна 7,32 м/мин при линейной скорости движения проволоки 440 м/мин. Затем витки подвергают травлению в растворе соляной кислоты, каскадной промывке водой, покрывают медью электролитическим способом в количестве 1,5–5,0 г/кг, наносят буру, сушат и формируют в моток. Далее передельную заготовку протягивают на проволоку готового размера. Такой агрегат имеет производительность 2,04 т/ч и обслуживается только двумя рабочими.

На агрегатах Лупро при термообработке катанки диаметром до 13 мм выполняют операции нормализации, рекристаллизационного или сфероидизирующего отжига. Однако операции патентирования с изотермическим охлаждением катанки или проволоки в расплавах солей или свинца затруднены из-за неравномерности охлаждения витков в расплаве солей или из-за их всплытия с конвейера при обработке в свинцовой ванне. Кроме того, велик вынос соли или свинца из ванны и отсутствует надежная конструкция конвейера для работы в ванне с расплавом. Проблема может быть решена использованием воздушного (охлаждение металла струями воздуха) или газозвушного (охлаждение металла подстуженными печными газами) патентирования.

При перемещении катанки способом Лупро значительно облегчается заправка всего агрегата, поскольку металл перемещается по агрегату движущимися конвейерами в отличие от заправки комбайнов, где каждая нить вручную протаскивается через всю длину агрегата.

Теоретическая производительность агрегата Лупро определяется следующим образом.

Количество витков катанки или проволоки диаметром d , мм, и шагом a , мм, уложенное на 1 м погонной длины конвейера, составит, шт.,

$$n = \frac{10^3}{d + a} . \quad (2.1)$$

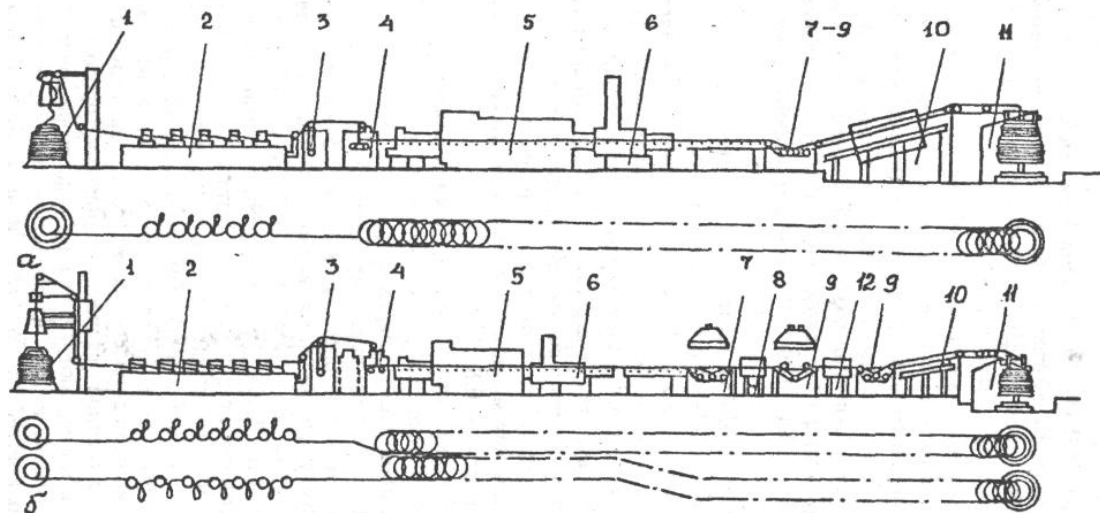


Рис. 9. Схемы агрегатов Лупро:

- а – однорядного, совмещающего первоначальное волочение, патентирование и нанесение подмазочного покрытия; б – двухрядного, совмещающего первоначальное волочение, патентирование, подготовку поверхности, нанесение металлического, подмазочного или предохранительного покрытия;
- 1 – размоточное устройство; 2 – волочильный стан; 3 – накопительно-натяжное устройство;
- 4 – виткообразователь; 5 – нагревательная печь; 6 – охлаждающая секция; 7 – травильная ванна;
- 8 – промывочное устройство; 9 – ванна для нанесения подмазочного или предохранительного покрытия; 10 – сушильное устройство; 11 – устройство для формирования витков в бунт или моток;
- 12 – ванна для нанесения металлического покрытия

При массе одного витка $1,935 \cdot 10^{-8} Dd^2$, т, масса металла, уложенного на 1 м погонной длины конвейера, т/м,

$$M = 1.935 \cdot 10^{-5} \frac{Dd^2}{D + a}, \quad (2.2)$$

где D – диаметр витков, мм.

Теоретическая производительность агрегата Лупро, т/ч,

$$Q_L = 1.16 \cdot 10^{-3} \frac{Dd^2 V_L}{D + a}, \quad (2.3)$$

где V_L – скорость движения конвейера, м/мин.

При обработке металла развернутой нитью, например, на комбайне скорость прохождения проволоки по агрегату, м/мин, соответствующая производительности агрегата Лупро

$$V_K = \frac{\pi D V_L}{d + a}. \quad (2.4)$$

Сравнение технико-экономических показателей обработки катанки и проволоки методом Лупро и на многониточных комбайнах дает следующие результаты.

При обработке катанки диаметром 5,5 мм по способу Лупро со скоростью движения конвейера $V_L = 7$ м/мин и диаметром витков $D = 910$ мм, уложенных с шагом $a = 50$ мм, теоретическая производительность

$$Q_L = 1.16 \cdot 10^{-3} \frac{910 \cdot 5.5^2 \cdot 7}{5.5 + 50} = 4.03 \text{ т / ч}.$$

При этом соответствующая скорость движения нити при обработке на комбайне

$$V_K = \frac{3.14 \cdot 910 \cdot 7}{5.5 + 50} = 360.4 \text{ м / мин}.$$

При скорости патентирования $V_L = 7,5$ м/мин катанки диаметром 5,5 мм на 24-ниточном проходном комбайне его теоретическая производительность

$$Q_K = 3.67 \cdot 10^{-4} \cdot 5.5^2 \cdot 7.5 \cdot 24 \approx 2.0 \text{ т / ч}.$$

Повышение производительности обработки катанки при способе Лупро по сравнению с обычным комбайном составит

$$\frac{Q_L}{Q_K} = 2,015.$$

Большим резервом повышения производительности способа Лупро является уменьшение шага витков и применение двухрядных агрегатов. Например, при шаге витков $a = 25$ мм соответствующая скорость при обработке нитью на комбайне увеличивается

до $V_k = 655,8$ м/мин, а производительность возрастает до $Q_l = 7,33$ т/ч. Использование двухрядных агрегатов увеличивает эти цифры соответственно в 2 раза.

Эффект агрегата Лупро дополнительно выражается в малых необходимых производственных площадях. Если 24-ниточный комбайн при обработке катанки или проволоки нитью с габаритными размерами $115 \times 1,5$ м занимает площадь 172 м^2 , то агрегат Лупро ($27 \times 1,5$ м) занимает всего $40,5 \text{ м}^2$, что составляет 23,5% площади комбайна.

Удельная производительность на 1 м^2 производственной площади при использовании агрегата Лупро составляет

$$\frac{4,03}{40,5} = 0,10 \text{ т}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч});$$

а обычных комбайнов $\frac{2,0}{172,5} = 0,012 \text{ т}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Отсюда следует, что эффективность агрегатов Лупро в 8,32 раза выше эффективности обычных комбайнов.

Сущность способа Геликофил состоит в перемещении катанки или проволоки вертикальными витками в виде бесконечной спирали по маршруту всего агрегата с предварительным удалением окалины и нанесением подмазочных покрытий. Иногда агрегаты по способу Геликофил совмещают с волочильным станом.

На рис.10 показаны схемы агрегатов, работающих по способу Геликофил. Катанка или проволока с бунта или мотка 1 массой 2 т, расположенного на размоточной фигурке, проходит нитью сначала через роликовый окалиноломатель 2, а затем, после поворота на 90° , через рихтовальное приспособление 3.

Выпрямленная нить наматывается витками диаметром около 1 м в спираль на бочки пары круглых транспортирующих барабанов 4, расположенных рядом и параллельно друг другу и вращающихся от отдельного привода 5 с электродвигателем мощностью 22 кВт, который размещен со стороны входного торца агрегата. Оба барабана смонтированы над длинным баком с кислотными, промывочными, нейтрализационными и другими ваннами, выполненными в нем в виде отдельных секций. Спираль катанки или проволоки погружается по несколько витков, двигающихся в пазах направляющей ребенки на одной из боковых стенок бака сверху, в соответствующие растворы и промывочную воду на глубину примерно $1/3$ диаметра витка и подвергается обработке. Витки перемещаются по барабанам со скоростью 2,0–4,0 м/с. Расстояние между витками спирали составляет около 25 мм. Длительность трав-

ления витка в кислотной ванне 6 (в первой секции) после предварительного механического удаления окалины роликами на 75–90% равна 1,0–1,5 мин. В травильный раствор одновременно могут быть погружены 125 витков (или 380 м) катанки или проволоки диаметром 5,4 мм и массой примерно 2 т. После кислотной ванны длиной 3,2 м витки спирали по 4–6 шт. промывают горячей водой последовательно в шести секциях 7, имеющих длину 0,612 м (каждая по 0,102 м). При этом свежая горячая вода подается сначала только в последнюю секцию и оттуда противотоком поступает в другие секции (от пятой до первой). Затем витки катанки по 4–6 шт. попадают в секцию 8 длиной 0,15 м с горячим (100°C) раствором буры или извести для нейтрализации остатков кислоты, а также нанесения подсмазочного покрытия. После этого по два витка входят в секцию 9 длиной 0,102 м для сбора избыточной буры или извести, которая отделяется от поверхности металла при вращении витков на барабанах с окружной скоростью 3,5–4 м/с, и поступают из бака на намоточное устройство 10. Намоточным сердечником в данном случае может служить либо неподвижная фигурка, на которую накидываются витки катанки, выходя из бака, либо катушка большой вместимости, вращающаяся от собственного привода. Общая длина всех секций составляет примерно 45 м.

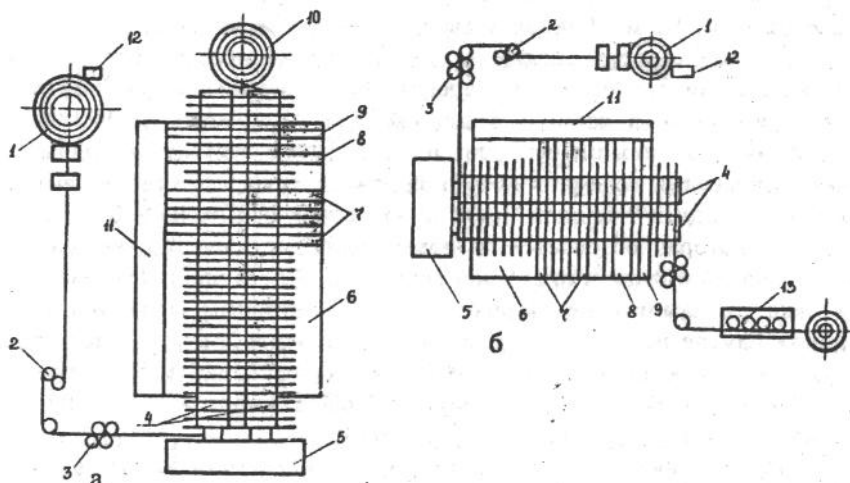


Рис. 10. Схемы агрегатов для подготовки поверхности катанки или проволоки спиралью:

- а – раздельный агрегат;
- б – агрегат, совмещенный с волочильным станом

При обработке катанки и проволоки диаметром 5,4 мм производительность агрегата равна 2,5 т/ч. Потребление кислоты на этом агрегате на 90% меньше, чем на существующих агрегатах (без предварительного механического удаления окислы). Расход воды составляет 70–140 л/т обработанного металла. Агрегат компактен, обслуживается одним человеком и управляется с пульта. Занимаемая им площадь составляет всего 18,6 м². Весь агрегат закрыт плотным кожухом и имеет систему отсоса 11 кислотных и других паров. Концы задаваемого и сходящего бунтов сваривают встык на сварочной машине 12.

На другом полуавтоматическом травильном агрегате аналогичного типа, занимающем площадь 50 м², установлена еще секция сушки витков струей горячего воздуха перед поступлением металла в намоточное устройство. При этом протравленный и покрытый подсмазочным слоем металл после сушки может подаваться в виде нити сразу на волочение к волочильному стану 13, минуя намотку в бунты (см. рис. 10, б).

Агрегаты Геликофил для подготовки поверхности более компактны, чем агрегаты Лупро, имеют меньшие габаритные размеры и обеспечивают лучшее качество обработки за счет исключения перекрытия витков.

Недостаток данного способа состоит в невозможности применения термической обработки в потоке с подготовкой поверхности.

Теоретическая производительность агрегата Геликофил рассчитывается аналогично производительности агрегата Лупро.

При обработке катанки или проволоки способом Геликофил технико-экономические показатели следующие.

При обработке катанки диаметром $d = 5,5$ мм с диаметром навиваемой спирали $D = 910$ мм, шагом $a = 25$ мм, поступательной скоростью перемещения витков $V_r = 7,0$ м/мин производительность

$$Q_r = 1.16 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{910 \cdot 5.5^2 \cdot 7}{25 + 2.5} = 7.33 \text{ м / ч.}$$

Соответствующая скорость при обработке нитью

$$V_k = \frac{\pi D V_r}{d + a} = \frac{3.14 \cdot 910 \cdot 7}{5.5 + 25} = 655.8 \text{ м / мин.} \quad (2.5)$$

Площадь, занимаемая агрегатом Геликофил, равна 18,6 м². Удельная производительность на 1 м производственной площади составит

$$\frac{7.33}{18.6} = 0.4 \text{ м / (м}^2 \cdot \text{ч).}$$

Сравнение способа Геликофил с обычными комбайнами показывает, что при обработке катанки спиралью производительность увеличивается в 3,7 раза, а удельная производительность – в 33 раза.

Приведенные расчеты показывают, что способы Лупро и Геликофил, по сравнению с традиционной обработкой развернутой нитью на комбайнах и в мотках на стационарных установках, гораздо производительнее, требуют меньших производственных площадей и меньшего количества обслуживающего персонала. Благодаря большим достоинствам способы Лупро и Геликофил в настоящее время получают широкое применение и распространение. Применение агрегатов Лупро и Геликофил целесообразно предусматривать во вновь строящихся железо- и сталепроволочных цехах.

2.11. Однониточная непрерывная обработка поверхности (процессы MDA, TDA)

Обычные многониточные совмещенные агрегаты-комбайны, как было отмечено, имеют большую длину и занимают значительную производственную площадь. Используемые в установках намоточные и размоточные устройства имеют высокую стоимость и занимают до одной трети требуемой производственной площади. Стремление уменьшить длину проходных ванн повышением температуры рабочих растворов неэффективно, поскольку связано со значительными капитальными затратами.

Фирмой Ruthner Industrieanlagen AG (Австрия) разработан новый способ многоступенчатой химической обработки поверхности катанки и проволоки, перемещающейся одной нитью. При таком способе возможно совмещение предварительной механической очистки от окалины с последующим травлением и нанесением подмазочных покрытий. Увеличение массы бунтов повышает эффективность однониточной непрерывной обработки поверхности.

Отличительная особенность способа – использование в ваннах для обработки металла специального накопительного барабана для формирования такого количества витков катанки или проволоки, которое бы обеспечивало требуемую длительность травления при заданной скорости перемещения нити. Барабаны изготавливают двух типов – MDA и TDA.

Первый тип MDA (рис. 11) – приводной – применяется при многоступенчатой обработке. Барабаны типа MDA погружают в ванну с раствором либо частично, либо полностью. Скорости прохода проволоки или катанки по накопительному барабану

MDA зависят только от заданной скорости V_1 её поступления. Необходимое натяжение между агрегатами достигается небольшим увеличением скорости V_2 последующего накопительного барабана. Количество накопительных барабанов в линии соответствует количеству операций в технологическом цикле обработки. После каждой операции при выходе из ванны нить катанки или проволоки обдувается сжатым воздухом и рабочие растворы полностью удаляются с поверхности металла и возвращаются в производственный цикл. Барабаны MDA изготавливают для обработки катанки и проволоки трех групп размеров: от 0,8 до 1,2 мм, от 1,2 до 3,5 мм и от 3,5 до 6,5 мм.

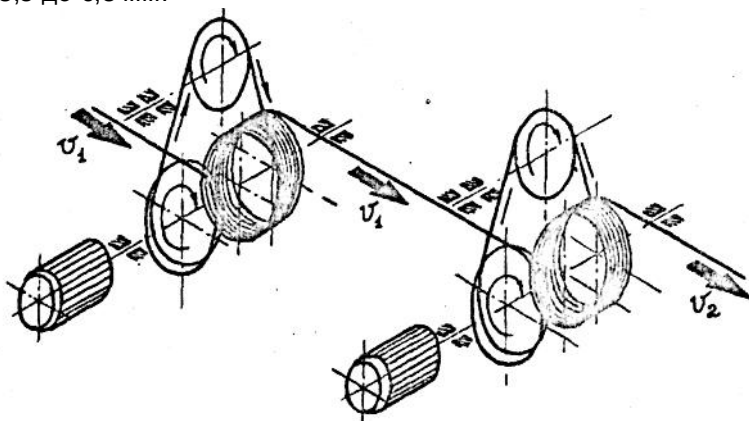


Рис. 11. Схема движения проволоки через два агрегата MDA, расположенных последовательно

Второй тип барабанов TDA не приводной, они вращаются за счет сил трения о перемещающуюся проволоку, которая наматывается на барабан конечного намоточного устройства с собственным приводом. При сходе с накопительного барабана проволока сначала огибается обводным роликом, а затем наматывается со скоростью V_2 на присоединенный к самому накопительному барабану тянущий диск, вращаемый сходящей проволокой без затягивания её скопившихся витков. Затем проволока уходит со скоростью V_3 на барабан конечного намоточного устройства (рис. 12).

Эти агрегаты применяют при одноступенчатой обработке, например, непосредственно за последним барабаном волочильного стана для окончательной химической обработки (обезжиривания, меднения, бронзирования и т.д.). Барабаны этого типа применяют для обработки проволоки диаметром 0,8–1,2 мм и 1,2–1,8 мм, они имеют диаметры 200 и 400 мм и длину 150 мм. На каждом ба-

рабана размещается соответственно 300 (120 м) и 180 (226 м) витков. Барабаны обоих типов устанавливаются горизонтально, что обеспечивает большую вместимость витков обрабатываемого металла и более равномерное их распределение. Рабочие растворы равномерно омывают витки обрабатываемой катанки. Точки их соприкосновения постоянно смещаются и полностью обрабатываются. Рабочая поверхность накопительных барабанов образована стержнями, которые изготавливаются из кислотоупорной и стойкой к износу спеченой керамики. Барабаны размещены в изолированном от атмосферы корпусе, куда подаются рабочие растворы, в частности раствор соляной кислоты, в направлении от внутренней части витков к наружной. Конструкция закрытого типа обеспечивает надежную герметизацию агрегатов и предотвращает утечку агрессивных паров в атмосферу.

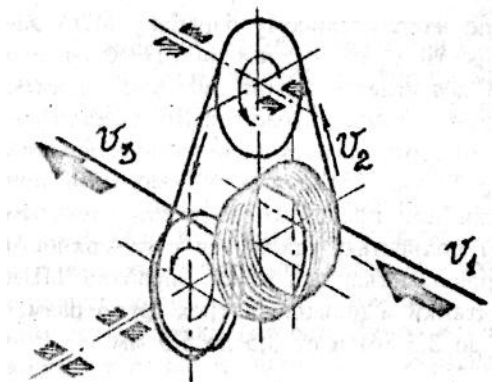
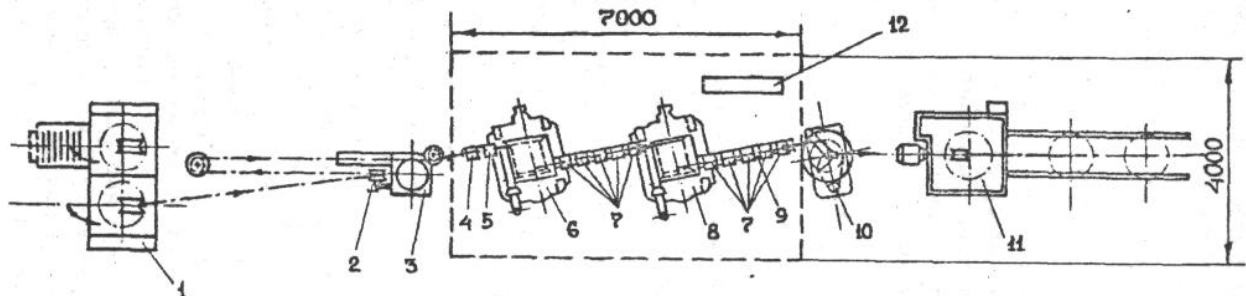


Рис. 12. Схема движения проволоки на агрегате ТДА

На рис. 13. показаны размещение оборудования и технологическая схема одноступенчатой установки для двухступенчатой непрерывной химической подготовки поверхности катанки с содержанием углерода до 0,8%. Травление производится в 15–20%-м растворе соляной кислоты при температуре 70°C. Во втором агрегате возможно меднение при комнатной температуре или фосфатирование при 70°C. Скорость прохождения катанки по агрегату диаметром 5,5–6,5 мм составляет 200 м/мин (производительность агрегата – 2,2– 3,1 т/ч), что обеспечивает работу нескольких волочильных станов. Масса формируемого на выходе агрегата бунта достигает 1,2 т.



46 Рис. 13. Схема размещения оборудования для непрерывной химической обработки по способу MDA:
 1 – размоточное устройство с кантователем бунтов; 2 – роликовый окалиноломатель;
 3 – вытяжной однократный барабан; 4 – промывочная ванна; 5 – устройство для обдувки;
 6 – травильная ванна с накопительным барабаном; 7 – устройство для обдувки промывки и обдувки;
 8 – ванна для нанесения подмазочного слоя с накопительным барабаном; 9 – ванна для омыления;
 10 – промежуточное намоточное устройство; 11 – намоточное устройство; 12 – пульт управления

Теоретическая производительность агрегатов MDA и TDA, т/ч,

$$Q = 3.67 \cdot 10^{-4} \cdot d^2 \cdot V, \quad (2.6)$$

где d – диаметр обрабатываемой катанки или проволоки, мм;
 V – скорость прохождения заготовки по агрегату, м/мин.

Например, теоретическая производительность агрегата при обработке катанки диаметром 6,5 мм со скоростью перемещения 200 м/мин составит

$$Q = 3.67 \cdot 10^{-4} \cdot 6.5^2 \cdot 200 = 3.12 \text{ т / ч.}$$

2.12. Установки туннельного типа

При травлении в ваннах периодического действия значительную часть времени (от 30 до 50% продолжительности травления) занимают подготовительно-заключительные операции, при выполнении которых металл в ванне травления отсутствует. Для предотвращения выброса паров травильных растворов в атмосферу цеха применяют бортовые отсосы. Однако такая система защиты недостаточно совершенна, поскольку при погружении и подъеме садки из ванны отсекающий поток воздуха прерывается, открывая тем самым доступ вредным газам и парам в атмосферу цеха.

Стремление повысить производительность оборудования и максимально сократить вредные выделения в атмосферу привело к созданию травильных установок туннельного типа, разработанных австрийской фирмой “Keramchemie” (“Керамхеми”) и японской “Кобе сэйкосё”.

Сущность агрегатов туннельного типа состоит в следующем. Обычно садочные ванны размещают перпендикулярно к пролету здания цеха по направлению движения мостового крана (рис. 14, а). В новом способе ванны расположены вдоль пролета здания (рис. 14, б). При этом все ванны 1 устанавливаются торцами друг к другу и закрываются сверху общей (на длину всех ванн) коробчатой Г-образной крышкой 5, высота которой равна глубине ванны и значительно превышает высоту садки. Эта крышка по своей конструкции напоминает туннель прямоугольного поперечного сечения, основание которого устанавливается на борта ванн. Крышка, состоящая из отдельных объемных секций, имеет сверху по всей длине узкую щель 6, через которую проходит только вертикальная часть С-образного крюка 3 с садкой 4. Обрабатываемый бунт металла опускают, поднимают и транспортируют вдоль ванны тельферами 7, установленными на монорельсе 8.

В результате все продольные перемещения садки совершаются только внутри туннеля, а поперечного движения не происходит.

Все вредные газы и пары с зеркала ванн остаются внутри туннеля, практически не выходят через щель наружу в атмосферу цеха и удаляются со всех ванн вентиляционной системой, установленной на входе и выходе туннеля. Кроме того, наличие крышки резко уменьшает потери теплоты с зеркала ванны.

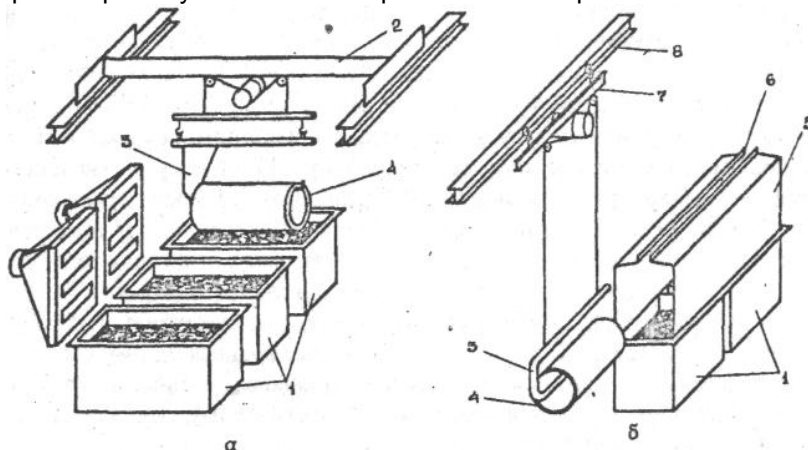


Рис. 14. Схема расположения ванн в травильных отделениях:

- а – существующий тип; б – новый (туннельный);
 1 – садочная ванна; 2 – мостовой кран; 3 – С-образный крюк;
 4 – садка; 5 – коробчатая П-образная крышка;
 6 – узкая щель; 7 – тельфер; 8 – монорельс

Все параметры травления и другие необходимые операции подготовки поверхности металла надежно контролируются и регулируются автоматической системой управления.

Для интенсификации процессов травления и подготовки поверхности С-образный крюк с садкой подвергают вибрации способом, запатентованным австрийской фирмой «Voest» («Фест») и японской «Кобе сэйкосё». Вибрация крюка с садкой обеспечивает лучшее проникновение травильного раствора по всем виткам обрабатываемого бунта катанки или мотка проволоки, лучшую равномерность и меньшую длительность травления металла.

На рис. 15 изображена схема автоматизированного травильного агрегата для подготовки поверхности катанки из углеродистых сталей в бунтах массой до 725 кг садками, имеющими массу до 2900 кг. Производительность агрегата составляет 18 т/ч (до

100 тыс. т/год). На одной стороне агрегата расположены четыре ванны 1 (одна из них запасная) для каскадно-противоточного травления металла в растворе серной кислоты и одна промывочная 2. Возможна установка ещё одной промывочной ванны 3, в которой металл будет промываться струями воды под высоким давлением, и одной ванны 4 для меднения. На противоположной стороне агрегата размещены ванны для фосфатирования 5, промывки 6 и две для известкования 7, одно устройство 8 для сушки подготовленного металла и разгрузочная площадка 9, с которой подготовленный металл отправляют на волочение 10. Все перемещения садки с металлом от ванны к ванне осуществляют тельферами 11 грузоподъемностью 3 т, движущимися по замкнутому монорельсу в запрограммированном режиме или по командам оператора с пульта управления 12. Садку с металлом навешивают на крюк на загрузочной площадке 13 мостовым краном 14. Тельферы с бунтами катанки, подвешенными на С-образном крюке, проходят по туннелю с заданной скоростью, останавливаются над очередной ванной и опускают в неё садку. По истечении требуемого времени обработки садку извлекают, выдерживают некоторое время над ванной для стока раствора и перемещают затем к следующей ванне. Для обеспечения часовой производительности 18 т на данном агрегате требуется применение шести тельферов для транспортирования и обработки садок.

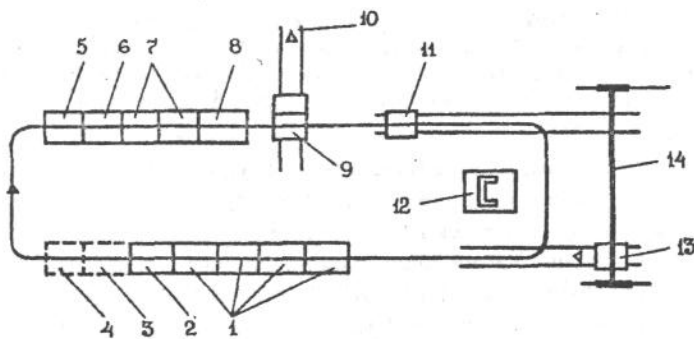


Рис. 15. Схема расположения оборудования на травильном агрегате туннельного типа

Надлежащее качество подготовки поверхности при выполнении той или иной программы обеспечивается максимально постоянным температурным режимом и концентрационным составом ванн. Температура ванн регулируется автоматически по специальной системе. Постоянство состава ванн обеспечивается каскадно-

противоточным способом травления, при котором садку с металлом перемещают против направления перекачки травильных растворов из ванны в ванну.

Туннельный способ подготовки поверхности металла и эффективный отсос газов и паров позволяют на 80–90% уменьшить их количество в атмосфере цеха по сравнению с обычными существующими травильными агрегатами.

Производительность агрегатов туннельного типа зависит от массы садки и ритма обработки, т/ч,

$$Q = \frac{60M}{T_p} = \frac{60M}{T_{\text{ц}} - T_{\text{п}}}, \quad (2.7)$$

где M – масса садки на крюке тельфера, т;

T_p – ритм обработки, мин;

$T_{\text{ц}}$ – продолжительность всего цикла обработки, мин;

$T_{\text{п}}$ – продолжительность перекрытия цикла, мин.

Ритм обработки обуславливается временем обработки самой продолжительной операции в технологическом цикле. Ритм обработки, продолжительность перекрытия и продолжительность всего цикла выражены равенством

$$T_p = T_{\text{ц}} - T_{\text{п}}. \quad (2.8)$$

На рис. 16 изображены графики работы агрегатов туннельного типа фирм «Керамхеми» (Австрия) и «Кобе сэйкосё» (Япония). На обоих агрегатах самой продолжительной операцией является травление в первой ванне (10 и 12,5 мин соответственно).

Производительность агрегатов составит

$$Q_1 = \frac{60 \cdot 3}{10} \approx 18 \text{ т/ч}; \quad Q_2 = \frac{60 \cdot 2.2}{12.5} = 10.6 \text{ т/ч}.$$

Количество тельферов, обеспечивающих такую производительность,

$$n_1 = \frac{T_{\text{ц}}}{T_p} = \frac{60}{10} = 6; \quad n_2 = \frac{40}{12.5} = 3. \quad (2.9)$$

Работой каждого тельфера управляет ЭВМ. Различные технологические схемы обработки поверхности металла имеют свою программу. Каждая программа определяет длительность: перемещения тельфера на каждой операции, выдержки садки с металлом в каждой из ванн обработки, подъема садки из ванн (причем все эти данные можно корректировать).

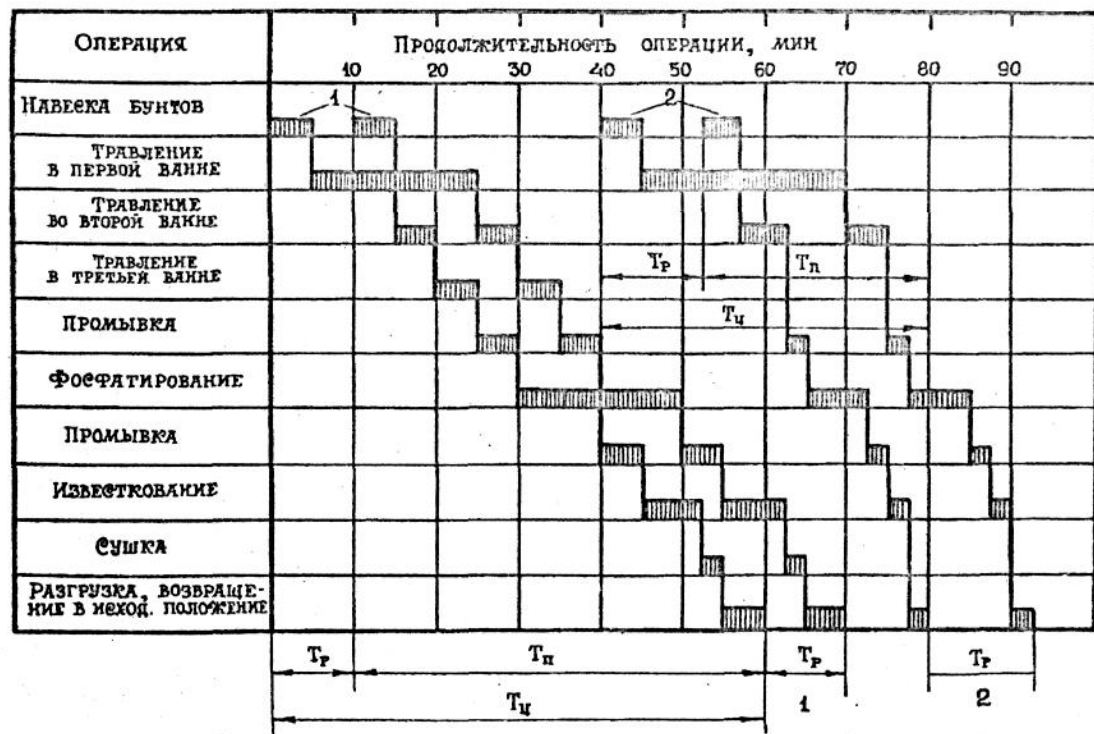


Рис. 16. Графики работы агрегатов туннельного типа:
 1 – агрегат фирмы «Керамхеми» (Австрия); 2 – агрегат фирмы «Кобе сэйкосё» (Япония)

2.13. Ротационный способ травления

Фирмой «Anlagentechnik» (Анлагентехник – ФРГ) разработан новый высокоэффективный способ травления, названный ротационным, при котором садку с плотными бунтами катанки помещают на штангу диаметром около 200 мм, расположенную над зеркалом травильной ванны таким образом, чтобы только нижняя часть бунтов катанки находилась в травильном растворе. При вращении штанги бунт получает вращательное движение, в результате все витки бунта, несмотря на большую плотность намотки, подвергаются травлению быстро и равномерно по всей поверхности.

Ротационный способ травления уменьшает длительность обработки металла на 50–70% по сравнению с вибрационным. Применение ротационного способа травления возможно на всех травильных установках периодического действия.

Большой недостаток ротационного способа травления – выброс в атмосферу паров травильного раствора, требующий дополнительных расходов на усиление приточно-вытяжной вентиляции.

Этого недостатка лишен ротационный способ травления с использованием передвижных кабин (рис. 17).

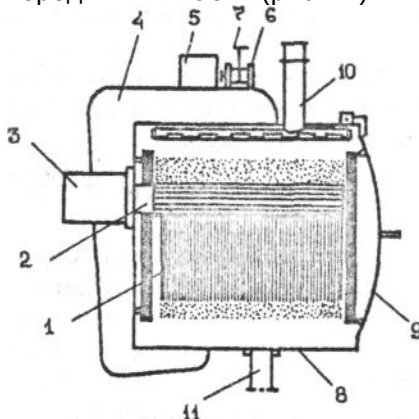


Рис. 17. Движущаяся травильная кабина закрытого типа для ротационного травления металла:

- 1 – обрабатываемый бунт; 2 – штанга; 3 – привод штанги;
- 4 – несущий элемент; 5 – транспортный двигатель; 6 – ходовая часть; 7 – монорельс; 8 – корпус кабины; 9 – дверь;
- 10 – верхний трубопровод; 11 – нижний трубопровод

Садку с металлом помещают на консольную штангу в кабину через боковой люк. Кабина от одной позиции к другой перемеща-

ется по рельсовой колее на уровне пола цеха или по подвесному монорельсовому пути. Насосом на вращающуюся садку сверху вниз подаётся травильный, другой обрабатывающий раствор или вода, которые стекают после обработки вниз и по трубопроводу направляются в соответствующие запасные ванны. Такая обработка сочетает эффект ротационного травления со струйной обработкой и обеспечивает резкое сокращение длительности обработки. Герметизация садки от внешней среды дает возможность работать с повышенными температурами травильных растворов (75°C при использовании соляной кислоты), что дополнительно и эффективно сокращает цикл травления.

Травильные агрегаты с такими кабинами не требуют системы отсоса паров из кабин и запасных ванн благодаря их полной герметизации, занимают небольшую площадь и значительно дешевле, чем туннельные.

Расчетная производительность ротационного способа травления, т/ч,

$$Q_{pom} = \frac{60M}{t}, \quad (2.10)$$

где t – время травления садки, мин.

Например, если общее время травления садки с катанкой массой 2,0 т в ваннах периодического действия составляет 40–45 мин, то при уменьшении времени травления на 70% производительность ротационного способа

$$Q_{pom} = \frac{60 \cdot 2}{12} = 10 \text{ т / ч.}$$

Этой же фирмой разработан другой тип агрегата для обработки металла ротационным способом в сочетании со струйным эффектом, в котором используют неподвижную большую кабину с несколькими вращающимися штангами. Травильные растворы и вода находятся в резервуарах ниже уровня пола и подаются в кабину насосами. Все виды обработки производятся в одной и той же кабине.

Теоретическая производительность при использовании ротационного способа обработки поверхности с несколькими вращающимися штангами, т/ч,

$$Q_{pom} = \frac{60Mm}{t}, \quad (2.11)$$

где m – количество вращающихся штанг в кабине.

2.14. Планетарный способ травления

Способ, разработанный в Германии, позволяет одновременно обрабатывать шесть компактных бунтов или мотков с производительностью 7–9 т/ч.

Основной элемент агрегата (рис. 18) – неглубокая кольцеобразная травильная ванна. В её центре установлен вращающийся вал, на котором смонтирована втулка с горизонтальными, вращающимися вокруг своей оси, штангами. Число штанг может быть различным в зависимости от требуемой производительности агрегата. Штанги в момент работы агрегата вращаются в результате передачи им вращательного движения через центральный вертикальный вал. Горизонтальные штанги касаются внутренней кромки ванны, вследствие чего они поворачиваются вместе с втулкой вокруг центрального вала. Бунт или моток навешивается на горизонтальную штангу, причем в травильный раствор погружается только нижняя его часть. Вращение горизонтальной штанги вокруг своей оси позволяет медленно поворачивать бунт или моток вокруг неё. В процессе вращения вокруг штанги бунт распушивается, что облегчает доступ травильного раствора между витками. Проходя через травильный раствор, нижняя часть бунта непрерывно захватывает некоторое его количество. При стоке жидкости в промежутках между витками осуществляется её повсеместное проникновение. Из-за кругового движения бунтов внутри ванны они интенсивно оmyваются травильным раствором, что улучшает условия травления.

Кольцеобразная травильная ванна агрегата сверху закрывается воронкообразным колпаком, который при загрузке ванны поднимается вверх на 2 м. Травильные и другие растворы подаются в ванну насосами из запасных резервуаров, размещенных ниже уровня пола цеха. Высота агрегата над уровнем пола составляет 3,6 м (30% высоты травильного агрегата туннельного типа), глубина – ниже уровня пола на 4 м. Общее пространство, необходимое для этого агрегата, составляет примерно 30% пространства, занимаемого агрегатом туннельного типа, что позволяет снизить капитальные вложения.

Применение агрегата дайной конструкции даёт возможность значительно сократить расход электроэнергии по сравнению с агрегатом туннельного типа в результате устранения операций погружения и подъема садки в каждой ванне для обработки, а также транспортировки от ванны к ванне. Исключаются затраты на ремонт выходящих из строя транспортных средств, используемых для этих операций. В агрегатах туннельного типа необходима вытяжная вентиляция внутри туннеля даже в случае его остановки, тогда как в установках данной конструкции травильный раствор после обработки сразу же сливается в запасной резервуар.

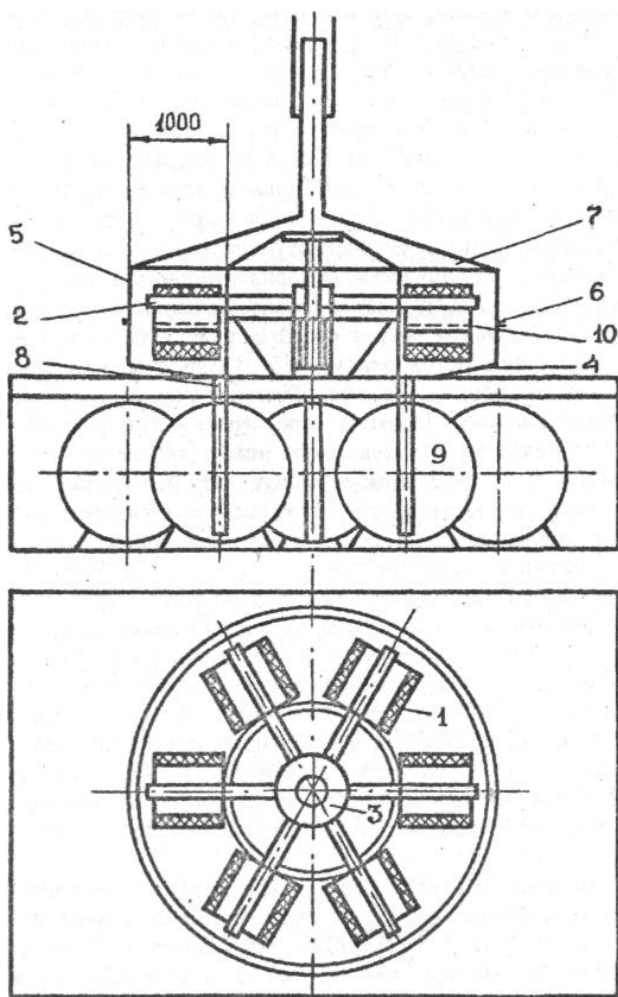


Рис. 18. Принципиальная схема травильного агрегата для обработки бунтов катанки и мотков проволоки их планетарным движением в травильном растворе: 1 – бунт или моток; 2 – вращающаяся штанга; 3 – втулка; 4, 5 – соответственно нижняя и верхняя части корпуса ванны; 6 – разделительный фланец; 7 – воронкообразный колпак; 8 – впускной и выпускной клапаны; 9 – запасные резервуары; 10 – уровень травильного раствора

В промежутках между отдельными стадиями обработки, а также после завершения её цикла (в период загрузки и выгрузки), в

ванне отсутствует травильный раствор и вытяжная вентиляция не требуется. Она включается только при работе агрегата, когда в ванне находится травильный раствор. Таким образом, агрегаты данной конструкции меньше загрязняют окружающую среду, отличаются низкими потерями кислоты и теплоты. При данном способе травления не требуется предварительного распушивания витков бунта или мотка из-за интенсивного проникновения травильного раствора. Данный способ травления наиболее эффективен для обработки фасонной проволоки, узкой ленты и труб в бунтах.

Теоретическая производительность при подготовке поверхности на установках планетарного действия, т/ч,

$$Q_{nl} = \frac{60Mm}{t}, \quad (2.12)$$

где m – число штанг с навесками металла;

t – общее время подготовки поверхности, мин.

В табл. 7 приведено сравнение различных способов химической подготовки поверхности при обработке бунтового металла. Анализ расчётных данных показывает, что при подготовке поверхности металла в бунтах и мотках в установках периодического действия экономически и технологически целесообразно применение установок туннельного типа, ротационного и планетарного способов обработки. Последние два способа предпочтительны, поскольку требуют минимальных производственных площадей и практически полностью исключают выброс травильных паров в окружающее пространство.

Таблица 7

Сравнение различных способов химической подготовки поверхности при обработке бунтового металла

Способ обработки	Производительность, т/ч	Занимаемая производственная площадь, м	Удельная производительность, т/(ч · м ²)	Количество обслуживающего персонала, чел.
Установки периодического действия	4,0	105,0	0,038	3
Виброобработка на установках периодического действия	8,0	105,0	0,076	3
Установки туннельного типа	18,0	84,0	0,21	2
Ротационный способ	10,0	105,0	0,10	3
Планетарный способ	12,0	20,0	0,6	2

В табл. 8 приведены основные показатели различных способов химической подготовки поверхности при обработке металла нитью.

Таблица 8

Сравнение различных способов химической подготовки поверхности при обработке металла нитью

№ п/п	Способ обработки	Производительность установки, т/ч	Производственная площадь, м ²	Удельная производительность, т/(ч · м ²)	Количество обслуживающего персонала,
1	Многониточные поточные агрегаты-комбайны	2,0	172,0	0,012	2
2	Струйная обработка на поточных агрегатах	2,0	157,5	0,013	2
3	Ультразвуковая обработка на поточных агрегатах	2,0	130,0	0,015	2
4	Электролитическое травление на поточных агрегатах	2,0	140,0	0,014	2
5	Способ Лупро	4,0	40,5	0,1	1
6	Способ Геликофил	7,33	18,6	0,4	1
7	Процесс MDA	2,24	24,5	0,09	1

На многониточных намоточных агрегатах-комбайнах скорость прохождения металла определяется в основном необходимой продолжительностью соответствующей термообработки на конкретном термическом агрегате. Интенсификация химической обработки в этом случае не приводит к повышению производительности агрегата в целом, несколько снижает необходимую производственную площадь за счет уменьшения длины ванн обработки и незначительно увеличивает удельную производительность. Эффект достигается прежде всего в связи с повышением качества обработки, снижением расхода металла и химических реагентов и энергоресурсов. Полная изоляция зеркала рабочих растворов от окружающей среды кроме выполнения санитарных функций способствует экономии химических материалов, энергетических затрат и средств на восстановление и ремонт оборудования и сооружений.

Наиболее перспективные методы химической обработки поверхности металла перед волочением, сочетающие высокую производительность и качество, компактность расположения оборудования и технологическую гибкость с обеспечением требований со-

временной промышленной санитарии – способы Гелиофил и Лу-про, процесс MDA. Дополнительное преимущество способов Лу-про, Гелиофил и процесса MDA – возможность их применения в потоке с волоочильными станами.

2.15. Расход химических реагентов при подготовке поверхности металла к волочению

По стехиометрическим расчётам для травления стальной катанки требуется 5,7 кг/т серной кислоты концентрации 60 Be (76%). Фактический же расход её в производственных условиях значительно выше по различным причинам. На величину расхода наиболее влияют количество и структура окалины. В зависимости от способов охлаждения катанки с температур прокатки количество окалины колеблется от 4 до 35 кг/т, а структура её может содержать разные объёмные количества вюстита, гематита и магнетита. Для уменьшения расхода кислоты в этом случае предпочтительна катанка после ускоренного двухстадийного регулируемого охлаждения, когда при её минимальном количестве структура состоит преимущественно из вюстита. На расход кислоты существенно влияет характер сцепления окалины с металлом. Наличие значительных количеств в стали сопутствующих (Mn, Si, S, P), случайных (Cr, Ni, Cu) или легирующих элементов и примесей обуславливает прочное сцепление окалины со сталью, что требует увеличения продолжительности травления, а следовательно, и расхода кислоты.

В табл. 9 приведены ориентировочные нормы расхода кислоты и вспомогательных материалов при подготовке поверхности металла к волочению.

Таблица 9

Расход кислоты и вспомогательных материалов при подготовке поверхности металла к волочению

№ п/п	Материал, ГОСТ	Технологическая операция	Норма расхода, кг/т
1	Кислота серная техническая. ГОСТ 2184-77	Катанка из низкоуглеродистой стали	30–40
		Катанка из средне- и высокоуглеродистой стали	45–50
		Катанка ускоренно-охлажденная	15–20
		Катанка после механического удаления окалины	10–15

Продолжение табл. 9

№ п/п	Материал, ГОСТ	Технологическая операция	Норма расхода, кг/т
		Катанка из нержавеющей и высоколегированной стали после обработки в щелочном расплаве Термообработанная заготовка из высоколегированных и нержавеющей сталей после обработки в щелочном расплаве Термообработанная заготовка всех марок Отбеливание нержавеющей и легированных сталей Получение рыхлой окислы на отожженном металле Меднение	30–50 15 10 5 15–20 0,5
2	Соль поваренная пищевая. ГОСТ 13830-68	Травление нержавеющей и легированных сталей Травление углеродистых сталей Известкование нержавеющей и легированных сталей	10,0 10,0 5,0
3	Присадка ЧМ-П. ГОСТ 9638-61	Травление металла	0,3–0,5
4	Ингибитор И – 1 – В. ТУ 38-403-38-74	“ ”	0,1–0,3
5	Ингибитор И– П– В. ТУ 38-403-30-73	“ ”	0,1–0,3
6	Ингибитор С-5	“ ”	0,3–0,5
7	Ингибитор ХОСП-10	Травление металла	0,05-0,2
8	Пеназолин 10-16	“ ”	0,05-0,1
9	Ингибитор БА-6	“ ”	0,1–0,3
10	Ингибитор ПКУ-С, ПКУ-К	“ ”	0,2–0,4
11	Ингибитор ПБ-5, ПБ-6	“ ”	0,1–0,3
12	Пенообразователь КБЖ. ГОСТ 8518-57	“ ”	0,1–0,3
13	Натрий едкий, технический. ГОСТ 2263-71	Щелочной расплав для нержавеющей и высоколегированных марок стали Обезжиривание проволоки и заготовки	10,0 2,0
14	Натрий азотно-кислый технический (селитра натриевая). ГОСТ 828-68	Щелочной расплав для нержавеющей и высоколегированных марок стали Травление нержавеющей и высоколегированных марок стали	10,0 10,0

Окончание табл. 9

№ п/п	Материал, ГОСТ	Технологическая операция	Норма расхода, кг/т
15	Железный купорос	Отбеливание высоколегированных и нержавеющей марок стали	5,0
16	Железо хлорное. ГОСТ 11159-76	Фосфатирование металла	0,5
17	Цинк фосфорно-кислый однозамещенный. ГОСТ 16992-78	Получение рыхлой окалины на отожженном металле	5,0
18	Цинк азотнокислый. ГОСТ 5106-77	Травление металла	15–20
19	Кислота ортофосфорная. ГОСТ 10678-76	Фосфатирование металла	3,0
20	Фосфатирующий концентрат КФЗ-1. ГОСТ 6-08-124-74	“ ”	7,0
21	Фосфатирующий концентрат КФЗ-2. ГОСТ 6-08-125-74	“ ”	6,0
22	Нитрит натрия. ГОСТ 19906-74	Меднение заготовки	2,2
23	Купорос медный. ГОСТ 19347-74	Бурирование заготовки	6,0
24	Столярный костный клей. ГОСТ 2067-71	Меднение заготовки	2,5
25	Известь строительная. ГОСТ 9179-70	Известкование металла	0,30
26	Бура техническая. ГОСТ 8429-77	Бурирование заготовки	0,028
27	Тринатрийфосфат. ГОСТ 13493-68	“ ”	8,0
28	Стекло натриевое жидкое. ГОСТ 13078-67	Остекление заготовки	4,0
29	Сода кальцинированная синтетическая. ГОСТ 5100-73	Остекление катанки и заготовки	0,5
30	Кислота соляная синтетическая. ГОСТ 857-78	Обезжиривание проволоки	0,2
31	Мыльный порошок. СТУ 27-880	Обезжиривание	1,0
		Катанка из углеродистых сталей	100
		Катанка ускоренно-охлажденная	45
		Катанка после механического удаления окалины	30
		Термообработанная заготовка	60
		Омыление	0,65

Упражнение

Покажите технико-экономические преимущества при интенсификации химической подготовки поверхности различными способами на установках периодического действия и при обработке металла нитью. Исходные данные можно взять в тексте, из литературы или из практики конкретного производства. Сравните полученные результаты с данными табл. 7 и 8. На каких показателях работы сталепроволочного цеха и каким образом отразятся эти преимущества.

Пример. Определить потребное количество агрегатов туннельного типа и состав обычного травильного отделения с установками периодического действия для подготовки поверхности катанки из сталей марок 50–70 с годовой производительностью 170 тыс.т. Оценить эффективность применения агрегатов туннельного типа.

Ответ. Примем массу садки для обоих вариантов $M = 2,5$ т. Оборудование травильного отделения работает по прерывному графику с действительным годовым фондом рабочего времени $T_1 = 5850$ ч.

Обычное травильное отделение

Производительность ванны травления

$$Q_{mp} = \frac{60 \cdot M}{t_{mp} + t_n + t_{don}} = \frac{60 \cdot 2,5}{35} = 4,29 \text{ т / ч.}$$

Производительность сушильной камеры при продолжительности сушки катанки $t_c = 10$ мин

$$Q_c = \frac{60 \cdot M}{t_c} = \frac{60 \cdot 2,5}{10} = 15 \text{ т / ч.}$$

Для выполнения годовой программы требуется: травильных ванн

$$n_{mp} = \frac{V_r}{Q_{mp} \cdot T_1} = \frac{170000}{4,29 \cdot 5850} = 6,8$$

(принимаем с учётом ванны резерва $n_{mp} = 8$); сушильных камер

$$n_c = \frac{V_r}{Q_c \cdot T_1} = \frac{170000}{15 \cdot 5850} = 1,93 \approx n_c = 2.$$

Определяем состав травильного отделения:

ванны для травления – 8; ванна для холодной промывки с душирующим устройством; ванна для горячей промывки; ванна для бурирования; сушильные камеры – 2. Итого 13 ванн. Для рабо-

ты в травильном отделении требуется 6 человек обслуживающего персонала. Необходимая производственная площадь составляет 500 м² (определяется расчетом).

Удельная производительность на единицу производственной площади

$$Q_{уд.мп} = \frac{Q_{мп}}{S_{мп}} = \frac{4.29}{500} = 0.00858 \quad m/(ч \cdot м^2).$$

Удельная производительность одного рабочего

$$Q_{раб.мп} = \frac{4.29}{6} = 0.0715 \quad m/(ч \cdot чел).$$

Отделение с установками туннельного типа

Производительность агрегата туннельного типа при продолжительности всего цикла обработки $T_u = 60$ мин, перекрытия цикла $T_n = 50$ мин, ритма обработки $T_p = 10$ мин.

$$Q_{.тун} = \frac{60 \cdot 2.5}{10} = 15 \quad m/ч.$$

Для выполнения годовой программы требуется агрегатов

$$n_{.тун} = \frac{170000}{15 \cdot 5850} = 1.94; \quad n_{.тун} = 2.$$

В состав агрегата туннельного типа входят: 4 ванны для травления (одна резервная), ванна для холодной промывки, ванна для бурирования, сушильная камера. Итого 7 ванн. Каждый агрегат обслуживают 6 тельферов.

Для обслуживания двух агрегатов туннельного типа требуется четверо рабочих. Необходимая производственная площадь составит 400 м². Удельная производительность на единицу производственной площади

$$Q_{уд.тун} = \frac{15}{400} = 0.0375 \quad m/(ч \cdot м^2).$$

Удельная производительность одного рабочего

$$Q_{раб.тун} = \frac{15}{4} = 3.75 \quad m/(ч \cdot чел).$$

Эффективность установки туннельного типа по производительности одного рабочего составляет 525%, по использованию производственных площадей – 43%.

Глава 3. МЕХАНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ УДАЛЕНИЯ ОКАЛИНЫ

Удаление окалины с поверхности горячекатаного металла травлением в растворах кислот и солей, щелочах и расплавах характеризуется низкой производительностью процесса, значительными технологическими и энергетическими затратами, дополнительным расходом металла, большими капитальными затратами на строительство, содержание и ремонт установок для регенерации и нейтрализации отработанных травильных растворов. Травлению сопутствуют повышенное загрязнение окружающей среды, нарушение экологического равновесия и неблагоприятные санитарные условия труда производственного персонала. Использование химических соединений требует дополнительных капитальных затрат на защиту зданий и сооружений от агрессивных реагентов.

Одна из актуальных задач сталепроволочного производства – замена химических способов удаления окалины на механические. В качестве позитивного фактора в пользу механического удаления окалины может служить высвобождение из производства огромного количества кислот и передача их для нужд других отраслей материального производства.

Таким образом, предпосылки для применения механического удаления окалины следующие: оздоровление условий труда, охрана природы (особенно водного бассейна), улучшение качества металла за счет устранения травильной хрупкости, экономия металла и улучшение технико-экономических показателей производства за счет исключения расходов на кислоту, вспомогательные материалы, содержание регенерационных и нейтрализационных установок, дорогостоящей транспортировки и хранения кислоты и кислотных растворов.

Существуют следующие способы механического удаления окалины с поверхности горячекатаных прутков и катанки, основанные на разных принципах воздействия на обрабатываемую поверхность:

- применение растяжения, знакопеременного изгиба, кручения или их совместное действие;
- прямое воздействие на поверхность стального изделия специальных реагентов: гидросбива, металлической дроби, стальной сечки, песка и других абразивных материалов;
- использование лезвийного режущего (резцов, фрез), специального микрорезцового (иглофрезы), абразивного (круп., ленты) инструмента и проволочных щеток. Часто эти способы используют совместно друг с другом.

Целесообразность того или иного способа механического удаления окалины определяет вид обрабатываемого изделия, ос-

новные технологические параметры последующего процесса волочения (технологичность и устойчивость самого процесса волочения, расход инструмента, качество поверхности проволоки, требования к качеству готовой проволоки) и технико-экономические показатели способа.

3.1. Удаление окалины в роликовых окалиноломателях

Удаление окалины в роликовых окалиноломателях – один из наиболее простых, экономичных и распространенных способов. Ролики располагаются в одной или в нескольких плоскостях. Роликовые окалиноломатели применяются в основном двух типов: для катанки диаметром 4,0–7,0 мм с фиксированным расположением роликов, установленных в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 19), а для толстой катанки (свыше 7 мм) – с регулируемым изгибом между роликами (рис. 20).

Окалиноломатели второго типа имеют от трех до пяти роликов в одной группе, причём катанка последовательно изгибается в двух плоскостях между опорными и нажимными роликами.

Принцип удаления окалины в подобных роликовых окалиноломателях состоит в совместном действии знакопеременного изгиба и растяжения. При этом поверхностные слои катанки попеременно испытывают деформации удлинения и сжатия. В результате упругопластической деформации окалина, вследствие своей хрупкости, отделяется от металла. Например, при растяжении проволоки с удлинением 3–5% окалина начинает трескаться и частично осыпается, при удлинении 12% – полностью удаляется с поверхности стали. Однако при удлинении 12% исчерпывается запас пластических свойств или возрастание силы окалиноломания приводит к интенсивному снижению коэффициента запаса прочности при последующем волочении. Поэтому большинство установок рассчитано на относительное удлинение 6–8%. Таким образом, качество очистки, т.е. количество удаленной окалины, пропорционально относительной деформации поверхностных слоев катанки.

Требуемое относительное удлинение поверхностного слоя для роликовых устройств первого типа определяется диаметром окалиноломающих роликов D и диаметром катанки d (рис. 21, а)

$$\delta = \frac{(R + d)\alpha - (R + \frac{d}{2})\alpha}{(R + \frac{d}{2})\alpha} = \frac{100}{\frac{D}{d} + 1} \% \quad (3.1)$$

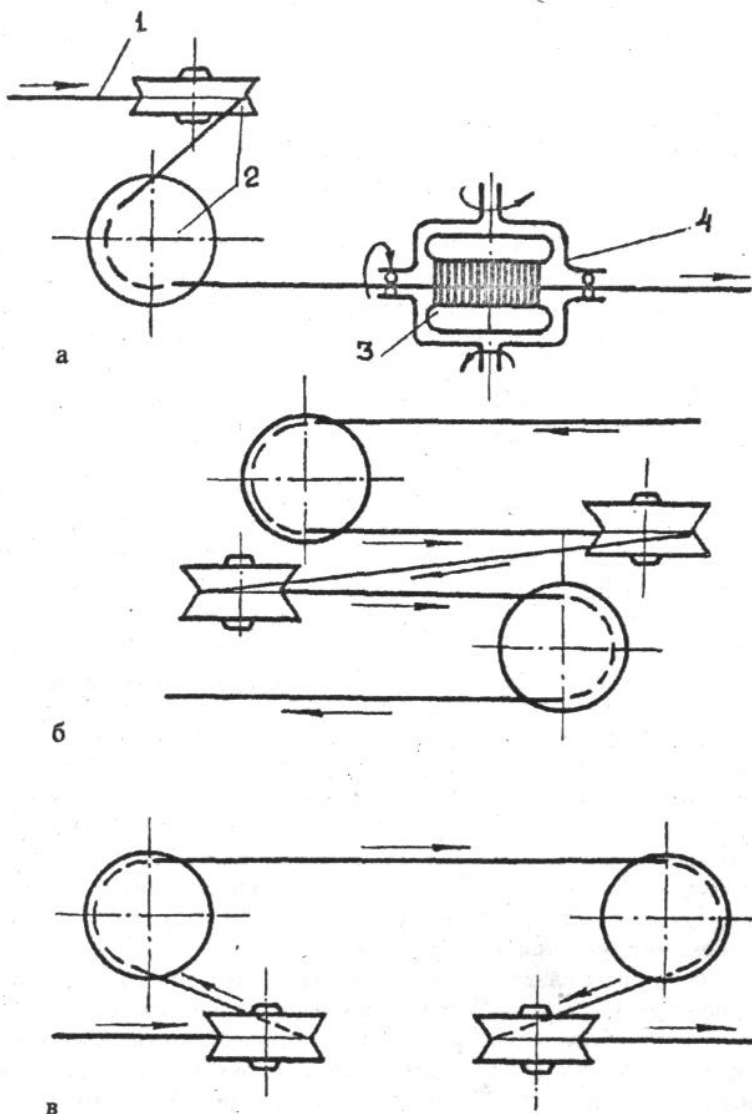
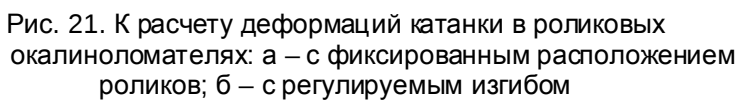
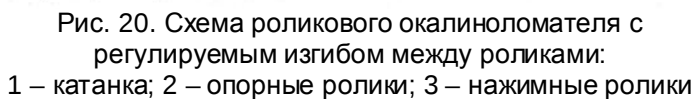


Рис. 19. Схемы роликовых окалиноломателей с фиксированным расположением роликов:
а – окалиноломатель фирмы Gors; б – окалиноломатель фирмы Morclean; в – окалиноломатель ВНИИМЕТИЗа;
1 – катанка; 2 – окалиноломающие ролики;
3 – вращающиеся щетки; 4 – корпус щеток



Диаметр окалиноломающих роликов устанавливают в зависимости от диаметра обрабатываемой катанки и необходимой степени пластической деформации

$$D = \frac{d}{\delta}(100 - \delta). \quad (3.2)$$

Как видно из уравнения (3.2), степень деформации поверхностных слоев катанки зависит только от диаметра обрабатываемой катанки и диаметра окалиноломающих роликов. При данном диаметре катанки, изменяя диаметр окалиноломающих роликов, получают нужную (рациональную) степень деформации.

Для роликовых окалиноломателей с регулируемым изгибом величина деформации поверхностных слоев катанки определяется следующим образом.

Рассмотрим окалиноломатель, содержащий в одной плоскостной группе три ролика с радиусами r и R . Расстояние между центрами опорных роликов разобьем на четыре участка (см. рис. 20, 21, б).

Суммарная степень деформации поверхностных слоев катанки в одной плоскостной группе, исходя из правила аддитивности, составит

$$\ln \varepsilon = \ln \varepsilon_1 + \ln \varepsilon_2 + \ln \varepsilon_3 + \ln \varepsilon_4. \quad (3.3)$$

Истинная степень деформации на каждом участке:

$$\ln \varepsilon_1 = \ln \left(1 + \frac{d/2}{(r+d/2)} \cdot \frac{\phi_1}{90} \right); \quad (3.4)$$

$$\ln \varepsilon_2 = \ln \left[\frac{0,0175(r+d) \sin \phi_1 + l_1}{0,0175(r+d/2) \cos \phi_1 + l_1} \right]; \quad (3.5)$$

$$\ln \varepsilon_3 = \ln \left[\frac{0,0175(r+d) \sin \phi_2 + l_2}{0,0175(r+d/2) \cos \phi_2 + l_2} \right]; \quad (3.6)$$

$$\ln \varepsilon_4 = \ln \left(1 + \frac{d/2}{(R+d/2)} \cdot \frac{\phi_2}{90} \right). \quad (3.7)$$

где R, r – радиусы опорного и нажимного роликов, мм;

$\phi_{1,2}$ – углы сопряжения катанки с окалиноломающими роликами, град;

t – межосевое расстояние между роликами, мм;

L – величина перемещения центра нажимного ролика, мм.

Как следует из уравнений (3.4)–(3.7), для определения деформации поверхностных слоев в этом случае кроме диаметров роликов R, r и катанки d необходимо знать углы сопряжения катан-

ки с окалиноломающими роликами φ_1 и φ_2 и длины прямолинейных участков l_1 и l_2 (см. рис. 20, 21, б).

Из геометрии роликового окалиноломателя определим углы сопряжения и длину прямолинейного участка катанки:

$$\cos \phi_i = \frac{(R+r+d)^2 - L(R+r+d) + t\sqrt{t^2 + L^2 - 2L(R+r+d)}}{t^2 + (R+r+d-L)^2}, \quad (3.8)$$

где t – расстояние между центрами окалиноломающих роликов (шаг окалиноломающих роликов);

$$l_1 = \frac{t - (R+r+d) \sin \phi_i}{\cos \phi_i}. \quad (3.9)$$

Подставив найденные значения ϕ_i и l_i в уравнения (3.4)–(3.7), определим степень деформации катанки при обработке её в роликовом окалиноломателе с регулируемым изгибом катанки в одной плоскости изгиба.

Таким образом, суммарная величина деформации будет определяться диаметрами катанки и окалиноломающих роликов, их количеством, шагом роликов и величиной прогиба.

Для нахождения геометрических параметров роликовых окалиноломателей на рис. 22 изображена номограмма, по которой можно находить диаметр окалиноломающих роликов для двухроликового окалиноломателя, диаметр окалиноломающих роликов и величину перемещения центра нажимного ролика для шестироликового окалиноломателя.

Пример пользования номограммой

Двухроликовый окалиноломатель. Задаваясь степенью деформации поверхностных слоев катанки 8%, вычисляют $\frac{D_p}{d_k} = 11,5$. Зная диаметр обрабатываемой катанки, находят диаметр окалиноломающих роликов.

Шестироликовый окалиноломатель. Шаг роликов окалиноломателя – 150 мм, степень деформации поверхностных слоев катанки диаметром 8 мм – 8%. Тогда $D_p + d_k = 78$ мм при $L = 60$ мм.

Однако на практике при выборе диаметра роликов для окалиноломателей первого типа и параметров R , g , L , t для окалиноломателей второго типа следует иметь в виду, что с уменьшением диаметра роликов и увеличением стрелы прогиба наряду с улучшением качества очистки увеличивается сила, необходимая для протяжки катанки через роликовые устройства, и ухудшаются показатели пластичности обрабатываемого металла. Поэтому при

выборе оптимальных условий окалиноломания следует учитывать совместное действие этих факторов и их взаимодействия.

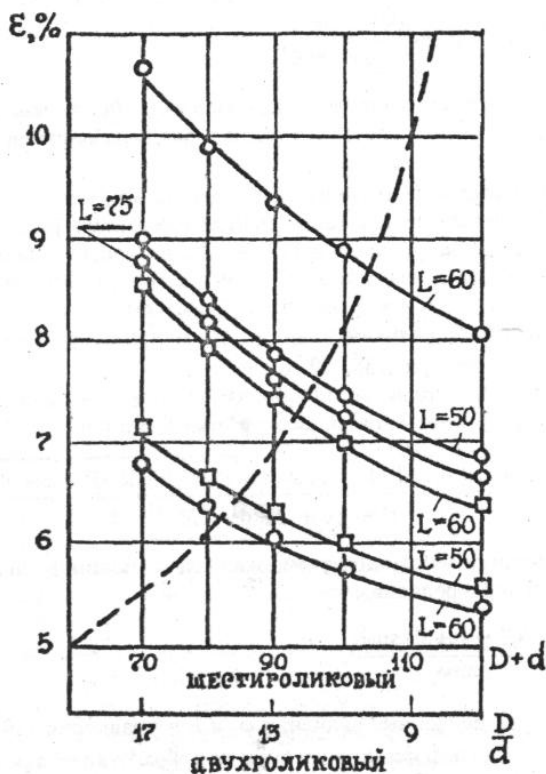


Рис. 22. Определение геометрических параметров двух- (- - -) и шестироликового (-----) окалиноломателей

Результаты исследования процесса механического удаления окалины с катанки в роликовых окалиноломателях обоих типов показали, что значения диаметра 48–102 мм роликов окалиноломателя первого типа несущественно влияют на количество остаточной окалины при её механическом удалении.

Аналогичная картина наблюдается и при удалении окалины на окалиноломателях второго типа при изменении величины прогиба нажимного ролика от 15 до 78 мм.

При реально допустимой величине степени деформации количество остаточной окалины на катанке после её обработки в роликовых окалиноломателях составляет 0,5–1,5 кг/т, что вынуждает

применять дополнительные средства для полной очистки поверхности от остатков окалины.

В результате знакопеременного изгиба с растяжением происходит изменение механических свойств катанки. При обработке в двухроликовом окалиноломателе катанки диаметром 6,5 мм со степенью деформации 6,0–11,9% и катанки диаметром 8,0 мм со степенью деформации 7,3–14,3% предел прочности увеличивается на 5–15%; число гибов снижается на 5–36%; число скручиваний уменьшается на 8–38% (для катанки диаметром 8,0 мм соответственно на 6–12%, 3–24%, 5–22%) в зависимости от марки стали. После обработки в шестироликовом окалиноломателе катанки диаметром 6,5 мм со степенью деформации 4,1–14,0% и катанки диаметром 8,0 мм со степенью деформации 5,1–17,4% предел прочности увеличивается на 3–16%; число гибов снижается на 8–30%; число скручиваний уменьшается на 7–35% (для катанки диаметром 8,0 мм соответственно на 5–22%, 2–22%, 6–30%). Статистический анализ полученных данных показывает, что значительное изменение механических свойств начинается со степени деформации 7–8%.

Силовые условия окалиноломания соответствуют уравнениям регрессии:

– для двухроликового окалиноломателя (типа Горси)

$$Q = 62,8d - 3,7D + 240C - 30 \quad (3.10)$$

или

$$Q = 28,6d + 240C + 30,3\varepsilon - 345,4; \quad (3.11)$$

для шестироликового окалиноломателя (конструкции АЗТМ)

$$Q = 92,4d + 5,7\Pi + 243C - 689 \quad (3.12)$$

или

$$Q = 43,3d + 238,5C + 33\varepsilon - 400, \quad (3.13)$$

где Q – сила протягивания катанки через окалиноломатель, кгс ($\text{Н} \cdot 10^1$);

d – диаметр катанки, мм;

D – диаметр окалиноломающих роликов, мм;

Π – величина прогиба катанки, мм;

C – содержание углерода в стали, %;

ε – степень деформации, %.

Практика работы роликовых окалиноломателей показывает, что оптимальными режимами механического удаления окалины при знакопеременном изгибе с растяжением с точки зрения минимального усилия окалиноломания, наименьшего количества остаточной окалины и возможного сохранения исходных механических

свойств катанки, следует считать для двухроликового окалиноломателя (типа Горси) отношение диаметра роликов к диаметру катанки $D/d = 14 - 16$ ($\epsilon = 6-7\%$); для шестироликового окалиноломателя (промышленная конструкция АЗТМ) для катанки диаметром 6,5 мм величина прогиба $\Pi = 25$ мм ($\epsilon = 8\%$), для катанки диаметром 8,0 мм $\Pi = 15$ мм ($\epsilon = 6\%$).

На Орловском сталепрокатном заводе разработан роликовый окалиноломатель, в котором окалину удаляют совместным действием знакопеременного изгиба, кручения и растяжения. На рис. 23 изображена принципиальная схема этого окалиноломателя.

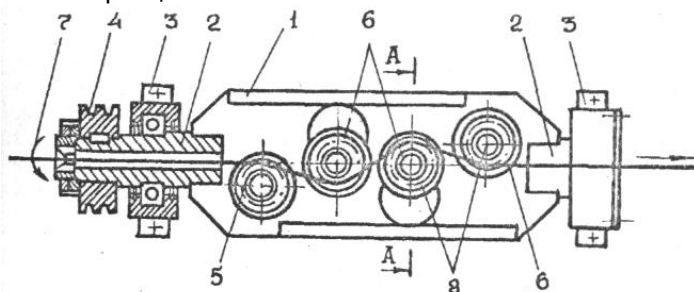


Рис. 23. Схема вращающегося окалиноломателя для удаления окалины с катанки диаметром до 9,0 мм

Вращающийся окалиноломатель содержит основание 1 с полыми полуосями 2, установленными в подшипниковых узлах 3 с приводным шкивом 4. На основании расположены направляющие ролики 5 и рабочие ролики 6, которые изгибают очищаемый металл 7. Рабочие ролики расположены консольно на осях 8, фиксируемых на основании гайками. Для перемещения рабочих роликов в направлении, перпендикулярном к оси движения очищаемого металла, предусмотрены нажимные винты.

Вращающийся окалиноломатель удаляет окалину следующим образом: катанка 7 через полые полуоси 2 огибает ролики 5 и 6 и приводит их во вращение. В результате огибания роликов очищаемая катанка защемляется в перпендикулярном направлении основанием 1 окалиноломателя, из-за чего крутящий момент от привода через шкив 4 передается на катанку при её осевом перемещении. В очищаемом металле до и после окалиноломателя (в случае двустороннего защемления катанки) образуются зоны скручивания, степень деформации в которых определяется соотношением осевой скорости перемещения катанки и окружной скорости основания. Перед входом в окалиноломатель катанка закручивается на определенный угол, в результате чего её поверхность де-

формируется и окалина как наиболее хрупкий материал растрескивается и равномерно отслаивается. После прохождения через окалиноломатель катанка раскручивается и разведением роликов устраняется проскальзывание (прокрутка) катанки относительно основания. Изменяя величину угла скручивания, можно в широких пределах регулировать степень деформации (степень очистки) металла. Диапазон регулирования расширяют также за счет величины изгиба катанки рабочими роликами 6. На практике величину изгиба определяли из расчета только лишь «защемления» катанки в основании окалиноломателя и брали минимально допустимой, что для катанки диаметром 6,5 мм составило 15–20 мм. Оптимальный угол закручивания подобран опытным путём и равен 3–4 об/м, т.е. относительный угол закручивания $\alpha = 10\text{--}15$ град/см, что обеспечивало удаление окалины с поверхности катанки до 0,545 кг/т. При этом упрочнение катанки после окалиноломателя было незначительным.

Важное технологическое преимущество вращающегося окалиноломателя – возможность широкого варьирования качества очистки катанки от окалины изменением степени деформации поверхности кручением и получение регулируемых значений противонапряжения.

Роликовые окалиноломатели с устройствами тонкой очистки целесообразно использовать в потоке с волочильными станами.

Для этого необходимо выполнение ряда условий.

1. Окалина на катанке должна состоять преимущественно из вюсгита, что достигается регулируемым ускоренным охлаждением катанки с прокатного нагрева.

2. Режимы окалиноломания в роликовых окалиноломателях не обеспечивают достаточно полного удаления окалины с поверхности катанки. Наличие остаточной окалины в количестве 0,5–1,5 кг/т требует использования дополнительных средств тонкой очистки, причем на поверхности катанки должно оставаться не более 7 г/м² окалины в виде вюсгита.

3. Катанка перед волочением должна быть подвергнута высокотемпературной сушке, целесообразно в растворе кипящей извести.

4. Предпочтительны смазки в виде металлических мыл, например стеаратов натрия, кальция и алюминия с добавлением дисульфида молибдена. Смазка должна состоять из смеси мелких и грубых частиц (10–40 межситового анализа).

5. Роликовые окалиноломатели рекомендуется применять с одно- и двукратным волочильными станами. Частные обжатия» не должны превышать 20–25% при скорости волочения 100–200 м/мин.

Для многократного волочения в потоке с роликовым окалиноломанием рекомендуются роликовые волокни.

Для обычного многократного волочения катанку после роликового окалиноломателя следует слегка подтравить и нанести необходимый подсмазочный слой.

3.2. Струйная обработка поверхности

При струйной обработке на поверхность обрабатываемого материала с большой скоростью направляется концентрированный поток специального реагента – дробы или абразивного материала. Кинетическая энергия выброшенного реагента при этом выполняет необходимую работу: ломает или отслаивает окалину, придает требуемую шероховатость поверхности или нивелирует её, а также упрочняет поверхностный слой.

По принципу получения реагентом кинетической энергии струйная обработка подразделяется на дробеметную, дробеструйную и пескоструйную.

3.2.1. Дробеметная обработка

При этом способе окалина удаляется с поверхности металла струей дробы или металлической сечки, получающей большую кинетическую энергию за счет центробежной силы рабочих колес, вращающихся с высокой частотой.

На рис. 24 показана схема подачи факела дробы на металл и ее распределение.

Наличие внутри рабочего колеса гильзы с прорезями обуславливает достижение точной подачи дробы на лопатки и обеспечение формирования факела дробы. Дробь отдает энергию поверхности обрабатываемого изделия, уносится из зоны очистки с помощью шнекового конвейера, затем поступает в сепаратор, где удаляются колотая дробь и частицы окалины. Очищенная дробь снова возвращается в бункер, питающий лопастное колесо. Струя дробы, выходящая из дробеметного колеса, состоит из трех зон: ведущей, центральной и хвостовой (рис. 24). Наибольший эффект достигается при прохождении струи под углом не более 30° по обе стороны от вертикали, проведенной от точки её выброса на обрабатываемую поверхность. Центральная зона факела дробы как раз удовлетворяет этому условию.

Основная деталь дробеметной установки – дробеметное колесо, представляющее собой один или пару дисков диаметром 300–600 мм, шириной 40–65 мм, с лопатками из износостойкой

стали. Колеса вращаются со скоростью 2–3 тыс. об/мин от электродвигателя мощностью 6–22 кВт. На современных дробеметных установках скорость струи дробы составляет 20–90 м/с. Например, при диаметре диска $D = 600$ мм и частоте вращения $n = 3000$ об/мин скорость вылета дробы

$$V = \frac{\pi D n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,6 \cdot 3000}{60} = 94,2 \text{ м/с}.$$

При дробеметной очистке применяют чугунную или стальную дробь. Её получают под действием водяной или воздушной струи, направленной под давлением 2,5–5 атм. на тонкую струю расплавленного чугуна или стали (литая дробь), или размельчением в специальных валках литой дробы в зерна размером 0,1–2 мм («колотая» дробь). В качестве дробы можно использовать сечку, которую изготавливают рубкой проволоки, типа канатной, диаметром 0,4–1,5 мм с пределом прочности 1568–2744 Н/мм² (150–280 кгс/мм²). Длина сечки равна диаметру проволоки.

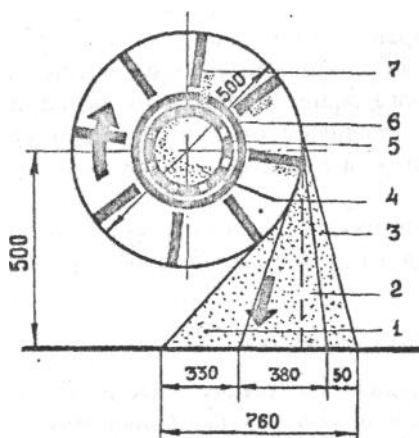


Рис. 24. Принципиальная схема дробеметной установки:

- 1 – хвостовая зона; 2 – центральная зона;
- 3 – ведущая зона; 4 – дробь;
- 5 – распределительная гильза; 6 – гильза с выхлопным отверстием; 7 – метательные лопатки

В табл. 10 приведены свойства дробы, применяемой при дробеметной очистке поверхности стали от окалины.

Таблица 10

Свойства дробы

Дробь	Материал	Содержание С, Si, Mn соответственно, %	Структура	Твердость по Роквеллу	Расход дробы, г/м ²	Срок службы
Сечка стальной проволоки	Тянутая, предварительно патентованная стальная проволока	0,45–0,75 0,10–0,30 0,40–1,20	Равномерный тонкослойный вытянутый сорбит	48–52	15–30	Максимальный
Литая из отбеленного чугуна	Белый чугун	2,8 – 3,6 0,6–2,0 0,4 – 0,9	Мартенсит (перлит с включениями карбида железа)	62–68 35–64	20–30	Минимальный
Литая из стали	Стальное литье	0,74 – 1,20 0,40–1,50 0,30	Однородный мартенсит, сорбит и бейнит; при 0,3% С - вид маншгеттова структура	После термообработки: 45-52	20–40	Среднее значение между сечкой и чугунной дробью

В процессе работы дробеметной установки одна и та же дробь используется несколько раз. При многократном использовании дробь изнашивается и удаляется в сепараторе.

Для практических целей часто используется дробь в виде смеси трех размеров: 0,2–0,4; 0,4–0,6; 0,6–0,8 мм. Дробь размером меньше 0,2 мм удаляется; для поддержания нужного состава добавляется новая дробь диаметром 0,6–0,8 мм. Расход дроби составляет 1,3 кг/т.

Эффективность дробеметной обработки зависит от количества и структуры окалины. На рис. 25 показана зависимость времени дробеструйной обработки от толщины слоя окалины при различных температурах её образования.

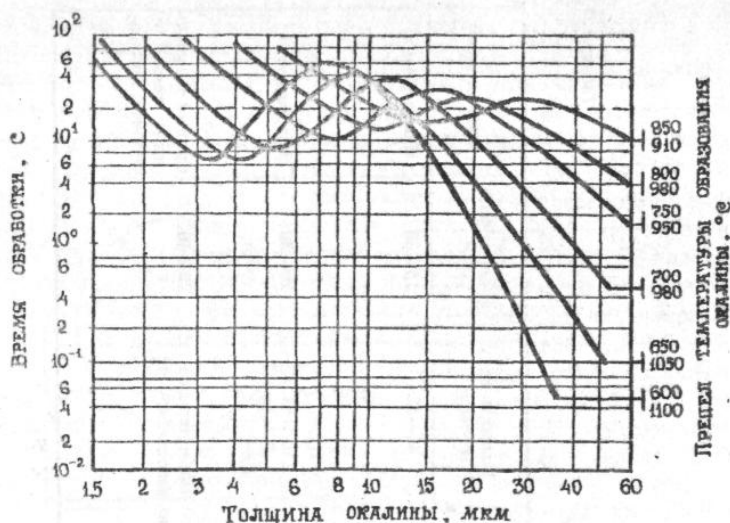


Рис. 25. Диаграмма зависимости времени дробеструйной обработки от интервала температуры образования окалины и ее толщины (дробь – корунд 0,8 мм; скорость – 30 м/с)

Левая часть кривых характерна для очень тонкого слоя окалины с большим содержанием вюстита, прочно связанного с основным металлом. Для удаления окалины, образовавшейся при этих условиях, необходимо длительное время обработки. Минимум кривых образуется за счет снижения прочности сцепления окалины с одновременным увеличением её толщины. Дальнейший ход кривых показывает, что с увеличением количества окалины продолжительность дробеструйной обработки начинает увеличиваться. Вероятно, это объясняется тем, что в структуре окалины

начинают преобладать оксиды в виде магнетита и гематита, имеющие большую твердость, чем вюстит и, следовательно, требующие больше энергии для удаления окалины. С дальнейшим увеличением толщины слоя оксидов продолжительность дробеметной обработки уменьшается. В толстом слое окалины начинают возникать значительные остаточные напряжения, которые в сочетании с энергией факела дробы вынуждают окалину отделяться целыми слоями.

В зависимости от способа очистки различают дробеметные установки проходные и бунтовые. Обработку металла в нитку выполняют проходными установками поперечного или продольного действия с одновременной обработкой до 40 и 1–5 ниток соответственно; обработку металла в бунтах – установками со спиральным прохождением металла (рис. 26).

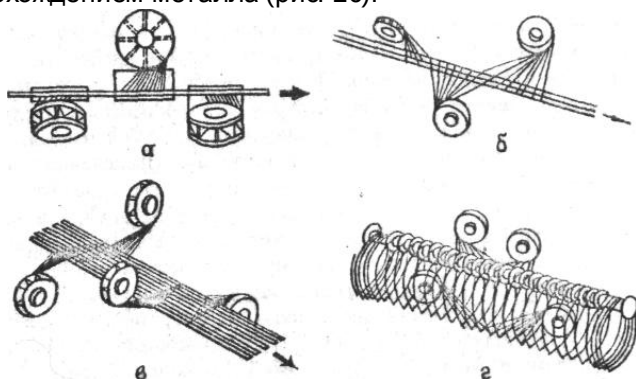


Рис. 26. Схемы дробеметных установок:

а – проходная однопровиточная; б, в – проходная многопровиточная соответственно с продольной и поперечной подачей дробы; г – со спиральным прохождением металла

Рассмотрим некоторые технические данные 4-провиточной линии продольной дробеструйной обработки:

производительность линии для катанки диаметром 6,0 мм при скорости прохождения 60 м/мин составляет 3,0 т/ч;

длина технологической линии дробеструйной обработки и волочения составляет около 30 м при ширине 10 м;

расход дробы – 160 кг на 8 ч работы на одной дробеметной установке;

срок службы дробеметных колес – 250–500 ч;

срок службы установки составляет приблизительно 2–4 года при 6000 ч работы в течение года;

внутренняя облицовка дробеметной камеры изготовлена из стали с содержанием 2,1% С и 12% Cr;
требуемая мощность одной линии – 100 кВт;
шум на рабочем месте – около 90 дБ;
стоимость обработки на 40% ниже обычной стоимости метода травления при такой же производительности.

Для удаления окалины с катанки диаметром 7–22 мм в бунтах диаметром 550–1350 мм перед входом в рабочую камеру нитка катанки с помощью вращающихся дисков высокой износостойкости приобретает форму равномерной спирали. Средняя скорость линейного движения нитки катанки – 3 м/с. Для очистки бунтов диаметром 550–890 мм используются только два дробеметных колеса; для бунтов диаметром 900–1350 мм требуется четыре дробеметных колеса, причём два из них направляют поток дроби на внешнюю сторону спирали, а два других – на внутреннюю. Для сохранения непрерывности процесса концы катанки свариваются между собой (см. рис. 26).

Дробеметному способу очистки присущи определенные недостатки. Колеса в данных установках – это довольно сложные механические агрегаты, требующие высококачественных подшипников и соответствующей смазки. Поскольку колеса помещаются внутри камеры, необходимо по возможности защищать детали от абразива и окалины, чтобы достигнуть хорошего срока их службы. Части, не защищенные от непосредственного попадания абразива или отражающие абразив, должны иметь покрытие из износостойкого материала для устранения возможного разрушения установки за короткий срок работы. Эти требования не всегда выполнялись в первых установках с применением вращающегося колеса, поэтому они были склонны к саморазрушению. При отсутствии мощных пылеуловителей вокруг установки дробеметной зачистки происходит загрязнение окружающего воздуха очень мелкими частицами окалины и абразива. Такая атмосфера очень вредна для обслуживающего персонала и всех видов механизмов и может увеличить степень износа подвижных деталей в несколько раз. Однако последние конструкции установок более совершенны и значительно более надежны, чем первые.

3.2.2. Дробеструйная и пескоструйная обработка

Эти способы очистки поверхности металла состоят в её обработке потоком мелких твёрдых частиц, находящихся во взвешенном состоянии.

Дробеструйная и пескоструйная обработка отличается от дробеметной тем, что кинетическая энергия металлической дробы сечке (дробеструйная обработка) и абразиву (пескоструйная) сообщается потоком жидкости или сжатого воздуха. Как абразив при пескоструйной обработке используются безглинистый кварцевый песок (размер зерен – 0,5–2,5 мм), мелкие зерна плавленной окиси алюминия, карбида кремния и другие мелкозернистые абразивные материалы. Они подаются на поверхность металла с помощью сжатого воздуха со скоростью 100 м/с. Жидкость, в которой частицы находятся во взвешенном состоянии, смывает с поверхности загрязнения и остатки окалины.

Эффективен способ мокрой очистки Vaqua для удаления окалины с поверхности катанки струей водной суспензии, состоящей из частиц абразива (кварцевый песок) с исходным размером около 0,25–0,30 мм. Суспензия с абразивом подаётся на обрабатываемый металл через сопла 6 под действием струи сжатого воздуха 1. Суспензия поступает в сопла от насоса 3. Струя попадает на обрабатываемую поверхность, а изношенный абразив и удаленная окалина выводятся из камеры 5 в её нижнюю часть и отводятся для сепарации (рис. 27).

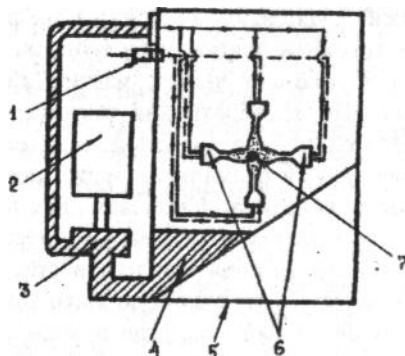


Рис.27. Схема установки Vaqua с продольным расположением сопел для устранения взаимодействия струи абразива: 1 – сжатый воздух; 2 – двигатель; 3 – насос; 4 – жидкий абразив; 5 – камера; 6 – сопла для подачи абразива; 7 – катанка

Обрабатываемый металл в одну–четыре нитки движется через камеру высотой 115 мм с соплами, установленными в стенках по четыре штуки со смещением на 90°. Например, в установке для обработки металла в четыре нитки с катанки из низкоуглеродистой

стали диаметром 5,4 мм окалину удаляли струей абразива со скоростью 25 м/мин. На катанке было 170 г/м² окалины, а после обработки осталось около 5 г/м². Перед обработкой катанка подвергалась предварительному удалению окалины попеременным изгибанием в двух роликах диаметром 100 мм, смонтированных на входной стороне камеры. Избыточное давление воздуха составляло 58 МПа, диаметр трубки для его подвода в сопло – 6 мм, диаметр выходного отверстия – 13 мм. После зачистки от окалины катанку проводили через промывочную ванну и наматывали в бунт. Производительность 4-ниточной установки при обработке катанки диаметром 5,5 мм составляет 1 т/ч, расход абразива – 11 кг/т, сжатого воздуха – 280 м³/т, суспензия подается в сопло насосом производительностью 55 тыс. л/ч.

Установки мокрой очистки могут быть помещены сразу за патентировочной ванной. Катанка, выходя из установки, промывается, фосфатируется и покрывается бурой. Установки оборудованы системами сепарации и повторной загрузки (рециркуляции) отработанного абразива, который считают непригодным только при диаметре 0,06– 0,08 мм.

Установки мокрой очистки входят в состав комплексных линий, включающих в себя роликовые окалиноломатели, ванны для нанесения подмазочного слоя и промывки, устройства для сушки и волочильный стан. Катанка диаметром 5,5 мм со скоростью 100 м/мин проходит роликовый окалиноломатель, в котором удаляется 70–80% окалины. После грубого удаления окалины катанка поступает в воздушную камеру, в которой установлено восемь сопел. Мокрая пескоструйная очистка завершает процесс удаления окалины. Реагентом служит суспензия, состоящая из равного объема силикатного песка или двуокиси алюминия и воды (весовое соотношение 3,5:1). Сжатый воздух ускоряет выброс частиц абразивного материала до скорости звука. После абразивной пескоструйной обработки катанка промывается сначала в холодной, а затем в горячей воде, подаваемой под давлением, в результате чего с поверхности удаляются остатки окалины и абразива. Свежезачищенная поверхность в результате воздействия частиц абразива химически активна и наносимый в потоке подмазочный слой в виде извести, буры или фосфата имеет хорошее сцепление с поверхностью металла. После сушки катанка поступает на волочильный стан, где в четыре перехода протягивается на диаметр 2,4 мм со скоростью 540–570 м/мин, а на диаметр 2,1 мм – со скоростью 580–600 м/мин.

Для очистки поверхности стальной катанки перед волочением рабочим материалом может служить окалина, полученная в

процессе грубой очистки при проходе катанки через двухролик-овый окатиноломатель. Головка установки, через которую непрерывно проходит катанка, состоит из трех кольцевых камер. Первая из них необходима для равномерного распределения воздуха по четырем или шести соплам. Во второй кольцевой камере эффектом Вентури создается разрежение и в неё струей воздуха засасываются частицы окалины, которые с большой скоростью ударяют по поверхности катанки. Вся пыль и окалина выдуваются в третью камеру большего объема, где скорость воздушной струи резко снижается. При этом окалина падает на дно камеры и может быть повторно использована. Запыленный воздух отводится для очистки. При производительности установки 5400 т/год (катанка диаметром 5,6 мм) затраты на очистку примерно в 10 раз меньше по сравнению со стоимостью травления. При волочении катанки после подобной дробеструйной очистки стойкость волок возросла с 30 до 106 ч, а расход смазки снизился с 0,48 до 0,19 кг/т.

Использование струйной очистки несмотря на эффективное удаление окалины не обеспечивает необходимой чистоты обрабатываемой поверхности. Внедрение в поверхность обрабатываемой малоуглеродистой стали частиц чугунной и стальной дроби затрудняет последующее волочение, ухудшает качество поверхности и дополнительно увеличивает износ инструмента. При пескоструйной обработке положение ещё более усугубляется, поскольку мелкие частицы применяемых абразивов, ударяясь с большой силой о поверхность металла, внедряются в него, создавая новые трудноудаляемые загрязнения. Кроме того, обработка поверхности нержавеющей сталей кварцевым песком приводит к образованию местных пятен ржавчины. Возникающие при очистке повреждения поверхностного слоя и появление ювенильных поверхностей вызывают повышенное ржавление, что требует как тщательной очистки всей поверхности от реагентов обработки, так и дополнительного пассивирования металла сразу после обработки.

Иногда после механического удаления окалины в роликовых окатиноломателях катанку обрабатывают струями воды под большим давлением. Устройство для гидросбива окалины – это закрытая камера с расположенным внутри неё спрейером, к которому с помощью вихревого насоса по трубкам подводится раствор буры или извести в воде для одновременного нанесения на поверхность катанки подсмазочного слоя. В результате гидросбива с поверхности катанки уносится от 1 до 2 кг окалины, поверхность катанки при выходе из установки покрывается слоем извести или буры. Количество остаточной окалины на катанке после гидросбива такое же, как и после обычного травления, т.е. 0,45–0,5 кг/т.

3.2.3. Влияние струйной обработки на механические свойства и способность катанки к волочению

По мнению исследователей, струйная обработка несущественно изменяет механические свойства катанки и проволоки.

Состояние поверхности металла после удаления окалины методами травления, изгибом роликами и дробеметной обработкой различно.

После удаления окалины в роликовых окалиноломателях шероховатость поверхности катанки почти такая же, как и у исходной поверхности контакта между окалиной и основным металлом, и имеет примерно в 2 раза большую величину пиков, чем травленная (0,01–0,06 мм против 0,01–0,03 мм).

При дробеметной обработке микрогеометрия поверхности зависит, главным образом, от размера, твердости, энергии удара падающей дроби и предела прочности обрабатываемой стали. С увеличением размера, твердости дроби и с уменьшением прочности зачищенного металла шероховатость усиливается.

Расход смазки при волочении, в зависимости от материала катанки при механическом удалении окалины, практически в 2 раза больше, чем при обычном травлении. Увеличение количества смазки связано с более развитой микрогеометрией поверхности, особенно при дробеметной обработке.

Износ волок существенно зависит от способа подготовки поверхности металла. Минимальный износ волок наблюдается при обычном травлении с традиционной подготовкой поверхности. Износ волок после дробеметной обработки несколько выше по сравнению с травлением, однако создание регулируемой микрогеометрии поверхности даёт преимущества дробеметному способу очистки перед методом знакопеременного изгиба с растяжением.

3.3. Лезвийная обработка

Лезвийная обработка позволяет не только удалять окалину с поверхности стали, но и полностью устранять многие характерные поверхностные дефекты на сортовом прокате (заусенцы, риски, трещины, закаты, обезуглероживание и пр.).

3.3.1. Токарная обработка

Окалину и поверхностные дефекты на труднообрабатываемых, сложнолегированных, нержавеющей и инструментальных сталях и сплавах удаляют на бесцентрово-токарных станках. Вы-

сокая производительность при бесцентрово-токарной обработке достигается увеличением ширины среза, изменение которой незначительно влияет на повышение температуры резания.

Конструктивно бесцентрово-токарные станки состоят из шпиндельной бабки с пустотелым шпинделем, на концах которого закреплены две сменные многолезцовые головки: черновая – со стороны входа заготовки и чистовая – на выходе. Заготовка подается с помощью загрузочной и разгрузочной кареток, расположенных соответственно с левой и правой сторон шпиндельной бабки, что позволяет выполнять работу в полуавтоматическом и автоматическом режимах.

Сортовой прокат диаметром до 75 мм обрабатывается на станках мод. ТТ-140 (станкостроительный завод им. Кирова), КЖ9306, КЖ9307, КЖ9308(КЗТС), HS-200 и HS-300 (фирма «Norton», Англия), а также WDH-50, ДД-15/40 (фирма «Kieserling», ФРГ) и др. Технические характеристики этих бесцентрово-токарных станков приведены в табл. 11.

В обточных машинах фирмы «Kieserling» (ФРГ) катанка проходит, перематываясь, с размоточного устройства на приемное, не вращаясь вокруг своей оси. Поверхность обтачивается резцами, укрепленными в головке, которая вращается вокруг катанки (рис. 28).

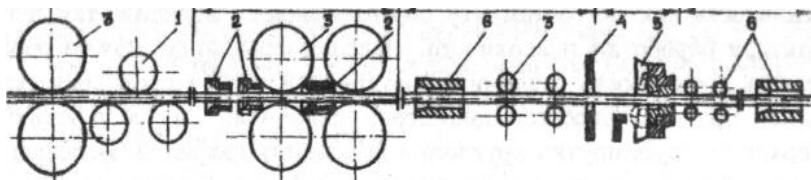


Рис. 28. Схема станка «Кизерлинг» для обточки проволоки:

- 1, 3 – соответственно правильные и подающие ролики;
- 2 – приемная втулка; 4 – уплотнительный металлический диск; 5 – головка с резцами; 6 – направляющая

На бунтообточных машинах катанка проходит предвари-тельную правку, калибровку в валках (с обжатием до 10%), допол-нительную правку и затем обточку резцами. Для улучшения по-верхности катанку рекомендуется обтачивать на повышенных ско-ростях. Для охлаждения и смазки обрабатываемой катанки и рез-цов используют эмульсию, состоящую из эмульсола и воды в про-порции 1:30. Перед обточкой катанки из легированной стали (68ГА, 50ХФА, 70ХГФА и др.) рекомендуется проводить умягчающую тер-мическую обработку.

Таблица 11

Технические характеристики бесцентрово-токарных станков

Параметры	ТТ-140	КЖ9304	КЖ9308	КЖ9307	КЖ9306	HS-300 (Англия)	WDH-50 (ФРГ)	DD-15/40 (ФРГ)
Диаметр обрабатываемого прутка, мм	15–45	12	50	60	80	12–75	13–52	5,4–16
Длина обрабатываемого прутка, м	2,4–5,0	бунт	6,0	6,0	6,0	23–4,0	1,8–4,5	Бунт
Число резцов в головке	5	–	–	–	–	4	3–4	3–4
Частота вращения шпинделя, об/мин	18–240	1350–500	80–2500	35–950	63–1000	80–250	<u>125–750*</u> 570–3400	1330–8000
Пределы подачи, мм/мин	0,85–16	250	0,5–15	0,2–8	0,6–5	0,7–10	<u>0,5–3*</u> 30–15	2,3–40
Мощность главного привода, кВт	18	11	29	55	32	20	37	37
Габаритные размеры, м	13,2х3,0х2,5	6,5х2,0х1,4	14,5х2,0х2,5	14,5х3,4х2,0	12,4х3,5х1,5	–	–	13,5х4,0х5,5
Масса, т	18	19,2	8,0	12,0	30,0	–	–	19

*Числитель – первая ступень, знаменатель – вторая.

Обточка бунтов обуславливает высокие показатели по точности и качеству поверхности. Точность достигается прецизионной настройкой резцовых блоков с помощью индикатора (цена деления – 0,001 мм), а также применением контрольно-измерительных устройств на выходе прутка из резцовой головки, которые позволяют в пределах 10–200 мкм поддерживать заданный диаметр автоматическим регулированием резцов. Бесцентрово-токарные станки в комплексе с правильно-полировальными машинами дают возможность получать шероховатость обработанной поверхности в пределах 9–10 классов.

3.3.2. Иголфрезерная зачистка

Способ обработки поверхности металла иголфрезами впервые разработан В.С. Салуквадзе. Этот способ находит все более широкое применение при зачистке листов и лент, а также для удаления окалины и поверхностных дефектов с горячекатаных прутков, катанки и проволоки.

Иголфреза – это микрорезцовый инструмент в виде тела вращения с несколькими миллионами (до 40 млн) режущих кромок, изготовленных из отрезков высокопрочной проволоки с заданной плотностью набивки, наружная поверхность которой представляет собой своеобразный полужесткий резец. Условием работоспособности иголфрезы служит достаточная жесткость её игл, обеспечивающая необходимый угол отклонения игл от первоначального положения, который должен незначительно отличаться от угла резания. Малый угол отгиба иглы и плотное прилегание к другим иглам в самой фрезе обеспечивают в процессе резания незначительные изгибные напряжения. Наиболее благоприятные условия иголфрезерования будут при минимальном переднем угле резания, т.е. при 90°. Но при этом задний угол равен 0° и вся энергия, подводимая к инструменту, практически расходуется на нагрев изделия и инструмента за счет взаимного трения. Если задний угол больше прямого, резание прекращается. Достаточный задний угол резания с небольшим отрицательным передним составляет 12–15°.

Иголфрезы изготавливают из проволоки диаметром 0,15–1,0 мм с пределом прочности 1764–2352 Н/мм² (180–240 кгс/мм²). Плотность набивки такова, что на 1 см² поверхности иголфрезы приходится от 115 до 4000 проволок. Существенная особенность инструмента – весьма малый радиус закругления каждой режущей кромки, которая в процессе работы самозатачивается, а при реверсировании вращения операция её заточ-

ки исключается. Эта особенность определяет 200–300-часовую стойкость иглофрезы.

Одно из основных преимуществ иглофрезерования – его универсальность как по сортаменту обрабатываемых изделий, так и по характеру обработки поверхности. Иглофрезерованием можно обрабатывать поверхность различных материалов в виде проволоки, катанки, прутков любого диаметра, внешнюю и внутреннюю поверхность труб, прутки круглого и фасонного профилей. Иглофреза может работать как в режиме очистки, так и в режиме глубокого резания. В первом случае (светление проката) поддерживается постоянное усилие прижатия инструмента к обрабатываемой поверхности при значительных колебаниях отношения подачи к скорости резания. При работе в режиме очистки иглофреза устанавливается на подпружиненных опорах. Регулируя диаметр ворса иглофрез, усилие прижатия и скорость иглофрезерования, можно получать шероховатость поверхности от 1 до 9 класса. Работа инструмента в режиме резания характеризуется жестким взаимодействием иглофрезы и обрабатываемой полосы при относительно постоянном соотношении между предельной скоростью подачи и глубиной резания для заданной скорости резания.

С обычной фрезой иглофреза сходна по форме образующейся стружки, имеющей лишь незначительно меньшие размеры. Иглофрезерование имеет также ряд общих черт со шлифованием: большое число режущих элементов, наличие отрицательных углов и аналогичную кинематику резания.

По режиму работы иглофреза отличается от обычных металлических вращающихся щеток по двум параметрам работы: усилием прижатия к обрабатываемой поверхности (величиной натяга) и рациональными скоростями резания. Например, при величине натяга в обычной щётке от 3 до 6 мм усилие прижатия составляет 29,4–98 Н (3–10 кгс), а в иглофрезе при максимальной величине натяга не более 1–2 мм из-за большой жесткости инструмента достигается усилие прижатия от 588 до 2450 Н (60–250 кгс). В зависимости от силы прижатия иглофрез к поверхности металла одной парой можно зачистить от 300 до 700 т металла. Обычно скорости резания на дисковых щётках составляют 25–40 м/с, в то время как при иглофрезеровании скорости обработки не превышают 0,5–4,0 м/с.

Иглофрезерованием можно выполнять заранее необходимую микрогеометрию поверхности, которая создает благоприятные условия для захвата технологической смазки, удержания её в очаге деформации и способствует последующему многократному волочению без дополнительного нанесения подсмазочных слоев.

Иглофрезы целесообразно применять в качестве инструмента тонкой очистки после предварительного удаления основной массы окалины, например, в роликовых окалиноломателях.

На рис. 29 изображена схема вращающегося окалиноломателя для удаления окалины, совмещенного с дополнительной тонкой зачисткой иглофрезами.

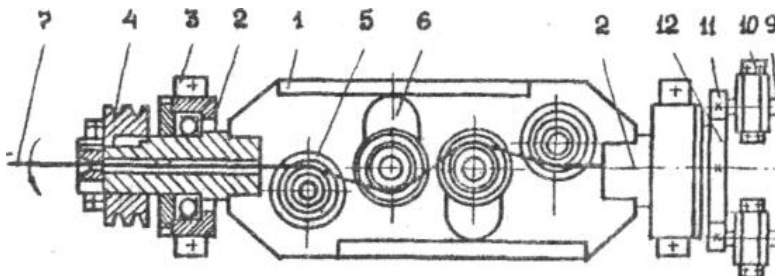


Рис. 29. Схема вращающегося окалиноломателя, совмещенного с тонкой очисткой иглофрезами

Окалиноломатель включает в себя корпус 1 с полыми полуосями 2, установленными в подшипниковых узлах. На одной из полуосей закреплен приводной шкив 4. В корпусе вмонтированы направляющие ролики 5 и изгибающие ролики 6, которые изгибом деформируют катанку 7. На основании окалиноломателя смонтированы две иглофрезы 8, закрепленные на валах 9 и установленные в подшипниковых опорах 10, которые могут перемещаться в направлении, перпендикулярном к оси подачи металла. На концах валов закреплены ведомые шестерни 11, находящиеся в зацеплении с ведущей шестерней 12, закрепленной на второй полуоси. Очищаемый металл 7 изгибается роликами 5 и 6, за счет изгиба скручивается корпусом 1 перед входом в окалиноломатель и раскручивается после прохождения роликов. Крутящий момент от корпуса через зубчатое колесо 12 передается ведомым шестерням 11 и через валы 9 – непосредственно иглофрезам 8, прижатым к очищаемому металлу. Вращаясь вокруг осей, иглофрезы очищают поверхность подката от оставшейся окалины. Вращение металла (раскручивание) после прохождения изгибающих роликов позволяет удалять оставшуюся окалину по всей поверхности. Кроме того, иглофрезы создают определенную микрогеометрию поверхности, которая способствует захвату смазки в зону пластической деформации при волочении. Такой окалиноломатель целесообразно использовать при обработке подката диаметром 8–16 мм.

Опыт эксплуатации иглофрезерных установок показывает их перспективность и полную конкурентную способность с существ-

вующими способами травления, абразивной и дробеметной зачисткой поверхности металла.

3.3.3. Абразивная обработка

При удалении окалины и дефектов с поверхности горячекатаного металла перед волочением широко применяют абразивную обработку.

Преимущество абразивной обработки – это возможность обработки любых металлов независимо от их вида, твердости и температуры; широкого регулирования толщины снимаемого слоя металла; механизации и автоматизации процессов зачистки.

Обработка поверхности с помощью абразивных кругов аналогична иглофрезерованию и также является разновидностью процесса резания. Каждое отдельное зерно абразива работает как зуб фрезы с той лишь разницей, что в абразивном круге зерна в отличие от зубьев фрезы расположены беспорядочно, а их количество велико. Главная особенность абразивной обработки – работа режущих абразивных кромок в постоянном режиме самозатачивания, который наступает при определенном удельном значении давления (от 5 до 100 Н/мм ширины круга). Удельное давление самозатачивания зависит от материала абразива, крупности и формы абразивных зерен, скорости шлифования и обрабатываемого материала, но основной характеристикой абразивного инструмента, влияющей на его эксплуатационные свойства, служит твердость. Под твердостью понимают сопротивление связки выбиванию абразивных зерен с поверхности инструмента под действием внешних сил.

Абразивная обработка осуществляется с помощью абразивных кругов и лент, в которых абразивные зерна работают в сочетании с наполнителем и связкой, а также непосредственно самой массой абразива.

По крупности зерна (ГОСТ 3647-71) абразивные материалы подразделяются на три группы: шлифзерно (0,16–2 мм), шлифпорошки (0,03–0,12 мм) и микропорошки (менее 0,03 мм).

Абразивные круги получают смешиванием абразивных зерен со связкой и наполнителем. Термины на абразивные материалы и инструменты определены ГОСТ 21445-75.

Основа абразивных кругов – электрокорунд (алунд), содержащий 90% Al_2O_3 , и карборунд (карбид кремния). Карборунд характеризуется большей твердостью по сравнению с электрокорундом, но повышенной хрупкостью.

В зависимости от связующего материала различают абразивные круги на керамической, бакелитовой и вулканитовой связ-

ках. Круги на бакелитовой связке наиболее прочны и поэтому при их использовании допускают большие скорости обработки (до 50 м/с по сравнению с 23 м/с – скорость кругов на керамической связке). Однако преимущество керамической связки – её высокая термическая стойкость. Для обработки низкоуглеродистых сталей предпочтительны твердые круги и, наоборот, для высокоуглеродистых – мягкие.

Зачистка горячекатаного подката сводится к трем видам абразивной обработки (рис. 30): плоскому шлифованию с продольной подачей изделий; круглому наружному цилиндрическому шлифованию с круговым вращением изделий одновременно с его продольным перемещением; круглому наружному бесцентровому шлифованию. Первый вид абразивной обработки используется при зачистке плоских поверхностей многогранных заготовок (абразивному кругу сообщаются вращение и упругий прижим к изделию, а изделию – поступательное движение); второй – при зачистке поверхности круглого подката с аналогичным движением инструмента и заготовки; третий -- при сплошной зачистке поверхности или для получения точных размеров по диаметру круглых изделий, например, при изготовлении стали-серебрянки (ГОСТ 14955-69). Обрабатываемый пруток в этом случае расположен между шлифовальным и ведущим кругами.

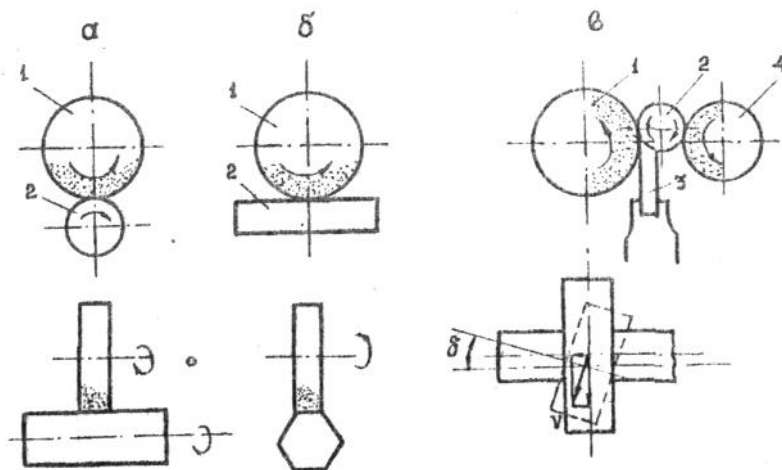


Рис. 30. Схемы зачистки абразивными кругами:
а - наружное цилиндрическое шлифование; б – плоское;
в – наружное бесцентровое; 1 – шлифовальный круг;
2 – заготовка; 3 – опорный нож; 4 – ведущий круг

Ведущий круг имеет меньшую окружную скорость и приводит во вращение заготовку. Опорный нож частично воспринимает массу прутка и может настраиваться по высоте. Ось ведущего круга повернута на угол $\delta = 1 - 4^\circ$ относительно оси шлифующего круга, за счет чего обрабатываемый пруток получает продольную подачу со скоростью

$$V = \pi D n \cdot \sin \delta, \quad (3.14)$$

где V – осевая подача прутка, мм/мин;

D – диаметр ведущего круга, мм;

n – окружная скорость ведущего круга, об/мин.

Качественная шлифовка поверхности обеспечивается правильным выбором технической характеристики абразивных кругов в зависимости от обрабатываемых сталей, требуемой точности, чистоты поверхности и диаметра прутка. Рекомендации по выбору технической характеристики кругов для бесцентрового шлифования приведены в справочной литературе.

Затраты на обработку прутков, руб./т, кругами на керамической связке на станке СП-50Ш следующие.

Зарплата шлифовальщика	1,67	Эмульсия и вода	0,25
Зарплата наладчика	0,55	Алмазные карандаши	0,06
Абразивные круги	1,30	Текущий ремонт	0,25
Электрозергия	2,12	Амортизация	1,10
Всего			7,30

Один из основных недостатков абразивных кругов – возникновение вибрации в процессе обработки. Причины вибрации разнообразны: завышение глубины удаляемого слоя, высокая твердость шлифовального круга, некачественная правка круга, износ подшипников, других деталей и узлов станка и пр. Сам процесс удаления окалины этим способом нельзя считать экономичным, поскольку абразивные круги подвергаются быстрому износу. Поэтому окалину с поверхности горячекатаных прутков предварительно удаляют дробеметной или дробеструйной очисткой либо другими механическими способами; абразивной обработкой, как тонкой очисткой, удаляют остаточную окалину. Практика работы показывает, что использование абразивных кругов на силикатной связке приводит к загрязнению поверхности стали неметаллическими включениями. В этом случае предпочтительны круги на бакелитовой или вулканитовой связке. Тем не менее во всех случаях выполнения абразивной зачистки требуется тщательная промывка поверхности для удаления абразивных частиц.

Иногда в качестве тонкой очистки и для получения высокой чистоты поверхности применяют метод зачистки бесконечной абразивной лентой.

К преимуществам ленточной абразивной зачистки относятся возможность обеспечения высокой производительности, снижение тепловыделений в обрабатываемое изделие, простота в переналадке оборудования.

В качестве абразивных материалов на лентах используют электрокорунды и карбид кремния. Носителем абразива служит гибкая основа из ткани с высокой прочностью на разрыв. Абразивные зерна закрепляются на основе мездровым клеем или бакелитом.

Ленточное шлифование осуществляют с применением консистентной, жидкой и эмульсионной смазок, которые способствуют повышению стойкости лент, улучшению чистоты поверхности, снижению температуры обрабатываемого металла. Сталь шлифуют лентами зернистостью 46 и крупнее, как правило, всухую. Чистовое шлифование позволяет снимать припуск до 0,1 мм, обеспечивает допуск до 20 мкм и шероховатость поверхности 7–9 класса при зернистости ленты 32–5. Полирование обеспечивает шероховатость поверхности в пределах 9–12 классов при зернистости ленты 5–3.

На Орловском сталепрокатном заводе разработано устройство для тонкой очистки с помощью металлической сечки с одновременной вибрацией проволоки (рис. 31).

Устройство тонкой очистки содержит раму 1 с укрепленным на ней бункером 2 с очищаемой средой 3 и обводными эксцентричными роликами 4 и 5. Рама опирается на пружины 6, помещенные в направляющих шпильках 7. Бункер снабжен крышкой 8 и входной втулкой 9 для ввода в очищаемую среду катанки 10. В наклонное дно бункера вмонтировано сито 11 для отсева окалины из очищаемой среды.

Очищаемый металл 10, опираясь на входной обводной ролик 4, через входную втулку 9 и очищаемую среду 3 поступает на выходной обводной ролик 5. Движение катанки приводит во вращение обводные ролики 4 и 5, из-за эксцентриситета которых катанка подвергается вибрации в очищаемой среде; частота вибрации определяется скоростью движения катанки и диаметром роликов, а её амплитуда – величиной эксцентриситета. Жесткая связь обводных роликов с подпружиненным бункером обеспечивает возбуждение вибрации очищаемой среды (например, дроби или сечки), что в сочетании с осевым перемещением металла под углом к направлению вибрации среды, а также с вибрацией самого металла,

приводит к эффективному удалению окалины с поверхности и к ее интенсивному отсеву.

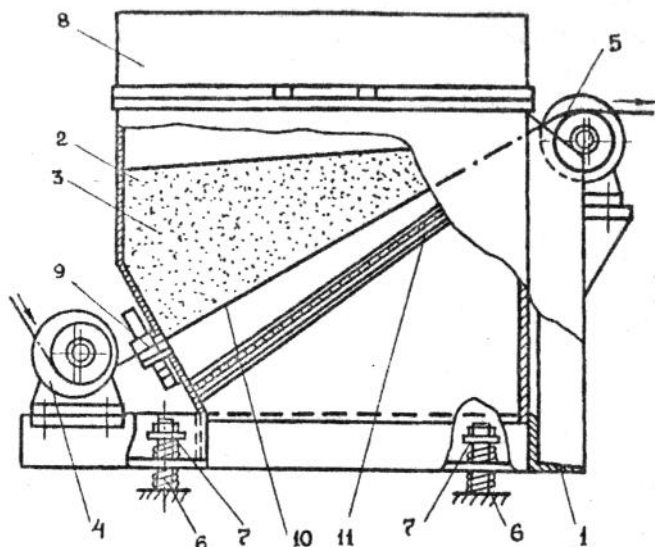


Рис. 31. Устройство для тонкой очистки с помощью металлической сечки с одновременной вибрацией проволоки

На данной линии катанка вибрировала с частотой 9 Гц и амплитудой 3 мм; степень удаления окалины с поверхности катанки при этом достигала до 0,1 кг/т. Однако с учетом недостаточного захвата смазки очищенной поверхности металла было увеличено количество остаточной окалины до 0,24 кг/т. Остаточная окалина на поверхности катанки была увеличена незначительным подъемом выходного обводного ролика, а следовательно, и катанки над ситом. Остаточная окалина – это мелкодисперсный порошок, в основном в виде вюстита. При такой степени очистки поверхности катанки была достигнута стойкость волок на линии от 5,5 до 7 т на 0,01 мм износа твердого сплава. При волочении металла непосредственно после двухроликового окалиноломателя без тонкой очистки стойкость волок составила около 1,18 т на 0,01 мм износа.

При очистке поверхности катанки и проволоки от остаточной окалины часто используют щетки. Щетки устанавливают и в линиях обезжиривания (капроновые). С помощью металлических щеток удаляют окалину, ржавчину и травильный шлак с поверхности металлических изделий. Операцию очистки поверхности щетками называют крацеванием.

При крацевании вращающиеся щетки должны касаться очищаемой поверхности только кончиками проволоки. При сильном прижатии щеток к металлу проволока изгибается и эффективность очистки ухудшается.

Для изготовления щеток используют стальную, медную или латунную проволоку, для тонкой очистки поверхности стали – обычно проволоку диаметром 0,05–0,3 мм из малоуглеродистой стали (0,15–0,2% C), для грубой очистки – из высокоуглеродистой стали (0,65–0,75% C).

Между диаметром щеток D и скоростью V их вращения поддерживают определенное соотношение.

D , мм	130	150	180	200	300	400
V , об/мин	2500–2800	2500–2800	2100–2400	1800–2100	1500–1800	1200–1500

Чем больше диаметр щеток и частота их вращения, тем тоньше должна быть проволока. Скорость очистки щетками при ширине очищаемой поверхности 25–40 мм составляет 1–1,5 м/мин. Износ стальных щеток достигает 0,02–0,15 мм на 1 м² обрабатываемой поверхности.

3.4. Особенности волочения катанки после механического удаления окалины

Поверхность катанки после механического удаления окалины имеет более развитую микрогеометрию с высотой пиков в 2 раза больше, чем после обычного травления. Натровые мыла практически не захватываются свежеочищенной поверхностью катанки из-за отсутствия адгезии и непосредственное волочение в потоке с механическим удалением окалины без принятия специальных мер практически невозможно.

Если на поверхность стали после механического удаления окалины не наносят специального подсмазочного слоя, то функцию этого слоя должна принять технологическая смазка. В таком случае она должна удовлетворять таким особым требованиям:

- обеспечивать вдвое большую, чем при волочении травленной стали, толщину смазочной пленки, так как шероховатость поверхности механически зачищенного металла примерно в 2 раза больше, чем травленного;
- иметь повышенную адгезию к стали и не выдавливаться при большом давлении в волоке из очага деформации;
- быть устойчивой при высоких давлениях и температурах;
- не быть чувствительной к влаге (в том числе к возникающей из-за образования росы на свежеочищенной поверхности металла);

- не образовывать тоннеля через смазку в мыльнице и поступать в волоку равномерно;
- обеспечивать наименьший коэффициент трения;
- состоять из смеси мелких и грубых частиц.

Указанным требованиям наиболее полно удовлетворяют металлические мыла, например, стеараты кальция, натрия и алюминия, которые хорошо выдерживают высокие температуры и давления и лучше прилипают к поверхности стали, чем натровое мыло.

Наиболее эффективен стеарат кальция, который содержит 20% жира и 80% извести. Хорошие результаты при волочении дает применение смазки в виде натрового мыла на основе синтетических жирных кислот (СЖК).

Практически никакая смазка не может нормально поступать в очаг деформации, если на поверхности металла нет хотя бы минимального количества другого вещества (смазконосителя), которое будет захватывать эту смазку. После механического удаления окалины в качестве такого вещества (поскольку его не наносят специально) могут служить только сохранившиеся остатки самих оксидов. Если на зачищенном металле остается меньше $7\text{--}20 \text{ г/м}^2$ окалины, его чрезвычайно трудно протягивать. В таком случае смазконосителем служат остатки вюстита, сохранившиеся в виде тонкого порошка или пыли. В связи с этим при механическом удалении окалины с металла режим обработки выбирают таким образом, чтобы обеспечить сохранение на нем необходимого количества оксидов, предпочтительно в виде вюстита.

Кроме специальных требований к смазке для создания стабильного процесса волочения немаловажное значение имеет способ подачи смазки в очаг деформации.

Оптимальный вариант – создание в очаге деформации гидродинамических условий трения с применением специальных трубок-насадок.

В этом случае принудительный поток технологической смазки надежно экранирует поверхность контакта, а её более толстый слой не допускает непосредственного контакта выступающих пиков поверхности металла с поверхностью монолитной волоки.

Удовлетворительные результаты дает использование сдвоенных волок., волок с удлиненной рабочей зоной, роликовых волок. В последнем случае вообще не требуется специальной технологической смазки.

Для улучшения прохождения смазки в очаг деформации применяют волокнистые материалы с меньшим углом рабочей зоны ($6\text{--}7^\circ$), на первом переходе деформируют металл с обжатием не более 10–15%.

Температура металла в очаге деформации не должна превышать 120–130°C, что требует весьма интенсивного охлаждения монолитных волок и проволоки. Во избежание образования росы на свежоочищенной поверхности катанки её температура при входе в мыльницу должна быть не ниже температуры воздуха цеха. Поэтому особенно в зимнее время катанку перед волочением с механическим удалением окалины обязательно подвергают сушке. Хорошие результаты дает обработка бунтов в кипящем известковом растворе, где одновременно с нагревом катанки на её поверхности остается слой извести, который служит при волочении под-смазочным слоем.

3.5. Техничко-экономические показатели применения механических способов удаления окалины

Экономичность использования механического удаления окалины взамен кислотного травления очевидна. Экономия достигается за счет исключения расходов на кислоту и присадки, сбывта удаленной окалины (1,5–2,0% массы катанки), ликвидации потерь металла из-за угара (экономия примерно 3–4 кг/т), исключения затрат на транспортировку кислоты и её хранение, ликвидации нейтрализационного и регенерационного хозяйств и т.д.

По практическим данным, применение роликовых окалиноломателей на 40–50% экономичней травления. Дополнительные статьи затрат приходится на приобретение и установку окалиноломающего оборудования, устройств тонкой очистки и уход за ними; повышенный (примерно на 50%) износ волок и увеличение расхода смазки (примерно в 2 раза); снижение производительности волочильного оборудования.

При использовании дробеструйной обработки в дополнительных статьях расхода существенное место занимают расходы на дробь, абразивные материалы и амортизацию струйных установок. Тем не менее стоимость дробеструйной обработки составляет около 60–70% стоимости травления.

В табл. 12 приведено сравнение основных показателей при различных способах удаления окалины с поверхности горячекатаного металла.

При различных способах механического удаления окалины необходимо тщательное устранение запыленности рабочих мест, что требует максимальной герметизации оборудования и максимально возможной степени эвакуации удаленной окалины и пыли с рабочих мест. Для этой цели используют совместные системы пневматического и механического транспортирования.

Таблица 12

Сравнение основных показателей при различных способах удаления окалины с поверхности горячекатаного металла

№ п/п	Способ удаления окалины	Степень удаления окалины	Расход металла	Удаление поверхностных дефектов	Воздействие на микро-рельеф поверхности	Производительность в потоке волочения	Универсальность по сорту и по форме	Совместимость с волочением	Воздействие на вязкие свойства стали	Утилизация продуктов обработки	Использование при многократном волочении	Загрязнение окружающей среды
1	Попеременным изгибом	-	+	-	-	+	- +	-	-	+	-	+
2	Кручением	-	+	-	-	+	- +	+	-	+	-	+
3	Дробеметная обработка	-	+	-	+	+	++	+	+	+	-	+
4	Пескоструйная обработка	-	+	-	+	-	++	-	+	+	-	+
5	Токарная обработка	+	-	+	+	-	- -	-	+	+	-	+
6	Шлифование	+	-	+	+	-	- -	-	+	+	-	+
7	Иглофрезерная зачистка	+	-	+	+	+	++	+	+	+	-	+
8	Комбинированные способы	+	-	+	+	+	- +	+	-	+	+	-
9	Травление	+	-	-	+	+	++	-	-	-	+	-

Упражнение

Покажите технико-экономические преимущества применения различных способов механического удаления окалины по сравнению с традиционной химической подготовкой поверхности. Исходные данные – в тексте, из литературных и практических данных. На каких показателях работы сталепроволочного цеха и каким образом отразятся эти преимущества?

Пример. Оцените целесообразность использования роликовых окатиноломателей с фиксированным расположением роликов по сравнению с обычным травлением на 1 т обрабатываемой катанки из углеродистой стали (табл. 13).

Проанализируйте полученные данные, подвергните их критическому разбору, выработайте экономически и технологически обоснованную концепцию выбора способа подготовки поверхности.

Лабораторная работа «Исследование роликового окатиноломателя».

Практические занятия. Оценка эффективности применения различных способов удаления окалины.

Таблица 13

Статьи затрат при различных способах обработки

№ п/п	Статьи расхода	Способ обработки			
		ПП ₁	МУ + ПП ₁	МУ + ГСВ	МУ (отд. операция)
1	Кислота (H ₂ SO ₄ HCL)				
2	Вспомогательные материалы				
3	Затраты на нейтрализацию				
4	Затраты на регенерацию				
5	Улучшение санитарных условий труда				
6	Энергозатраты и энергоносители				
7	Расход основного материала (катанки)				
8	Необходимая производственная площадь				
9	Трудозатраты				
10	Реализация продуктов обработки катанки				

Контрольные вопросы

1. Назначение операций по удалению окалины и дополнительной подготовке поверхности перед волочением.
2. Что такое окалина и каков механизм ее образования?
3. Структура окалины и свойства ее компонентов.
4. Влияние отдельных элементов на свойства окалины.
5. Каков химизм процессов травления металла в растворах разных кислот?
6. Особенности травления металла в различных кислотах.
7. Сущность травления в смесях различных кислот.
8. Какие особенности имеют комбинированный щелочно-кислотный и гибридный методы травления?
9. Назначение и типы ингибиторов травления.
10. Виды брака при травлении стали и меры его предупреждения.
11. Каковы общие принципы нейтрализации и регенерации отработанных травильных растворов и очистки промывных вод?
12. Предпосылки использования механического удаления окалины.
13. Классификация способов механического удаления окалины по принципу воздействия на обрабатываемую поверхность.
14. Принцип действия роликовых окалиноломателей, их разновидности, область применения, преимущества и недостатки.
15. Сущность струйной обработки, ее разновидности, особенности применения, преимущества и недостатки.
16. Принципы действия разновидностей лезвийной обработки. Характерные особенности процесса, области применения, преимущества и недостатки.
17. Влияние отдельных способов механического удаления окалины на свойства металлов и их способность к волочению.
18. Особенности процесса волочения катанки со свежезачищенной поверхностью.
19. Показатели, характеризующие эффективность использования конкретного способа механического удаления окалины.

Библиографический список

1. Лапатухин В.С. Фосфатирование металлов. – М.: Машгиз, 1958. – 263 с.
2. Липкий Я.Н., Шталько В.М. Химическая и электрохимическая обработка стальных труб.– Изд. 2-е, перераб. и доп.– М.: Металлургия, 1982. – 255 с.
3. Недовизий И.Н., Петрухин С.И., Комаров А.Г. Совмещение процессов производства проволоки. – М.: Металлургия, 1979. – 224 с.
4. Вальков А.В. Метод определения основных конструктивных параметров промышленной установки вибрационного травления катанки // Сталь. – 1977. – № 1.
5. Мебиус Г.Э., Кремер Г.Л. Вибрационное травление бунтов проволоки // Черные металлы. – 1968. – № 22.
6. Стычинский В.В., Бешелев С.Д. Предупреждение образования окалины и методы очистки деталей. – М.: Машиностроение, 1964. – 131 с.
7. Владимиров Ю.В. Применение ультразвука в производстве проволоки / Черметинформация: Обзорная информация. – М., 1971. – Сер. 9. – 1971.– Вып. 5. – С. 12.
8. Бейликова Л.А., Малышева Г.В. и др. Бесшламное электрохимическое травление проволоки из высокоуглеродистых сталей / Черметинформация. – М., 1976. – № 22 (786).
9. Оратовский Е.Л., Артамонова Е.А. Электролитическое травление коррозионностойких сталей нейтральным электролитом / Черметинформация: Обзорная информация. – М., 1975. – Сер. 9. – Вып. 10. – С. 16.
10. Дрекалович И.А., Острик Н.П. и др. Восстановление окалины с поверхности катанки / Черметинформация. – М., 1975. – № 22. – С. 44–45.
11. Терехов В.П. Очистка поверхности проволоки дуговым разрядом / Черметинформация. – М., 1976. – № 7 (771). – С. 49-50.
12. Владимиров Ю.В. Обработка катанки и проволоки с перемещением их витками/ Черметинформация: Обзорная информация. – Сер. 9. Метизное производство. – М., 1975. – Вып. 4. – С.40.
13. Владимиров Ю.В. Усовершенствование химической подготовки поверхности катанки и проволоки / Черметинформация: Экспресс информация. – М., 1979. – Сер. 9. – Вып. 3. – С. 12.
14. Железнова Е.В. Новые способы травления и механического удаления окалины при производстве проволоки и калиброван-

- ного металла за рубежом (обзорная информация) / Черметинформация: Сер. Метизное производство. – М., 1983. – Вып. 2. – С. 18.
15. Владимиров Ю.В. Механическое удаление окалины с поверхности мелкосортной стали, катанки и проволоки за рубежом / Черметинформация: Обзорная информация. – М., 1970. – С. 98.
 16. Горшков Б.Т., Новиков Г.К., Ташин И.А. Эффективность способов зачистки стали. – М.: Металлургия, 1978. – 223 с.
 17. Механическое удаление окалины с поверхности катанки и совмещение его с волочением / А.А. Богачев, И.П. Черненко, Ю.И. Коковихин, А.Н. Шаповал / Черметинформация: Обзорная информация. – Сер. 9. Метизное производство. – М., 1977. – Вып. 5. – С. 7.
 18. Салуквадзе В.С. Новый способ механического удаления окалины и ржавчины с поверхности металла // Сталь. – 1961. – № 11.
 19. Роспasiенко В.И., Смирнов Г.Ф., Черницын В.С. Средства для зачистки проката. – М.: Машиностроение, 1973. – 272 с.
 20. Смирнов Н.С., Простаков М.Е., Липкин Я.Н. Очистка поверхности стали. – изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1978. – 230 с.
 21. Справочник по отделке сортового проката / под ред. Б.Т.Горшкова. – М.: Металлургия, 1978. – 256 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
-----------------------	----------

Глава 1. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА ПЕРЕД ВОЛОЧЕНИЕМ.....	4
--	----------

1.1. ПРОМЫВКА	4
1.2. ЖЕЛТЕНИЕ.....	5
1.3. МЕДНЕНИЕ	5
1.4. ФОСФАТИРОВАНИЕ.....	7
1.5. ОКСАЛАТИРОВАНИЕ.....	11
1.6. ИЗВЕСТКОВАНИЕ.....	12
1.7. ОСТЕКЛЕНИЕ	13
1.8. БУРИРОВАНИЕ	13
1.9. НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ В РАСТВОРЕ МЫЛА	14
1.10. СУШКА.....	15
Упражнение.....	15

Глава 2. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ В УСТАНОВКАХ СТАЦИОНАРНОГО И НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ	16
---	-----------

2.1. ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ НА ПОТОЧНЫХ ТЕРМОТРАВЛИТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТАХ.....	16
2.2. ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ПОДТРАВЛИВАНИЕ МЕТАЛЛА ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКОГО УДАЛЕНИЯ ОКАЛИНЫ.....	21
2.3. ВИБРАЦИОННОЕ ТРАВЛЕНИЕ	22
2.4. КАСКАДНО-ПРОТИВОТОЧНЫЙ СПОСОБ ТРАВЛЕНИЯ.....	25
2.5. СТРУЙНЫЙ МЕТОД ТРАВЛЕНИЯ	26
2.6. ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ТРАВЛЕНИИ	27
2.7. ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ.....	28
2.8. МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКАЛИНЫ С ПОВЕРХНОСТИ КАТАНКИ ...	32
2.9. ОЧИСТКА ДУГОВЫМ РАЗРЯДОМ	33
2.10. ОБРАБОТКА ПРОВОЛОКИ ВИТКАМИ И СПИРАЛЬЮ	34
2.11. ОДНОНИТОЧНАЯ НЕПРЕРЫВНАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ (ПРОЦЕССЫ MDA, TDA).....	43
2.12. УСТАНОВКИ ТУННЕЛЬНОГО ТИПА.....	47
2.13. РОТАЦИОННЫЙ СПОСОБ ТРАВЛЕНИЯ.....	52
2.14. ПЛАНЕТАРНЫЙ СПОСОБ ТРАВЛЕНИЯ	54
2.15. РАСХОД ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА К ВОЛОЧЕНИЮ	58
Упражнение.....	61

Глава 3. МЕХАНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ УДАЛЕНИЯ ОКАЛИНЫ . 63

3.1. Удаление окалины в роликовых окалиноломателях.....	64
3.2. Струйная обработка поверхности	73
3.2.1. Дробеметная обработка.....	73
3.2.2. Дробеструйная и пескоструйная обработка.....	78
3.2.3. Влияние струйной обработки на механические свойства и способность катанки к волочению.....	82
3.3. Лезвийная обработка.....	82
3.3.1. Токарная обработка.....	82
3.3.2. Иголфрезерная зачистка.....	85
3.3.3. Абразивная обработка.....	88
3.4. Особенности волочения катанки после механического удаления окалины.....	93
3.5. Техничко-экономические показатели применения механических способов удаления окалины.....	95
Упражнение.....	97
Контрольные вопросы.....	98
Библиографический список.....	99