

*Докт. техн. наук, профессор Петрушов С.Н.
Канд. техн. наук, доцент Русанов И.Ф.
Канд. физ-мат. наук доцент, Русанова Н.И.
Инженер Петрушов Д.С.
(ДонГТУ, Алчевск, Украина)
инженер Роцин Б.А.
(ООО “Промбрикет”, г. Дружковка, Украина)*

АНАЛИЗ ПОТЕРЬ МАССЫ СТАЛЬНОЙ СТРУЖКИ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ БРИКЕТИРОВАНИЯ

Наведено результати визначення втрат маси сталевій стружки в ході її брикетування, які викликані видаленням вологи зі стружки й втратами при механічній її переробці.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В последние годы, с целью уменьшения дефицита металлолома черных металлов, организован ряд малых предприятий по брикетированию стальной стружки. Однако, освоив технологию брикетирования стружки, предприятия столкнулись с проблемой - при брикетировании возникают потери массы стружки, которых на первый взгляд быть не должно.

Наличие необъясненных потерь стружки при ее брикетировании и отсутствие их учета осложняют и искажают финансово-экономическую деятельность предприятий.

Анализ исследований и публикаций.

Учитывая, что брикетированию стальной стружки ранее уделялось мало внимания, в литературе отсутствуют данные об источнике и величине потерь массы стружки при ее брикетировании.

Постановка задачи.

Визуальное наблюдение за процессом брикетирования стружки показало, что потери массы стружки при брикетировании могут образовываться в результате удаления влаги из стружки и при ее подготовке к брикетированию. Поэтому анализу этих потерь и посвящена данная работа.

Изложение материала и его результаты.

На стальную стружку, как на сырье для брикетирования, распространяются требования ДСТУ на металлолом черных металлов.

Однако стружка по своим физическим свойствам существенно отличается от обычного металлического лома. В связи с этим некоторые требования ДСТУ оказываются некорректными и неприменимыми для оценки качества стружки. Так в ДСТУ 2141 – 2002 отсутствуют какие-либо требования к влажности стружки и учет ее при брикетировании не регламентирован, что приводит к потерям, намного превышающим установленные.

Главной особенностью стальной стружки является то, что она имеет очень развитую удельную поверхность на единицу массы.

Известно, что металлоломом для доменной плавки и сталеплавильного производства считается отдельный кусок металла массой не менее 1 кг (для металлолома I сорта) и не менее 0,5 кг (для металлолома II сорта). В сталеплавильном производстве, как правило, используют металлолом I сорта.

Простые расчеты показывают, что 1 кг такого металлолома имеет поверхность $130-200 \text{ см}^2$ или $13-20 \text{ м}^2 / \text{т}$.

Предназначенная для брикетирования стальная стружка имеет толщину от 0,4 до 1,2 мм, ширину 6-20 мм и длину около 100 мм (завьюченная - несколько десятков см). В результате площадь единицы массы стружки примерно в 200-300 раз больше, чем обычного металлолома. Согласно расчетам 1 кг стальной стружки имеет площадь $2650-3000 \text{ см}^2$ ($265-300 \text{ м}^2 / \text{т}$).

Стружка накапливается, как правило, в неотопливаемых помещениях-складах, а чаще на открытых площадках хранения металлолома. Доставляется стружка потребителям в открытых вагонах или автотранспортом.

Общеизвестно, что на поверхности материалов, в том числе и стали, при колебаниях влажности, температуры и давления воздуха выпадает роса. Следует обратить внимание на тот факт, что сталь обладает более высокой теплопроводностью по сравнению с бетоном, деревом, кирпичом и др. Поэтому именно на поверхности металлических изделий в первую очередь и выпадает роса. Наглядно это подтверждается наблюдаемой визуальной конденсацией атмосферной влаги на кузовах автомобилей и металлоконструкциях в утренние часы.

Из закономерностей образования водной пленки при конденсации влаги на поверхности материалов известно, что толщина слоя воды на относительно гладкой поверхности металла может составлять 0,1-0,3 мм [1]. Стружка же имеет далеко негладкую поверхность, - она изрезана большим количеством поперечных трещин и покрыта поперечными бороздами, образующимися при контакте резца с металлом. Размер этих борозд зависит от толщины и ширины стружки. При наблюдении стружки под микроскопом установлено, что стружка шириной 5-6 мм и

толщиной до 5 мм имеет борозды глубиной 0,1-0,2 мм. На крупной стружке шириной до 15 мм и толщиной до 1,2 мм борозды в два-три раза больше. На 1 см крупной стружки наблюдается 20-40 борозд, а мелкой – от 50 до 100. В этих бороздах силами поверхностного натяжения воды может удерживаться значительное количество влаги. В результате толщина водной пленки на поверхности стружки может быть значительно больше, чем на гладкой поверхности металлолома.

Расчеты показывают, что по этой причине на 1 м² поверхности стружки может прочно удерживаться в пять раз больше воды, чем на поверхности металлолома (0,5 и 0,1 кг соответственно). В результате этого на поверхности металлолома массой 1 т может скапливаться от 1,5 до 8 кг воды или 0,1-0,8 % от массы металлолома. Поверхность же 1 т стружки способна удерживать 25-80 кг воды или 2,5-10,0 % от массы стружки (иногда и больше).

В результате проявления рассмотренного выше явления конденсации влаги атмосферного воздуха на ее поверхности стружка увлажняется. Влажность же стружки определяется ее влагоемкостью, т.е. способностью стружки удерживать определенное количество влаги. При этом, если стружка находится под воздействием атмосферных осадков (под снегом или дождем), ее влажность повышается до определенного предела. Вызвано это тем, что содержание влаги в стружке определяется не количеством влаги, поступившей извне, а свойствами водной пленки, толщина которой может достигать 0,3 мм, а в отдельных случаях доходить до 0,5 мм в зависимости от качества поверхности.

В тоже время в общей массе стружки содержится значительное количество (10-20 %) мелкой фракции крупностью менее 5 мм, которая состоит из мелких частиц металла и неметаллических включений. Теплоемкость этой части шихты значительно ниже металла и конденсация влаги на ней менее заметна. Однако, как и любая сыпучая масса, мелкая фракция стружки обладает большей влагоемкостью, чем металл. Поэтому при атмосферных осадках ею может удерживаться значительное количество влаги. Как свидетельствуют опытные данные, материалы подобные мелкой части стружки обычно имеют влажность 3-5 %, а в отдельных случаях могут увлажняться до 10-15 % [2].

ДСТУ на металлолом черных металлов установлена верхняя граница для содержания неметаллических включений и влаги в 3 %. Общая влажность металлолома свободно укладывается в требования ДСТУ, и поэтому ее, как правило, не определяют, принимая за постоянную величину.

Влажность стружки может значительно превышать установленные нормы по содержанию неметаллических включений и влаги в металлоломе. При этом содержание влаги является определяющим. Не

учитывать это обстоятельство нельзя, так как оно приводит к большой невязке при составлении материальных балансов производства брикетов из стальной стружки.

Экспериментальное определение максимального количества влаги, которое может удержать поверхность стружки, подтверждает приведенные теоретические положения.

Для проведения экспериментов было отобрано 5 проб стружки со склада ООО “Промбрикет” массой по 7 кг каждая. В состав проб входила как мелкая, так и крупная стружка. Каждая проба помещалась на противень, взвешивалась и высушивалась до полного удаления влаги при температуре 120-250 °С, а затем снова взвешивалась. По полученным данным рассчитывали влажность стружки со склада. Затем пробы раздельно помещали в емкость объемом около 10 литров и заливали водой. Периодически перемешивая, стружку выдерживали в воде в течение 20 минут, а затем воду сливали. Намокшую стружку выгружали на металлический лист и выдерживали в течение 1 часа для естественного стока воды. Для ускорения процесса удаления влаги, не связанной со стружкой, лист периодически встряхивали. Выдержанную на воздухе стружку взвешивали.

Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментов по определению влажности и влагоемкости стальной стружки

№ опыта	Масса пробы стружки со склада г	Масса сухой стружки г	Масса воды		Масса мокрой стружки г	Увеличение массы пробы после увлажнения		Общее количество влаги в стружке	
			г	%		г	%	г	%
1	7000	6790	210	3,00	7189	189	2,70	399	5,70
2	7000	6852	148	2,11	7165	165	2,36	313	4,47
3	7000	6803	197	2,81	7201	201	2,87	398	5,68
4	7000	6840	160	2,29	7194	194	2,77	354	5,06
5	7000	6810	190	2,71	7182	182	2,60	372	5,31
Среднее	7000	6819	181	2,58	7186	186	2,66	367	5,24

Влажность стружки со склада в среднем составила 2,58 %, при максимально возможном содержании влаги в ней - 5,24 %.

Максимальную влажность стружка может иметь только в условиях мокрой, дождливой погоды или снегопада, то есть в основном осенью, зимой и весной. Это обстоятельство необходимо учитывать в пе-

риоды непогоды, при длительном пребывании стружки под дождем или снегом.

Наряду с этим следует отметить, что стружку для исследований брали с закрытого склада после длительного хранения, и мелкая фракция стружки размером менее 5 мм в пробу не входила. В других условиях влажность стружки при ее поступлении может быть значительно выше 5 % и с учетом влажности мелкой стружки, как отмечалось выше, может достигать 8-10 %.

Из приведенных данных следует, что в обычных условиях количество влаги в стружке, находящейся на складе, составляет 2,58 % и практически равно допустимому предельному содержанию неметаллических включений и влаги, которое установлено ДСТУ. Не учитывать этот факт нельзя, тем более что в настоящее время поступающая в цех стружка практически сразу же подвергается брикетированию, и условий для ее подсушивания на складе нет.

В связи с этим, следует полагать, что реальная влажность стружки колеблется в значительных пределах и в осенне-зимний период близка к результатам теоретических расчетов и достигает 3-8 % в зависимости от погодных условий и крупности стружки.

Как установлено экспериментально при брикетировании стружки содержащаяся в ней влага практически полностью удаляется.

Эксперименты проводились по описанной выше методике. Результаты опытов приведены в таблице 2.

Как следует из данных таблицы 2, готовые брикеты практически сухие, их влажность находится в пределах 0,08-0,20 % и в среднем составляет всего 0,12 %.

Максимальная влагоемкость брикета после погружения в воду соответствует теоретическим расчетам и составляет в среднем 0,4 %. Однако такую влажность брикет может иметь только в условиях длительного хранения или нахождения под открытым небом во время дождя или снега.

Кроме того, влажность брикетов в значительной мере определяется давлением прессования стружки.

Обычно брикетирование различных материалов осуществляется под давлением от 5 до 15 МПа в зависимости от свойств исходного материала и требований к качеству брикетов. В условиях ООО “Промбрикет” брикетирование стальной стружки ведут без связующих, при рабочем давлении на прессе 12-14 МПа в зависимости от толщины стружки и ее размеров, что обеспечивает получение прочных брикетов.

Для прессования мелкой стружки требуется, как правило, меньшее усилие, чем для крупной.

С целью установления взаимосвязи между содержанием влаги в брикетах и давлением прессования стружки были проведены эксперименты в производственных условиях.

Таблица 2 – Результаты определения влажности и влагоемкости брикетов

№ опыта	Масса брикета сразу после брикетирования стружки, г	Масса сухого брикета г	Масса воды		Масса брикета после увлажнения, г	Количество добавившейся влаги в брикете		Общее количество влаги в брикете	
			г	%		г	%	г	%
1	14400	14385	15	0,10	14450	50	0,35	65	0,45
2	12196	12186	10	0,08	12230	34	0,28	44	0,36
3	13952	13935	17	0,12	13996	44	0,32	61	0,44
4	10204	10183	21	0,21	10236	32	0,31	69	0,52
5	11361	11350	11	0,10	11387	26	0,23	44	0,32
Среднее	12423	12408	15	0,12	12460	37,2	0,30	56,6	0,42

Три пробы массой 1445, 2206 и 1690 кг были подвергнуты брикетированию под давлением 9, 12 и 13 МПа. Брикетировалась стружка одной поставки. Стружка перед брикетированием на складе не выдерживалась.

Потери массы стружки составили 30, 150 и 117 кг или 2,1, 6,8, и 6,9 % соответственно.

Как следует из анализа полученных данных, при рабочем давлении прессования 12-14 МПа влага удаляется практически полностью. Снижение же давления прессования наряду с ухудшением качества брикета приводит к увеличению содержания влаги в нем.

Кроме потерь массы стружки в результате удаления влаги, в ходе ее подготовке к брикетированию, наблюдаются механические потери.

На рисунке приведена технологическая схема производства брикетов в условиях ООО “Промбрикет”. На схеме указаны места возможных потерь массы стружки в ходе ее переработки, и дана характеристика потерь на каждой технологической операции.

Согласно представленной технологической схемы балансовое уравнение производства стружки может быть записано в следующем виде:

$$M_B = M_C - (P_{\text{к.л.}} + P_H + \Sigma P_{\text{IT}} + \Sigma P_{\text{IB}} + M_{\text{ЗК}}),$$

где: M_B – масса полученных брикетов, кг; M_C – масса исходной стружки, кг; $P_{\text{к.л.}}$ – потери массы стружки в виде крупного металлолома, кг; P_H – потери в виде крупных неметаллических включений (дерево, камни, ветошь и т.п.), кг; ΣP_{IT} – суммарные технологические потери на всех этапах подготовки стружки к прессованию и в процессе ее прессования, кг; ΣP_{IB} – тоже с влагой, $M_{\text{ЗК}}$ – масса крупной стружки, отправляемой на додрабывание, кг.

Потери стружки $P_{\text{к.л.}}$, P_H и ΣP_{IB} являются невосполнимыми, а технологические потери ΣP_{IT} – частично восполнимы, так как часть этих потерь в виде просыпи и остатка на агрегатах периодически возвращается в производство. При хорошей организации труда величина технологических потерь близка к нулю. В тоже время потери массы стружки $M_{\text{ЗК}}$ являются циклическими, – они постоянно возвращаются в производство и их величина практически постоянна на единицу массы стружки.

Для определения потерь массы исходной стружки в ходе ее подготовки и в процессе прессования в условиях ООО “Промбрикет” были проведены контрольные провески стружки на всех этапах процесса.

На начальной стадии процесса из общей массы складированной стружки была условно выделена часть объемом около 3 м^3 . Вся стружка этого объема от вершины до пола была перемещена на заранее очищенную от стружки и мусора площадку. При этом грейфером вначале была отобрана крупная стружка, а затем оставшаяся мелкая стружка была подобрана магнитной шайбой. После перемещения стружки на участке пола, на котором первоначально располагалась стружка, практически ничего не осталось.

На выделенной площадке из стружки вручную были выбраны крупные включения металла, неметаллические включения и ветошь. Масса выделенных включений оказалось равна 31 кг (в том числе 25 кг металла и 6 кг неметалла) что, как было посчитано после взвешивания от всей отобранной стружки, составило 2,5 % массы.

После выборки включений крупная завьюченная стружка грейфером была загружена в заранее оттарированный короб и взвешена. Масса этой стружки составила 865 кг. Затем мелкая стружка, оставшаяся на площадке была собрана магнитной шайбой и также взвешена. Ее масса составила 345 кг. Соотношение между мелкой и крупной стружкой в отобранном объеме составило 1:2,5.

На данном этапе исследований из крупной и мелкой стружки были отобраны пробы, и определена влажность каждого вида стружки.

Для определения влажности крупной стружки она была порезана ножницами на небольшие куски.

В результате проведенных исследований было установлено, что влажность крупной стружки составила 1,8 %, а мелкой – 6,5 %. Общая влажность исходной стружки без крупных включений составила 3,14 %.

После проведения описанной выше части эксперимента вся стружка (мелкая и крупная) общей массой 1210 кг была отправлена на дробление. Перед этим приемный бункер развивочной машины и дробилка были очищены от дробленной ранее стружки.

После дробления вся стружка была снова собрана в короб и взвешена. Ее масса оказалась равна 1195 кг. Потери массы стружки, поступившей на дробление, после дробления составили 15 кг или 1,24 %. Потери массы стружки в основном были вызваны частичным удалением из нее влаги. Влажность стружки после дробления уменьшилась на 1,2 % и составила 1,94 %

После дробления стружка была пропущена через барабанный грохот, где была выделена мелкая стружка фракции менее 30 мм. Масса выделенной фракции составила 1083 кг, а крупной – 106 кг. Общая масса стружки составила 1188 кг. Потери составили 6 кг, или 0,5 %.

Из мелкой просеянной стружки были изготовлены брикеты в количестве 1050 кг. Потери массы стружки в результате ее брикетирования составили 33 кг или 3,05 %. В том числе потери с осыпью стружки с брикетов 13 кг или 1,2 %.

Влажность брикетов составила 0,2 %.

Составленный по результатам экспериментального определения потерь при производстве брикетов материальный баланс в условиях ООО “Промбрикет” показал следующее.

Общие потери при производстве брикетов при проведении эксперимента составили 191 кг или 15,4 %. Из этих потерь 119 кг или 62,3 % являются оборотными и возвращаются в производство в процессе брикетирования следующих порций стружки.

Крупные металлические включения от общей массы потерь составляют 13,1 %, однако они могут быть компенсированы сдачей металлолома.

Действительно безвозвратными потерями являются потери с влагой, эмульсией и неметаллическими включениями. Даже в данном случае, когда для исследования была использована стружка длительное время хранящаяся на складе и имеющая относительно невысокую влажность (всего 3,14 %), потери по этим статьям баланса составили 3,38 %.

Как показали дальнейшие исследования, при поступлении мокрой стружки эти потери могут достигать 5-8 %, то есть из каждой тонны поступающей стружки от 30 до 80 кг теряется безвозвратно.

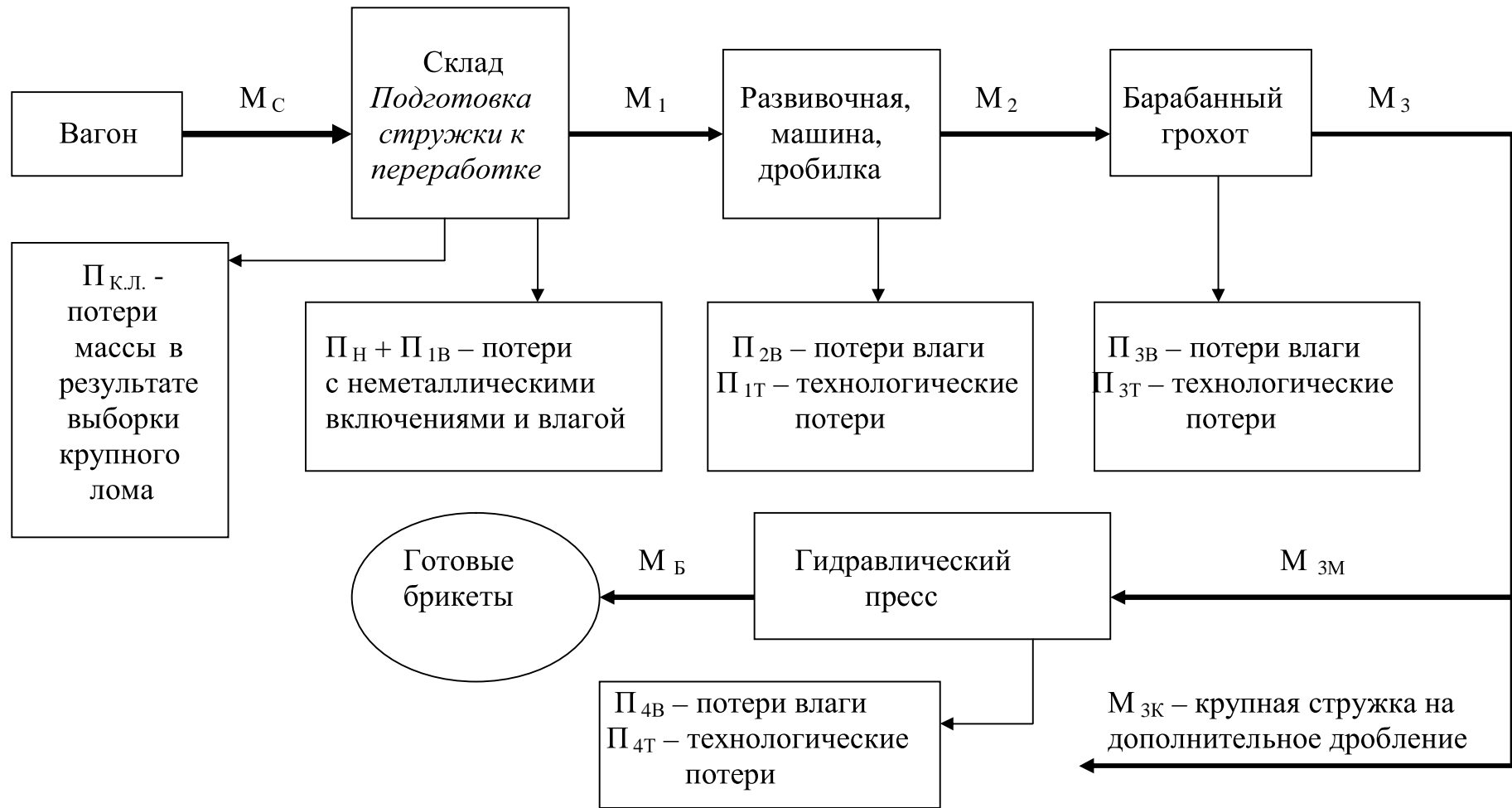


Рисунок. Технологическая схема производства брикетов

Последнее обстоятельство необходимо учитывать при составлении отчетной документации, относя эти потери на себестоимость брикетов. При этом потери в денежном выражении могут быть определены по формуле:

$$\Delta C = 0,0095 * Ц * (W + П_{Н}) \text{ грн,}$$

где: Ц – цена тонны стружки, грн; W – влажность стружки, %; П_Н – содержание крупных неметаллических включений в стружке, %; 0,0095 коэффициент, учитывающий потери массы стружки с влагой при ее брикетировании и в результате извлечения крупных неметаллических включений.

Выводы и направление дальнейших исследований.

1. Стальная стружка имеет значительно большую поверхность на единицу массы, чем металлолом. Так, для металлолома удельная поверхность составляет 13-20 м² / т, а для стружки – 260-300 м² / т.

2. Исходя из закономерностей образования водной пленки на поверхности, 1 т металлолома может удерживать от 1,5 до 8,0 кг воды или иметь влажность 0,1-0,8 %, а влажность стальной стружки может колебаться от 2,5 до 10 %.

3. Особенности накопления влаги стружкой необходимо учитывать при составлении материального баланса производства брикетов. При этом необходимо производить определение содержания влаги в поступающей стружке.

4. Потери с влагой могут составлять 5-8 % и их необходимо относить на себестоимость брикетов.

5. Производимые брикеты в среднем имеют влажность равную 0,12 % и, даже при длительном пребывании в воде, их влажность в среднем не превышает 0,4 %.

6. Невосполнимые механические потери при брикетировании стружки незначительны.

Приведены результаты определения потерь массы стальной стружки в ходе ее брикетирования, которые вызваны удалением влаги из стружки и потерями при механической ее переработке.

It is presented the results of determination the mass losses of metal chips during their briquetting, which are caused by moisture extraction from chips and losses at their mechanical processing.

Библиографический список.

1. Хирс Д., Паунд Г. Испарение и конденсация. пер. с англ. М. 1966.
2. Баринов Е.М. Краткий справочник металлурга. - М.: Металлургия, 1965. - 211 с.