

ЗБИРАННЯ, КЛАСИФІКАЦІЯ І ХАРАКТЕРИСТИКА ВТОРИННОЇ ТИТАНОВОЇ СИРОВИНИ

1 Збирання вторинної титанової сировини

Відходи титану та його сплавів утворюються на всіх стадіях виробництва металу або сплавів та їх обробки для отримання товарних виробів, а саме від отримання титану губчастого до виготовлення виробів, а також під час використання виробів з титану (амортизаційного брухту)

Правила збирання брухту та промислових відходів титанових сплавів є комплексом організаційно-технічних заходів, що забезпечують належну якість металу, отриманого під час використання вторинної титанової сировини.

Низькоякісний титан губчастий марки ТГ-Тв утворюється на титано-магнієвих підприємствах, для яких він є товарною продукцією. Тому збирання, зберігання і транспортування здійснюють так само, як для основної продукції, за виключенням визначення якості, умов пакування і транспортування.

Згідно з ГОСТ 237780-70 [1] від кожних 700 кг партії титану губчастого ТГ-Тв відбирають одну пробу (брикет) масою 1,5-3,0 кг. Об'єднану пробу, що складається з усіх відібраних точкових проб, піддають дробленню і скороченню для отримання сертифікаційної проби масою 0,3 кг. Таку пробу пресують у брикет, від якого відбирають стружку для хімічного аналізу.

Губчастий титан марки ТГ-Тв використовується в основному в чорній металургії для розкислення та легування сталі. При введенні губчастого титану в рідку сталь спостерігається його підвищене угарання через малу щільність та розвинену поверхню губки. Тому губчастий титан ТГ-Тв, що направляється на підприємства чорної металургії, пресують у брикети діаметром 115-170 мм і висотою від 20 мм до 180 мм. Щільність брикетів має бути не менше 2000 кг/м^3 . Пакують і перевозять низькоякісний губчастий титан у закритій металічній або, за узгодженням зі споживачем, іншій тарі. Відсів, що утворюється під час транспортування брикетів, не повинні становити більше 1 % маси партії.

Требования к сбору, хранению и транспортировке отходов титановых сплавов в основном аналогичны требованиям к другим цветным металлам и сплавам. Главная особенность заготовки этих отходов - недопустимость любого перемешивания титановых сплавов как между собой, так и с отходами других металлов, строгий контроль качества отходов. Это требование обусловлено тем, что при использовании отходов в шихте для выплавки слитков в процессе плавки невозможно проводить какое-либо рафинирование или корректировку состава; в то же время применение титановых сплавов, главным образом для изделий ответственного назначения, предъявляет самые строгие требования к химическому составу металла и минимальному содержанию в нем примесей.

Вот, например, каков должен быть контроль качества отходов перед отгрузкой потребителю [1]. Из различных мест партии отбирают не менее 30 проб (образцов) стружки, листовой обрезки и кусковых отходов. Соответствие отходов данному классу и сорту определяют по внешним признакам визуально и с помощью стандартного измерительного инструмента. Соответствие металла отходов данной марке сплава проверяют для кусковых отходов путем качественного спектрального анализа, а для листовой обрезки и стружки – путем химического или также качественного спектрального анализа.

Подобное положение с использованием отходов машиностроительных предприятий существует и за рубежом [1]. Вследствие жестких требований, предъявляемых авиационной промышленностью к качеству металла, фирмы – производители слитков перерабатывают только отходы известного состава, то есть отходы собственного производства. Со стороны используют только крупные кусковые отходы, определение состава которых не вызывает затруднений.

На металлургических предприятиях, производящих слитки и полуфабрикаты титановых сплавов и использующих образующиеся отходы, в основном, как оборотные, вышеуказанные требования к заготовке и качеству отходов соблюдаются. Сложнее обстоит дело с отходами машиностроительных предприятий из-за широкой номенклатуры используемых металлов и сплавов. На этих предприятиях каждый класс и сорт отходов данного титанового сплава необходимо собирать в отдельную тару непосредственно в цехах, где они образуют-

ся. На крупные кусковые отходы должна быть нанесена несмываемой краской марка сплава. Стружку, листовую обрезь и другие мелкие отходы следует собирать отдельно в тару, на которой указаны марка сплава, класс и сорт отходов. Стружку с цветами побежалости необходимо собирать и хранить отдельно от неокисленной. Стружку, листовую обрезь и мелкие кусковые отходы, загрязненные маслами или эмульсиями, следует также собирать и хранить отдельно и перед отправкой потребителю промывать в щелочном растворе или в горячей (80...90 ° С) проточной воде и высушивать в калориферных воздушных сушилках. Не допускается загрязнение отходов примесями других металлов и неметаллических материалов. Для этого станки и рабочие места перед обработкой слитков, полуфабрикатов или изделий необходимо очищать от отходов обрабатываемых перед этим сплавов, посторонних материалов и предметов.

Витая стружка до поступления на склад должна быть раздроблена до крупности не более 70 мм. Для этого каждый производственный участок, где обрабатывают титановые сплавы, необходимо оснащать малогабаритными стружкодробилками и специальной возвратной тарой. Перед дроблением очередной партии стружки дробилку очищают от остатков стружки предыдущей партии.

Собранные отходы транспортируют на склад в специально предназначенной для этого таре с сопроводительным паспортом. Склады хранения отходов титановых сплавов должны иметь бункеры, отсеки или лари для отдельного хранения отходов по маркам сплавов, классам и сортам. Мелкую стружку крупностью менее 20 мм следует хранить на складе в специальной таре.

Перед отправкой потребителю отходы комплектуют в партии по маркам сплавов, классам и сортам: кусковые отходы и листовую обрезь - в партии, масса которых определяется условиями транспортировки, но не более 5 т; раздробленную стружку - в партии массой не более 1 т. Каждую партию отходов перед транспортировкой упаковывают в тару таким образом, чтобы избежать смешивания и просыпания. Отгружаемые партии отходов сопровождаются паспортом, удостоверяющим их соответствие требованиям ГОСТ 1639-93. Партия отходов считается соответствующей требованиям, если результаты анализа десяти выборочных проб, взятых из разных мест партии,

подтверждают соответствие отходов классу, сорту и марке сплава, указанным в паспорте. Если одна или несколько проб имеют отклонения от паспортных данных, контроль проводят на удвоенном количестве проб. Если и в этом случае будет наблюдаться расхождение, кусковые отходы и листовую обрезь направляют на пересортировку с контролем каждого куска в партии, а партию стружки переводят в несортную.

Отходы губчатого титана

Губчатый титан получают восстановлением четыреххлористого титана магнием. Технологическая схема магниетермического процесса состоит из следующих переделов [1]:

- восстановительная плавка ильменитового концентрата в рудно-термической печи с получением титанового шлака;
- хлорирование титанового шлака с получением четыреххлористого титана и последующая очистка его от примесей;
- восстановление четыреххлористого титана магнием с получением реакционной массы;
- вакуумная сепарация реакционной массы с получением технически чистого титана в виде спеченного блока губчатого строения;
- дробление блока губчатого титана и разделение кускового материала по классам крупности.

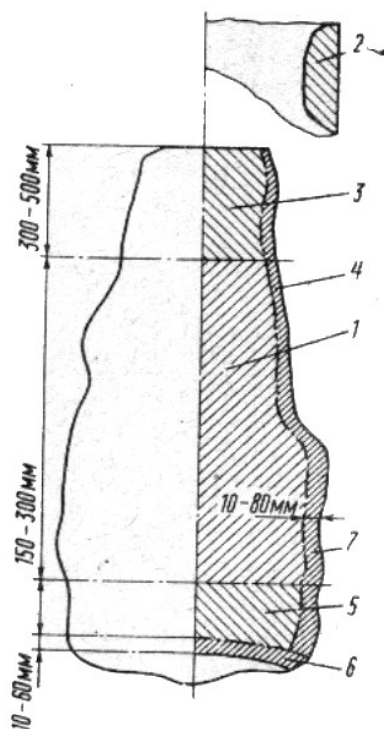
Для получения компактного металла проводят плавку губчатого титана в электрических печах с получением слитков. Последний передел, как и предыдущие, характерен именно для титана, и на нем образуются виды отходов, которые типичны только для титана. На последующих переделах, как будет показано ниже, образуются виды отходов, характерные для всех конструкционных металлов при производстве из них полуфабрикатов и изделий.

Под отходами губчатого титана понимают низкокачественный губчатый титан с повышенным содержанием примесей (кислорода, азота, кремния, хлора, углерода, железа) и, как следствие, с повышенной твердостью. Он маркируется как ТГ-Тв, то есть титан губчатый твердый (имеющий твердость по Бринеллю выше 150 единиц) (табл. 1.1).

Таблица 1 – Химический состав и твердость товарного (ТГ-90...ТГ-150) и низкокачественного (ТГ-Тв) губчатого титана

Марка	Химический состав, %								Твердость, НВ, 10/1500/30, не более
	Ti, не менее	Массовая доля примесей, не более							
		Fe	Si	Ni	C	Cl ₂	N ₂	O ₂	
ТГ-90	99,74	0,05	0,01	0,04	0,02	0,08	0,02	0,04	90
ТГ-100	99,72	0,06	0,01	0,04	0,03	0,08	0,02	0,04	100
ТГ-110	99,67	0,09	0,02	0,04	0,03	0,08	0,02	0,05	110
ТГ-120	99,64	0,11	0,02	0,04	0,03	0,08	0,02	0,06	120
ТГ-130	99,56	0,13	0,03	0,04	0,03	0,10	0,03	0,08	130
ТГ-150	99,45	0,20	0,03	0,04	0,03	0,12	0,03	0,10	150
ТГ-Тв	97,75	1,90	-	-	0,10	0,15	0,10	-	160...350

Его образование обусловлено технологией производства губчатого титана, результатом которой является неоднородный по качеству блок губки (рис. 1). Восстановление четыреххлористого титана магнием проводят в аппарате периодического действия, представляющем собой реторту, в которую первоначально заливается расплавленный магний, а затем постепенно подается жидкий четыреххлористый титан. В начале процесса образующийся губчатый титан опускается на дно реактора, поглощая при этом большую часть примесей, содержащихся в магнии. Насыщение примесями титановой губки в дальнейшем происходит также в результате взаимодействия со стенками реактора и поглощения верхней частью сформировавшегося блока натекающих активных газов. В результате донная часть блока (нижняя пленка) загрязнена оксидами магния, титана, кремния. На боковой поверхности расположены очаговые включения преимущественно в виде железистых пленок. В верхней части блока («шляпе») и гарнисаже – повышенное содержание кислорода, азота, хлора.



1 – качественный металл – крица; 2 – гарнисаж; 3 – «шляпа»; 4,5 боковой и нижний переходные слои, соответственно; 6 – нижняя пленка; 7 – пленки боковой поверхности

Рисунок 1 – Схема расположения в блоке губчатого титана слоев металла различного качества [2]

Перед дроблением блоков губчатого титана и последующей сортировкой кусков по крупности блоки очищают от пленок боковой поверхности и донной части, которые сразу направляются на комплектацию партий губчатого титана марки ТГ-Тв. К низкокачественному губчатому титану относят и самые мелкие фракции, образующиеся в процессе дробления и отсева: отсева гарнисажного губчатого титана крупностью менее 6 мм и кричного - менее 2 мм. Кроме того, при сортировке фракций +12-70 и +2-12 мм отбирают дефектные по внешним признакам куски: горелые, окисленные, хлоридные, шламистые и железистые (табл. 2).

В зависимости от конструкции аппарата восстановления при разделке блоков губчатого титана образуется 6...12 % низкокачественного продукта. Производители губчатого титана стремятся увеличить выход губки высших сортов с одновременным снижением т.н. отходов губчатого титана. Этого можно достигнуть как усовершенствованием технологии на переделах восстановления и вакуумной сепарации, так

и путем увеличения цикловой производительности аппаратов восстановления за счет увеличения их геометрических размеров [3]. Так, использование на Соликамском магниевом заводе аппарата восстановления с верхним конденсатором и производительностью 7 т губки за цикл позволило поднять долю губчатого титана высших сортов (ТГ90...ТГ120) до 80 % с одновременным снижением доли губки марок ТГ-Тв и нестандарт. Кроме того, новая схема удаления донной части блока позволила уменьшить выход губки ТГ-Тв почти на 4 % [4].

Таблица 2 – Качество основных категорий губчатого титана марки ТГ-Тв [4]

Отходы	Твердость, НВ	Содержание примесей, %					
		<i>Fe</i>	<i>Si</i>	<i>C</i>	<i>Cl₂</i>	<i>N₂</i>	<i>O₂</i>
Отсевы кричного металла (< 2 мм)	160...	0,2...	0,01...	0,01...	0,1...	0,03...	0,1...
	220	0,6	0,03	0,07	0,2	0,4	0,2
Отсевы гарнисажного металла (< 6 мм)	180...	0,3...	0,01...	0,02...	0,1...	0,03...	0,1...
	350	0,8	0,04	0,08	0,3	0,06	0,3
Отходы при сортировке	160...	0,03...	0,01...	0,01...	0,06...	0,03...	0,1...
	220	0,70	0,02	0,04	0,20	0,07	0,2
Счистки с поверхности блока	240...	1,0...	0,02...	0,03...	0,1...	0,05...	0,2...
	350	4,5	0,05	0,10	0,2	0,02	0,8
Нижние части блока	210...	0,4...	0,01...	0,01...	0,03...	0,03...	0,1...
	280	2,0	0,05	0,09	0,40	0,30	0,3

Схема разделки блока губчатого титана приведена на рис. 1.2. При повышении общего уровня качества получаемого губчатого титана количество низкокачественного металла сокращается, а его свойства улучшаются.

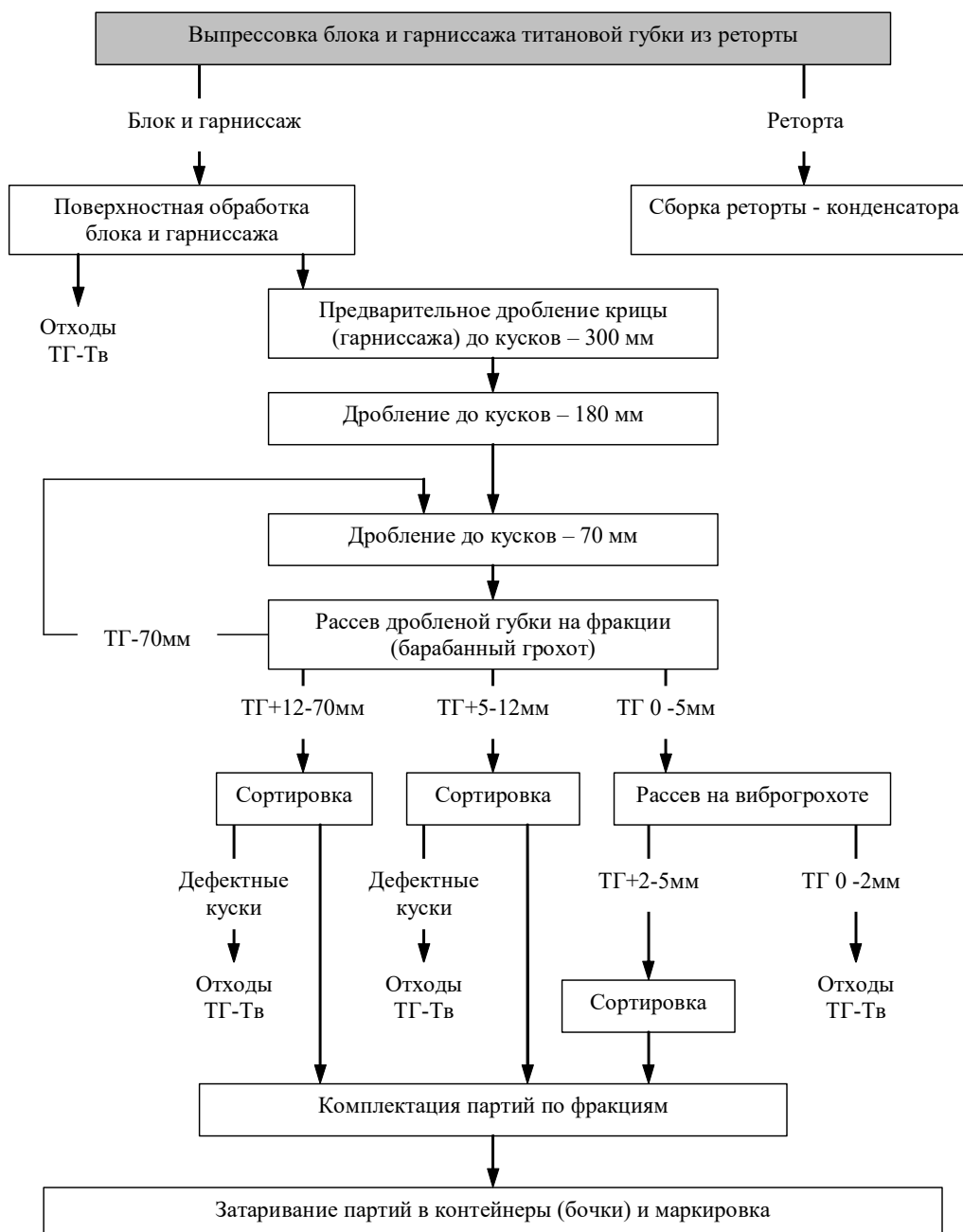


Рисунок 2 – Принципиальная технологическая схема переработки и сортировки титановой губки [1]

Отходы, образующиеся при выплавке слитков

Основной способ получения слитков титана и его сплавов - вакуумная дуговая плавка расходоуемого электрода. На различных операциях (подготовка шихты, прессование расходоуемых электродов, плавка шихты, механическая обработка слитков и контроль их качества) образуются кусковые отходы и стружка.

Отходами передела получения расходуемых электродов является бой электродов, образующийся либо в процессе прессования, либо во время транспортировки, загрузки и плавления электродов. При перемешивании боя электродов с различной шихтовкой он становится обезличенным, то есть не имеющим определенного химического состава.

При механической обработке слитков производят отрезку их верхних частей - корон. Боковая поверхность слитков обтачивается до удаления корки - шероховатого слоя с порами и раковинами. Торцы слитков также обтачивают или отрезают от них темплеты. В некоторых случаях от нижнего торца отрезают дополнительный темплет для определения механических свойств сплава в литом или ковном состоянии (так называемая технологическая проба). Таким образом, при обработке слитков образуются отходы в виде корон, стружки и темплетов. Эти виды отходов имеют повышенное содержание примесей внедрения, главным образом кислорода и азота. Кроме того, в отходы идут дефектные части слитков, отрезаемые при выявлении во время контроля несплошностей (усадочных раковин, пор) и включений (непроплавившихся кусочков шихты, осколков твердосплавных резцов и т.п.).

Отходы, образующиеся при производстве полуфабрикатов и готовых изделий

Из титана и его сплавов изготавливают те же виды полуфабрикатов, что и из других конструкционных металлов: плиты, листы, ленты, полосы, поковки, штамповки, прутки, трубы, проволоку. Для их получения применяют обычные методы обработки давлением (прокатка, прессование, ковка, штамповка), отличающиеся лишь режимами. На всех этих стадиях и на последующем переделе «полуфабрикат - готовое изделие» неизбежно образуются отходы, которые для титана представлены кусковыми отходами, листовой обрезью и стружкой.

Кусковые отходы. Технологические операции, сопутствующие переделу слитка на полуфабрикаты, выполняются, как правило, при нагреве металла в атмосфере воздуха до 700...1200 °С. При таких температурах титан интенсивно взаимодействует с кислородом (начиная с 600 °С), а также азотом воздуха (с 900 °С), в результате чего поверхностные слои полуфабрикатов, а следовательно, и отходов, образующихся при их производстве, насыщаются кислородом.

Глубина проникновения кислорода внутрь металла определяется температурой обработки и временем выдержки заготовки в нагретом состоянии. На поверхности окисленного титана имеется несколько слоев различной по структуре и химическому составу окалины, а под ней расположен газонасыщенный (альфированный) слой, содержание кислорода в котором постепенно убывает по глубине.

Кусковые отходы образуются в различных видах производства: кузнечно-штамповом, сортопрокатном, прессовом, механотермическом. К ним относятся концы и некраты прутков, блюмсов, полос, профилей, облой, брак штамповок и прессовок, обсечка, выдра и пр. Большинство амортизационного лома также относится к категории кусковых отходов. Естественно, что для кусковых отходов характерно многообразие их форм, типоразмеров и качества.

Наиболее окислены отходы кузнечного производства: на их поверхности наблюдается значительный слой окалины, а глубина расположенного под ним альфированного слоя в зависимости от режима нагрева заготовок под ковку и штамповку колеблется в разных сплавах от 0,2 до 2,0 мм (табл. 1.3).

Таблица 3 – Прирост содержания кислорода в альфированном слое некоторых титановых сплавов в результате нагрева под ковку или штамповку [3]

Марка сплава	BT1	OT4	BT3-1	BT5	BT6	BT8 (литой)
Прирост содержания кислорода в альфированном слое, мг/см ²	2,8	1,5	2,5	4,2	2,2	7,3
Полная глубина альфированного слоя, мм	0,8	0,2	0,6	2,0	0,6	0,8

При горячей деформации часть окалины вместе с наиболее хрупкой частью газонасыщенного слоя вдавливаются в основной металл и в нем образуются зоны с повышенной концентрацией кислорода.

У отходов прессового производства слой окалины невелик и глубина газонасыщенного слоя обычно не превышает 0,5 мм. Однако

эти отходы зачастую загрязнены различными смазками, применяемыми при прессовании.

Для кусковых отходов характерно благоприятное соотношение массы к площади поверхности. В силу этого общее содержание кислорода в них ниже, чем в других видах отходов.

Листовая обрезь. Эти отходы образуются в листопрокатном и трубном производствах, а также в процессе раскроя листов, плит и труб при изготовлении деталей, узлов и конструкций. Часть амортизационного лома также относится к категории листовой обрезки. Для этих отходов характерно разнообразие толщин (от 0,05 до 150 мм), форм (языки, кромка, вырезка, высечка, листовая выштамповка и пр.) и степени газонасыщенности поверхностного слоя. На отходах листопрокатного производства мало окалины и глубина газонасыщенного слоя не превышает 0,1...0,2 мм. Однако поверхность листов, особенно тонких, велика по сравнению с массой, поэтому прирост концентрации кислорода в листовых отходах может быть значительным.

Стружка является наиболее окисленным видом отходов. Она образуется при механической обработке (обточке, строжке, резке, фрезеровании, сверлении) слитков, полуфабрикатов, заготовок и изделий. Стружка, по сравнению с исходным металлом, обогащена железом, алюминием, кремнием, углеродом. Повышенное содержание первых трех элементов в стружке - результат ее загрязнения при сборе и хранении. Углерод попадает в стружку в случае применения охлаждающей резец эмульсии, а также при загрязнении стружки маслом [52-54].

В работе [5] исследованы вид, структура и свойства титановой стружки, полученной при различных режимах резания сплавов ВТ1-1, ВТ3-1, ВТ8 и ВТ6. По результатам работы сделаны следующие выводы:

- обработка титановых сплавов со скоростью резания не более 15...25 м/мин сопровождается образованием сливной стружки. При резании с большей скоростью сливная стружка переходит в элементную;
- на окисление титановой стружки наиболее сильное влияние оказывает скорость резания, в меньшей степени – подача. Большое влияние оказывает также затупленность режущего инструмента;
- отмечено изменение микроструктуры (обнаружена текстура деформации) и появление у поверхности резания слоя (глубиной до 10 мкм)

с резко повышенной микротвердостью, образующегося вследствие значительного окисления.

На машиностроительных заводах доля стружки составляет около 65 % общего количества образующихся титановых отходов. В зависимости от размеров полуфабрикатов и вида обработки толщина стружки колеблется от 0,05 до 4 мм, а длина отдельного отрезка - от нескольких миллиметров до метра и более. Доля витой стружки составляет около 50 % всей массы стружки, поставляемой предприятиями, перерабатывающими титановые полуфабрикаты. Насыпная масса уплотненной и недробленной титановой стружки составляет от 0,03 до 0,2 т/м³. В процессе образования стружка засоряется осколками резцов, режущая часть которых изготавливается из твердых сплавов, а при ее сборе, хранении и транспортировке - различными металлическими и неметаллическими примесями. Около 30 % титановой стружки загрязнено стружкой черных металлов в количестве до 2 %, 16...18 % стружки имеет примеси цветных металлов и сплавов - алюминия, меди, бронзы и латуни - в количестве 2...3 %. Засорено неметаллическими примесями (землей, бетоном, бумагой, тканями и т.п.) около 70 % всей заготавливаемой стружки, причем 30...35 % стружки содержит 2...10% и более неметаллических примесей.

При обработке титановых сплавов резанием вследствие их высокой прочности, низкого модуля упругости и низкой теплопроводности происходит разогрев инструмента и образующейся стружки до 1200 °С и ее окисление. Большая удельная поверхность стружки является причиной того, что даже незначительное окисление ее поверхности, проявляющееся в виде цветов побежалости, приводит к существенному увеличению содержания кислорода в стружке. Стружка же, полученная при механической обработке поковок, слябов и других сильно окисленных с поверхности полуфабрикатов, окислена по всему сечению, и содержание в ней кислорода велико даже при отсутствии цветов побежалости. В зависимости от степени окисления титановую стружку можно подразделить на три вида: малоокисленную, серебристого цвета с содержанием кислорода до 0,2 %; окисленную, желтого цвета с содержанием кислорода 0,2...0,3 %; сильно окисленную, бурого цвета с синевой (содержание кислорода 0,3...0,6 %).

При механической обработке титановых сплавов с охлаждением зоны реза смазочно-охлаждающими жидкостями (СОЖ) различных

составов или сжатым воздухом снижается усилие резания и уменьшается нагрев инструмента и образующейся стружки. Применительно к титану использование СОЖ позволяет увеличить скорость резания в 1,5...2 раза, снизить в 2...3 раза расход твердосплавных резцов и уменьшить содержание газовых примесей в стружке по сравнению с охлаждением сжатым воздухом на 30...50 %. Однако при этом стружка оказывается загрязненной охлаждающими эмульсиями, причем количество масла и влаги на стружке определяется ее удельной поверхностью (табл. 4). Смазочно-охлаждающими жидкостями загрязнено около 90 % всей массы образующейся стружки. Максимальное содержание углерода в стружке достигает 3 %, главным образом за счет загрязнения маслом. Стружка и опилки, образующиеся при черновой механической обработке фасонных отливок, относятся к несортным отходам.

Таблица 4 - Количество масла и влаги на стружке титановых сплавов [3]

Толщина стружки, мм	Отношение площади поверхности стружки к ее массе, м ² /г	Содержание масла и влаги, %
0,05	8869	30,0
0,10	4434	15,0
0,20	2217	7,5

В проволочном производстве образуются отходы в виде отрезков проволоки различной длины.

Отходы, образующиеся при производстве фасонного литья, и другие виды отходов.

Типичными титановыми отходами, образующимися в фасонно-литейном производстве [2,4], являются центральные стояки, литники и прибыли. Их количество в общем балансе литейных отходов цеха (или участка) составляет около 75-80 %. Часть отходов (3-5 %) образуется за счет брака отливок по геометрии и литейным дефектам. К литейным отходам относятся также остатки металла в приемно-направляющих лотках и сплески в плавильных печах, а также гарнисаж вышедших из строя тиглей (их суммарное количество составляет около 13...15 %). И наконец, небольшую часть отходов (около 2 %) составляют отходы от механической обработки фасонных отливок.

составляют стружка и опилки от первичной механической обработки отливок.

По степени загрязненности все литейные отходы титановых сплавов классифицируют на сортовые и несортовые. Сортовые отходы подразделяют на отходы первого и второго сорта. К отходам первого сорта относятся элементы литниковых систем, остатки металла в приемно-направляющих лотках, бракованные по геометрии и рентгеноконтролю отливки, химический состав которых известен и соответствует установленным стандартам. Ко второму сорту относятся отливки, забракованные по химическому составу, и отходы, образовавшиеся при их производстве.

Несортовыми отходами считают стружку и опилки от черновой механической обработки отливок, гарнисаж забракованных графитовых тиглей, а также мелкокусковые отходы, перепутанные по маркам сплавов. Использование несортовых отходов при производстве фасонных отливок сопряжено с длительной и трудоемкой их регенерацией, так как эти отходы в значительной мере загрязнены углеродом и газами (гарнисажи), частицами режущего инструмента, охлаждающими эмульсиями и материалом литейной формы (пригар) и др. При литье в керамические формы на отливках наблюдается поверхностный альфированный слой. В отливках по выплавляемым моделям возможно загрязнение кремнием (до 3,5 %), железом и кислородом. Поэтому экономически эффективным является использование только сортовых отходов.

У сортовых отходов загрязнен примесями, в основном, тонкий поверхностный слой. В результате взаимодействия титана с графитовой формой происходит загрязнение углеродом (до 0,2-0,4 %) поверхностного слоя металла на глубину до 0,3-0,8 мм. С увеличением сечения отливки и уменьшением плотности формы толщина науглероженного слоя возрастает. Возможно также увеличение содержания в поверхностном слое азота, кислорода и водорода.

При резке и измельчении отходов происходит дополнительное загрязнение их поверхности в местах реза. Так, в зоне ацетиленокислородного реза образуются различного вида соединения титана с кислородом, азотом, углеродом и водородом. Толщина газонасыщенного слоя при оптимальном режиме резки составляет около 0,1...0,15 мм. При анодно-механической резке поверхность металла насыщается продуктами взаимодействия расплавленного металла с жидким стеклом и атмосферными газами на глубину до 0,2 мм и более.

В некоторых случаях при частичном оплавлении гарнисажа в графитовом тигле и отклонении давления остаточных газов в плавно-заливочной камере от оптимального значения может повыситься содержание углерода, кислорода и азота по всему сечению отходов. Промышленный опыт показывает, что за цикл плавки и заливки прирост содержания в металле кислорода и азота за счет натекания (в случае плавки при натекании меньшем или равном допустимому) составляет 0,003...0,005 %.

Низкое качество характерно для таких отходов, как шлак от огневого реза, шлам, полученный при электрохимическом фрезеровании титановых сплавов, окалина, возгоны вакуумных дуговых печей, несортные отходы фасонно-литейного производства.

2 Баланс образования и качество отходов

С начала промышленного производства титана как нового конструкционного металла регулярно подсчитывали общее ориентировочное количество отходов, образующихся ежегодно. С этой целью систематически составляли балансы расхода металла на всех операциях по видам производства в каждом году. Количество отходов подсчитывали по серийным сплавам. Шихту, идущую на выплавку слитков, принимали за 100 %, выход годного, количество отходов и безвозвратные потери вычисляли в процентах к шихте для плавки. Поскольку выходы годного на разных заводах и в разных цехах, а также по разным сплавам несколько различались, итоговые цифры усредняли в соответствии с производительностью цехов и выпуском сплавов (рис. 1.3).

Существующая технология производства титановых изделий характеризуется весьма низким коэффициентом использования металла: выход годного из шихты колеблется от 7,5 % при производстве мелких деталей до 28 % при производстве крупных (табл. 1.5). Выход титана в готовые изделия составляет в среднем около 25 %. Такое положение обуславливает образование множества отходов: при производстве 1 т готовых изделий образуется около 2,7 т отходов. Низкий выход годного при изготовлении изделий из титановых сплавов обусловлен областями их применения в новой технике и тех отраслях машиностроения, где одним из основных требований является



Рисунок 3 – Схема перспективного технологического процесса выплавки и проката титана на крупном металлургическом заводе [19]

Таблица 5 - Выход годного (потери) металла на различных стадиях передела при изготовлении деталей сложной формы, % [56]

Стадия передела	Мелкие детали из штамповок	Крупные детали из штамповок	Детали из листов
Шихта	100	100	100
Слиток диаметром 820...620мм	94 (6)	94 (6)	94 (6)
Катаная заготовка	67 (33)	70 (30)	-
Слябы	-	-	88 (12)
Прутки	48 (52)	-	-
Штамповки	38 (62)	50,5 (49,5)	-
Листы	-	-	56 (44)
Готовые детали	7,5 (92,5)	12,6 (87,4)	28 (72)

минимальная масса конструкций. Эта особенность характерна не только для титана, но и для других металлов, применяемых в современной технике. Так, при использовании алюминиевых сплавов в производстве авиационных двигателей выход годного составляет 27 % [1].

Общие ресурсы металлических отходов титана и его сплавов складываются из отходов, образующихся при производстве губчатого титана, слитков, полуфабрикатов и изделий, а также амортизационного лома. Усредненный баланс образования отходов в перерабатывающей титановой промышленности (рис. 1.4) показывает, что из 100 % шихты, запущенной в производство, образуется около 70 % отходов, которые можно утилизировать. Эта цифра за последние десятилетия практически не изменилась, что объясняется тем, что, с одной стороны, улучшается технология производства слитков и полуфабрикатов (и, следовательно, увеличивается выход годного), но с другой стороны, из титановых сплавов изготавливают все более сложные детали и изделия, что сопровождается увеличением количества образующихся отходов.

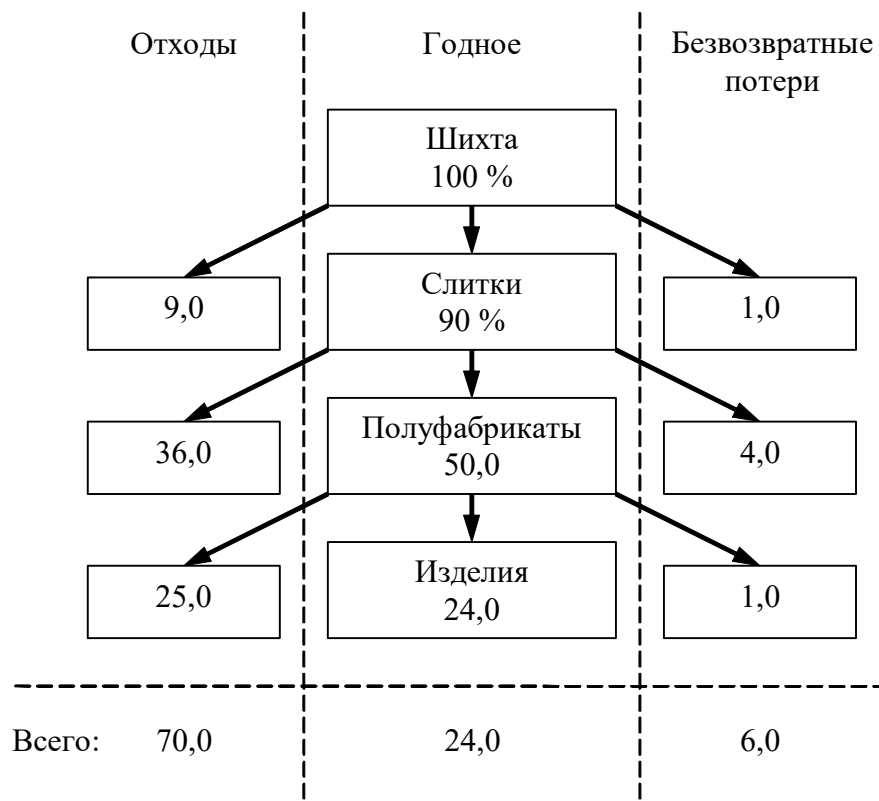


Рисунок 4 – Баланс образования отходов титановых сплавов [1]

Если количество образующихся возвратных отходов принять за 100 %, то при производстве слитков образуется 20...22 % всех отхо-

дов (соотношение кусковых отходов и стружки 1:1, кондиционных и некондиционных отходов 2:1), при производстве полуфабрикатов – 53...54 % (соотношение кусковых и листовых отходов и стружки 1:2, кондиционных и некондиционных отходов 3:1) и на переделе полуфабрикат - изделие количество отходов составляет 24...27 % при соотношении кусковых отходов и стружки 1,0:1,6, кондиционных и некондиционных отходов 1:2. Таким образом, от общего количества образующихся отходов на долю кусковых приходится 25 %, листовых – 20...30 % и стружки – 45...55 % [1].

Баланс образования отходов по данным фирмы *Chemical and Metallurgical Research*, США приведен в табл. 6.

Таблица 6 – Количество отходов титана на 1 кг готовой продукции на разных стадиях производства [1]

Источник образования отходов	Количество отходов, кг		
	образующихся	регенерируемых	теряемых
Получение товарной титановой губки	0,08	0,04	0,04
Переработка губки на полуфабрикаты	0,83	0,31	0,52
Изготовление изделий из полуфабрикатов	0,55	0,10	0,45
Итого	1,46	0,45	1,01

Весьма важное значение имеет качество титановых отходов. Отходы титановых сплавов, как правило, имеют большую концентрацию примесей внедрения, чем исходная титановая губка. Это объясняется тем, что, хотя выплавка титановых сплавов и производится в вакууме (или в атмосфере разреженного нейтрального газа), в атмосфере печи всегда имеется некоторое количество кислорода и азота, попадающих в нее в результате натекания и выделения газов, адсорбированных на расходуемом электроде и на внутренних стенках печи. Эти газы практически полностью поглощаются расплавленным металлом при плавке.

Таким образом, в титановом слитке примесей внедрения всегда больше, чем в исходной губке. При переделе слитка на полуфабрикаты металл нагревают в атмосфере воздуха до 700...1200 °С, поэтому происходит окисление поверхности полуфабрикатов, а, следовательно-

но, и отходов, образующихся при их производстве. Перед введением в шихту отходы подвергаются очистке, однако в производственных условиях очистка отходов никогда не бывает абсолютно полной, в результате чего на поверхности остается некоторая часть загрязнений кислородом.

На практике за критерий качества укрупненных видов отходов удобно принять упрочнение сплавов, обусловленное использованием в шихте для выплавки слитков отходов с повышенным содержанием кислорода, поскольку предел прочности титановых сплавов линейно связан с содержанием в них кислорода в интервале его концентрации 0,05...0,35 % [1].

За коэффициент упрочнения K для данного вида отходов численно принимается разность величин (взятая с обратным знаком) пределов прочности исходного слитка, который выплавлен из шихты, не содержащей отходы (основной металл), и металла, который выплавлен только из этого вида отходов, образованных от исходного слитка [1] (рис. 5).

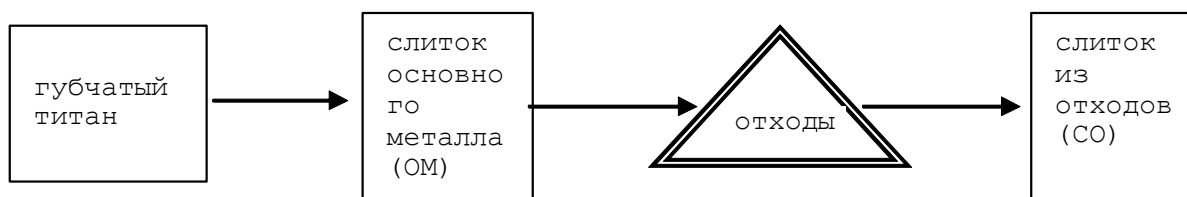


Рисунок 5 - Схема переработки металла [1]

Таким образом

$$K = -(\sigma_{ом} - \sigma_{со}) = \sigma_{со} - \sigma_{ом} \quad (1)$$

где $\sigma_{ом}$ – предел прочности основного металла; $\sigma_{со}$ - предел прочности металла, выплавленного из отходов.

Для определения коэффициента упрочнения были использованы следующие методы [1]:

1. Выплавка лабораторных слитков из исходного металла и 100 % отходов, образованных от него. Сущность этого метода заключается в следующем. Из определенной партии отходов данного сплава отбирали куски одного размера и одинаковой массы. Часть кусков обрабатывали до полного снятия с поверхности газонасыщенного слоя,

часть галтовали, часть после галтовки травили, а часть оставляли в первоначальном виде. Кроме этого, отходы образовывали и искусственным путем, то есть из определенного слитка проковывали цилиндры (по длине и диаметру соответствующие производственным отходам), а затем их готовили как указано выше. Все куски использовали как расходные электроды и сплавляли в лабораторной дуговой печи, а на выплавленных слитках определяли механические свойства по стандартной методике.

Очевидно, что содержание кислорода в отходах равно сумме

$$C_2 + \Delta C_n + \Delta C_o,$$

а в основном металле

$$C_2 + \Delta C_n,$$

где C_2 – концентрация кислорода в губчатом титане;

ΔC_n – прирост концентрации кислорода в слитке за каждый двойной переплав шихты;

ΔC_o – прирост концентрации кислорода в слитке за счет поверхностной окисленности отходов и неполной их очистки при подготовке к плавке.

Разница между содержанием кислорода в слитках, выплавленных из отходов и из основного металла, составляет ΔC_o , но коэффициент упрочнения пропорционален $\Delta C_o + \Delta C_n$, поэтому к полученному значению следует прибавить 4 кг/мм^2 (упрочнение за счет двойного переплава);

2. Выплавка промышленных слитков из свежей шихты и 100 % отходов, образованных от этих слитков. Слиток (или полуфабрикаты, изготовленные из данного слитка), выплавленный на свежей шихте, испытывали по стандартной технологии. Отходы от этого слитка (неокисленная стружка) или от листов, произведенных из него же (листовая обрезь), сплавляли в печи с графитовым электродом в слиток, который затем переплавляли в обычной печи и снова испытывали. Разность пределов прочности этих слитков или одинаковых полуфабрикатов, изготовленных из них, составляет коэффициент упрочнения по данному виду отходов;

3. Выплавка специальных партий промышленных слитков из свежей шихты с добавлением в шихту разного количества отходов. По этому методу в расходные электроды при их изготовлении запрессовывали разные количества отходов (0, 10, 20, 30 %) определен-

ного вида: стружку, листовую обрезь, галтованные куски. Расчетный химический состав электродов был одинаков и применялась одна партия титановой губки. Из электродов в одной печи выплавлялись слитки (по три на точку), которые перерабатывали на одинаковые полуфабрикаты.

Таким образом, были приняты все меры, чтобы переменным являлось одно упрочнение за счет отходов. Зная пределы прочности полуфабрикатов, изготовленных из слитков на свежей шихте и с добавлением определенной доли отходов, упрочнение пересчитывали на 100 % отходов;

4. Статистический метод, который в сущности ничем не отличается от третьего метода, но позволяет охватить значительно больший материал. Статистической обработке подвергали лишь данные, полученные на слитках (или полуфабрикатах), выплавленных по одинаковым шихтовкам, то есть сплавы, выплавленные как из свежей шихты, так и с добавлением отходов, имели одинаковый химический состав, а для их выплавки применялась губка с одинаковой прочностью.

Коэффициенты упрочнения определяли всеми четырьмя методами на следующих укрупненных классах отходов: стружке (неокисленной или травленной), листовой обрезь, кусковых отходов двух размеров: $150 \times 100 \times 100$ мм галтованных и травленных после галтовки и $60 \times 60 \times 60$ мм галтованных.

По соответствующим классам отходов всеми методами в среднем были получены примерно одинаковые результаты. Коэффициенты упрочнения оказались равными, МПа ($\text{кг}/\text{мм}^2$) [1]:

стружка неокисленная.....	216(22)
стружка травленная.....	196 (20)
листовая обрезь травленная	98 (10)
кусковые отходы галтованные (размер $60 \times 60 \times 60$ мм).....	78 (8)
кусковые отходы галтованные и травленные (размер $150 \times 100 \times 100$ мм)	59 (6)

Разумеется, полученные значения – довольно приближенные по ряду причин. Во-первых, эти коэффициенты относятся к укрупненным классам отходов, а внутри этих классов могут наблюдаться значительные различия в значениях коэффициентов упрочнения. Например, обрезь тонких листов имеет большее значение коэффициента упрочнения по сравнению с обрезью толстых листов, то есть упроч-

нение тем больше, чем меньше размер отходов. Во-вторых, значения коэффициентов упрочнения в большой мере зависят от фактического выполнения технологий плавки и обработки, от режимов очистки поверхности отходов. Тем не менее, указанные значения коэффициентов упрочнения дают возможность с достаточной точностью рассчитывать шихту для плавки титановых сплавов с вовлечением в нее отходов.

По физической сущности значения коэффициентов упрочнения определяются содержанием примесей внедрения, которое зависит от отношения площади поверхности к массе металла. Так, кислородом наиболее загрязнена стружка (из-за большой удельной поверхности), значительно меньше - листовая обрезь, кусковые отходы загрязнены менее всего.

Таким образом, основным требованием к качеству отходов, вовлекаемых в шихту для плавки, является минимальное загрязнение их примесями внедрения (в основном, кислородом). Тогда коэффициент упрочнения можно выразить следующим образом:

$$K = L(\Delta C_o + \Delta C_n) , \quad (2)$$

где L – коэффициент пропорциональности, определяемый значением предела прочности губчатого титана σ_z , используемого для выплавки слитков различных сплавов без добавления в шихту отходов (так называемая прочность основы, установленная для каждого титанового сплава);

ΔC_o и ΔC_n – прирост концентрации кислорода в слитке за счет вводимых в шихту отходов и переплава шихты, соответственно.

Исходя из оптимальных свойств полуфабрикатов установлены следующие расчетные пределы прочности губки σ_z , применяемой для выплавки различных серийных сплавов, МПа (кгс/мм²) [18]: ВТ3-1, ОТ4, ВТ5 – 471 (48); ВТ5-1 – 452 (46); ВТ1-1, ОТ4-1, ВТ6 – 432 (44); ВТ8 – 422 (43); ВТ14 – 392 (40).

Величина ΔC_n зависит от многих факторов (тип и объем печи, разрежение и др.) и принимается равной 0,04 %. Различные классы отходов характеризуются следующими значениями ΔC_o , %: стружка - 0,18; листовая обрезь - 0,08; кусковые отходы - 0,07. Зная значения ΔC_o и ΔC_n , можно рассчитать K для любого вида отходов любого титанового сплава.

2 Класифікація і характеристика вторинної титанової сировини

Главное отличие отходов титана и его сплавов от отходов других металлов и сплавов заключается в том, что они в процессе их образования при высоких температурах активно и технологически необратимо загрязняются газовыми примесями - кислородом и азотом. Кроме того, титановые отходы зачастую засорены другими металлами и неметаллическими примесями, а отходы различных титановых сплавов могут быть перемешаны между собой.

В основу качественной классификации титановых отходов по их качеству положен принцип возможности или невозможности использования их в шихте для выплавки слитков (см. Введение). Отходы, которые после соответствующей подготовки (или даже без нее) можно использовать для подшихтовки в плавку, считаются *кондиционными*. К ним относятся отходы, не смешанные по маркам сплавов и окисленные лишь с поверхности. *Некондиционными* называют отходы, которые при существующих методах подготовки отходов к плавке не могут быть переплавлены в металл, соответствующий требованиям, предъявляемым ГОСТ к серийным титановым сплавам.

Соотношение образующихся объемов кондиционных и некондиционных отходов составляет примерно 2:1, однако вследствие обнаружения скрытых дефектов при тщательном контроле это соотношение изменяется за счет перехода части кондиционных лома и отходов в разряд некондиционных. С другой стороны, совершенствование технологий плавки и обработки титана, а также подготовки отходов позволит использовать в шихте отходы, ранее считавшиеся некондиционными. Большие резервы в увеличении выхода кондиционных титановых отходов имеются также в упорядочении системы сбора, хранения и транспортировки отходов.

По подобному принципу в США титановые отходы подразделяют на два сорта: пригодные для производства слитков (сорт «воздушный») и сорт «железо» - для производства ферротитана, который получают переплавкой титанового и стального лома в индукционных печах.

В соответствии с ГОСТ 1639-93 "Лом и отходы цветных металлов и сплавов" [1] (табл. 7) титановые отходы по физическим

Таблица 7 - Классификация лома и отходов титана и титановых сплавов (ГОСТ 1639-93)

Класс	Наименование класса	Номер группы	Наименование группы	Сорт	Примечания
А	Лом и кусковые отходы титана и титановых сплавов	I	Титан чистый(нелегированный)	1 1a 2 3 4	1.В ломе и кусковых отходах сортов 1,1a,2 не допускаются масла, эмульсии, посторонние предметы, технологические смазки, отходы черных и цветных металлов, нетитановые приделки. 2.Пресс-остатки от прессования, полученные при изготовлении полуфабрикатов из заготовок, нагретых в хлорбариевых ваннах, или с применением смазок, собирают и заготавливают по соглашению с потребителем.
		II	Сплавы титановые, легированные компонентами, кроме олова	1 1a 2 3 4	
		III	Сплавы титановые, легированные оловом	1 1a 2 3 4	
Б	Стружка титана и титановых сплавов	I,II,III	-"-	1 1a 2 3	См.ГОСТ
З	Листовая обрезь титана и титановых сплавов	I,II,III	-"-	1 2 2a 2б 3 4	В листовой обрезе, высечке, решетке, плитах не допускаются масло, эмульсия, посторонние предметы, отходы черных и цветных металлов
Г	Шлаки и другие отходы титана и титановых сплавов	-	Характеристика: шлаки от огневой разделки... Требования: без упаковки и тары,... (см.ГОСТ)	3	В отходах класса Г допускается наличие отдельных отходов других классов.

признакам разделены на четыре класса: А - лом и кусковые отходы, Б – стружка, З - листовая обрезь, Г – прочие отходы (шлаки от огневой разделки продукции производства и потребления, отходы, получаемые при плавке, резке, зачистке полуфабрикатов, окалина, короны, отсеvy стружки). Каждый класс (кроме класса Г) параллельно подразделен по химическому составу на три группы: I - титан чистый (нелегированный), II - сплавы титановые, легированные любыми компонентами, кроме олова, и III - сплавы титана, легированные оловом. Отходы первой группы можно использовать при выплавке любого титанового сплава, а отходы второй и третьей групп - как правило, для тех сплавов, которые соответствуют марке сплава отходов. Выделение отдельной группы сплавов, легированных оловом, обусловлено применением титановых отходов в черной металлургии, где присутствие олова категорически не допускается, в отличие от других легирующих, содержащихся в титановых сплавах.

По показателям качества (кондиционности) каждая группа отходов делится на сорта: в классе А – на 1, 1а, 2, 3, 4, в классе Б – на 1, 1а, 2, 3, в классе З - на 1, 2, 2а, 2б, 3, 4. К 1-му сорту относятся неокисленные отходы, которые могут вводиться в шихту без какой-либо подготовки (за исключением обезжиривания), ко 2-му и 3-му - отходы, которые после соответствующей подготовки (измельчения, галтовки, иногда травления) также могут быть использованы в шихте.

Сорта 4-й кусковых и листовых отходов, 2-й и 3-й стружки для переплавки непригодны, так же как и все отходы класса Г, которые не делятся на группы и относятся к 3-му сорту со следующими требованиями: засоренность – не более 30 %, массовая доля титана – не менее 50 %, масса отдельного куска – не более 500 кг (табл.8-12).

Для металлургических предприятий, изготавливающих слитки титановых сплавов, обрабатываемых давлением, предназначены для использования в шихте следующие отходы:

класс А – группы I, II, III – сорта 1, 1а, 2, 3;

класс Б – группы I, II, III – сорта 1, 1а;

класс З – группы I, II, III – сорта 1, 2, 2а, 2б, 3.

Таким образом, отходы, соответствующие требованиям вышеуказанных классов, групп и сортов, являются кондиционными. В этом моменте происходит стыковка двух систем классификации титановых отходов: качественной (на кондиционные и некондиционные) и количественной (по ГОСТ 1639 – 93).

Таблица 8 – Отходы титана и титановых сплавов

Класс	Номер группы	Сорт	Наименование группы	Марки сплавов				
А	І	1 1а 2 3 4	Титан чистый (нелегированный)	BT1-00, BT1-0				
Б		1 1а 2 3						
З		1 2 2а 26 3 4						
А	ІІ	1 1а 2 3 4			Сплавы титановые, легированные компонентами, кроме олова	BT5, BT6, BT8, BT3-1, BT9, BT14, BT16, BT20, BT22, ПТ1М, ПТЗВ, ЗМ40, 5В, 37, ОТ4-0, ОТ4, BT23, АТЗ, АТ6, ЭТ5, 2В, ТС6, ОТ4-1, BT18,19,14, ЭТ2, ЭТ3, ЭТ7		
Б		1 1а 2 3						
З		1 2 2а 26 3 4						
А	ІІІ	1 1а 2 3 4					Сплавы титановые, легированные оловом	BT5-1, ТС5, BT25, BT18У
Б		1 1а 2 3						
З		1 2 2а 26 3 4						
Г		3						

Таблица 9 – Класс А. Лом и кусковые отходы титана и титановых сплавов. Группы I – III

Сорт	Характеристика	Требования	Норма
1	Лом и кусковые отходы, не засоренные другими металлами и сплавами, кусковые отходы, полученные в процессе изготовления полуфабрикатов и деталей, кроме пресс-остатков, полученных при прессовании полуфабрикатов из заготовок, нагретых в хлорбариевых ваннах или с применением смазок	Одной марки сплава Поверхность должна быть не окисленной (без цветом побежалости и окалины), без визуально обнаруженных трещин, надрывов и расслоений, без следов огневого реза Разделанные Масса куска облоя, прутка, г Размер куска, мм, не более Наибольший размер забракованных деталей и неразделанного облоя, мм, не более Размер куска, мм, не более: диаметр длина	100—1000 60×60×60 140 40 140
1a	Лом и кусковые отходы, не засоренные другими металлами и сплавами, кусковые отходы, полученные в процессе изготовления полуфабрикатов и деталей, указанные в 1-м сорте, но не отвечающие требованиям 1-го сорта	Одной марки сплава Без визуально обнаруженных трещин, надрывов и расслоений, без следов огневого реза Разделанные Масса куска облоя, прутка, г Размер куска, мм, не более Наибольший размер забракованных деталей и неразделанного облоя, мм, не более Размер прутка, мм, не более: диаметр длина	100—1000 60×60×60 140 40 140
2	Лом и кусковые отходы, не засоренные другими металлами и сплавами, полученные в процессе изготовления полуфабрикатов и деталей, указанные в 1-м сорте	Одной марки сплава Разделанные Масса куска: г, не менее кг, не более	1000 250
3	Лом и кусковые отходы, не отвечающие требованиям 1-, 1a-, 2-го сортов	Одной марки сплава Разделанные	
4	Отходы, образующиеся от переработки отходов при доведении их качества и размеров до технических требований, предъявляемых к 1-му сорту класса А, не отвечающие требованиям 1-, 1a-, 2-, 3-го сортов	Одной группы сплавов	

Примечания

1 В ломе и кусковых отходах сортов 1, 1a, 2 не допускаются масла, эмульсии, посторонние предметы, технологические смазки отходов черных и цветных металлов, нетитановые приделки.

2 Пресс-остатки от прессования, полученные при изготовлении полуфабрикатов из заготовок, нагретых в хлорбариевых ваннах, или с применением смазок, собирают и заготавливают по соглашению с потребителем.

Таблица 10 – Класс Б. Стружка титана и титановых сплавов. Группы I – III

Сорт	Характеристика	Требования	Норма
1	Стружка сыпучая, не засоренная другими металлами и сплавами	Одной марки сплава, без цветов побежалости Длина витка, мм Стружка не должна быть загрязнена маслом, эмульсией, посторонними предметами, обломками резцов, не обладающими магнитными свойствами, не должна быть гофрированной, волосовидной, рулонообразной	20—70
1a	Стружка сыпучая, не засоренная другими металлами и сплавами, не отвечающая требованиям 1-го сорта	Одной марки сплава, без цветов побежалости Длина витка, мм Стружка не должна быть загрязнена маслом, эмульсией, посторонними предметами, обломками резцов, не обладающими магнитными свойствами, не должна быть гофрированной, волосовидной, рулонообразной	20—70
2	Стружка, не засоренная другими металлами и сплавами, не отвечающая требованиям 1-, 1a-го сортов	Дробленая Одной группы сплавов Допускаются видимые цвета побежалости Стружка не должна быть загрязнена посторонними предметами, отходами черных и цветных металлов	0,15—0,25
3	Стружка, отсеvy, образовавшиеся от переработки стружки при доведении ее качества и размеров до технических требований и норм, предъявляемых к отходам 1-, 1a-го сортов и не отвечающие требованиям 1-, 1a-, 2-го сортов	Допускаются цвета побежалости, следы эмульсии	

Таблица 11 – Класс Г. Шлаки и другие отходы титана и титановых сплавов

Сорт	Характеристика	Требования	Норма
3	Шлаки от огневой разделки продукции производства и потребления, отходы, получаемые при плавке, резке, зачистке полуфабрикатов из титановых сплавов, окалина, «короны» литейного производства, отсеvy стружки титана и титановых сплавов	Без упаковки и тары Засоренность, %, не более Массовая доля титана, %, не менее Масса отдельного куска, кг, не более	30 50 500

Примечание — В отходах класса Г допускается наличие отдельных отходов других классов.

Таблица 12 – Класс 3. Листовая обрезь титана и титановых сплавов.
Группы I - III

Сорт	Характеристика	Требования	Норма
1	Листовая обрезь и высечка, не засоренные другими металлами и сплавами	Одной марки сплава Поверхность должна быть не окисленной без цветов побежалости и окалины, без визуаль-но обнаруженных трещин, надрывов и рас-слоений, без следов огневого реза Разделанные Размер обрезь и высечки, мм, не более	60×60×60
2	Листовая обрезь в виде полос и концов листов, не засоренная другими метал-лами и сплавами, не отвечающая тре-бованиям 1-го сорта	Одной марки сплава Без грубых визуально обнаруженных надры-вов и расслоений, без следов огневого реза Толщина, мм Стрела прогиба на 1 м линейного размера, мм, не более Длина, мм, не более	5—15 150 2200
2а	Листовая обрезь в виде полос и концов листов, не засоренная другими метал-лами и сплавами, не отвечающая тре-бованиям 1- и 2-го сортов	Одной марки сплава Без грубых визуально обнаруженных тре-щин, надрывов и расслоений, без следов ог-невого реза Толщина, мм, не более Стрела прогиба на 1 м линейного размера, мм, не более Длина, мм, не более	5 150 2200
2б	Листовая обрезь в виде полос и концов плит, не засоренная другими металла-ми и сплавами, не отвечающая требо-ваниям 1-, 2-, 2а-го сортов	Одной марки сплава Без грубых визуально обнаруженных тре-щин, надрывов и расслоений Толщина, мм, не более	15
3	Листовая обрезь, высечка, решетка, отходы листопрокатного производ-ства, не засоренные другими метал-лами и сплавами, не отвечающие тре-бованиям 1-, 2-, 2а-, 2б-го сортов	Одной марки сплава Размера пакета или куска, мм, не более	300×300×600
4	Отходы листовой обрезь, высечки, ре-шетки, плит, образовавшиеся от пере-работки отходов при доведении их до качества и размеров, предъявляемых к 1-му сорту класса 3, не отвечающие требованиям 1-, 2-, 2а-, 2б-, 3-го сортов	Одной группы сплавов	

Примечание — В листовой обрезь, высечке, решетке, плитах не допускаются масло, эмульсия, посторонние предметы, отходы черных и цветных металлов.