

Министерство образования Российской Федерации
Тамбовский государственный технический университет

**Н. А. Чайников, П. С. Беляев,
А. Б. Мозжухин, В. В. Жариков**

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ
ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Утверждено Ученым советом университета
в качестве учебного пособия

Тамбов • Издательство ТГТУ • 2003

УДК 623.822.678.5.066
ББК К63я73
Ч157

Рецензент
кандидат технических наук, доцент
А. Д. Яцков

Чайников Н. А., Беляев П. С., Мозжухин А.

**Б.,
Жариков В. В.**

Ч15

7

Ресурсосберегающие технологии изготовления
металлополимерных материалов: Учебное пособие.
Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. 80 с

ISBN 5-8265-0216-9

В учебном пособии изложены энергосберегающие технологии и оборудование для переработки металлических стружечных отходов и получения высоконаполненных композиционных материалов. Проведен анализ технологий и оборудования для измельчения металлических стружечных отходов, представлены результаты экспериментальных исследований по измельчению металлической стружки, основных прочностных характеристик металлополимерных материалов и области их использования.

Пособие предназначено для студентов 5 курса специальностей 10500, 072500 дневного и заочного отделений.

УДК 623.822.678.5.066
ББК К63я73

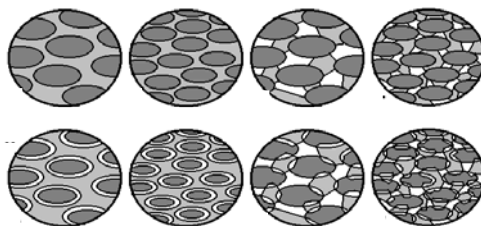
ISBN 5-8265-0216-9

© Тамбовский государственный
технический университет
(ТГТУ),
2003

© Чайников Н. А., Беляев П. С.,
Мозжухин А. Б., Жариков В.
В., 2003

**Н. А. Чайников, П. С. Беляев,
А. Б. Мозжухин, В. В. Жариков**

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ
ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**



• Издательство ТГТУ •

Учебное издание

**ЧАЙНИКОВ Николай Александрович,
БЕЛЯЕВ Павел Серафимович,
МОЗЖУХИН Андрей Борисович,
ЖАРИКОВ Валерий Викторович**

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ
ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Учебное пособие

Редактор Т. М. Глинкина

Компьютерное макетирование И. В. Евсеевой

Подписано к печати 22.01.2003

Гарнитура Times New Roman. Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Объем: 4,65 усл. печ. л.; 4,8 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. 47

Издательско-полиграфический центр ТГТУ

392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

.....	3
Глава 1 СПОСОБЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУЖКИ	4
Глава 2 ВИБРОВРАЩАТЕЛЬНЫЙ МЕТОД ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ...	5
2. Разработка нового метода измельчения	2
1	5
2. Сравнительные испытания вибровращательного метода измельчения и существующих методов	2
	8

	2.	Исследование влияния ПАВ на измельче-	
	3	ние металлической стружки	2
		.....	9
	2.	Разработка вибровращательной мельницы	
	4	непрерывного действия	3
		.....	6
Глава		ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
3		ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПО-	3
		РОШКОВ	9
Глава		ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	
4		ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ МЕТАЛЛОПО-	
		ЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	4
		.....	2
	4.	Характеристики компонентов высокона-	
	1	полненных металлополимерных компози-	4
		ций	2
	4.	Влияние ПАВ на процесс диспергирования	4
	2	.....	4
	4.	Исследование процесса диспергирования	
	3	вращательным и вибровращательным ме-	5
		тодами	0
Глава		ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-	
5		МЕХАНИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНЫХ ХА-	
		РАКТЕРИСТИК ПОЛУЧЕННЫХ МЕТАЛ-	5
		ЛОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	2
		
	5.	Исследование влияния способа пригото-	
	1	вления композита на прочностные характе-	5
		ристики получаемых металлополимерных	2
		материалов	
	5.	Исследование влияния соотношения на-	
	2	полнителя и связующего на прочностные	
		характеристики образцов	5
		.....	6
	5.	Исследование влияния давления прессова-	
	3	ния на структуру и прочностные характе-	
		ристики получаемого металлополимерного	6
		материала	0
	5.	Исследование теплофизических свойств об-	6
	4	разцов	3
Глава		РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРО-	
6		ЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОПОЛИ-	6
		МЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ И МАТЕРИАЛОВ	
		НА ИХ ОСНОВЕ	7
СПИСОК		ЛИТЕРАТУРЫ	7
		.....	2

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из задач, стоящих перед отечественной промышленностью, является экономия материальных ресурсов. В связи с этим комплексное использование существующих источников сырья и создание безотходных производств становится актуальным направлением ресурсосберегающей технологии. В данном конкретном случае рассматривается проблема переработки отходов металлообрабатывающих предприятий – металлической стружки, огромное количество которой образуется из года в год на машиностроительных заводах страны.

Стружка – широко распространенное и недефицитное сырье для получения металлических порошков, которые могут быть использованы в качестве катализаторов в различных химических процессах (например, для восстановления нитросоединений) [3]. За счет резко выраженной дефектной структуры при надлежащей технологии дезинтеграции этого материала процесс может протекать при сравнительно низких дополнительных энергетических затратах. Механическое измельчение стружковых отходов металлообработки становится перспективным методом получения порошков, позволяя экономически эффективно вернуть в производство значительную часть металла. Перед альтернативными решениями получения тонкодисперсных металлических порошков механическое измельчение стружковых отходов имеет то существенное преимущество, что в данном случае материал порошка соответствует марке стали, из которой получена стружка [4].

Традиционный способ рециркуляции стружкоотходов – переплав. Однако при таком способе переработки теряется безвозвратно около 30 % металла, прежде всего, легирующих элементов [5]. Целесообразнее превращать стружку в металлический порошок путем размола [6]. Важное преимущество метода получения порошков измельчением стружки – возможность изменения состава материала в процессе переработки введением дополнительных компонентов, в том числе таких, которые невозможно ввести в материал при получении порошка на основе другой технологии.

Создание энергосберегающих технологий позволяет получать новые материалы с меньшими затратами. Более рациональная утилизация стружковых отходов и повторное использование их в производстве позволяют осуществлять комплексные мероприятия, направленные на снижение затрат на производство продукции.

В учебном пособии изложены энергосберегающая технология и оборудование для переработки металлических стружечных отходов и получения высоконаполненных металлополимерных материалов вибровращательным методом, наполнителем в которых служат металлические порошки, а в качестве матрицы используются олигомеры.

Глава 1 СПОСОБЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУЖКИ

Процесс измельчения материалов в химической промышленности имеет огромное значение. Использование измельченных твердых тел позволяет значительно ускорить растворение, химическое взаимодействие, обжиг и другие процессы, протекающие тем быстрее, чем больше поверхность участвующих в них твердых тел [1]. Только в тонкоизмельченном состоянии применяют такие материалы, как пигменты и наполнители, измельчению подвергают природные материалы, сырье, полуфабрикаты и товарную продукцию. По многообразию измельчаемых твердых материалов, степени измельчения, типам и размерам измельчителей химическая промышленность не знает себе равных. В химической технологии применяют все виды измельчения, начиная от самого крупного, когда размер получаемых кусков материала достигает 250 ... 300 мм, и кончая коллоидным, когда размер частиц составляет доли микрона [2].

Разнообразие типов и размеров измельчителей объясняется масштабами и характером химических производств. Характер исходного сырья и требуемая степень измельчения определяют число ступеней измельчения и тип перерабатывающего оборудования. Процесс дезинтеграции твердых тел требует больших энергетических затрат и сопряжен с износом рабочих элементов измельчителя. С развитием химической промышленности увеличивается объем перерабатываемого материала, а следовательно, возрастает потребность в процессах измельчения и необходимом оборудовании. Предъявляются все новые, более высокие требования к размольному оборудованию и схемам процесса, поэтому представляется актуальным дальнейшее совершенствование техники измельчения, создание более совершенных измельчителей и измельчающих установок.

Известно, что максимальная дисперсность измельчения в мельницах различной конструкции пропорциональна ее энергонапряженности, т.е. мощности, сообщаемой единице объема помольной камеры [7].

Одним из вариантов повышения энергонапряженности вращающихся шаровых мельниц является увеличение диаметра барабана. В свою очередь, увеличение геометрических параметров рабочих узлов барабанных мельниц ведет к увеличению массы размольного оборудования, расхода металла, а также производственных помещений. В этой связи увеличение диаметра барабана шаровых мельниц не является наиболее удачным решением задачи повышения эффективности процесса измельчения.

Невозможность повышения энергонапряженности вращающихся барабанных мельниц иным путем, кроме как увеличением диаметра барабана, особенно сказывается при тонком измельчении. Кроме того из-за ограничения в скорости вращения барабанная шаровая мельница не может быть эффективно применена для тонкого измельчения и получения порошкового материала при измельчении металлических стружковых отходов.

Известно, что одним из эффективных методов интенсификации процессов измельчения твердых тел является увеличение скорости движения мелющих тел, производящих разрушение частиц материала, находящихся в мельнице. С увеличением скорости увеличивается частота соударений рабочих мелющих элементов с частицами, соответственно снижается продолжительность пребывания материала в мельнице, т.е. увеличивается производительность. Сокращение длительности цикла измельчения приводит к меньшему окислению измельчаемого продукта и меньшему загрязнению его продуктами износа мелющих тел. Одним из видов измельчительного оборудования, в котором достигается число соударений на 1-2 порядка больше, чем в барабанных мельницах, являются вибрационные мельницы [8, 9].

Несмотря на более высокую энергонапряженность, способ измельчения в вибрационных мельницах с выносным вибратором обладает таким недостатком, как наличие застойных зон в барабане, которые образуются из-за различия насыпной плотности исходного и измельчаемого материала. Измельчаясь, материал оседает в нижнюю часть барабана, т.е. размол происходит в нижнем слое шаров. Измельчение затрудняется, так как шары находятся в более плотном измельчаемом материале, при этом амплитуда колебаний шаров уменьшается. В свою очередь, верхние слои шаров не совершают в полной мере полезную работу и, вследствие этого, эффективность измельчения снижается.

Ранее была доказана принципиальная возможность получения металлического порошка методом измельчения стружкоотходов в барабанной шаровой мельнице [10]. В этой связи ставится задача изыскания новых методов интенсификации процессов измельчения и повышения эффективности существующего размольного оборудования при переработке стружковых отходов металлообрабатывающих производств. В настоящее время известно достаточно большое количество различных конструктивных решений задачи повышения эффективности процесса измельчения, которые в большинстве случаев связаны с вибрацией рабочего органа измельчения.

Например, в работе [11] эффективное измельчение твердых тел достигается в устройстве, содержащем основание, неподвижное мелющее тело с внутренней гладкой конической рабочей поверхностью и установленное внутри него на упругих опорах подвижное мелющее тело с наружной конической поверхностью, соединенное с виброприводом. Подвижное мелющее тело выполнено из чередующихся участков постоянной и переменной конусности, причем угол наклона образующих участков постоянной конусности возрастает, а зазор между подвижным и неподвижным мелющими телами уменьшается по ходу движения материала.

Работа устройства осуществляется следующим образом. Материал из приемной воронки неподвижного мелющего тела подается в зазор между гладкой поверхностью с постоянной конусностью неподвижного мелющего тела и поверхностью с переменной конусностью подвижного мелющего тела. Поскольку мелющее тело с переменной конической поверхностью колеблется под воздействием вибропривода, то материал перемещается в образующийся зазор, и по мере перемещения из большего в меньший зазор происходит последовательное измельчение материала до необходимой фракции, которая затем поступает в сборный бункер и используется в последующих операциях технологического процесса.

Предложенное устройство имеет несложное конструктивное исполнение, и это является его основным достоинством. Кроме того, устройство несложно в изготовлении. Однако авторы не сообщают, какую тонину помола порошка можно получить при реализации данного устройства. В предложенном устройстве крупность фракций измельчаемого порошка регулируется путем изменения зазора между рабочими поверхностями неподвижного и подвижного мелющих тел. Реализовать конструктивно регулировку зазора для получения заданных тонких фракций измельчаемого материала между неподвижным и вибрирующим мелющими телами достаточно сложно. В этой связи предложенное устройство

можно рекомендовать для получения порошковых материалов с высокой крупностью помола. Такой же вывод можно сделать при рассмотрении других аналогичных устройств, предлагаемых авторами в работах [12, 13]. Отличие конструкций заключается для первого случая в возврате крупных фракций на доизмельчение в дополнительном дробящем конусе, жестко соединенном с основным, а во втором, в целях повышения надежности разгрузки дробленого продукта, разгрузочная течка выполнена в виде двухлопастной спирали, у которой направление схода совпадает с направлением вращения вибропривода.

С целью повышения степени измельчения твердых тел в порошковые материалы авторами изобретения [14] предложена роликовая вибрационная мельница. Роликовая вибрационная мельница содержит корпус, установленный на фундамент через пружины, с мелющей камерой. В камере на полом вала жестко закреплен ролик. На концах вала размещены дебалансы на подшипниках. Дебалансы соединены с приводным валом, проходящим внутри полого вала. На внутренних стенках дебалансов выполнены открытые к периферии радиальные пазы, в которые свободно установлены ролики, контактирующие с рабочей поверхностью камеры корпуса. Приводной вал через лепестковую муфту связан с электродвигателем.

От вала получают вращение дебалансы, которые создают центробежную силу, заставляющую ролик обкатываться по поверхности камеры и раздавливать материал, поступающий через бункер. Растекаясь от центра к периферии, материал попадает на доизмельчение под ролики, которые при вращении дебаланса с высокой окружной скоростью обкатываются по цилиндрическим расточкам мелющей камеры.

Повышенное воздействие центрального ролика на измельчаемый материал дополняется и периферическими центробежными роликами, установленными в пазах дебалансов, которые доизмельчают материал, обеспечивая тем самым требуемую тонину помола и однородность продукта. Несмотря на возможность получения порошкового материала требуемой тонкости помола, предложенное устройство роликовой вибрационной мельницы имеет, на наш взгляд, некоторую сложность в реализации конструктивной схемы и изготовлении ее рабочих деталей.

С целью повышения производительности процесса измельчения и качества готового продукта, авторами [15] предложено устройство для измельчения порошков, которое представляет собой неподвижный цилиндрический корпус, закрытый крышкой, в котором расположен вращающийся вертикальный вал с рабочими органами, выполненными в виде стержней. Корпус заполнен свободно расположенными износоустойчивыми шарами. Под крышкой расположена плита, которая пружинами прижимается к подвижному шару. Для исключения поворота подвижной плиты относительно крышки в нажимной плите жестко закреплены направляющие стержни, проходящие через верхнюю крышку.

Рассмотрим поэтапно работу устройства. Рабочие органы, расположенные на вращающемся валу, приводят в движение свободно расположенные в рабочей полости неподвижного корпуса шары, которые производят измельчение порошка. Плита, выполненная из износоустойчивого материала, под действием пружин прижимает подвижные шары, сводя к минимуму объем, занимаемый ими в рабочей полости устройства, и увеличивает истирающее воздействие шаров на порошок. Загрузка и разгрузка порошка и шаров производится при снятии верхней крышки с неподвижного корпуса.

Использование предложенного устройства по сравнению с известными повышает производительность процесса измельчения, исключает сегрегацию шихты из смеси порошков, удельный вес которых отличается в 1,5 раза и более один от другого, в результате чего получаются порошки с однородными свойствами.

Недостатком данной конструкции является неудобство выгрузки готового продукта и сложность реализации конструктивной схемы с непрерывным процессом измельчения. Такие же недостатки обнаруживаются в аналогичном устройстве, предлагаемом авторами в работе [16]. Отличительная особенность последнего заключается в горизонтальном расположении корпуса с возможностью его вращения.

Известно устройство для тонкого измельчения материалов [17], содержащее корпус, в котором выполнены рабочие камеры, последовательно соединенные друг с другом перегрузочными каналами. В корпусе с помощью подшипников смонтирован приводной дебаланс, соединенный муфтой с электродвигателем. В каждой камере последовательно вдоль ее оси размещены внутренние мелющие тела – ролики, ограниченные от осевого перемещения упорами, запрессованными в крышки камер. Корпус снабжен загрузочной емкостью и разгрузочной течкой.

Устройство работает следующим образом. При вращении дебаланса корпус получает круговые колебания, а вместе с ним – и внутренние мелющие тела, откатывающиеся по наружному телу, укрепленному в корпусе. Материал, поступающий из загрузочной емкости в камеры, перемещается тонким слоем из камеры в камеру по каналам. По пути к разгрузочной течке материал получает в десятки раз большее число воздействий. Необходимо отметить, что измельчение в данном устройстве осуществля-

ется в тонком слое и позволяет получить тонкодисперсный порошок материал. Однако производительность такой мельницы незначительна и не может удовлетворить потребность промышленности.

С целью повышения коэффициента полезного действия вибрационного измельчения известна вибророликовая мельница [18], которая включает амортизаторы, корпус, имеющий с одной стороны загрузочный патрубок, а с другой – разгрузочный патрубок. Внутри корпуса расположен мелющий ролик, конец которого, расположенный под загрузочным отверстием, выполнен в виде шарового шарнира. На противоположном конце ролика на подшипниках размещен дебаланс, соединенный приводным валом с электродвигателем через лепестковую муфту.

При вращении дебаланса возникает центробежная сила, заставляющая ось ролика относительно шарнира описывать коническую поверхность. При этом материал поступает через загрузочный патрубок, попадает под переднюю часть ролика, имеющую в этой зоне минимальную амплитуду и максимальную силу давления на материал. Далее измельчаемый материал, распределяясь равномерно по гранулометрическому составу, заполняет зазор между роликом и корпусом. Попадая в калибрующую коническую зону камеры, слой материала формируется на большую высоту, чем в начале, и здесь имеет место измельчение внутри слоя. В этой зоне при минимальном использовании силы дебаланса максимально используется центробежная сила от массы самого ролика.

Наиболее полное использование силы дебаланса повышает КПД установки, одновременно достигается равномерное по гранулометрическому составу распределение измельчаемого материала по длине камеры, что способствует равномерному износу футеровки. К достоинству рассмотренной вибророликовой мельницы можно отнести простоту конструктивного оформления, небольшую металлоемкость конструкции, но, по нашему мнению, данное устройство для измельчения имеет низкую производительность, что имеет существенное значение при его промышленной реализации.

Задача повышения интенсивности процесса измельчения ставилась при разработке ряда устройств. Так, известно устройство [19], которое содержит неподвижный корпус, выполненный в виде полого полушара, диск, расположенный в его диаметральной плоскости и просеивающую сетку. Корпус заполнен мелющими телами и имеет загрузочный и разгрузочный патрубки.

Рассмотрим механизм работы устройства. Через загрузочный патрубок материал подается в корпус, где на диске и сетке расположены мелющие шары в несколько слоев. Затем включается привод и начинает вращение диск. При этом шары, находящиеся на диске и сетке, разлетаются во все стороны, ударяются о корпус и между собой. Попадая каждый раз на вращающийся диск, они обретают новую порцию кинетической энергии и вновь разлетаются. Материал, находящийся в корпусе, при этом интенсивно измельчается между шарами и корпусом и, достигнув определенной дисперсности, просыпается через сетку.

Интенсивность соударений шаров, а, следовательно, и производительность измельчения регулируется числом оборотов вращающегося диска.

К достоинствам данного устройства следует отнести непрерывность процесса и простоту конструкции. Однако производительность предложенного устройства, на наш взгляд, невелика. Между сеткой и первым слоем шаров может быть образована застойная зона, и сетка будет часто забиваться. Повышение эффективности процесса измельчения поставлено целью в известном устройстве [20], состоящем из ступенчатого ротора, в верхней части которого имеются молотки для раскалывания и разбрасывания материала, неподвижного статора, вибратора, приводящего в вертикальные колебания вращающийся ротор с заданной амплитудой и частотой, и загрузочного и разгрузочного патрубков.

Мельница работает следующим образом. В загрузочный патрубок засыпается материал, который, попадая на молотки, раскалывается и разбрасывается к стенке статора и далее, последовательно измельчаясь, проходит через все ступеньки зоны измельчения между вращающимся и вибрирующим ротором и неподвижным статором и высыпается, проходя последнюю зону. Рабочие поверхности статора и ротора могут быть выполнены из рифленых износостойчивых накладных пластин.

По нашему мнению, предложенное устройство может быть реализовано в лабораторных условиях, производительность его незначительна.

Повышение производительности процесса измельчения поставлено целью в известной вибрационной мельнице [21] – рис. 1.1.

Вибромельница содержит опорную раму, упругие опоры, несущую раму, вибраторы, помольную камеру с мелющими телами. Днище камеры выполнено в виде усеченного конуса с большим основанием внизу. Наружная стенка камеры выполнена также в виде конуса, но с меньшим основанием внизу. Сверху камера помола закрыта крышкой с загрузочным патрубком.

Для сбора измельченных фракций, поступающих с наружного конуса, предусмотрен кольцевой желоб с выгрузочным патрубком, а вывод измельченных фракций с внутреннего конуса осуществляется центральным патрубком. Соединение патрубков с узлом загрузки и приемными емкостями осуществляется гибкими гофрированными герметизаторами. Рассмотрим процесс работы вибромельницы. В помольную камеру через загрузочный патрубок подается измельчаемый материал, затем включаются вибраторы, которые сообщают помольной камере винтовые колебательные движения. Под воздействием этих колебаний мелющие тела вместе с измельчаемым материалом двигаются вокруг вертикальной оси камеры по конусам. В результате частых соударений частиц материала с мелющими телами и между собой материал измельчается. При достижении определенной тонины помола измельченные фракции транспортируются вверх по коническим поверхностям к выгрузке. Далее измельченный материал, поступивший с внутреннего

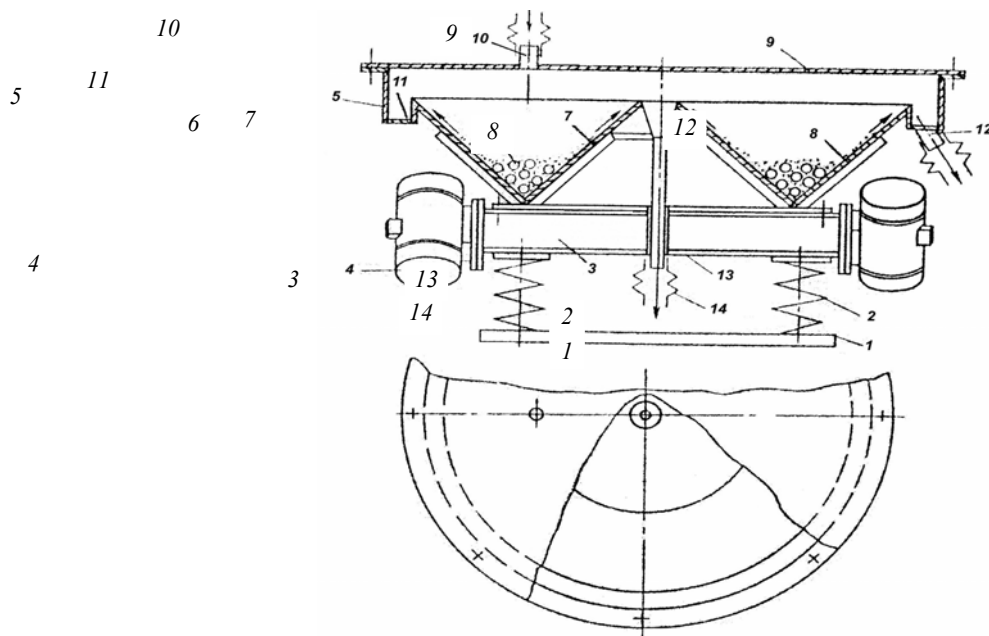


Рис. 1.1 Вибрационная мельница:

- 1 – опорная рама; 2 – упругие опоры; 3 – несущая рама; 4 – вибраторы;
 5 – помольная камера; 6 – мелющие тела; 7 – камера; 8 – наружная стенка
 камеры; 9 – крышка; 10 – загрузочный патрубок; 11 – кольцевой желоб;
 12 – выгрузочный патрубок; 13 – рама;
 14 – гибкие гофрированные герметизаторы

конуса, сводится в приемную емкость через центральный выгрузочный патрубок, а измельченные фракции, поступившие с наружного конуса, попадают в кольцевой желоб и затем через периферийный патрубок отводятся в приемную емкость.

Выполнение элементов камеры помола в виде сочетания двух усеченных конусов и снабжение камеры дополнительно выгрузочным патрубком позволяют интенсифицировать процесс помола за счет ускорения вывода измельченных фракций из зоны дробления, что приводит к росту эффективности процесса помола и, следовательно, производительности.

Известен способ получения металлического порошка из стружки и устройство для его реализации, которое направлено на повышение производительности и снижение энергоемкости процесса измельчения [22].

В этом авторском свидетельстве представлены три схемы реализации способа.

1) В устройстве с рифлеными плоскостями мелющих поверхностей, снабженными самобалансными вибраторами. Принудительное перемещение вдоль камеры осуществляется за счет момента инерции массы стружки в момент расхождения мелющих поверхностей с одновременным движением их в сторону загрузки. Производительность до 1 тонны крупнозернистого порошка (до 5 мм) в час.

2) В устройстве для измельчения стружки с конусообразными гладкими поверхностями, снабженными вибраторами.

3) В устройстве с цилиндрической внешней и конусообразной внутренней рифлеными мелющими поверхностями, вал которого закреплен с одной стороны в глухом торце корпуса, а с другой стороны входит в подшипник с вибратором.

Применение предлагаемого способа обеспечивает снижение энергоемкости по сравнению с известным устройством (по первой схеме с 12 кВт/т до 9 кВт/т, по второй схеме с 12 кВт/т до 11 кВт/т, а по третьей схеме с 12 кВт/т до 10 кВт/т) и повышение производительности. Недостатком данного способа является то, что в предложенных схемах реализации способа можно получить порошок очень высокой крупности.

С целью повышения производительности и надежности работы предложено устройство [23] для измельчения металлической стружки, содержащее корпус, в верхней части которого находится загрузочный бункер, внутри корпуса расположен механизм дробления, выполненный в виде двух валков, на поверхности каждого из которых имеются выступы с режущими кромками, расположенные между выступами другого валка, причем один из валков подпружинен в горизонтальной плоскости, оба валка через зубчатую передачу кинематически связаны с приводом. Между неподвижным ножом и колосниковой решеткой вертикально установлен и закреплен на приводном валу многозаходный шнек с двухсторонними торцовыми ножами. Колосниковая решетка верхним торцом взаимодействует с многозаходным шнеком, а нижним торцом – с дополнительным вращающимся ножом.

Устройство работает следующим образом. В загрузочный бункер поступает металлическая стружка, которая выступами валков захватывается и перемещается вниз, при этом в момент контактирования валков стружка разрезается на отрезки, а в момент неконтактирования валков и благодаря их различной скорости вращения за счет передаточного числа зубчатой передачи, равного двум, стружка разрывается. Затем отрезки стружки длиной 50 ... 100 мм падают на крестовидный нож и захватываются многозаходным шнеком, а его верхние торцовые ножи измельчают отрезки стружки до фракции 20 ... 30 мм. Нижние торцовые ножи многозаходного шнека и вращающийся нож взаимодействуют с колосниковой решеткой и измельчают отрезки стружки до фракции 5 ... 15 мм. Недостатком данной конструкции является сильный износ торцовых ножей, а также очень высокая крупность получаемого порошка. Такие же недостатки обнаруживаются при рассмотрении аналогичных устройств для дробления металлической стружки в работах [24, 25].

Известно устройство для измельчения твердого материала [26], авторы которого решали задачу повышения производительности процесса. Данная конструкция представляет собой вращающуюся емкость, дно которой выполнено с кольцеобразным желобом. Емкость установлена под острым углом к горизонтальной плоскости и размещена в корпусе. В кольцевом желобе свободно помещен мелющий шар, который, несмотря на вращение емкости, благодаря ее наклону будет постоянно находиться в нижней точке. Течка служит для подачи материала, патрубков – для отвода готовой пыли. Работа устройства происходит следующим образом. Емкость приводится во вращение. На ее желоб по течке подается размалываемый материал, который попадает под перекатывающийся шар, постоянно находящийся в нижней точке стола, и подвергается размолу путем раздавливания. Воздух, выходящий через сопло, сдувает пыль с поверхности стола и по трубопроводу в виде аэросмеси выходит из корпуса в сепаратор. Угол наклона емкости выбирается таким образом, что если за один проход материал не будет размолот шаром, он остается на поверхности емкости в желобе и повторно подвергается размолу.

Недостатком данной конструкции является то, что измельчаемый материал подвергается только раздавливающему воздействию, вес шара зависит от свойств перерабатываемого материала. На наш взгляд, чем больше на материал воздействует различных разрушающих усилий, тем интенсивнее идет процесс разрушения. Эту мельницу можно рекомендовать только для помола очень хрупких материалов.

Повышение эффективности процесса измельчения ставилось целью в работе [27], в которой представлена конструкция роликотельцевой мельницы. Устройство содержит электродвигатель, вал которого с помощью упругой муфты соединен с другим валом, на котором крепятся рабочие органы, состоящие из роликов, шарнирно закрепленных с помощью подпружиненных осей к крестовине. Корпус мельницы состоит из секций, которые, в свою очередь, собираются из цилиндров и размольных колец. На секциях неподвижно установлены диски, к которым прикреплены гибкие тонкостенные стаканы. Корпус измельчителя установлен в кожух, а зазор между ними заполнен звукоизолирующим материалом. К корпусу прикреплен конусный классификатор с входным штуцером.

Механизм работы мельницы следующий. Измельчаемый материал по пневмопроводу через штуцер поступает в классификатор, в котором происходит отделение крупных частиц под действием гравитационных и инерционных сил. Крупные частицы поступают в верхнюю часть корпуса мельницы и движутся потоком воздуха и силами гравитации в зазоре между стенкой корпуса и первым гибким тонко-

стенным стаканом, прижимаемым к кольцу роликами за счет сил инерции и пружин. Материал, пройдя первую секцию, поступает во вторую, в зазор между корпусом и вторым гибким стаканом и так далее. Из нижней части корпуса материал попадает в классификатор. Там крупные частицы отделяются и возвращаются в мельницу на доизмельчение, а целевой продукт направляется по назначению.

Достоинство такой конструкции состоит в упорядочении движения частиц материала, применение двух мелющих роликов в каждой секции позволяет увеличить число циклов нагружения на материал для получения частиц требуемой дисперсности. Недостатком этой мельницы является то, что перерабатываемый материал измельчается только путем раздавливания – отсюда ограничение по прочности исходного сырья.

Интересен также способ получения металлического порошка из стружки, описанный в работе [28]. Там авторы предлагают перерабатывать предварительно сбрикетированную и пропитанную твердеющим наполнителем (вода, эпоксидные смолы, пропитка медью, ее сплавами, свинцом и т.д.) стружку путем истирания иглофрезерованием. Полученный металлический порошок затем следует подвергнуть термообработке для удаления наполнителя. Конечный размер частиц порошка, как сообщают авторы, находится в пределах от 0,01 до 0,5 мм, т.е. вполне пригодная фракция для получения готовых деталей или полуфабрикатов методами порошковой металлургии. Но авторы изобретения не сообщают, насколько производителен и энергоемок такой способ получения металлического порошка.

С целью повышения эффективности переработки материала предложен следующий измельчитель [29]. Конструктивная схема последнего представляет собой корпус, в котором смонтированы нижняя неподвижная и верхняя плиты, рабочие поверхности плит выполнены оппозитно волнообразными и расположены наклонно к горизонту. Верхняя плита подпружинена вниз, связана с корпусом, а также кинематически посредством шатуна с приводным кривошипом и имеет возможность колебаться по трассе участка волны за счет П-образной поперечины с роликами. Причем ролики обкатываются волнообразной поверхностью подвижной плиты. Узел загрузки представлен точкой и транспортером. В процессе работы измельчителя верхняя плита колеблется поступательно. Загружаемое сырье ориентируется по центру полости между совмещенными впадинами, в результате смещений плиты куски материала периодически подвергаются объемному сжатию, интенсивность которого определяется массой плиты и особенно степенью сжатия пружин. По мере переработки материал перемещается по уклону на выгрузку. Кондиционный продукт отсеивается путем грохочения.

Достоинством данного устройства является простота конструктивного оформления, а также непрерывность процесса. К недостаткам следует отнести высокую крупность готового продукта, так как минимальная величина зазора между плитами определяется величиной самого крупного куса перерабатываемого материала.

Повышение эффективности процесса измельчения ставилось целью авторами работы [30] при разработке барабанной мельницы. Данная конструкция включает в себя барабан, в котором горизонтально расположен ротор, выполненный в виде усеченного конуса, по образующей которого и под острым углом к ней установлены билы. Барабан и ротор приводятся в движение отдельными приводами.

В процессе работы мельницы исходный материал вместе с водой загружают в барабан со стороны меньшего диаметра ротора. За счет центробежных сил материал поднимается в верхнюю часть барабана и попадает в зону действия бил ротора, смонтированного с возможностью вращения в направлении, противоположном направлению вращения барабана. При этом соотношение максимального и минимального диаметров ротора обеспечивает на поверхности ротора в зоне минимального диаметра линейную скорость порядка 20 ... 30 м/с. Материал, поступающий в мельницу, начинает подвергаться удару на участке ротора, имеющем минимальную линейную скорость. Тем самым обеспечивается оптимальное (без переизмельчения) ведение процесса. Измельченный продукт транспортируется потоком воды (пульпы) в сторону разгрузки. Материалы средней прочности разрушаются на участках ротора с большей линейной скоростью, еще более прочные – на участках с еще большей линейной скоростью поверхности ротора и т.д. Таким образом, происходит избирательное измельчение и обеспечивается максимальная производительность аппарата. Расположение бил по образующей ротора и под острым углом к ней дополнительно повышает эффект избирательности дробления за счет увеличения скорости движения материала к разгрузке. Увеличение скорости обеспечивается тем, что материал, падающий на ротор, подвергается воздействию ударной силы, направленной под углом в сторону разгрузки. В результате действия такого вектора силы частицы приобретают составляющую скорости, направленную в сторону разгрузки.

Достоинство такого способа переработки состоит в непрерывности процесса, избирательности измельчения, что приводит к получению более однородного продукта. К сожалению, авторы не привели

сведения о тонине конечного продукта измельчения. По нашему мнению, такую мельницу можно рекомендовать для получения порошкового материала высокой крупности.

Известно устройство для измельчения металлической стружки [31], содержащее корпус, на приводном валу которого закреплен ротор с ножами. Между ножами ротора установлены другие ножи, секционно закрепленные на плитах, которые шарнирно установлены на корпус. На последнем смонтированы подпружиненная заслонка и упоры, поверхности которых сопрягаются с соответствующими поверхностями плит и заслонки. Под ротором находится разгрузочное устройство. Плиты и заслонка поджаты подпружиненными штоками, в корпусе смонтирован загрузочный бункер.

Устройство работает следующим образом. Металлическая стружка через загрузочный бункер поступает в корпус. Заслонка предотвращает попадание недробимой стружки в разгрузочное устройство. Измельченная стружка просыпается в емкость через разгрузочное устройство и уносится специальным конвейером. При попадании недробимого тела в зону работы ножей, вследствие повышенного сопротивления, последние начинают поворачиваться вместе с плитами против часовой стрелки. Пружины штоков сжимаются, увеличивая зазор между ножами до тех пор, пока недробимое тело не упадет на разгрузочное устройство. Секционное закрепление ножей на плитах позволяет поворачивать ту плиту или пару плит, на ножах которых находится недробимое тело, остальные секции ножей продолжают измельчать стружку, что уменьшает динамическое воздействие на ротор и повышает надежность работы. Опорные поверхности плит, взаимодействуя с сопряженной поверхностью, предотвращают перекося ножей относительно друг друга и их поломку. Недробленая стружка, просыпавшаяся в зазор при повороте ножей, установленных на плитах, увлекается с ее накоплением ножами ротора и, поворачивая заслонку против часовой стрелки, подается в зону над механизмом дробления, и вновь измельчается.

Данный измельчитель отличается высокой надежностью и устойчивостью в работе, но на нем нельзя получить металлический порошок высокой дисперсности. Это устройство можно рекомендовать для предварительного измельчения стружки.

С целью повышения эффективности процесса измельчения авторами работы [32] предложено следующее устройство для измельчения материалов. Его конструкция состоит из корпуса с загрузочной воронкой и установленных в корпусе двух валов с закрепленными на них дисками с зубьями. Валы установлены с возможностью вращения с равной угловой скоростью в одном направлении навстречу режущей кромке зубьев гребенки, а диски с зубьями одного вала установлены на последнем идентично дискам с зубьями другого вала, причем так, что режущие кромки диаметрально противоположно расположенных зубьев расположены в плоскости, проходящей через ось вала.

Работа устройства сводится к следующему. Валы приводятся во вращение в одном направлении навстречу режущей кромке зубьев гребенки с равной угловой скоростью таким образом, что режущие кромки зубьев дисков встречаются в плоскости, проходящей через оси вращения валов. Материал поступает через загрузочную воронку, и, захваченный зубьями, продвигается в зону измельчения между зубьями двух дисков и зубьями дисков и гребенки. Разрушение в зоне измельчения осуществляется путем резания и излома. Готовый продукт выводится через выпускное отверстие. Синхронное вращение дисков в одном направлении и использование гребенки обеспечивает разрушение материала за один акт, исключает его перегрев, сминание, что в целом повышает эффективность измельчения.

Простота конструкции и непрерывность процесса являются основными достоинствами данного устройства. Недостатком является получение продукта высокой крупности. Эту мельницу можно рекомендовать для помола хрупких материалов.

Известно устройство для переработки материала, предложенное авторами работы [33], в целях повышения эффективности процесса измельчения. Мельница содержит корпус и ротор, в котором размещены на съемных кольцах ножи, которые могут крепиться в пазах кольца посредством винтов или клиньев. Радиальные положения ножей, а также ориентацию их относительно направления вращения задают в зависимости от обрабатываемого материала и требуемой степени измельчения. В случае необходимости регулировки ориентации рабочей грани ножа относительно направления вращения, она размещается на шарнире и фиксируется регулируемыми упорами, которые могут быть выполнены в виде винтов. Работа мельницы осуществляется в следующей последовательности. Ножи устанавливаются в заданное положение и включают привод ротора, после чего подают измельчаемый материал через осевой канал корпуса во внутреннюю полость съемных колец. Часть материала, заполняющая полость кольца, размещаемого на роторе, вращаясь вместе с ним, взаимодействует с материалом, поступающим в полость кольца, размещенного в корпусе, подвергаясь самоизмельчению. Материал, попадающий во взаимно смещающиеся секторы, ограниченные ножами, подвергается скалыванию и перемещению к периферии внутренних полостей в направлении выходной щели, образованной торцами колец. Под действием радиальной составляющей от механического воздействия ножей и центробежных сил от вращения

колец материал, претерпевая дополнительное разрушение, задавливается в щель, откуда попадает во внутреннюю полость корпуса и отводится через разгрузочное окно. Ориентацию рабочей грани ножа относительно направления вращения изменяют при необходимости посредством упоров, изменение положения которых обеспечивает поворот ножа в шарнире. Изменением фронтации вставок относительно направления вращения можно регулировать активность того или иного механизма разрушения, что определяет степень измельчения материала и работоспособность рабочих элементов мельницы.

Достоинство данного устройства заключается в возможности влияния на процесс разрушения посредством изменения расположения рабочих элементов мельницы. При этом повышается надежность конструкции и избирательность к различным видам материала. Недостаток состоит в невозможности получить порошок высокой дисперсности.

С целью повышения эффективности дробления авторами работы [34] предлагается следующее устройство для переработки материала. Дробилка содержит бункер и корпус, образованный двумя боковыми стенками и перфорированным днищем, в котором установлены с возможностью вращения навстречу друг другу два цилиндрических ротора, причем один из них вращается быстрее другого. На роторах радиально размещены ножи, каждый из которых выполнен в виде рейки с зубьями прямоугольной формы. Отношение частот вращения роторов равно обратному отношению чисел ножей на них, что достигается различием диаметров зубчатых колес. Длина дуги центрального угла между ножами ротора, имеющего меньшее число ножей, не превышает диаметр перфораций днища. Длина и высота каждого зуба также не превышает диаметр перфорации днища.

Рассмотрим работу данного устройства. Материал, преимущественно стружка, подается в загрузочный бункер. При вращении роторов навстречу друг другу их ножи в процессе своего сближения захватывают участок клубка стружки, размер которого равен длине дуги центрального угла между ножами роторов. Захваченный участок затягивается в зону дробления, расположенную на горизонтальной линии, соединяющей центры роторов. Поскольку отношение частот вращения роторов равно обратному отношению чисел ножей на них, плоскости ножей всегда совпадают в месте контакта, т.е. в зоне дробления. В результате в зоне дробления зубья каждого следующего ножа первого ротора проходят сквозь вырезы между зубьями каждого следующего ножа второго ротора с минимальным зазором, отсекая захваченный участок клубка стружки за счет деформации среза. Тем самым стружка измельчается не за счет сжатия ее между роторами, а за счет среза при относительном движении ножей. Длина дуги центрального угла между ножами ротора, имеющего меньшее число ножей, не превышает диаметр перфорации днища (у второго ротора она еще меньше ввиду большего числа ножей), благодаря чему длина образующихся после одного акта дробления витков стружки мало отличается от диаметра перфораций. Кроме того, поскольку размеры зуба также не превышают диаметр перфорации, ножи разрезают стружку на элементы такого размера, при котором они выходят через днище практически без повторного дробления. Пройдя зону дробления материал попадает на перфорированное днище, где прочесывается ножами роторов, в процессе чего готовый продукт интенсивно выводится через перфорации. Не достигший требуемой крупности материал выгребается ножами из днища, что обеспечивается малым (не более 10 мм) зазором между вершиной каждого зуба и внутренней поверхностью днища, а также тем, что захваченные витки удерживаются ножами в пространстве между роторами и днищем вплоть до вывода их в бункер, откуда они вновь затягиваются в зону дробления.

Таким образом, обратная зависимость между частотами вращения роторов и числами ножей на них, а также то, что длина дуги центрального угла между ножами ротора с меньшим числом ножей и размеры каждого зуба не превышают диаметр перфораций днища, позволяют повысить эффективность дробления.

Достоинство данной конструкции состоит в том, что за один проход материала получается продукт заданного конечного размера, который определяется минимальным зазором между зубьями. Недостатком является очень высокая сложность изготовления рабочих элементов такой мельницы, а также невозможность получения порошка высокой дисперсности. Такие же недостатки можно обнаружить в аналогичных устройствах [35, 36]. Отличие первого состоит в том, что в дробилке, содержащей корпус и два параллельно встречно вращающихся вала, на которые насажены дисковые ножи, имеющие зубья с боковыми и верхними режущими кромками, расположены между дисковыми ножами чистящие пластины, каждая из которых выполнена с поперечным пазом и торцовой режущей кромкой, взаимодействующей с верхней режущей кромкой противостоящего дискового ножа по всей его длине, и закреплена на корпусе с возможностью ее поворота в вертикальной плоскости и регулирования зазора между сопряженными кромками пластины и зуба. Отличие второго заключается в наличии подвижных и дополнительных неподвижных упоров, выполненных в виде пластин и расположенных в зазорах между дис-

ковыми ножами и фрезами (последние установлены на двух параллельных вращающихся валах) с возможностью очистки этих зазоров от стружки.

Интересна также дробилка для металлической стружки, предложенная авторами в работе [37]. Ее конструкция включает в себя загрузочный бункер, корпус в виде имеющего возможность вращения вокруг продольной оси барабана с обечайкой, в которой выполнены отверстия. В барабане на его внутренней поверхности закреплены упорные элементы, выполненные в виде расположенных параллельно образующей барабана металлических брусьев, а сам барабан установлен на опорных приводных роликах. Внутри барабана размещен вал с ротором со смонтированными на нем по винтовой линии рабочими элементами, каждый из которых выполнен в виде звеньев цепи, закрепленной одним концом на роторе. Вал с ротором соединен с приводом. Под корпусом стружкодробилки размещены склизы – один для мелкой дробленой стружки, другой – для недробимых предметов.

Дробилка работает следующим образом. Подлежащую дроблению вьюнообразную стружку подают в загрузочный бункер. Вращающиеся со значительной скоростью рабочие элементы, закрепленные на роторе, приводимом в движение приводом, частично измельчают стружку, а оставшуюся часть вследствие своего закрепления по винтовой линии подают аналогично шнеку, захватывая при этом и дробленую стружку, во вращающийся барабан, опирающийся на приводные ролики. В барабане происходит окончательное измельчение стружки при соударениях с упорными элементами. Мелкая дробленая стружка, ссыпавшаяся на нижнюю часть барабана, просеивается через его отверстия и попадают на склиз, направляющий ее в приемный бункер. Недробимые предметы, попадающие в стружкодробилку вместе с загружаемой стружкой, захватываются рабочими элементами и вследствие закрепления их на роторе по винтовой линии подаются к торцовой части барабана, откуда попадают вместе с непросеянной дробленой стружкой на склиз и далее в бункер-накопитель.

Достоинство этого устройства состоит в непрерывности процесса, в высокой надежности, а также в возможности сепарации недробимого материала в ходе работы. К недостаткам следует отнести высокую крупность получаемого продукта.

С целью снижения энергоемкости и повышения эффективности процесса измельчения авторами работы [38] предложено следующее устройство для измельчения металлоотходов, которое содержит станину, гидроцилиндр, коромысло, жестко посаженное на вал. На переднем конце коромысла закреплен подвижный многоступенчатый нож. Задний конец коромысла шарнирно связан со штоком гидроцилиндра, который также шарнирно закреплен к станине. На валу закреплены кривошипные, кинематически связанные с шатунами, которые поддерживаются направляющими, закрепленными шарнирно на стойках. На концах каждого шатуна закреплены качающиеся захваты, выполненные вогнутыми вовнутрь с зубчатой кромкой. Неподвижный многоступенчатый нож опирается на пружины сжатия, одетые на цилиндрические направляющие, жестко закрепленные на станине. На последней установлена приемная камера для измельчаемого материала, снабженная ребрами. В донной перфорированной части приемной камеры ребра выполнены зубчатыми, острие которых направлено навстречу движению материала. Ребра оканчиваются наклонной частью, упирающейся в стенку, представляющую собой своеобразный ловитель для недробимых предметов. Перед стенкой установлены зубчатые рассекатели, причем передний из них своей средней частью закреплен к станине шарнирно. Нижний конец его связан со станиной пружиной растяжения. Между стенкой и неподвижным ножом установлена перемычка, закрепленная к стенке шарнирно. К нижнему зубу неподвижного ножа прикреплен наклонный желоб. Противоположная сторона его через пластинчатую пружину прикреплена к станине. На каждой ступеньке ножей установлены сменные режущие элементы. Под перфорированным днищем камеры установлен лоток.

Механизм работы устройства следующий. Металлоотходы (вьюнообразная стружка, тонколистовая обрезь и т.д.) подают в приемную камеру. При поступлении жидкости в поршневую полость гидроцилиндра шток перемещается вверх, а подвижный нож вниз, разрезая при этом находящиеся на ступеньках частицы материала. Неподвижный нож под действием усилий резания на каждой ступеньке осаживается, преодолевая усилие пружин, и затем резко возвращается пружиной вверх. Оставшиеся на ступеньках отрезанные частицы сбрасываются при этом с режущих элементов на следующую ступеньку. Шаг ступеней выбран таким образом, что между окончанием и началом реза на смежных ступенях ножей имеется некоторое время, что обеспечивает возможность попадания отрезанных частиц под следующие режущие кромки. Одновременно кривошипные выводят шатуны на максимальный вылет. При этом имеющаяся в приемной камере стружка отклоняет захваты в сторону, противоположную движению. Таким образом, шарниры с захватом внедряются в стружку. Возврат поршня в нижнее положение производит подвижный нож. Одновременно кривошипные поворачиваются вместе с валом вправо и возвращают шатуны назад. Захваты при этом опускаются, углубляются в стружку и тянут ее в сторону расходящихся ножей. Движению стружки препятствуют вначале зубья ребер, которые удерживают отдель-

ные витки. Происходит их деформация и разрыв. На пути движущегося клубка стружки стоят подпружиненные рассекатели. Под действием шатунов эти рассекатели отклоняются назад и стружка, скользя по зубьям, подрезается и ломается, при этом отклонившийся назад рассекатель устремляется под действием пружины вперед и своим ударом разделяет и рвет витки стружки. Недробимые предметы при этом падают между ребрами на днище камеры, а затем попадают в карман-ловитель со стенкой или просыпаются сквозь перфорации в днище и по лотку отводятся в сборник. Далее по перемычке стружка поступает в открытый зев ножей. Имеющиеся на ступенях неподвижного ножа частицы стружки разрезаются, падают на следующую ступень и по наклонной плоскости скатываются под режущие элементы. Цикл повторяется. Желоб может быть выполнен двухъярусным, из которых первый ярус перфорирован на определенную фракцию. Это обеспечивает одновременное разделение измельченных частиц по их размерам.

К достоинствам этой конструкции следует отнести то, что качательное движение рабочего органа обеспечивает создание много-ступенчатой системы попарно действующих ножей по принципу прессножниц, что позволяет повысить степень измельчения металлоотходов. В качестве привода использован гидроцилиндр, что значительно упрощает устройство, снижает металлоемкость, затраты мощности, повышает экономичность. Такой привод имеет мягкую характеристику и обеспечивает возможность изменения скорости движения ножей в зависимости от измельчаемого материала. В сочетании с подпружиненным неподвижным ножом гидроцилиндр исключает удары при резании, а следовательно и вибрации, повышает эксплуатационную стойкость режущих элементов, рабочих звеньев и механизмов в целом. Несмотря на все достоинства на данном устройстве невозможно получить порошок высокой дисперсности.

Такой же недостаток обнаруживается в аналогичном устройстве [39]. Отличие последнего состоит в наличии перемещающегося подвижного ножа в направляющих, отсекающего потока измельчаемого материала, что исключает возможность зажевывания стружки в зоне резания, а также установке на каждом шатуне по несколько захватов с возможностью регулировки их действия, что дает возможность повысить эксплуатационную надежность и производительность устройства.

Известно устройство [40], авторы которого ставили своей целью увеличение производительности процесса (рис. 1.2).

Предложенная стружкодробилка содержит корпус с загрузочным и разгрузочным окнами и неподвижными ножами, два установленных в корпусе со смещением один относительно другого по вертикали параллельных валов с подвижными ножами и упругими радиальными пластинами на поверхности и привод. Упругие пластины укреплены на поверхности каждого вала между ножами, при этом они выполнены с прорезями и ножами корпуса и

Неподвижные ножи криволинейной формы. Подвижные ножи валов режущей кромкой и стали.

Привод тродвигатель, с одним валом, а через гидромуфты имеется управление работой реверсирования (за обмотки электродвигателя).

Рассмотрим Включается Включается гидромуфту, приводятся во

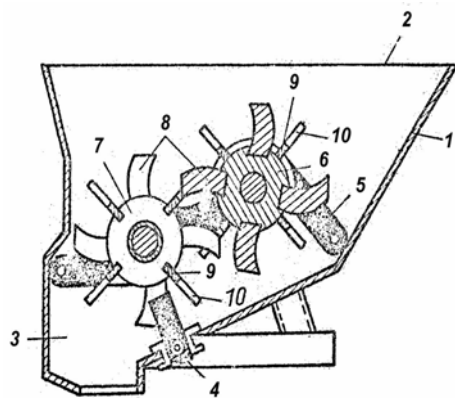


Рис. 1.2 Стружкодробилка:

- 1 – корпус; 2 – загрузочное окно;
- 3 – разгрузочное окно; 4, 5 – неподвижные ножи;
- 6, 7 – валы; 8 – подвижные ножи;
- 9 – упругие пластины; 10 – прорези

для прохода через них ножей другого вала изготовлены из рессорной стали. корпуса выполнены прямоугольной и и изготовлены из износостойкой стали. выполнены саблезубой формы с боковой также изготовлены из износостойкой стружкодробилки включает электро-соединенный через гидромуфту и редуктор зубчатую передачу – с другим. У датчик, подсоединенный в систему электродвигателя и обеспечивающий его счет переключения подачи тока на гателя) при перегрузках.

механизм работы стружкодробилки. электродвигатель и через приводные редуктор и зубчатую передачу валы вращение навстречу друг другу. Стружка подается пучками через загрузочное окно в корпус, где захватывается ножами переднего вала, перемещается ими в зону взаимодействия ножей обоих валов. Здесь стружка разрывается и измельчается этими ножами и взаимодействующими с ними ножами корпуса. При этом упругие пластины, через прорези которых на каждом обороте валов проходят ножи другого вала и неподвижные ножи корпуса, очищают все эти ножи от намотавшейся на них стружки. Измельченная стружка разгружается через окно корпуса. В случае попадания в корпус неизмельчаемых в стружкодробилке предметов (валков, проката и т.д.) в гидромуфте привода повышается давление масла, срабатывает датчик, и электродвигатель реверсируется – валы начинают вращаться в обратном направлении. После извлечения неизмельчаемого предмета

и восстановления давления масла в гидромуфте электродвигатель переключается и валы вновь приводятся во вращение навстречу друг другу.

Таким образом, достоинство предлагаемой стружкодробилки состоит в том, что при ее работе исключается наматывание стружки на ножи, снижается простой и увеличивается производительность. Кроме того, обеспечивается более высокая надежность данного устройства при возможных перегрузках. Недостатком является получение порошкового материала очень высокой крупности.

С целью повышения эффективности измельчения авторами работы [41] предложена следующая дробилка для измельчения материалов. Конструктивное устройство представляет собой корпус, на внутренней поверхности которого установлены штыри, водило со скосами на обоих концах, укрепленное на вертикальном валу и выполненное в поперечном сечении в виде трапеции, по обе стороны большого основания которой расположены прямоугольные бурты, а на боковых гранях водила установлены дополнительные ножи с вогнутой передней поверхностью, решетку, штырь, установленный на верхней поверхности водила, подвижные ножи, установленные на водиле, неподвижные ножи, закрепленные на решетке, причем рабочие поверхности ножей образуют режущую гребенку. Верхние и нижние ножи с двумя режущими кромками расположены на внутренней стенке корпуса. Дробилка также содержит скребок, выгрузной лоток, привод, блок управления, который обеспечивает реверсивное вращение водила в автоматическом режиме и выключение двигателя, звуковой сигнал, предупреждающий оператора дробилки о выключении реверса.

Работа дробилки осуществляется в следующей последовательности. Материал, подлежащий дроблению, загружается через горловину в корпус. Острыми гранями буртов водила материал разрезается, частично разрывается и подается на лезвия дополнительных ножей. При этом по периферии материал, отсекаемый и уплотняемый сверху буртами водила, разрезается кромками верхних боковых ножей и кромками нижних боковых ножей, а материал, увлекаемый водилом, по ходу вращения разрезается боковыми кромками верхних ножей и боковыми кромками нижних ножей, т.е. материал подается на ножи в двух плоскостях, расположенных под прямым углом. Предварительно дробленый материал частично проваливается между ножами, а частично скользит по скосам водила, начинающимся от крайних подвижных ножей водила, под режущую гребенку, т.е. материал, захватываемый водилом, отсекается и предварительно дробится по всей его длине, включая и периферию (объем между корпусом дробилки и торцами водила). Предварительно измельченный материал поступает на решетку и неподвижные ножи. Подвижные ножи водила, приводимого во вращение через блок управления, образуя с неподвижными ножами режущую гребенку, производят окончательное измельчение материала. Дробленый материал, пройдя решетку и скребок, подается в выгрузной лоток. При попадании постороннего материала блок управления обеспечивает реверс вертикального вала, срабатывает звуковой сигнал и оператор отключает дробилку.

Достоинством данной конструкции является то, что при наличии на внутренней стенке корпуса в шахматном порядке друг под другом рядов ножей, выполненных с двумя режущими кромками, развернутых под прямым углом относительно друг друга, возникают менее значительные усилия для разрушения стружки, что повышает надежность работы измельчителя и эффективность переработки. Недостатком является некоторая сложность изготовления рабочих деталей дробилки, а также невозможность получения порошка высокой дисперсности.

Известно устройство [42], в котором авторы ставили своей целью повышение эффективности работы измельчителя (рис. 1.3).

Предложенная мельница содержит корпус с ротором молотковой дробилки, вертикальную шахту и средство для удаления недробимых предметов. Корпус выполнен по типу известных из литейных чугуновых элементов. В нем установлены ротор с молотками, надетыми на оси, равномерно расположенные по периметру ротора, колосниковая решетка, набранная из отдельных колосников, установленных с зазором между ними. Молотки выполнены в виде шестеренок или звездочек с центральным отверстием, диаметр которых превосходит диаметр оси кратно, что предотвращает молотки от поломок. Вертикальная шахта состоит из передней, задней и боковых стенок и установлена на корпус с ротором молотковой дробилки вертикально. Шахта и корпус сопряжены

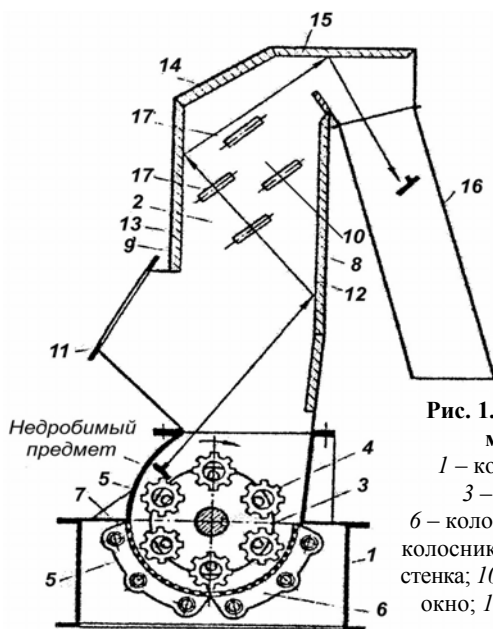


Рис. 1.3 Устройство для дробления металлической стружки:

- 1 – корпус; 2 – вертикальная шахта;
 3 – ротор; 4 – молотки; 5 – ось;
 6 – колосниковая решетка; 7 – отдельные колосники; 8 – передняя стенка; 9 – задняя стенка; 10 – боковая стенка; 11 – загрузочное окно; 12, 13, 14, 15 – отбойные плиты; 16 – воронка; 17 – щели

герметично. Со стороны задней стенки предусмотрено загрузочное окно. Передняя и задняя стенки футерованы изнутри отбойными плитами. Средство для удаления недробимых предметов выполнено в виде отбойных плит, расположенных под углом друг к другу, и воронки. Отбойные плиты выполнены сопряженными. Воронка в свою очередь сопряжена с вертикальной шахтой и установлена с наклоном к последней. На стыке передней стенки и примыкающей к ней стенки воронки установлена поворотная заслонка для изменения угла к передней стенке.

В боковых стенках шахты, в верхней их части, предусмотрены сквозные щели, 30 ... 35 к горизонтали. Ширину щели целесообразно брать 15 ... 20 мм, а длину – в 2 – 3 раза превосходящей ширину. Эти размеры и соотношения их определены авторами экспериментально. При соотношении их меньше двух происходит уменьшение эффективности разрушения струи воздуха, создаваемой ротором дробилки, а увеличение соотношения не приводит к усилению эффекта разрушения струи воздуха. В принципе поперечное сечение щели может быть любым.

Рассмотрим механизм работы устройства. После сообщения приводом дробилки ротору вращательного движения, исходное сырье (пучки вьюнообразной стружки) через загрузочное окно подается в камеру дробления и измельчается молотками ротора. Дробленый продукт разгружается из дробилки через щели колосниковой решетки. При попадании в дробилку недробимых предметов, последние от взаимодействия с молотками ротора подбрасываются вверх, ударяются об отбойные плиты шахты и удаляются из дробилки через воронку. За счет струи воздуха, создаваемой ротором, часть стружки захватывается воздушным потоком и летит вверх, но при наличии перфорации (сквозных щелей) на боковых стенках и заслонки, примыкающей к воронке шахты, струя воздуха закручивается (завихряется), скорость воздушного потока уменьшается при выходе части воздуха в сквозные щели, а стружка падает вниз и разгружается через щели колосниковой решетки.

Достоинство данной дробилки состоит в уменьшении потери стружки, уносимой воздушной струей через устройство для удаления недробимых предметов, что в свою очередь повышает эффективность работы устройства за счет увеличения выхода дробленой стружки в готовую продукцию. К недостаткам следует отнести невозможность получения порошка высокой дисперсности.

Анализируя все известные конструкции, можно сделать вывод о том, что для тонкого измельчения металлической стружки непригодно практически ни одно устройство. Шаровые измельчители выгодно отличаются от других мельниц тонкодисперсностью получаемого продукта. В связи с этим ставится задача повышения эффективности именно шарового измельчения.

Глава 2 ВИБРОВРАЩАТЕЛЬНЫЙ МЕТОД ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

2.1 Разработка нового метода измельчения

На основе проведенного анализа существующих методов измельчения и конструкций измельчителей с целью повышения эффективности процесса нами предложен новый метод измельчения, сущность которого заключается в том, что вращательное движение рабочего барабана с мелющими телами совмещено с его вибрацией [43, 44, 45].

Устройство для реализации предложенного метода (конструктивная схема представлена на рис. 2.1.1) состоит из цилиндрического барабана 1, установленного на двух опорах 2 (с возможностью вращения), жестко скрепленных с вибрационной площадкой 3. Вибрация осуществляется от механического вибратора 4, представляющего собой электродвигатель, на валу которого установлены дебалансы. Вращение барабана, заполненного мелющими телами (шарами), осуществляется через гибкую связь (эластичную муфту) 5 от редуктора 6, вариатора (не показан), через муфту 7 от электродвигателя 8.

В предложенном устройстве кинетическая энергия сообщается мелющим телам через корпус барабана с использованием сил тяжести при вращении и инерционных сил вибрации виброплощадки, на которой установлен вращающийся барабан. Процесс измельчения сводится к тому, что при совместной работе приводов вращения и вибрации мелющие тела совершают сложное вибровращательное движение, т.е.

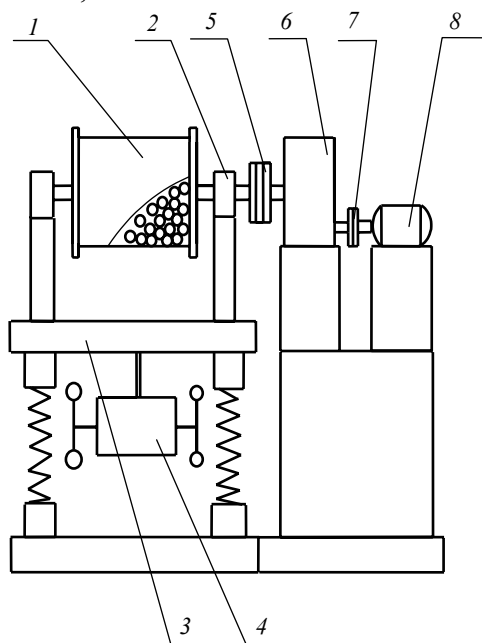


Рис. 2.1.1 Конструктивная схема устройства для реализации вибровращательного метода измельчения

создается псевдооживленный слой шаров и при этом происходит интенсивное его перемешивание вместе с измельчаемым материалом, последний равномерно перераспределяется между шарами и вероятность разрушения частиц резко возрастает. При этом устраняются застойные зоны в аппарате, что присуще вибрационному помолу, при котором измельчаемый материал оседает в нижнюю часть барабана и затрудняет виброколебательное движение нижних слоев мелющих тел, а верхние слои последних не совершают полезной работы. В предложенном измельчителе реализуются в большей или меньшей степени практически все способы разрушения, но основным является ударно-истирающий.

Для изучения механизма разрушения и определения закономерностей процесса измельчения элементов металлической стружки в порошок материал предложенным методом была разработана экспериментальная лабораторная установка периодического действия.

Методика проведения экспериментальных исследований при вибровращательном методе измельчения металлической стружки в порошок материал

Измеряемыми параметрами являлись: частота вращения барабана, мощность привода вращения барабана и вибратора, крупность измельченного порошкового материала, амплитуда колебаний виброплиты. Частота вращения барабана изменялась с помощью цепного вариатора и определялась по тахометру: пределы измерения от 20 до 117 мин⁻¹.

Амплитуда колебаний определялась механическим индикатором часового типа (измерения дублировались барабанным самописцем), а мощность привода вращения и вибратора измерялась измерительным комплексом К50. Мощности привода вращения барабана и вибратора измерялись как отдельно, так и при совместной работе. Крупность измельченного материала определялась по известной методике [46] путем отсева порошка на механическом вибросите марки ТНУР 1 с набором стандартных сит. Порошок взвешивался на лабораторных весах ВЛК-500 4 класса точности.

Методика проведения экспериментов следующая. В первую очередь рассчитывается объем шаровой загрузки в зависимости от выбранного коэффициента заполнения барабана мелющими телами. Затем экспериментально определяется объем пустот межшарового пространства, который равен объему загружаемой стружки, так как измельчение идет наиболее эффективно при полном заполнении межшаровых пустот измельчаемым материалом [47]. При большей загрузке нарушается коэффициент заполнения, а при меньшей – не эффективно используется энергия мелющих тел. Стружка, в зависимости от цели эксперимента, подвергается термообработке для удаления влаги и масла. После этого шары и стружка загружаются в барабан через загрузочный люк. Последний закрывается, и включается привод вращения барабана и вибратор. После истечения определенного срока происходит выгрузка готового

порошка, который затем фракционируется на механическом вибросите с набором стандартных сит (с размерами отверстий ячеек 80, 90, 100, 200, 400 и 800 мкм).

Характеристика материалов, из которых получена стружка, используемая в экспериментах

1 Серый чугун марки СЧ-18.

Плотность: 7250 кг/м³. Характеристика: средняя прочность, хорошая обрабатываемость. Область применения: корпусные детали [48].

Таблица 2.1.1

Химический состав, %							Пределы прочности на разрыв, изгиб, сжатие и твердость по Бринеллю			
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	$\sigma_{в,}$ кгс/м ²	$\sigma_{и,}$ кгс/м ²	$\sigma_{сж,}$ кгс/м ²	НВ
3,1 ... 3,4	1,7 ... 2,4	0,8 ... 1,2	0,3	0,1 5	0,3	0,5	18	36	70	170 ... 229

2 Алюминиевые сплавы II группы на основе системы алюминий-кремний-медь: АК5М7 и АК12М2МгН.

Плотность: 2700 кг/м³. Характеристика: литейные качества и обрабатываемость резанием хорошая, коррозионная стойкость удовле-

Таблица 2.1.2

Химический состав, %								временное сопротив- ление, МПа	Твердость по Бри- неллю, НВ
Марка	Al	Mg	Si	Mn	Cu	Ti	Ni		
АК5М 7	Основа	0,2 ... 0,5	4,5 ... 6,5	0,5	6,0 ... 8,0	—	—	127 ... 167	80 ... 90
АК12 М 2МгН	Основа	0,8 ... 1,3	11 ... 13	0,3 ... 0,6	1,5 ... 3,0	0,05 ... 0,2	0,8 ... 1,3	186	90

творительная, уровень рабочей температуры не более 250 °С. Область применения: для различных машиностроительных деталей, а также литья агрегатов и двигателей [49, 50].

2.2 Сравнительные испытания вибровращательного метода измельчения и существующих методов

На новой лабораторной установке проведены сравнительные исследования трех методов измельчения металлической стружки: вращения в барабанной шаровой мельнице (вращательный метод), вибрации и вибровращения.

В экспериментах использовалась чугунная стружка (марка чугуна СЧ-18). Измельчение производилось в течение одного часа при частоте вращения 90 об/мин, при двух коэффициентах заполнения барабана (внутренний диаметр последнего равен 0,149 м) мелющими телами 0,8 и 0,45. Размеры мелющих

тел (диаметр стальных шаров, используемых в экспериментах) – $d = 29,4$ мм. Амплитуда колебаний виброплиты – 1,8 мм, частота вибрации – 2800 мин^{-1} . Опыты проводились при полном заполнении межшаровых пустот измельчаемым материалом. Масса измельчаемого материала при коэффициентах заполнения 0,8 и 0,45 равна, соответственно, 2,50 и 1,48 кг, а масса шаровой загрузки – 12,9 и 7,7 кг.

Из приведенных данных (табл. 2.2.1) видно, что вибровращательный метод измельчения эффективнее вращательного и вибрационного при любом коэффициенте заполнения. Но наиболее эффективен этот метод при коэффициенте заполнения $\varphi = 0,8$, так как при этом наблюдается наибольшая производительность процесса. Последняя вычислялась по фракциям от 0 до 400 мкм.

Таблица 2.2.1

**Сравнительные данные отсева порошка,
полученного различными методами измельчения чугунной стружки**

Размер ячейки сита, мкм	Время измельчения 1 ч			
	Коэффициент заполнения барабана мелющими телами φ			
	0,8	0,45	0,45	0,8
	Частота вращения барабана, мин^{-1}			
	90	90	90	–
	Вибровращение	Вибровращение	Вращение	Вибрация
	Остаток на сите, %			
800	7,6	9,4	34,7	51,2
400	64,9	63,7	51,3	33,5
200	10,7	10,5	5,2	6,1
100	8,7	9,0	4,5	3,1
90	1,5	1,0	1,1	1,0
80	1,1	0,8	0,8	0,5
< 80	5,5	5,6	2,4	4,6
Производительность, кг/ч	0,69	0,40	0,21	0,38

**2.3 Исследование влияния ПАВ на измельчение
металлической стружки**

На механизм разрушения твердых тел, на их прочность и хрупкость значительное влияние оказывают некоторые жидкости, химически или физически сорбированные на их поверхности. Сорбированные на поверхности измельчаемых материалов молекулы жидкости, изменяя их прочность и хрупкость, а также взаимодействие частиц между собой и мелющими телами, способны оказывать значительное влияние на процесс измельчения [51]. Молекулы твердых тел на границе раздела фаз в отличие от молекул в объеме подвергаются действию сил, результирующая которых направлена внутрь тела. Этот факт определяет целый ряд поверхностных явлений: катализ, адсорбция, адгезия, капиллярность и др. К ним относится эффект понижения прочности твердых тел под влиянием физической сорбции на их поверхности активных веществ, впервые обнаруженный П. А. Ребиндером [52]. Эффект Ребиндера и другие поверхностные явления оказывают сильное влияние на процесс диспергирования.

Адсорбция поверхностно-активных веществ (ПАВ) из внешней среды в отсутствие химического взаимодействия может значительно понижать предел упругости, прочность и твердость, облегчать разрушение хрупких тел и увеличивать пластичность металлов. При деформировании твердого тела в его поверхностном слое развиваются клиновидные микротрещины, способные смыкаться после снятия нагрузки. Адсорбционные слои, мигрируя по поверхности, достигают их устья и препятствуют смыканию.

Пленки жидкости между твердыми поверхностями оказывают на них расклинивающее действие, которое в случае очень узких щелей заметно способствует их расширению [52].

Существуют три экспериментально установленные эффекта влияния среды. В зависимости от условий опыта действие среды проявляется либо в пластифицировании, либо в увеличении хрупкости, либо в самопроизвольном диспергировании. Определяющим фактором принадлежности к одному из трех случаев является величина снижения поверхностной энергии твердого тела. При незначительном ее снижении наблюдается первый случай, если поверхностная энергия границы раздела снижается в несколько раз – второй, а практически при полном снижении – третий.

Решающее значение для адсорбционного эффекта понижения прочности, увеличения хрупкости и уменьшения работы разрушения твердых тел имеют дефекты их строения. Поскольку дефекты обладают избыточной свободной энергией, на них происходит интенсивное взаимодействие молекул жидкости и твердого тела [52]. По дефектам структуры осуществляется также поступление адсорбированных атомов с поверхности образца к месту зарождения объемной трещины. Адсорбционные эффекты проявляются тем сильнее, чем выше дефектность структуры, а на бездефектных кристаллах они отсутствуют. Величина последних зависит также от условий механического воздействия на твердые тела.

Влияние ПАВ на измельчение очень избирательно по отношению к различным материалам. Например, помол мрамора в парах этилформиата, ацетона и гептана по сравнению с помолом в сухом воздухе происходит значительно интенсивнее. Заметной разницы в интенсивности измельчения кварца и стекла в парах этих жидкостей и в сухом воздухе не обнаруживается [52]. Использование в качестве ПАВ олеиновой кислоты при размоле известняка приводит к возрастанию удельной поверхности получаемого продукта [53].

Авторы работы [5] предлагают использовать при измельчении металлических стружкоотходов твердофазные высокомолекулярные соединения. При этом на атомарно-чистых гранях вновь образующейся трещины начинают происходить процессы полимеризации с образованием высокомолекулярного продукта, т.е. микротрещина превращается в механореактор, в котором протекают механохимические процессы [54, 55], кстати, последние могут происходить в процессе измельчения и без участия ПАВ [56]. Синтез высокомолекулярного вещества, выделяемое при этом тепло и увеличение объема формирующегося при этом пористого тела приводят к более резкому росту напряжений в тупиковой области, вызывающих продвижение фронта трещины вглубь металла, т.е. реализуется энергетически более выгодный процесс дезинтеграции металла, чем в присутствии низкомолекулярных ПАВ. При этом происходит процесс восстановления оксидных пленок продуктами механокрекинга. Отходы металлической стружки содержат много органических веществ – смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Экспериментально установлено, что при виброобработке стружки из хромансиля остатки СОЖ также способны инициировать диспергирование металла [57]. При этом масла нефтяного и минерального происхождения обладают восстановительными свойствами. Это доказано при измельчении стружки из меди и быстрорежущей стали [58]. Исследования по переработке чугунной стружки показывают, что наиболее производительный размол ее достигается при наличии активных добавок (едкого натрия и соды) и отношении фаз Т : Ж = 1 : 0,25 [47].

В целях интенсификации процесса измельчения были проведены экспериментальные исследования по влиянию различных ПАВ на размол чугунной стружки.

Характеристика ПАВ, используемых в экспериментах:

1 Вода H_2O – бесцветная прозрачная жидкость, молекулярная масса – 18, температура замерзания – $0\text{ }^{\circ}C$, температура кипения – $100\text{ }^{\circ}C$, плотность при $25\text{ }^{\circ}C$ – $997,1\text{ кг/м}^3$, температура максимальной плотности – $4\text{ }^{\circ}C$ [59].

2 Масло И20А – представитель предельных углеводов, продукт фракционной перегонки нефти, очищенное дистиллятное масло, применяющееся в машинах и механизмах промышленного оборудования, условия которых не предъявляют особых требований к антиокислительным и антикоррозионным свойствам масел, а также в качестве гидравлических жидкостей, кинематическая вязкость при $40\text{ }^{\circ}C$ – $29 \dots 35\text{ мм}^2/с$, плотность при $20\text{ }^{\circ}C$ – не более 890 кг/м^3 , температура застывания – не выше $-15\text{ }^{\circ}C$, температура вспышки – не ниже $200\text{ }^{\circ}C$ [60].

3 Растворитель 646 – смесь летучих органических жидкостей: ароматических углеводов, кетон, спиртов и эфиров, предназначен для разбавления нитроцеллюлозных и других лакокрасочных материалов, бесцветная или слегка желтоватая однородная прозрачная жидкость без видимых взвешенных частиц, легковоспламеняющаяся жидкость с характерным запахом, плотность 850 кг/м^3 [61].

4 Бензин Нефрас-С 50/170 – смесь парафиновых и нафтеновых углеводов, нефтяной растворитель (бензин для промышленно-технических целей), получаемый прямой перегонкой нефти или из ра-

финатов каталитического риформинга, неэтилированный, без добавки ароматических углеводородов и предназначенный для промывки деталей и снятия консервирующих покрытий, прозрачная легко воспламеняющаяся маслянистая жидкость с характерным запахом нефтепродукта, температура вспышки – 39 °С, температура воспламенения – 435 °С, плотность – 690 ... 760 кг/м³, температура кипения – 70 ... 120 °С [62].

5 Этилацетат – этиловый эфир уксусной кислоты, который получают этерификацией уксусной кислоты этиловым спиртом или каталитической конденсацией уксусного альдегида, структурная формула: $\text{CH}_3\text{—CO—O—C}_2\text{H}_5$, молекулярная масса – 88,11, применяется для синтеза химических продуктов и в качестве растворителя в различных отраслях промышленности, бесцветная легко воспламеняющаяся прозрачная жидкость с характерным запахом, мало растворим в воде, с этиловым спиртом и диэтиловым эфиром смешивается во всех соотношениях, плотность при 20 °С – 900 кг/м³, температура вспышки – – 3 °С, температура самовоспламенения – 400 °С, температура кипения – 77,2 °С [63].

6 Ацетон или диметилкетон – $\text{CH}_3\text{—CO—CH}_3$ – представитель кетонов, в молекулах которого содержится двухвалентная карбонильная группа –CO–, которая связана с двумя углеводородными радикалами, бесцветная легко воспламеняющаяся прозрачная жидкость с характерным запахом, температура кипения – 56,2 °С, смешивается с водой, спиртом и эфиром во всех соотношениях, растворяется в хлороформе, очень хороший растворитель многих органических веществ, широко применяется в лакокрасочной промышленности, в производстве некоторых видов искусственного волокна, небьющегося органического стекла, киноплёнки, бездымного пороха, растворения ацетиленов, как исходное вещество для синтеза ряда органических соединений, получается кумольным методом, методом ацетонобутилового брожения, а также в качестве побочного продукта в ряде производств, молекулярная масса – 58,08, плотность – 810 кг/м³, температура вспышки – –18 °С, температура самовоспламенения – 500 °С [64].

Условия проведения экспериментов следующие. Измельчение чугуновой стружки производилось вибровращательным способом при полном заполнении межшаровых пустот измельчаемым материалом в барабане с внутренним диаметром 0,149 м, длиной 0,207 м, диаметр стальных шаров – 29,4 мм. Амплитуда вибрации – 1,8 мм, частота ее – 2800 мин⁻¹, частота вращения барабана – 90 мин⁻¹, коэффициент заполнения барабана мелющими телами – 0,8, загрузка стружки и шаров при этом составляет, соответственно, 2,5 и 12,9 кг.

Эффективность размола при использовании каждого из поверхностно-активных веществ оценивалась по величине удельной поверхности получаемого чугунового порошка – она определялась методом случайных секущих в комбинации с точечным методом при помощи микроскопа [65]; удельная поверхность всего полидисперсного порошка

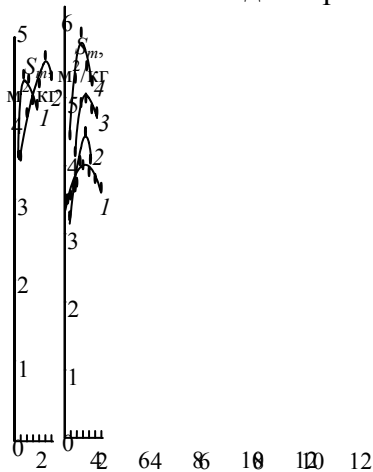


Рис. 2.3.2 Зависимость удельной поверхности получаемого чугунового порошка от содержания ПАВ

Рис. 2.3.1 Зависимость удельной поверхности получаемого чугунового порошка от содержания ПАВ

(вибровращательный способ измельчения, коэффициент заполнения барабана – 0,8, амплитуда вибрации – 1,8 мм, $n_{\text{виб}} = 2800 \text{ мин}^{-1}$, $n_{\text{вр}} = 90 \text{ мин}^{-1}$, время помола – 1 ч):

1 – вода (содержание масла в стружке бензольного фракционного состава И20А);
2 – ацетон + масло И20А; вода
3 – масло И20А; 4 – этилацетат

вычислялась как сумма произведений значений удельных поверхностей каждой фракции порошка и их массовых долей [66].

Различные ПАВ инициируют диспергирование стружки при разных количественных соотношениях активного вещества и стружечного материала. В данном конкретном случае оптимальные содержания всех применявшихся поверхностно-активных веществ менялись от 2,9 до 10 % от массы загрузки стружки.

Измельчение с водой и бензином показывает (рис. 2.3.1), что наиболее эффективно процесс измельчения идет (удельная поверхность порошка принимает максимальное значение) при содержании воды 10 % и при содержании бензина – 2,9 % от массы загрузки стружки. При содержании масла в стружке (в состоянии поставки) 1,7 % оптимальное количество воды в качестве ПАВ составляло 6 %. Присутствие масла И20А также интенсифицирует процесс измельчения, его оптимальное содержание оказалось равным 7 %, применение смеси ацетон + масло (1 : 1 по объему) дает максимальный прирост удельной поверхности при содержании смеси 6,8 %, для этилацетата – 5,4 % от массы загрузки стружки (рис. 2.3.2). Использование растворителя 646 и ацетона в качестве ПАВ приводит к наибольшей эффективности процесса размолва при содержании этих веществ, соответственно, 3,4 и 3,2 % (рис. 2.3.3).

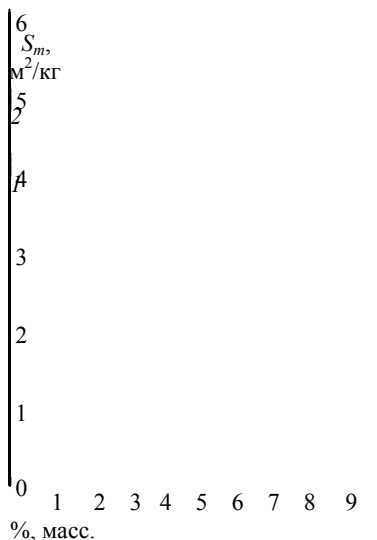


Рис. 2.3.3 Зависимость удельной поверхности получаемого чугуночного порошка от содержания ПАВ (вибровращательный способ измельчения, $\phi = 0,8$, амплитуда вибрации – 1,8 мм, $n_{\text{виб}} = 2800 \text{ мин}^{-1}$, $n_{\text{вр}} = 90 \text{ мин}^{-1}$; время помола – 1 ч); сравнение с сухим помолем (1 ч): ПАВ смеси ацетон + масло (кривая 6) – в 1,5 раза. Практически одинаковое влияние на процесс размолва (с точки зрения его эффективности) чугуночной стружки оказывают растворитель 646 и бензин (кривая 7 и 8). Здесь наблюдается увеличение удельной поверхности за 5 часов измельчения в 1,2 раза (в обоих случаях), а выхода фракции, соответственно, – в 1,5 и 1,7 раза.

Рассмотрим кинетику процесса измельчения чугуночной стружки в присутствии различных поверхностно-активных веществ (рис. 2.3.4). Переработка крупноэлементной стружки с содержанием масла 1,7 % (в состоянии поставки) в присутствии воды (кривая 1) ухудшает процесс измельчения по сравнению с сухим помолом (кривая 3), практически никакого влияния на процесс (при пяти часах работы мельницы) не оказывает наличие воды (кривая 2). Эффективность размолва очищенной от масла стружки при первых 3 часах переработки выше, чем стружки с содержанием масла 1,7 % (кривая 4), затем с увеличением продолжительности процесса сухой помол становится менее эффективным. При оптимальном содержании того же масла (кривая 5) эффективность измельчения еще более возрастает, при 5 часах переработки выход фракции от 0 до 80 мкм увеличивается в 1,4 раза по сравнению с сухим помолом, а при использовании в качестве ПАВ смеси ацетон + масло (кривая 6) – в 1,5 раза. Практически одинаковое влияние на процесс размолва (с точки зрения его эффективности) чугуночной стружки оказывают растворитель 646 и бензин (кривая 7 и 8). Здесь наблюдается увеличение удельной поверхности за 5 часов измельчения в 1,2 раза (в обоих случаях), а выхода фракции, соответственно, – в 1,5 и 1,7 раза.

Наибольшая эффективность размолва стружки достигается при использовании в качестве ПАВ этилацетата (кривая 9) и ацетона (кривая 10). За первый час переработки удельная поверхность порошка увеличилась по сравнению с сухим измельчением, соответственно, в 1,3 и 1,2 раза, за 5 часов в 1,3 раза (для обоих случаев), а выход фракции от 0 до 80 мкм за первый час, соответственно, – в 1,4 и 1,2 раза, а за пять часов, соответственно, – в 1,8 и 1,9 раза.

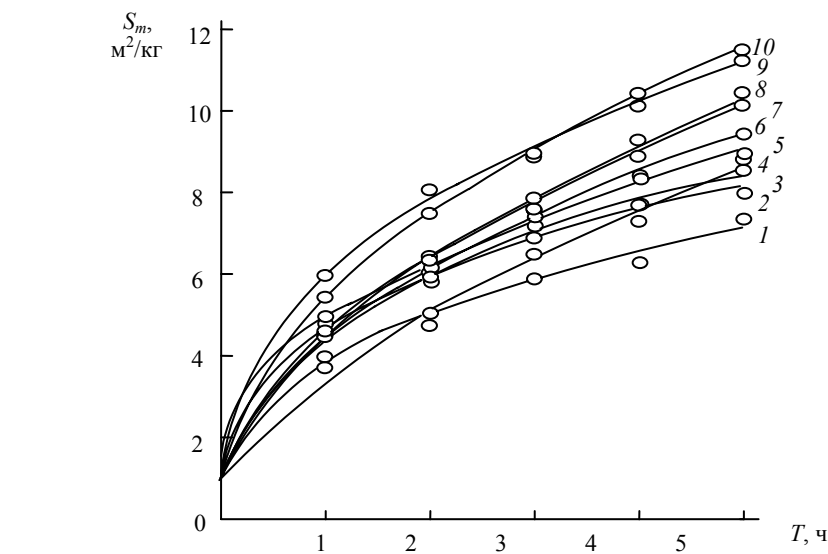


Рис. 2.3.4 Зависимость удельной поверхности чугуночного порошка, полученного при измельчении в присутствии различных ПАВ, от времени помола (вибровращательный способ, $\phi = 0,8$, амплитуда вибрации – 1,8 мм, $n_{\text{виб}} = 2800 \text{ мин}^{-1}$, $n_{\text{вр}} = 90 \text{ мин}^{-1}$): 1 – вода (содержание масла в стружке – 1,65 %); 2 – вода; 3 – сухой помол; 4 – помол стружки с содержанием масла – 1,65 %; 5 – масло И20А; 6 – смесь ацетон + масло И20А (1:1 по объему); 7 – растворитель 646; 8 – бензин Нефрас С 50/170; 9 – этилацетат; 10 – ацетон

Анализируя экспериментальные данные, можно заметить, что с применением ПАВ увеличивается выход более мелких фракций, крупные частицы (крупнее 400 мкм) измельчаются лучше при сухом помоле. Например, при измельчении с водой (рис. 2.3.4), несмотря на меньшую удель-

ную поверхность порошка, достигая при использовании в качестве ПАВ этилацетата (кривая 9) и ацетона (кривая 10). За первый час переработки удельная поверхность порошка увеличилась по сравнению с сухим измельчением, соответственно, в 1,3 и 1,2 раза, за 5 часов в 1,3 раза (для обоих случаев), а выход фракции от 0 до 80 мкм за первый час, соответственно, – в 1,4 и 1,2 раза, а за пять часов, соответственно, – в 1,8 и 1,9 раза.

ную поверхность получаемого порошка (кривая 2), выход фракции от 0 до 80 мкм, начиная с 3 часов переработки, возрастает по сравнению с сухим помолом. Отсюда можно сделать вывод, что рациональнее применять ПАВ при меньших начальных размерах частиц, т.е. следует в течение часа производить размол стружки сухим способом, а затем добавлять активные вещества для интенсификации процесса.

Интересна избирательность различных ПАВ при разрушении частиц, отличающихся по размерам. Например, измельчение частиц + 800 мкм идет практически одинаково интенсивно сухим способом и с применением растворителя 646, размол этих же частиц идет быстрее с использованием ацетона по сравнению с этилацетатом, с увеличением количества активного вещества до некоторого предела разрушение таких частиц ухудшается, затем, при еще большем увеличении количества ПАВ, размол их становится более эффективным. При этом обнаруживается (в большинстве случаев) то, что при оптимальном количестве активных веществ разрушение частиц данного размера идет наименее интенсивно, т.е. при измельчении играет большую роль как количество ПАВ, так и размер перемалываемых частиц.

Таким образом, в результате исследования влияния различных ПАВ на размол чугушной стружки было обнаружено, что наиболее эффективно процесс измельчения идет в присутствии этилацетата и ацетона при процентном соотношении этих веществ, соответственно, 5,4 и 3,2 % от массы загрузки стружки.

2.4 Разработка вибровращательной мельницы непрерывного действия

Одним из основных направлений интенсификации процесса простого измельчения и диспергирования металлических стружечных отходов в среде олигомера является создание технологии и оборудования, обеспечивающих непрерывность данного процесса. В этой связи нами проведен анализ существующих устройств для измельчения металлической стружки как периодического, так и непрерывного действия (см. главу 1) с целью возможного их использования для диспергирования и получения композитных материалов из эпоксидной смолы с наполнителем из диспергированных в ее среде отходов металлообработки чугуна и алюминия. При этом необходимо учесть, что наряду с трудностями по выгрузке пастообразного композита, большую сложность представляет чистка внутренних поверхностей дробилок и мельниц по окончании работы, а также высокая склонность пастообразного композита к образованию застойных зон.

Отходы машиностроительных предприятий представляют собой стружку различных металлов, которую используют вторично чаще всего, добавляя в шихту металлургических производств с применением для этого плавильных печей. Предприятия, которые не имеют металлургического производства применяют сложные и громоздкие установки для дробления металлоотходов с последующим прессованием их в прессах больших усилий.

Однако указанные методы переработки металлических отходов металлообработки имеют следующие недостатки:

- высокие энергозатраты;
- громоздкое, сложное и дорогостоящее оборудование;
- большие потери перерабатываемых металлоотходов.

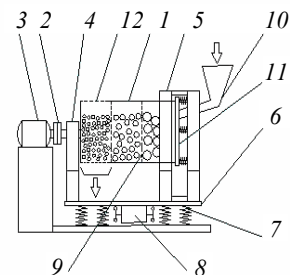


Рис. 2.4.1 Конструкция вибровращательной мельницы непрерывного действия:

1 – барабан; 2 – муфта; 3 – электродвигатель; 4, 5 – подшипниковые опоры; 6 – виброплита; 7 – пружины; 8 – плоскостной вибратор; 9 – перфорированные перегородки; 10 – загрузочная воронка; 11 – торцевая крышка; 12 – перфорированный участок для вывода готового

порошка; 13 – прижимающие пружины; 14 – стойка; 15 – направляющие; E – расстояние от оси симметрии

до оси загрузки, позволяющее более эффективно использовать рабочее пространство мельницы

С целью устранения указанных недостатков была разработана вибровращательная мельница непрерывного действия [67], позволяющая перерабатывать металлические стружковые отходы в порошки требуемых фракций (от 80 до 400 мкм), которые могут использоваться в качестве наполнителей в производстве металлополимерных материалов. При этом, перерабатывая металлические отходы в порошки, предприятия могут обеспечить себя самостоятельно дополнительным сырьем или реализовывать их другим потребителям. Многие порошки цветных металлов применяются в промышленности как добавки при создании композиционных материалов или в лакокрасочной промышленности при получении покрытий.

Предложенная мельница относится к механическим измельчительным аппаратам различных производств и предназначена для тонкого измельчения материалов в горнорудной, химической, строительной и других отраслях промышленности, а также в порошковой металлургии.

Основной целью проектирования данного оборудования является повышение интенсивности процесса измельчения металлических стружечных отходов.

На рис. 2.4.1 представлена конструкция вибровращательной мельницы непрерывного действия.

В разработанной мельнице цилиндрический барабан установлен в подшипниковых опорах (с возможностью вращения вокруг собственной оси с помощью отдельного привода) на подвижную виброплиту, которая устанавливается на пружинящих опорах на неподвижном основании. Снизу виброплиты крепится вибратор для создания вибрационных колебаний. В такой мельнице в процессе измельчения ликвидируются застойные зоны, так как измельчаемый материал, благодаря вращению барабана вокруг собственной оси, равномерно перераспределяется по всему рабочему объему барабана. При этом требуемая степень измельчения достигается при меньшем времени пребывания материала в мельнице, т.е. интенсивность измельчения значительно возрастает. Для осуществления непрерывного процесса вибровращательного измельчения мельница выполнена с узлом загрузки, обеспечивающим оптимальное заполнение барабана мелющими телами и материалом.

Вибровращательная шаровая мельница непрерывного действия представляет собой цилиндрический барабан, вращающийся с помощью упругой муфты от электродвигателя. Барабан установлен в подшипниковых опорах на подвижную виброплиту, которая получает с помощью пружин вибросиловое воздействие от плоскостного вибратора, представляющего собой электродвигатель с двумя выходными концами вала, на которые крепятся дебалансные грузы. Барабан разделен вертикальными перфорированными перегородками на помольные камеры, в каждой из которых находится измельчаемый материал с мелющими телами различного размера для получения тонкодисперсного порошка. Барабан имеет внешний люк для загрузки мелющих шаров до оптимальной степени заполнения цилиндра (в данном случае 0,8). Загрузка исходного материала производится с помощью загрузочной воронки. Подача сырья происходит выше оси барабана (на величину E) через входное отверстие в торцевой крышке (диаметр отверстия должен быть меньше диаметра мелющих тел в помольной камере со стороны загрузки), при этом обеспечивается оптимальная загрузка материала. Барабан имеет перфорированный участок, через который осуществляется вывод готового порошка.

Работа мельницы происходит в следующей последовательности: исходный материал поступает в загрузочный узел, представляющий собой загрузочную воронку и торцевую крышку, которая с помощью пружин прижимается к торцу барабана. Пружины фиксируются в торцевой крышке и дополнительной стойке, сквозь которую проходит загрузочная воронка. Торцевая крышка выполнена в виде цилиндра с переменным сечением: одним концом происходит фиксация внутри барабана, с другого конца выполнены направляющие, жестко связанные с крышкой, чтобы исключить вращение последней.

В результате ударно-истирающего воздействия мелющих тел на материал последний, измельчаясь, постепенно переходит из камеры в камеру с расположенными в них мелющими телами различного размера (для увеличения ударно-истирающего воздействия на материал) через вертикальные перфорированные перегородки и затем, достигнув требуемого размера, выходит из мельницы через перфорированный участок.

Глава 3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

В целом свойства порошков зависят от многих факторов. Применительно к железному порошку для оценки качества выделено некоторое количество показателей, охватывающих химический состав, технологические свойства и ситовой состав. Коэффициенты весомости для этих трех групп составляют, соответственно, 0,3; 0,5; 0,2, т.е. технологическим свойствам отдается приоритет [68]. В связи с этим рассмотрим некоторые из технологических характеристик порошков, полученных различными способами измельчения металлической стружки.

Технологические характеристики порошков: насыпная плотность, степень утряски, текучесть, прессуемость и уплотняемость определялись по стандартным методикам [69, 70, 71]. Первые три показателя отражают аутогезию сыпучего материала (т.е. силы сцепления между частицами, обусловленные электростатическим, адгезионным и ван-дер-ваальсовым взаимодействием), последние два – поведение порошка в условиях деформации [68].

Под насыпной плотностью понимают массу единицы объема свободно насыпанного порошка. Насыпная плотность зависит от формы и размера частиц, состояния их поверхности, фракционного соотношения и от плотности самого материала. Утряска (виброобработка) приводит к более рациональной укладке частиц, обрушиванию сводов, в случае многофракционных смесей – за счет размещения мелких частиц в пустотах, образованных крупными частицами. Текучесть связана со способностью дисперсных масс вытекать из отверстий и определяется временем, необходимым для вытекания 50 г порошка. Постоянство характеристик насыпной плотности (ρ_n) и текучести (τ) особенно важно при операциях автоматического прессования, а высокие значения ρ_n и низкие τ обеспечивают достаточную экономичность продукции [68]. Для повышения текучести и насыпной плотности в порошковой технологии используют операции гранулирования, усреднения, отжига, а также дополнительное измельчение [72].

Прессуемость характеризуется способностью порошка уплотняться под действием внешней нагрузки и прочностью сцепления частиц после прессования. Прессуемость порошка зависит от пластичности материала частиц, их размеров и формы и повышается с введением в его состав поверхностно-активных веществ [73]. Уплотняемость определяют из анализа диаграмм прессования, на которых изображена зависимость плотности прессовки от давления прессования. Если параметры насыпной плотности и текучести определяют технико-экономический уровень технологии прессования, то уплотняемость напрямую влияет на физико-механические свойства спеченных материалов [68]. Повышение характеристик прессуемости в технологии достигается путем применения операций отжига, усреднения по фракционному составу, регулированием размеров и формы порошковых частиц.

Перед проведением исследования из порошков, полученных различными способами измельчения, была отсеяна фракция +400 мкм, т.е. анализировались пробы с размерами частиц менее 400 мкм.

Характеризуя порошки, полученные при пятичасовом измельчении чугуновой стружки вращательным и вибровращательным способом в барабане с внутренним диаметром, равным 0,260 м, можно заметить следующее. Удельная поверхность по массе порошков оказалась практически одинаковой, что говорит о сходном распределении частиц по размерам. Здесь обнаруживается практически равная уплотняемость и насыпная плотность, хотя степень утряски больше у порошка, полученного вибровращательным способом (табл. 3.1).

При оптимальных режимах измельчения в барабане диаметром 0,145 м (за 5 часов помола чугуновой и 7 часов – алюминиевой стружки) вибровращательным способом получается порошок сравнительно высокой дисперсности (табл. 3.1 и 3.2), уплотняемость несколько ухудшается (при высокой степени утряски). Это можно объяснить тем, что при многочасовой эффективной переработке (с точки зрения измельчения) материала происходит интенсивный наклеп частиц, форма последних в результате обкатки приближается к сферической, поэтому порошок, достигший требуемой дисперсности, необходимо выводить из зоны измельчения. Здесь действует также и другой фактор, а именно то, что оптимальная упаковка порошка достигается лишь при определенном сочетании крупных, средних и мелких фракций.

Увеличение удельной поверхности порошков вызывает рост свободной поверхностной энергии, при этом повышается коагуляционная способность частиц и возрастают силы внутреннего трения – отсюда снижение способности порошкового материала к истечению [74]. В таких порошковых материалах наблюдаются самые высокие значения степени утряски.

При сравнении порошков, полученных в результате вибровращательного способа измельчения чугуновой стружки в присутствии масла (1,7 %, масс.) и при сухом размоле, обнаружилось, что насыпная плотность и степень утряски порошка меньше в первом случае, прессуемость практически одинакова, но текучесть оказалась лучше, т.е. наличие масла в процессе размолла улучшает последний показатель.

Результаты экспериментальных данных показывают, что насыпная плотность чугунного порошка, полученного вращательным способом переработки стружки, выше, чем при других способах размолла, по этому же показателю вибрационный способ превосходит другие при анализе технологических характеристик алюминиевого дисперсного материала. Несмотря на это вибровращательный способ обеспечивает получение порошка с более высоким показателем прессуемости.

Чугунный порошок, полученный вибровращательным способом измельчения при прочих равных условиях (времени переработки, одинаковом значении удельной поверхности порошка), имеет лучшие технологические характеристики: высокую степень утряски, лучшую

Таблица 3.1

Технологические характеристики чугунного порошка

Время измельче- ния, ч	ρ_n , кг/м ³	Сте- пень утря- ски	τ , с	Плотность прессовок, кг/м ³ , при давле- ниях, МПа					S_m , м ² /кг
				20 0	40 0	50 0	60 0	80 0	
I Вращение; $D_6 = 0,260$ м; $\varphi = 0,45$; $n_{вр} = 65$ мин ⁻¹									
5	2313	1,44	—	439 2	492 4	524 1	532 7	560 3	11,78 3
II Вибровращение; $D_6 = 0,260$ м; $\varphi = 0,8$; $n_{вр} = 65$ мин ⁻¹ ; $n_{виб} = 2800$ мин ⁻¹ ; $A_B = 1,5$ мм									
5	2303	1,48	—	433 3	492 4	515 8	532 7	550 8	11,61 1
III Вибровращение; $D_6 = 0,149$ м; $\varphi = 0,8$; $n_{вр} = 90$ мин ⁻¹ ; $n_{виб} = 2800$ мин ⁻¹ ; $A_B = 1,8$ мм; стружка, отожженная от масла									
5	2444	1,46	—	464 2	528 4	560 3	570 1	590 9	9,82 6
IV Вибровращение; $D_6 = 0,149$ м; $\varphi = 0,8$; $n_{вр} = 90$ мин ⁻¹ ; $N_{виб} = 3503$ мин ⁻¹ ; $A_B = 4$ мм; стружка, отожженная от масла									
5	2463	1,48	—	433 3	500 0	524 1	541 6	573 1	15,3 46
V Вращение; $D_6 = 0,149$ м; $\varphi = 0,45$; $n_{вр} = 90$ мин ⁻¹									
1	2437	1,40	54,3 3	433 3	500 0	524 1	541 6	560 3	10,4 70
2	2505	1,38	54,7 2	436 2	503 8	524 1	550 8	560 3	12,6 68
3	2572	1,39	54,7 2	436 2	507 8	532 7	550 8	565 2	12,2 15
4	2586	1,40	53,5 4	439 2	507 8	532 7	550 8	570 1	12,2 93
5	2567	1,38	56,8 0	439 2	503 8	524 1	546 2	560 3	12,0 71
VI Вибрация; $D_6 = 0,149$ м; $\varphi = 0,8$; $n_{виб} = 2800$ мин ⁻¹ ; $A_B =$ 1,8 мм									
1	2235	1,40	54,1 7	422 0	492 4	507 8	524 1	550 8	13,3 75
2	2374	1,37	51,6 4	439 2	507 8	528 4	546 2	560 3	12,8 63
3	2296	1,43	51,6	439	511	532	550	565	11,2

			4	2	8	7	8	2	47
4	2342	1,41	48,8 9	445 2	520 0	537 1	555 5	575 2	10,1 73
VII Вибровращение; $D_6 = 0,149$ м; $\varphi = 0,8$; $n_{вр} = 90$ мин ⁻¹ ; $n_{виб} = 2800$ мин ⁻¹ ; $A_B = 1,8$ мм									
1	2245	1,41	47,9 7	445 2	511 8	532 7	550 8	570 1	10,7 88
2	2333	1,40	47,0 3	451 3	528 4	546 2	560 3	590 9	9,06 6
3	2337	1,40	47,5 2	451 3	528 4	550 8	565 2	590 9	9,08 6
4	2331	1,41	48,9 3	451 3	528 4	555 5	575 2	590 9	8,98 3
5	2256	1,43	52,1 7	451 3	528 4	550 8	565 2	590 9	9,92 5

Таблица 3.2

Технологические характеристики алюминиевого порошка

Вре- мя измел- ьче- ния, ч	ρ_n , кг/м ³	Сте- пень утря- ски	τ , с	Плотность прессовок, кг/м ³ , при давле- ниях, МПа					S_m , м ² /к Г
				200	400	500	600	80 0	
I Вращение; $D_6 = 0,149$ м; $\varphi = 0,45$; $n_{вр} = 90$ мин ⁻¹									
7	105 8	1,34	100,0 2	182 2	213 1	221 6	226 7	2392	16,756
II Вибрация; $D_6 = 0,149$ м; $\varphi = 0,8$; $n_{виб} = 2800$ мин ⁻¹ ; $A_B = 1,8$ мм									
7	131 5	1,30	94,4 7	182 2	210 8	221 6	228 1	2392	17,612
III Вибровращение; $D_6 = 0,149$ м; $\varphi = 0,8$; $n_{вр} = 90$ мин ⁻¹ ; $n_{виб} = 2800$ мин ⁻¹ ; $A_B = 1,8$ мм									
7	978	1,39	120,6 2	180 5	209 7	221 6	236 3	2407	20,430
IV Вибровращение; $D_6 = 0,149$ м; $\varphi = 0,8$; $n_{вр} = 90$ мин ⁻¹ ; $n_{виб} = 3244$ мин ⁻¹ ; $A_B = 4,3$ мм									
7	106 1	1,36	–	178 1	201 0	209 7	219 1	2313	39,854

прессуемость, уплотняемость и текучесть. При этом у алюминиевого порошка при меньшей насыпной плотности и большей текучести обнаруживаются более высокие значения прессуемости и степени утряски.

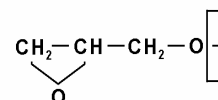
Таким образом, металлический порошок, полученный вибровращательным способом, имеет более высокие технологические характеристики по сравнению с порошками, полученными вибрационным и вращательным способами – это позволяет прогнозировать, что материал, изготовленный на его основе, будет иметь более высокие прочностные свойства.

Глава 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

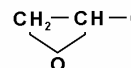
4.1 Характеристики компонентов высоконаполненных металлополимерных композиций

При получении металлополимерного материала очень важно знать начальные свойства каждого компонента, входящего в композицию, так как именно они будут влиять на формирование структуры получаемого материала. Выбирая эпоксидную смолу в качестве связующей матрицы, а в качестве наполнителя металлические порошки (чугун и алюминий), полученные вторичной переработкой, получаем более прочные высоконаполненные металлополимерные материалы.

В качестве связующей матрицы в металлополимерных материалах использовались эпоксидные смолы – высокомолекулярные органические вещества (ВОВ), которые в процессе диспергирования образовывали адгезионную и химическую связь полимер-металл, чем повышали физико-механические свойства получаемых композиционных материалов. Ниже приведены формулы использованных в экспериментальных исследованиях эпоксидных смол.



структурная формула эпоксидной смолы марки ЭД-20.



СТРУКТУРНАЯ ФОРМУЛА ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ МАРКИ ЭД-16.

Применяемые в качестве связующей матрицы смолы имеют незначительные отличия по своим физико-химическим свойствам (табл. 4.1.1):

Таблица 4.1.1

Свойства применяемых эпоксидных смол

№	Свойства	Эпоксидные смолы	
		ЭД-16	ЭД-20
1	Марка	ЭД-16	ЭД-20
2	ГОСТ	10587-76	10587-76
3	Код ОКП	25110300	25110200
4	Молекулярная масса	480 ... 540	390 ... 430
5	Содержание эпоксидных групп в пределах марки, %	16,0 ... 18,0	19,9 ... 22,0
6	Внешний вид	Вязкая светло-желтая жидкость	
7	Содержание летучих веществ, %, не более	0,8	1,0
8	Условная вязкость по шариковому вискозиметру, с, не более при $t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$	15 ... 55	65
9	Содержание общего хлора, %, не более	0,75	1,0
10	Условная вязкость смолы с отвердителем по шариковому	20,0	10,0

	вискозиметру при $t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ (через два часа после смешения, не более)		
1 1	Количество гидроксильных групп, %	2,5 ... 2,7	1,7 ... 1,8
Примечание: Содержание иона хлора не более 0,007 % по ГОСТ 1583-89.			

Выбранные смолы применяются при заливке различных изделий и для создания покрытий. Они стойки к температурным воздействиям, могут работать в агрессивных средах, имеют малый коэффициент расширения при твердении и связывают вводимый в их структуру различных наполнитель (асбест, песок, металл), могут использоваться при пропитке. Отвердевшая смола очень прочная и детали, изготовленные на ее основе, могут работать при средних и малых нагрузках.

Чтобы расширить эксплуатационные возможности эпоксидных смол, нами предлагается вводить в качестве наполнителя в них металлические порошки различных фракций. В этом случае повышается теплопроводность получаемых материалов, значительно повышаются прочностные характеристики деталей, изготавливаемых из таких композиций, и снижается поверхностный коэффициент трения, например при использовании в качестве наполнителя чугунного порошка, в структуре которого содержится свободный графит. Введение наполнителей улучшает структуру материала, армируя ее, и позволяет применять такие металлополимерные материалы в качестве самостоятельных деталей, работающих под средними нагрузками.

В экспериментах использовались порошки распространенных металлов: алюминий и чугун. Эти порошки получали вторичной переработкой стружечных отходов металлообработки.

Физические свойства и прочностные характеристики применяемых металлических наполнителей приведены в главе 2.

4.2 Влияние ПАВ на процесс диспергирования

Механизм формирования металлополимерных систем обусловлен адгезией полимеров к металлам и сводится к образованию физических (адсорбционных) и химических связей между поверхностями наполнителя и полимера. Рассматривая физико-химическую модель металлополимерных систем, необходимо отметить, что она состоит из металлических частиц, связанных адгезионно и химически с полимером, и прослойка полимера между новообразованиями.

Физические и химические свойства и эксплуатационные характеристики композиционных материалов зависят от технологии и условий их образования, объемных соотношений, структурных построений и др.

Металлические порошки, модифицированные высокомолекулярными органическими соединениями (ВОС), представляют большой интерес в качестве наполнителей различных полимеров, а также могут иметь и самостоятельное применение при производстве постоянных магнитов, металлокерамических и других изделий [75, 76].

Важную роль при формировании модифицированных наполнителей играют поверхностно-активные вещества (ПАВ). Если роль ПАВ при модифицировании ВОС минеральных наполнителей, металлов и их окислов изучена довольно подробно [75, 76, 80, 81, 82], то роль ПАВ, как и само модифицирование высокодисперсных металлов в процессе их получения изучены недостаточно. Установлено [77, 78, 79], что для полимеров, не имеющих активных функциональных групп (полистирола, натурального каучука, полиизобутилена и др.), образование и переход частиц металла в органическую среду осуществляется в присутствии ПАВ. При наличии же в органическом слое ВОС с активными функциональными группами (эпоксидных смол, кремнийорганических соединений, карбоксилатного каучука, полиуретанов и других) возможно образование и переход высокодисперсного металлического осадка в органическую среду и в отсутствие ПАВ [55, 83, 84, 85]. Следует отметить, что в тех и других работах мало внимания уделено влиянию ПАВ на ход процесса смешения и физико-химического механизма взаимодействия частиц, а также на свойства полученных порошков. Изучение роли ПАВ при совместном смешении в присутствии ВОС представляет важную задачу, решение которой будет способствовать выяснению закономерностей вибровращательного способа модифицирования порошков, а также внесет определен-

ную ясность в механизм формирования высокодисперсных металлов на поверхностно-активном слое соприкосновения [86].

В работе [87] исследуют процесс диспергирования порошков титана в присутствии полиалюмоэтилсилоксана и его смесей с эпоксидной смолой. Авторы отмечают, что разрушение твердых тел связано с процессами зарождения, развития и накопления дефектов в их структуре под влиянием внешних воздействий. Известно, что работу изотермического разрушения твердого тела A можно представить в виде эмпирической суммы двух составляющих [75]:

$$A = bDV + GDS,$$

где bDV – работа упругих и пластических деформаций в объеме DV (b – разрушающее напряжение); GDS – работа образования новой поверхности DS (G – удельная поверхностная энергия).

При большой поверхности диспергируемого твердого тела влияние второй составляющей в уравнении весьма существенно. Образование новой поверхности в процессе деформации и разрушения твердых тел может быть значительно облегчено, если работа образования поверхности будет снижена в результате адсорбции поверхностно-активных веществ (ПАВ). Этот вывод следует из термодинамического анализа рассматриваемых явлений, согласно которому адсорбция ПАВ на поверхности сопровождается уменьшением изобарно-изотермического потенциала системы, так как положительная адсорбция вызывает снижение свободной поверхностной энергии [88].

В последнее время для интенсификации диспергирования и получения модифицированных высокодисперсных порошков металлов в качестве ПАВ используют олигомеры и полимеры различной химической природы [89, 90]. Интенсификация диспергирования металлов при использовании в качестве добавок высокомолекулярных соединений обусловлена адсорбцией на поверхности твердого тела функциональных групп полимера (адсорбционный механизм) и свободных радикалов, образующихся в процессе диспергирования металла (свободнорадикальный механизм). Концентрация свободных радикалов в объеме в значительной степени зависит от молекулярной массы полимера [91], поэтому, естественно, при использовании высокомолекулярных соединений преобладающим является свободнорадикальный механизм интенсификации процесса диспергирования. Однако механохимические процессы, интенсивно протекающие в таких условиях, приводят к существенному изменению структуры полимера, уменьшению его молекулярной массы, что в ряде случаев нежелательно. В литературе описана попытка применить в качестве интенсифицирующих добавок олигомеры, обладающие различными функциональными группами [92]. Сравнительно небольшая молекулярная масса олигомеров и наличие активных концевых групп обуславливают адсорбционный механизм интенсификации процесса диспергирования.

В литературе описано диспергирование титана в присутствии эпоксидной смолы ЭД-20, полисульфидного каучука и их смесей и установлено, что добавление реакционноспособных олигомеров и их смесей значительно активизирует диспергирование титана [93]. Интенсифицирующая способность исследованных олигомеров в значительной степени зависит от природы функциональных групп, а их смесей – от характера взаимодействия между компонентами. Зависимость удельная поверхность – состав смеси для дисперсных порошков титана носит ярко выраженный характер, что обусловлено механизмом совместимости смеси олигомеров.

В литературе описано определение влияния химической природы олигомеров на процесс диспергирования титана [94]. Для этого изучали интенсифицирующую и модифицирующую способность кремнийорганического олигомера-полиалюмоэтилсилоксана (ПАЭС) и его смесей с эпоксидной смолой ЭД-20. Совместное применение в качестве диспергирующей добавки ПАЭС и эпоксидной смолы ЭД-20 объяснялось следующим: экранизация атома за счет его координационного взаимодействия с эпоксидным циклом дает возможность выяснить влияние металла как охрупчающего агента на интенсификацию процесса диспергирования титана; совмещение двух этих полимеров приводит к получению новых композиционных полимерных материалов, обладающих улучшенными физико-химическими свойствами [94].

Авторы данной работы проводили диспергирование в планетарной мельнице при добавлении различных количеств олигомеров или их смесей в воздушной среде.

Металлополимерные композиции часто получают также путем адгезионно-механических соединений. Работоспособность металлополимерных материалов и деталей обусловлена адгезией полимера к металлу, зависящей от физико-химических свойств полимера и металла, наличия в полимере наполнителей, стабилизаторов и т.д., технологии получения металлополимерного контакта и др. При контакте

полимера и металла изменяются свойства граничных слоев обоих материалов [75, 95, 96]. Влияние металла на структуру полимеров сказывается в слое глубиной до сотен микрон. В свою очередь полимеры (особенно их расплавы) могут разрушать поверхностные слои металлов, ускорять или тормозить окисление металла. Введение металлов в объем полимеров обуславливает переход от гетерогенных контактных процессов, инициируемых металлами, к гомогенным [97].

Контакт полимера с металлом, как правило, происходит через оксидную пленку металла. Толстые оксидные пленки обладают низкими физико-механическими показателями, так как по поверхностным дефектам происходит разрушение пары "металл-полимер", а тонкие оксидные пленки, например, на поверхности алюминия, обеспечивают прочную связь металла с полимером. Между полимером и металлом при образовании композиционных материалов возможно образование и водородных связей [98].

Металлические наполнители придают полимерам специфические свойства. Так порошки железа и его сплавов придают композиционным материалам ферромагнитные свойства, чешуйки алюминия, никеля, серебра – низкую газо- и паропроницаемость, а порошки алюминия и медных сплавов – декоративность [99].

Введение в полимер твердых дисперсных или волокнистых наполнителей неорганической или органической природы осуществляется с целью экономии полимера или для изменения химических, физических, механических, термических, электрических, фрикционных и других свойств материалов. В зависимости от влияния на физико-механические свойства композиционного материала наполнители делят на активные, улучшающие свойства, и неактивные, которые на свойства композита не влияют, но за счет своей дешевизны снижают его стоимость. В зависимости от того, на какие свойства полимера влияет наполнитель, различают структурную, кинетическую и термодинамическую активность наполнителей.

Под структурной активностью наполнителя понимают его способность изменять надмолекулярную организацию: размер, форму и распределение структурных единиц. Кинетическая активность наполнителя определяет подвижность различных кинетических единиц, т.е. спектр времен релаксации. Термодинамическая активность полимера – это его способность влиять на термодинамические параметры наполненного полимера.

Данные критерии позволяют понимать происходящие процессы при формировании металлополимерных систем путем наполнения полимеров различными телами. При этом количественные влияния наполнителя на характеристики получаемых композиционных материалов определить очень сложно.

Структурирование полимера происходит в результате взаимодействия с полимером частиц наполнителя, которые являются в формируемой композиции узлами возникающей пространственной сетки [75]. При этом наполнителя должно быть достаточно, чтобы его хватило для образования сплошной сетки, таким образом определяется максимальное и достаточное количество наполнителя. При недостатке наполнителя может не образоваться сплошной сетки и не будет достигнут желаемый эффект усиления. При избыточном количестве наполнителя может не получиться полного его смачивания полимером.

Упрочнение полимеров при введении дисперсных наполнителей получается за счет образования непрерывного армирующего каркаса [75, с. 207, 306, 307]. Иногда наблюдается экстремальная зависимость прочности от степени наполнения полимера, характеризующаяся наличием так называемого концентрационного оптимума, который рассматривается как предел насыщения макромолекулами адсорбционных центров на поверхности наполнителя [75, с. 308].

Одним из важных факторов определения прочностных характеристик является прочность адгезионной связи полимера и наполнителя, т.е. энергия взаимодействия на границе раздела. В местах окисных пленок на наполнителе в системе "полимер-металл" возникают локализованные напряжения, которые приводят к разрастанию дефекта и разрушению материала. Поэтому поверхностная обработка наполнителя перед смешением в среде полимера имеет большое влияние на прочностные свойства. Формирование металлополимерной системы по предложенной нами технологии выгодно отличается от других тем, что образование новых поверхностей наполнителя осуществляется в среде олигомера. Это обстоятельство предотвращает окисление вновь образуемых поверхностей, а поэтому на поверхности раздела могут возникать помимо адгезионных, также и химические связи. При этом не требуется поверхностная обработка перед смешением наполнителя с полимером.

На прочностные характеристики металлополимерных систем большое влияние могут оказывать различия в коэффициентах термического расширения полимера и наполнителя. При изменениях температур (охлаждение после диспергирования, нагрев в момент прессования изделий и охлаждение

ратур (охлаждение после диспергирования, нагрев в момент прессования изделий и охлаждение после



формования) на границах раздела возникают перенапряжения или даже вакуоли [75, с. 313]. При нагружении деталей из металлополимерных систем наблюдается дополнительное удлинение полимера ξ_d вблизи частиц наполнителя по сравнению со средним удлинением образца ξ [75, с. 302].

Для выбора оптимальных условий переработки металлополимерных систем важным является учет реологических свойств полимеров. Температура текучести T_k и вязкость композита сильно зависят от концентрации наполнителя и формы его частиц. Реологические свойства самой полимерной среды играют решающую роль и по-разному влияют на реологическое поведение наполненной различными наполнителями системы [75, с. 348 – 350, 357].

Эмпирических уравнений, которые описывают реологические свойства наполненных полимеров, много, но практическая их применимость к реальным системам весьма ограничена. Однако необходимо отметить, что существуют общие теоретические принципы, которые определяют реологическое поведение металлополимерных систем [75, с. 351] и связывают геометрию частиц наполнителя и его концентрацию в составе полимера с показателем вязкости. Другим фактором, влияющим на реологические показатели металлополимерных систем, является адсорбционное взаимодействие частиц наполнителя и полимера – ограничение молекулярной подвижности цепей в адсорбционном слое, т.е. вязкость системы определяется как гидродинамическими, так и механическими эффектами.

Характер распределения твердого наполнителя в металлополимерных системах и другие показатели зависят от условий смешения, свойств полимера – среды и наполнителя, а также от условий взаимодействия элементов системы на границе раздела фаз. При этом необходимо различать простое смешение полимера с заранее подготовленным наполнителем, имеющим на поверхности оксидную пленку, и диспергирование металлического наполнителя в среде полимера с образованием новых поверхностей, которые защищены от окисления на воздухе и поэтому могут создавать "третье тело" (химическое соединение полимера с наполнителем).

В общем виде металлополимерные системы в зависимости от доли наполнителя можно классифицировать следующим образом:

- ненасыщенная металлополимерная система – рис. 4.2.1 (I, а);
- насыщенная металлополимерная система – рис. 4.2.1 (I, б);
- перенасыщенная наполнителем металлополимерная система – рис. 4.2.1 (I, в, г).

На рис. 4.2.1(I) показано схематическое изображение строения четырех разновидностей структуры металлополимерной композиции, получаемой обычным методом смешения (а – крупный наполнитель и обычное смешение; б – мелкая фракция порошка при обычном смешении со смолой; в – крупная фракция порошка при недостаточном количестве смолы; г – мелкая фракция наполнителя при нехватке смолы).

Рис. 4.2.1(II) дает представление о получаемой структуре металлополимерной композиции при диспергировании металлического наполнителя в смоле (а – крупная фракция порошка с образовавшейся прослойкой "третьего тела"; б – мелкая фракция с образованием "третьего тела", полученная при совместном диспергировании; в и г – схемы структуры, которые получаются при диспергировании крупной и мелкой фракции наполнителя в недостаточном количестве смолы).

Нами было проведено сравнение и выявлено, что материал с образовавшимся "третьим телом" более прочен.

В идеальном случае было бы выгодно получать металлополимерную систему, которая состояла бы только из металла и "третьего тела", как это показано на рис. 4.2.2, а. Но этого достичь сложно, так как необходимо взаимодействие всего объема наполнителя и матрицы (смолы), без прослоек смолы.

Это можно достичь при прессовании образцов (там прослойки смолы из-за давления минимальны и образовавшееся "третье тело" практически образует более прочные химические связи).

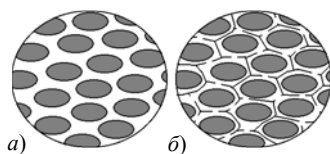


Рис. 4.2.2 Схематическое представление идеальной и полученной при прессовании металлополимерной структуры:

а – схема структуры идеального металлополимера; *б* – схема структуры, получаемой методом прессования

4.3 Исследование процесса диспергирования вращательным и вибровращательным методами

Для изучения процесса смешения компонентов в вибровращательной мельнице нами исследовался процесс диспергирования металлического порошка в среде олигомера. При этом использовались порошки крупных фракций алюминия и чугуна (размер фракции 400 ... 800 мкм), которые под ударно-стирающим воздействием мелющих тел подвергались диспергированию в течение часа. Для выявления оптимальных режимов диспергирования изменялись обороты вращения барабана, оставляя одинаковым время ($t = 1$ ч).

Вибровращательная мельница позволяет проводить процесс диспергирования тремя способами: только за счет вибрации или вращения, путем совмещения вращения с вибрацией – вибровращение. При диспергировании в среде эпоксидной смолы одной только вибрации, как правило, недостаточно, так как в вязкой среде олигомера мелющие тела "залипают" к барабану и между собой, а при таких условиях диспергирование просто невозможно. Поэтому в дальнейшем исследовались характеристики процессов при диспергировании металлических порошков в среде олигомера методами вращения и вибровращения. При этом изучено также влияние среды, в которой происходил процесс диспергирования.

Исследование процесса диспергирования вязких композиций позволило установить следующее.

1 Вращательный режим диспергирования.

При увеличении числа оборотов свыше 100 мин^{-1} происходит зависание шаров в вязкой массе и в дальнейшем в процессе измельчения и смешения наблюдается нестабильность.

2 Вибровращательный режим.

Заметен рост критического значения рабочего числа оборотов мельницы до 120 мин^{-1} .

Поэтому на основе конструктивных параметров мельницы, с учетом вязкости среды, диаметра ($d_{\text{ш}} = 29,5 \text{ мм}$) и количества мелющих ($n = 22$ шт.) тел было выбрано рабочее число оборотов барабана мельницы ($n_{\text{вр}} = 100 \text{ мин}^{-1}$). Вибрация осуществлялась за счет вибратора с постоянной частотой вибрации $n_{\text{виб}} = 2800 \text{ мин}^{-1}$.

Таким образом, композит получали при данных параметрах, используя два основных режима работы мельницы.

Вес, объем, плотность материала при проектировании детали и изделия для конструктора являются важными характеристиками. На рис. 4.3.1 представлены результаты роста плотности получаемых металлополимерных образцов с увеличением времени диспергирования.

Это обусловлено увеличением мелких частиц наполнителя, которые образуются в процессе измельчения, а вибровращательное воздействие на композит приводит к увеличению диссипации. Таким образом, на подготовительной стадии приготовления металлополимерного композита мы формируем структуру металлополимерных материалов, что значительно влияет на их прочностные характеристики.

Глава 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУЧЕННЫХ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1 Исследование влияния способа приготовления композита на прочностные характеристики получаемых металлополимерных

Для приготовления любой композиции стараются применить способ, при котором распределение частиц было бы наиболее равномерным и структура получаемого материала была бы однородной, т.е. при определенной концентрации стремятся к наименьшей диссипации. При этом получение композита на основе эпоксидной смолы и металлических порошков в качестве наполнителей не является исключением. Такая композиция должна быть однородной и связующее должно полностью обволакивать наполнитель и связывать отдельные частички в единую систему. Для того чтобы добиться такого эффекта, применяют достаточно сложные способы смешения и заливки. Существуют установки, где заливка таких композитов происходит под вакуумом с целью исключения пузырьков воздуха в связующей матрице. Они сложны в техническом оформлении и не позволяют получать композиты с химическими связями наполнителя и связующей матрицы. В некоторых случаях применяют подогрев всей композиции, добиваясь при этом снижения вязкости полимера, а затем вводят наполнитель и проводят смешение в лопастных смесителях. Такие способы имеют большую производительность, но получаемые материалы имеют меньшую прочность и область их применения становится узкоспециализированной.

Предложенный авторами метод получения металлических порошков [87, 89, 92, 93] подсказал нам решение вышеприведенной проблемы. Авторы при диспергировании порошка титана и эпоксидной смолы открыли, что измельчение порошка в среде происходит быстрее, а вот качество его ухудшается. При отмывании полученных порошков смола с поверхности частиц не удалялась, так как полимер и металл вступали в химическую связь. Устойчивость этой химической связи подтвердилась путем вытравливания кислотой.

Авторы использовали обычную шаровую мельницу при получении порошка и выявили, что при механическом воздействии у частиц металла на поверхности раскола образуются свободные электроны, которые могут вступать в реакцию со связующей матрицей. Образование таких связей позволяет повысить прочность получаемого композита.

Нами предложено использовать для получения композита вибровращательную мельницу, которая за счет вибровращательного и ударного воздействия мелющих тел на порошок увеличивает возникновение активных поверхностей металла в несколько (3 – 6) раз в зависимости от режимов диспергирования и вязкости среды. Предложенное конструктивное решение позволило за меньшее время получить композит с большим числом адгезионно-химических связей полимера и металла, что, в конечном счете, повысило прочность металлополимерного материала. К тому же данный способ смешения позволил более экономно использовать связующее и добиться получения высоконаполненных композиционных материалов, что повысило их прочность, теплопроводность и стойкость при работе в агрессивных средах, увеличило магнитные свойства и электропроводность. Используемые до этого методы смешения не позволяли получать высоконаполненных композиций с адгезионно-химическими связями полимера и наполнителя.

Проведенные нами эксперименты подтвердили теоретические выводы, что высоконаполненные металлополимерные материалы при диспергировании металлических порошков в среде олигомера имеют более высокие прочностные характеристики. Материалы, полученные вибровращательным способом при диспергировании композита в течение 40 минут (оптимальное время диспергирования, полученное из эксперимента), имеют прочностные характеристики в 1,5 – 2 раза выше, чем материалы, полученные вращательным способом диспергирования (рис. 5.1.1, 5.1.2).

Испытания полученных образцов металлополимерных материалов на основе чугуновых и алюминиевых порошков проводились на растяжение по ГОСТу 11262-80, на сжатие по ГОСТу 4651-82, на изгиб и твердость по ГОСТу 14359-69. Каждую характеристику измеряли по 8 – 10 раз на различных образцах. Поэтому приведенные на рисунках точки являются средними значениями. Это позволило выявить действительный разброс значений, который зависит от вида наполнителя, его распределения в связующем, скорости отверждения композита и образования внутренних напряжений при прессовании под давлением.

Из приведенных графиков можно сделать вывод, что вибровращательный способ диспергирования металлического наполнителя в среде связующего позволяет добиться за то же время, что и при вращательном способе, большего количества адгезионно-химических связей и тем самым повысить прочность материала.

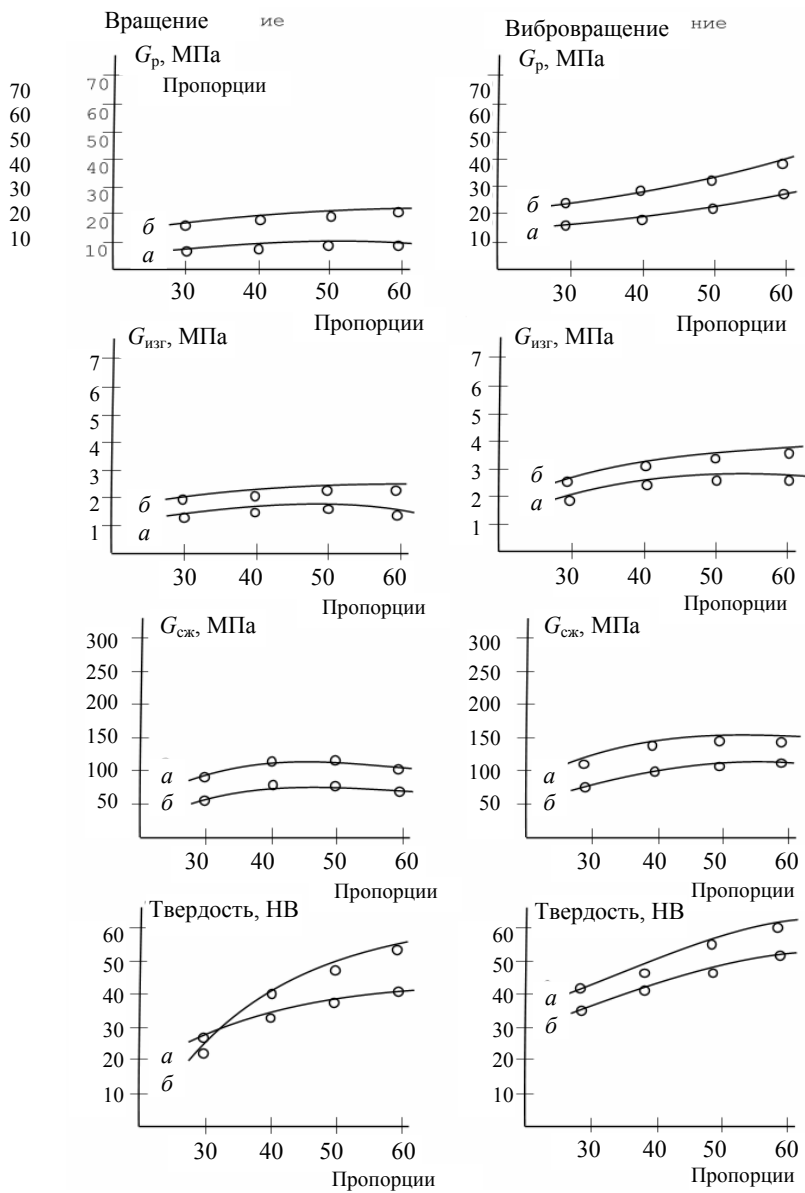


Рис. 5.1.1 Прочностные характеристики материалов, полученных вращательным и вибровращательным способами

(наполнитель чугун). Давление прессования 3 МПа. Фракции:

a – 100 ... 200 мкм; b – 200 ... 400 мкм.

70
60
50
40
30
20
10

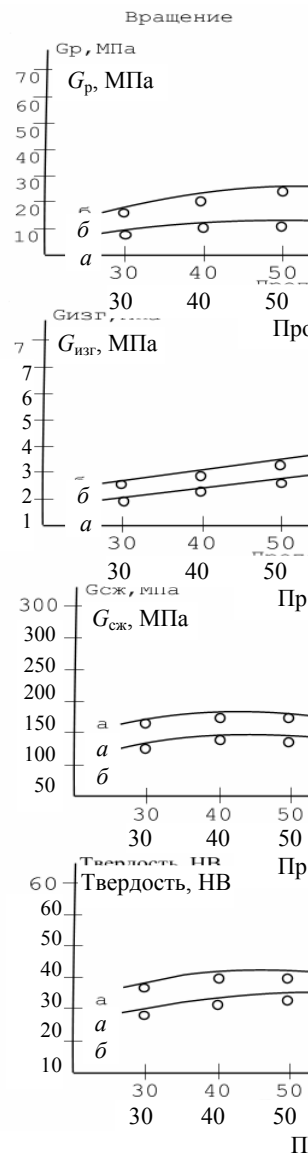


Рис. 5.1.2 Прочностные характеристики материалов, полученных вращательным и вибровращательным способами (наполнитель алюминий). Давление прессования 3 МПа. Фракции:

a – 100 ... 200 мкм; $б$ – 200 ... 400 мкм.

5.2 Исследование влияния соотношения наполнителя и связующего на прочностные характеристики образцов

Во многих литературных источниках [89, 93, 100] отмечается, что прочностные, физико-механические, электромагнитные и химические свойства наполненных полимеров напрямую зависят от наполнителя, присутствующего в них. Эти наполнители могут быть различны по своей структуре и способствовать появлению у композиционного материала специфических свойств (газонепроницаемость, огнестойкость и др.).

Например, рекомендуется применять в качестве наполнителей в материалах, работающих при изгибе и растяжении волокна, стеклоткань, проволоку и нити. Такие наполнители при отверждении эпоксидного связующего позволяют получить структуру материала монолитной, а сами выполняют роль армирующего каркаса [101, 90].

Детали и изделия, работающие под нагрузкой, следует получать на основе высоконаполненных композиций с применением твердофазных наполнителей (кварц, чугун, алмазная пыль, титановый порошок и т.д.).

Антифрикционные материалы получают за счет использования в качестве наполнителей мягких металлов или графитосодержащих основы медь, чугун, графит.

Специфические свойства материалов на основе эпоксидных смол получают при использовании разных наполнителей, например, мелкодисперсный порошок алюминия позволяет получить газонепроницаемый материал, а получаемые металлополимерные материалы с наполнителем железного порошка обладают хорошими магнитными характеристиками, использование асбеста, цемента, кварца позволяет получить хорошие диэлектрики, некоторые эпоксидные смолы с полимерными наполнителями применяют в зубопротезировании, так как они стойки к агрессивным средам.

В экспериментальных исследованиях нами использовались два вида наполнителя: алюминиевые порошки (фракции 400 ... 800, 200 ... 400, 100 ... 200 мкм) и чугунные порошки (фракции 200 ... 400, 100 ... 200 мкм), так как нас интересовали антифрикционные материалы с хорошей степенью теплопроводности. Это позволяет делать на основе таких материалов подшипники скольжения и использовать их при производстве торцевых уплотнений. Такие детали должны обладать малым коэффициентом трения, быть прочными и обладать хорошей теплопроводностью, чтобы отдавать тепло в процессе работы механизма. Материалы для них можно получить только на основе высоконаполненных металлополимерных композиций. Повысить прочность металлополимерных материалов удастся за счет более мелкого размера частиц наполнителя и образования адгезионных и химических связей полимерной матрицы и наполнителя.

Нами исследовались материалы, получаемые на основе алюминиевых и чугунных порошков различных фракций: а) 100 ... 200 мкм, б) 200 ... 400 мкм.

Как видно из экспериментальных зависимостей, (рис. 5.2.1 и 5.2.2) вид наполнителя существенно влияет на прочностные характеристики получаемого материала, поэтому следует учитывать при проектировании изделия свойства вводимого наполнителя.

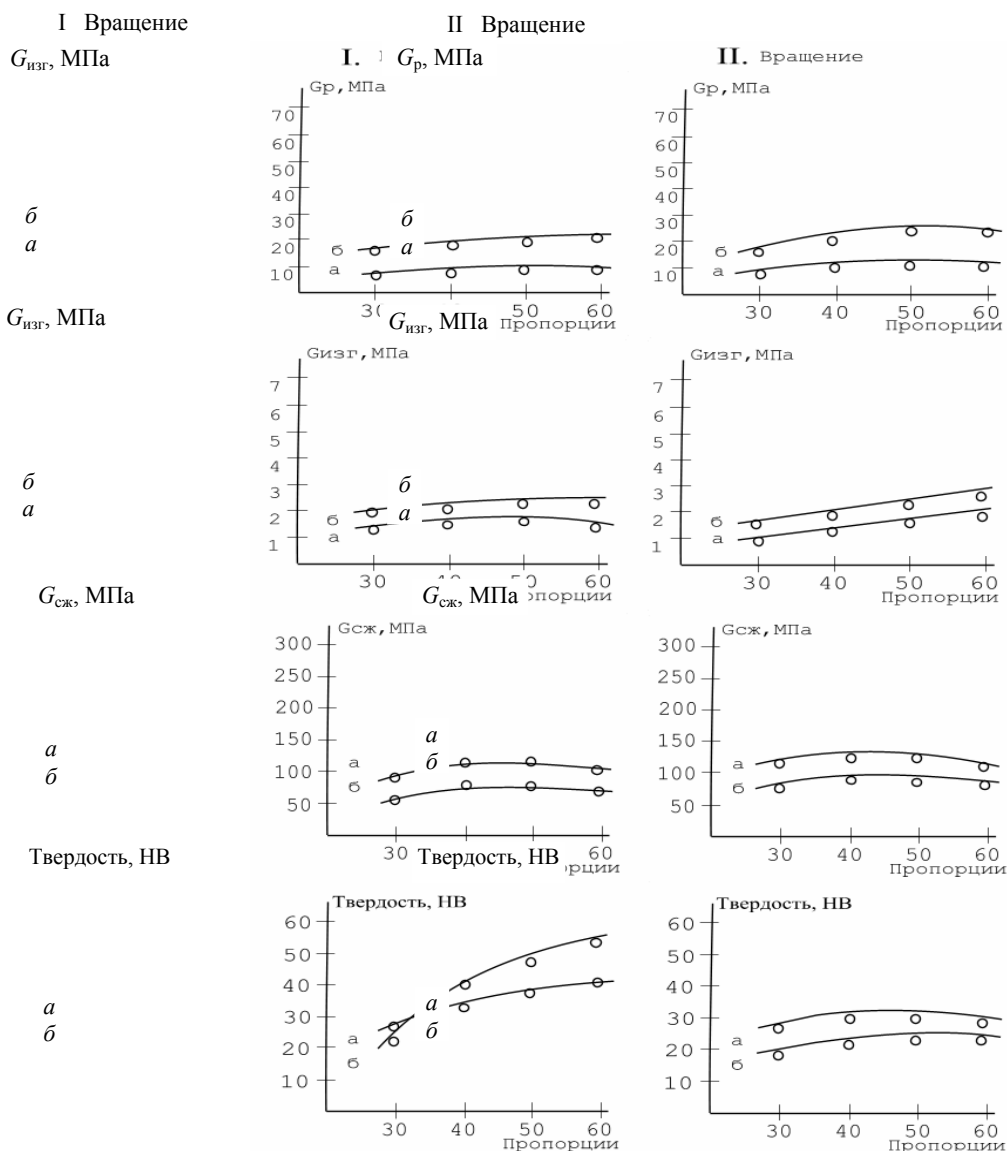


Рис. 5.2.1 Прочностные характеристики получаемых материалов в зависимости от вида и размера наполнителя:

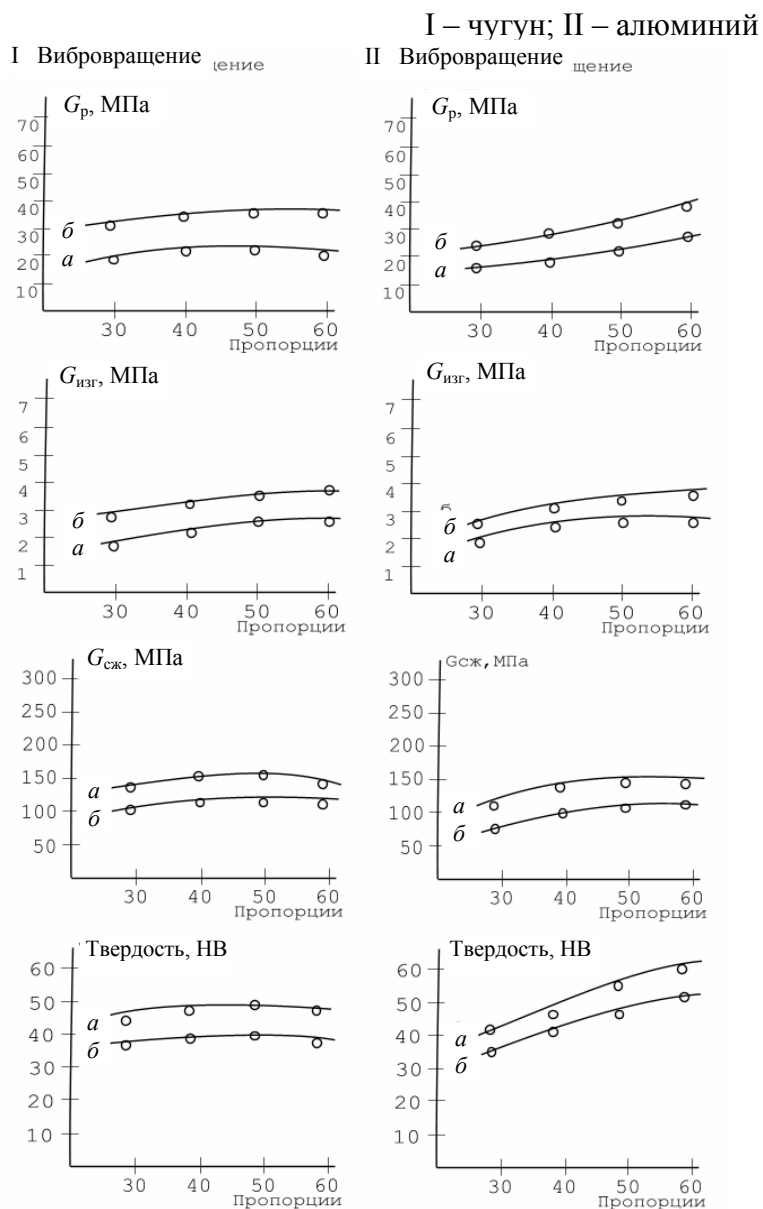


Рис. 5.2.2 Прочностные характеристики получаемых материалов в зависимости от вида и размера наполнителя:

I – алюминий; II – чугун

$G_{сж}$, МПа

a)

Меняя размер наполнителя и, соответственно, структуру композиционного материала, можно получать изделия с заданными свойствами.

- б) Ниже приведены схемы границ разлома металлополимерных материалов с наполнителем – металлический порошок различных фракций. На всех схемах выделена черная цветом линия разлома образцов. Как видно из рис. 5.2.3, нагружение при изгибе более равномерно происходит в структуре, которая имеет крупные частицы наполнителя. Они дают возможность материалу оказывать сопротивление нагружению. Поэтому при создании металлополимерных материалов, работающих на изгиб, следует применять крупные наполнители, которые образуют "армирующую" сетку.
- в) При растяжении (рис. 5.2.4) образцов разлом структуры у наполненных металлополимеров происходит в основном по наименее слабому компоненту (полимеру), таким образом, уменьшив прослойку связующего, можно распределить нагрузку на поверхность введенного наполнителя. Добиться такого результата с крупным наполнителем невозможно, поэтому следует использовать средние и мелкие фракции наполнителей. Прослойки связующего между ними минимальны и нагружение происходит по зернам наполнителя. При сжатии (рис. 5.2.5) наилучшим образом работают образцы с введенным в них мелкодисперсным порошком. Такая структура металлополимерных материалов является наиболее наполненной, и при воздействии на нее сил нагружения работает единым монолитным слоем. Введенные крупные зерна наполнителя при сжатии начинают двигаться относительно друг друга и при этом разрушают связывающий их слой полимера. Так же следует отметить, что поверхность распределения нагрузки у материалов с мелкодисперсным наполнителем больше, чем у металлополимеров с крупным наполнителем.

5.3 Исследование влияния давления прессования на структуру и прочностные характеристики получаемого металлополимерного материала

При получении композиционных материалов на основе эпоксидных связующих для ускорения реакции отверждения применяют подогрев, а для удаления воздушных включений проводят процесс формования в вакууме или под давлением в пресс-формах. Вакуумформование требует сложного технологического оборудования. В процессе экспериментальных работ нами использовалось прессование в предварительно подогретой пресс-форме. В процессе прессования композит равномерно распределяется в пресс-форме и затем в течение определенного времени выдерживается под давлением. Экспериментально были найдены оптимальные режимы прессования. Надо было учесть, что при большой температуре подогрева отвердитель в смоле может выгорать и испаряться, а сильный нагрев металлического наполнителя может довести смолу до возгорания. При высоком давлении прессования пресс-форма воспринимает на себя значительную нагрузку и быстро изнашивается, а структура металлополимерного материала накапливает внутренние напряжения, что отрицательно сказывается на прочностных свойствах получаемых деталей и изделий. Эксперименты проводили при следующих режимах прессования:

- давление прессования от 3 до 12 МПа;
- температура подогрева от 100 до 140 С;
- время выдержки в пресс-форме под давлением 20 ... 30 мин.

Используя метод горячего прессования, можно повысить производительность, так как при нормальных условиях эпоксидные смолы начинают набирать прочность после 2-х часов, а готовое изделие можно вынимать из опалубки через двое суток. Используя прессование детали в заранее подогретой пресс-форме, мы получаем готовое изделие через 30 минут.

Получив образцы металлополимерных материалов при различных давлениях прессования, мы провели их испытание на прочность. Результаты эксперимента представлены на рис. 5.3.1 и 5.3.2 ниже.

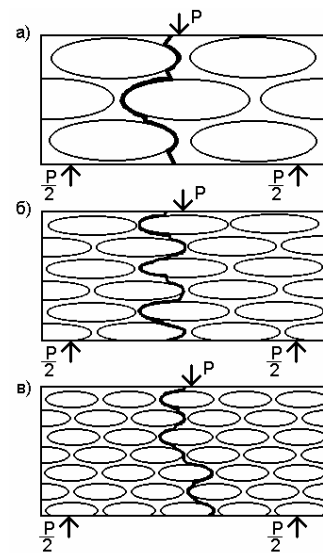


Рис. 5.2.3 Границы разлома металлополимерных материалов с наполнителем различных фракций при изгибе:

a – крупная фракция 400 ... 800 мкм; б – средняя 200 ... 400 мкм; в – мелкая 100 ... 200 мкм.

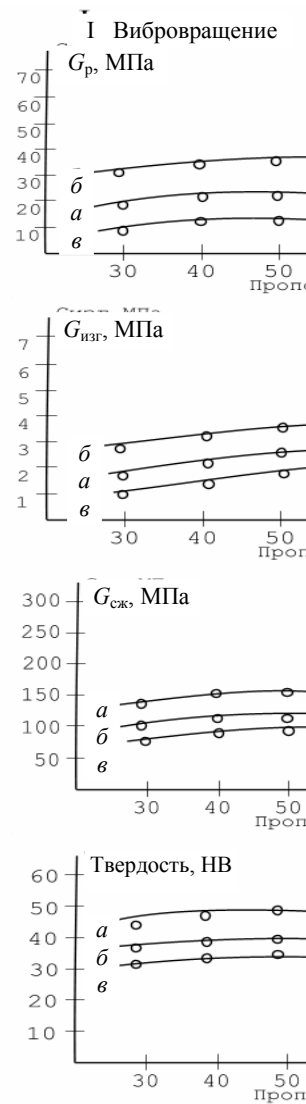
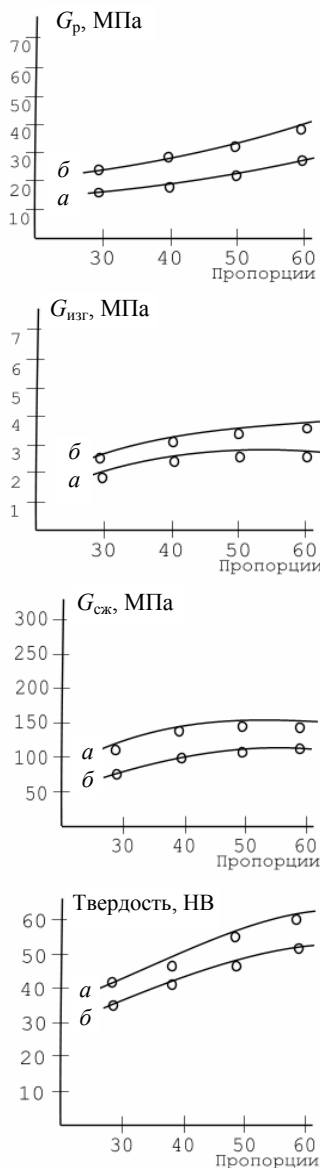


Рис. 5.3.1 Прочностные характеристики металлополимерных материалов, полученных вибровращательным способом (наполнитель алюминий).

Давление прессования: I – 3 МПа, II – 6 МПа. Фракции:

а – 100 ... 200 мкм; б – 200 ... 400 мкм; в – 400 ... 800 мкм

I Вибровращение шение



II Вибровращение ие

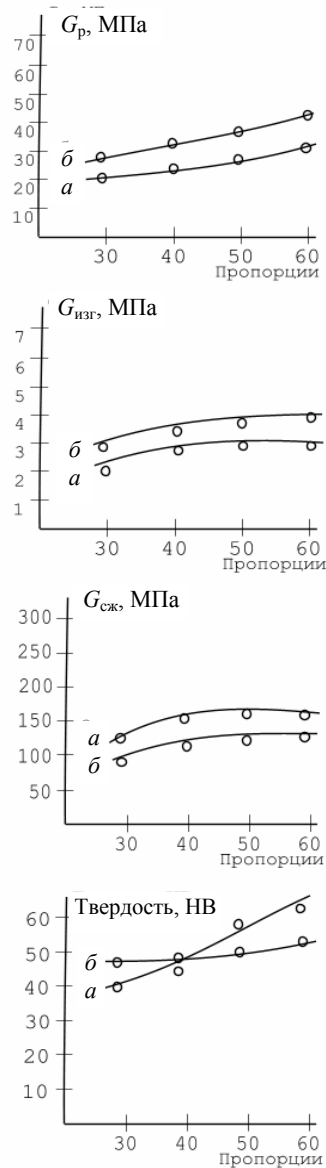


Рис. 5.3.2 Прочностные характеристики металлополимерных материалов, полученных вибровращательным способом (наполнитель чугун).

Давление прессования: I – 3МПа, II – 6МПа. Фракции:

$$a - 100 \dots 200 \text{ мкм}; \quad b - 200 \dots 400 \text{ мкм}$$

Из приведенных рисунков можно сделать выводы, что с повышением давления прессования прочность образцов возрастает незначительно (3 ... 8 %), но материал, полученный при высоких давлениях прессования, имеет более плотно упакованную структуру. Это положительно сказывается на теплопроводности, электропроводности и магнитных свойствах материалов. За счет давления при прессовании удаляется лишнее связующее и тем самым повышается качественное распределение наполнителя и матрицы-основы. За счет давления можно удалить из структуры воздушные пустоты, тем самым убрать дополнительно возникающие концентраторы напряжений.

5.4 Исследование теплофизических свойств образцов

Теплопроводность высоконаполненных композиционных металлополимерных материалов определялась с помощью измерительно-вычислительной системы (ИВС), которая служит для исследования температурных зависимостей и теплофизических характеристик (ТФХ) различных материалов. ИВС представляет собой комплекс приборов, включающий в себя измеритель теплопроводности ИТ- λ -400, блок усилителей (БУ), измерительно-вычислительное устройство (ИВУ), которое является базовым, и персональный компьютер (ПК на базе процессора IBM486), объединяемые интегрированным программно-аппаратным интерфейсом [102].

Прибор ИТ-λ-400 состоит из теплового блока (калориметра) и блока питания и регулирования. Блок питания и регулирования обеспечивает линейное изменение напряжения на нагревателе и автоматическое регулирование температуры. Для усиления исходных сигналов от термопар и датчика теплового потока до уровня входных напряжений аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) ИВУ применялся трехканальный усилитель постоянного тока (на микросхемах К140УД7). Далее сигнал обрабатывался аналогово-цифровым преобразователем (АЦП) измерительно-вычислительного устройства, а затем – на микроЭВМ по программе. В качестве базового ИВУ выбрано интеллектуальное измерительное микропроцессорное устройство из семейства Zila-Elektronik – ZILA-1000. Используя последовательный интерфейс, ZILA-1000 подключается к ПК, в котором находятся программа-редактор и терминальная программа "DANI 52", программы статистической обработки и графического отображения измерительной информации, а также программы, обеспечивающие способы определения ТФХ. Данные программы могут работать в двух режимах: редактирования – терминальный (вычислительное устройство сразу выдает каждую задаваемую инструкцию) и коммуникационный (инструкция сначала загружается в оперативную память вычислительного устройства и затем обрабатывается).

ИВС СОЗДАЕТ МОНОТОННЫЙ ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ, ПРИ КОТОРОМ ПОЛУЧАЮТ УСИЛЕННЫЕ ИСХОДНЫЕ СИГНАЛЫ ОТ ТЕРМОПАР И ДАТЧИКА ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ДО УРОВНЯ ВХОДНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ АЦП, АНАЛОГО-ЦИФРОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ И ОБРАБОТКУ ИНФОРМАЦИИ В СООТВЕТСТВИИ С МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛЮ ПО РАБОЧИМ АЛГОРИТМАМ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИМ СОВМЕСТНО С ДАТЧИКАМИ ТЕПЛОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЯЧЕЙКИ СПОСОБ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ МАТЕРИАЛОВ.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ ПОЗВОЛИЛА ФИКСИРОВАТЬ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ НЕ ЧЕРЕЗ КАЖДЫЕ 25 °С, КАК ЭТО ПРЕДУСМОТРЕНО ОБЫЧНОЙ МЕТОДИКОЙ ИЗМЕРЕНИЙ НА ИТ-λ-400, А ЧЕРЕЗ ЛЮБЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ТЕМПЕРАТУР ИЛИ ВРЕМЕНИ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ПРОГРАММНО.

Таким образом, данная ИВС позволила получить зависимости теплопроводности от температуры, которая изменялась в пределах от 40 до 200 °С, что выявляет поведение композиционного материала с ростом температуры. Следует также отметить, что связующее (эпоксидная смола ЭД-16) при температуре 160 °С подвержена процессу деструкции.

Измерение теплопроводности проводилось на приборе марки ИТ-3 [103].

В основу работы прибора положен стационарный метод определения коэффициента теплопроводности на основе измерения теплового потока, пронизывающего образец испытуемого материала, толщины образца и разности температур между его торцевыми поверхностями.

Экспериментально были получены значения теплопроводности металлополимерных образцов двух типов (с наполнителями: алюминий и чугун). Полученные результаты приведены на рис. 5.4.1 и 5.4.2.

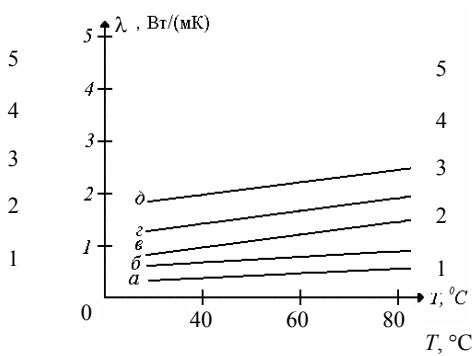


Рис. 5.4.1 Зависимость теплопроводности от количества алюминиевого наполнителя и температуры:

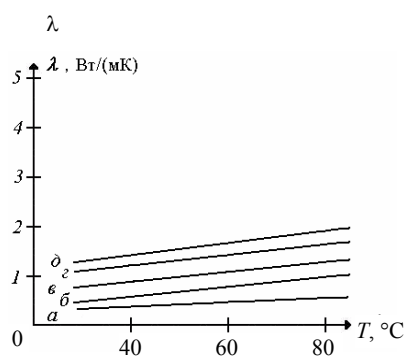


Рис. 5.4.2 Зависимость теплопроводности от количества чугунного наполнителя и температуры:

чугун фракции 100 ... 200 мкм,
100 г наполнителя на 40 г смолы;
алюминий фракции 200 ... 400 мкм,
100 г наполнителя на 50 г смолы

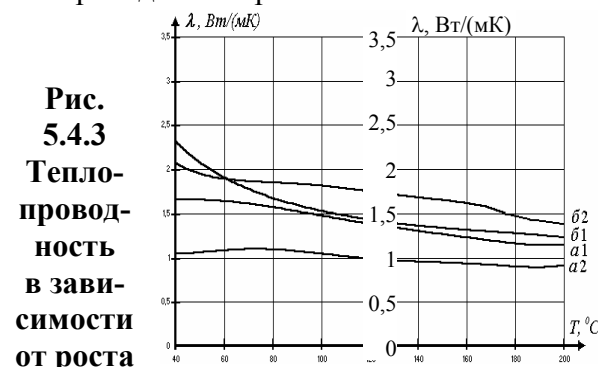


Рис. 5.4.3 Теплопроводность в зависимости от роста температуры, вида наполнителя (a – чугун, β – алюминий) и способа диспергирования (1 – вращательный, 2 – вибровращательный):

$T, ^\circ\text{C}$

Из вышеприведенных графиков видно, что у материалов с наполнителями почти в 4 раза выше теплопроводность. Теплопроводность возрастает с ростом вводимого металлического наполнителя в композиционный материал. Таким образом, можно с уверенностью сказать, что высоконаполненные металлополимерные материалы будут обладать наилучшими теплопроводящими свойствами и хорошо отводить тепло при работе в узлах трения.

Был проведен сравнительный анализ образцов, различающихся по виду наполнителя, его фракционному составу, соотношению количества наполнителя и связующего, методу диспергирования композиции (вращательный и вибровращательный), давлению горячего прессования и выявлены следующие закономерности (рис. 5.4.3).

Как видно из графиков, применение вибровращательного способа диспергирования повысило теплопроводность алюминиевых образцов и снизило теплопроводность чугунных образцов. Это можно объяснить тем, что связующее с алюминием, вступая в химическую связь, образовало прослойку "третье тело", способствующую лучшей теплопроводности, а при диспергировании чугуна в данной прослойке присутствует графит, который способствует снижению теплопроводности получаемых материалов. Следует также отметить снижение теплопроводности при повышении температуры, что обусловлено свойствами применяемого связующего. Полимер с повышением температуры расширяется (увеличивая прослойку между частицами металла) и тем самым снижает теплопроводность.

Из графика (рис. 5.4.4) видно, что чем больше наполнителя в металлополимерной композиции, тем выше теплопроводность материала, в связи с этим для изготовления из получаемых материалов деталей и узлов трения рекомендуется использовать высоконаполненные металлополимерные материалы.

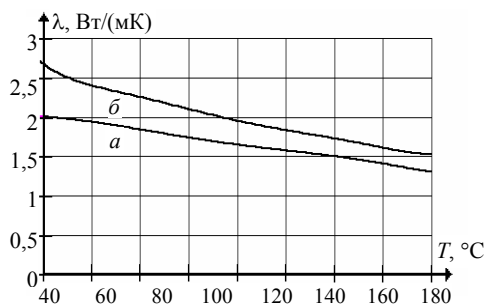


Рис. 5.4.4 Теплопроводность алюминиевых образцов, полученных при давлении прессования 6 МПа, фракция наполнителя 100 ... 200 мкм, вращательный способ

**диспергирования.
Состав (наполнитель/
связующее/отвердитель):**

a – 100/60/6; *б* – 100/50/5

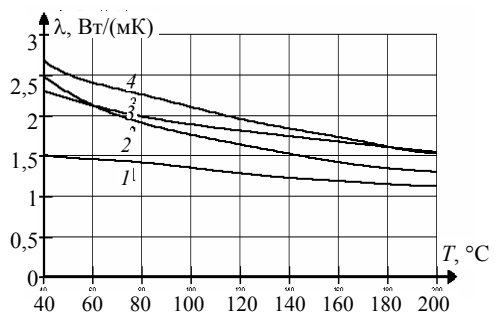


Рис. 5.4.5 Теплопроводность в зависимости от повышения температуры металлополимерных образцов, полученных

при различных давлениях горячего прессования

В качестве наполнителя применялся: алюминиевый порошок фракции 100 ... 200 мкм, состав (наполнитель/связующее/отвердитель) 100/60/6, вращательный способ смешения, давление прессования: 1 – 12 МПа; 2 – 9 МПа; 3 – 6 МПа; 4 – 3 МПа.

При повышении давления прослойка между полимером и металлом становится более плотной и поэтому теплопроводность падает (рис. 5.4.5).

Как видно из графика (рис. 5.4.6) применение более мелкой фракции порошка позволяет получить

металлополимерные материалы с более высокими теплопроводными свойствами.

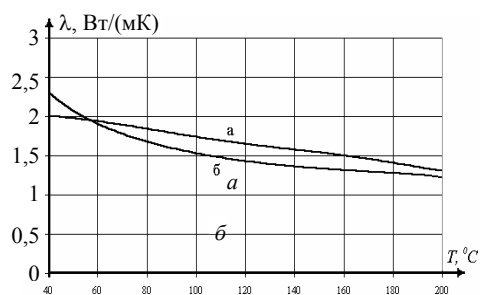


Рис. 5.4.6 Теплопроводность в зависимости от роста температуры у образцов с различным размером

фракции наполнителя

T , °C

200

Наполнитель – алюминиевый порошок (фракционный состав: $a - 100 \dots 200$ мкм; $b - 200 \dots 400$ мкм), пропорции (наполнитель/связующее/отвердитель) 100/50/5, давление прессования 6 МПа, вращательный способ смешения.

Глава 6 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ И МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Материалы на основе металлополимерных композиций широко применяются в качестве конструкционных и в строительстве. Например, известен способ создания композиционных материалов "полимер-металл", в которых полимерной основой являются капрон, полиамид и фторопласт [104]. Недостатком этого способа является то, что полученные материалы на базе указанных полимеров не могут использоваться в деталях, работающих под большими нагрузками, при высоких температурах и в некоторых агрессивных средах.

Известен и другой способ получения композиционных материалов, в качестве связующего элемента в которых используется эпоксидная смола [100]. В этом случае эпоксидная смола при смешении ее с металлическими порошками обволакивает гранулы металла, связь которых образуется за счет адгезии, что не обеспечивает достаточной прочности получаемых материалов.

В производстве материалов из металлополимерных композиций ставится, как правило, задача получения материалов с заданными свойствами и с наименьшими затратами. Одним из направлений в этом случае может быть то, что наполнители получают из отходов производства металлообработки. К основным видам вторичного сырья относятся технологические отходы производства, образующиеся в процессе переработки исходного сырья и материалов, а также различные изделия технического назначения, бывшие в употреблении. Особое место на машиностроительных предприятиях в общей массе отходов производства составляют стружечные отходы различных металлов. Разнообразие видов вторичного металлического сырья обусловлено спецификой производства металлоизделий, разнообразной номенклатурой и большими объемами производства изделий из них. При этом большую часть исходных металлических заготовок в настоящее время на машиностроительных предприятиях обрабатывают методами резания, поэтому основная часть отходов металлообрабатывающего производства получается в виде стружки.

Многообразие металлических отходов требует использования как широко применяемых, так и создания специальных методов их утилизации и переработки в изделия, но в то же время открывает возможности для их выбора и рационального использования. Практика показывает, что более эффективным направлением рационального использования природных и созданных производством материалов является разработка и внедрение безотходных технологий. Проблемы экологии на промышленных предприятиях по переработке различных материалов в изделия заключаются в неотработанных технологиях, для совершенствования которых недостаточно иметь только технические решения, нужны наборы технологий и комплексы оборудования, обеспечивающие применение безотходных технологий.

Именно путем разработки и реализации безотходных, ресурсосберегающих технологий и комплекса специального оборудования решаются многие экологические вопросы, связанные с переработкой тех-

нологических отходов на ряде промышленных предприятий, например, ОАО "АРТИ", г. Тамбов (вторичная переработка резиновых и асбестовых отходов), ОАО "Пластмасс", г. Котовск (изготовление тары для горючесмазочных материалов из пластмассовых отходов), ОАО "Тамбовполимермаш" (организация литейного производства с использованием при этом стружковых отходов в качестве исходного материала).

Производство с применением безотходных технологий осуществляется в основном по следующим направлениям:

1 Полное использование исходного сырья и материалов, например, в производстве деталей из металлов с помощью порошковой металлургии. Однако данная технология требует значительных энергетических и трудовых затрат при подготовке исходного сырья – порошков и экономически оправдана в производстве деталей сложной конфигурации. В этом случае дополнительные затраты на подготовку сырья в виде порошков компенсируются за счет снижения трудоемкости в технологии изготовления детали путем замены многих операций механической обработки на спекании порошков в пресс-форме, позволяющей не только сформировать сложную конфигурацию детали, но и обеспечить соответствующую чистоту обработки рабочих поверхностей детали.

2 Использование отходов производства в качестве вторичного сырья путем их возврата в основное производство в виде добавок к исходному продукту. Однако на многих производствах объем добавок отходов производства к исходному сырью ограничен снижением при этом качества конечной продукции.

3 Измельчение стружечных отходов и использование порошков в качестве наполнителей в производстве композиционных материалов или в порошковой металлургии с последующим изготовлением различных деталей производственного или бытового и хозяйственного назначения.

Процесс вторичной переработки отходов машиностроительных и металлообрабатывающих производств включает выбор самих технологий и подбор технологического оборудования. Помимо указанного, одним из главных моментов, определяющих экономичность и целесообразность утилизации металлических отходов, является изыскание областей применения получаемых на их основе материалов. Тот факт, что перечень изделий и материалов, которые можно изготовить из отходов с использованием новейших технологий, непрерывно возрастает и расширяется, свидетельствует о перспективности направления переработки металлических отходов.

Известен способ переработки металлических стружечных отходов с добавлением их в состав шихты с последующим плавлением. При этом значительная часть металла (до 30 %) теряется из-за выгорания легирующих добавок, что является большим недостатком этого метода переработки [5]. Измельченные металлические отходы в виде порошка могут использоваться в качестве наполнителей при производстве металлополимерных композиций с использованием последних в дальнейшем производстве различных деталей машин.

Наиболее трудоемкой операцией в порошковой металлургии является получение порошков. Анализ методов получения порошков показывает наряду с преимуществами и их недостатки. Наиболее распространенными способами получения порошка являются следующие методы:

- механическое воздействие (ударное или истирающее) в инертной среде или среде жидкого азота;
- химическая и химико-термическая обработка;
- применение поверхностно-активных веществ (эффект Ребиндера);
- охлаждение стружки до температуры ниже точки перехода порога хрупкости металла и др.

Изучение и анализ используемых и предлагаемых различными авторами методов переработки металлических стружечных отходов машиностроительного производства и проведенные исследования позволили нам разработать технологию комплексной переработки металлических стружечных отходов, включающую в себя: предварительное измельчение металлической стружки в грубодисперсный порошок, окончательное измельчение металлических стружечных отходов в среде олигомера с получением металлополимерной композиции, используемой в качестве материала для последующего производства из него методом горячего формования изделий сложной конфигурации с последующей выдержкой последних в термошкафу для более быстрого отверждения до необходимых параметров.

Исходя из экспериментальных исследований нами отработаны параметры технологии приготовления композиций и материалов на их основе. Технология получения композиционных материалов предложенным способом включает в себя три основные стадии (рис. 6.1):

- подготовка сырья;
- приготовление композиции;
 - получение металлополимерных материалов и изделий на их основе.

Представленная технология состоит из следующих операций:

- 1 Подготовка сырья (отделение посторонних тел, промывка, отжиг стружки и ее обезжиривание).
- 2 Измельчение металлических стружечных отходов в вибровращательной мельнице непрерывного действия.
- 3 Просеивание полученного порошка с целью разделения по фракциям (крупные фракции отправляются на доизмельчение).
- 4 Дозирование в определенных пропорциях наполнителя (металлический порошок), связующего (эпоксидной смолы) и отвердителя марки ПЭПА.

5 Диспергирование данной композиции в вибровращательной мельнице периодического действия с целью получения механо-химических связей в структуре композита.

6 Выгрузка полученной композиции (не использованный отвердевший материал отправляют на измельчение и потом добавляют в композицию).

7 Прессование полученной композиции в предварительно подогретой пресс-форме с выдержкой под давлением.

8 Извлечение изделия из пресс-формы.

9 Складирование полученных изделий и выдержка их до полного отверждения (когда их прочностные свойства станут максимальными) [104].

Разработанная технология получения металлополимерных изделий исключает следующие недостатки известных ранее технологий:

– не требует больших энергетических затрат (как в металлургическом производстве, так и при получении изделий методами порошковой металлургии);

– измельчение и процесс диспергирования проводится в специальной мельнице вибровращательного действия (простой в техническом исполнении и позволяющей быстро получать необходимое количество требуемой фракции порошка и композиции);

– практически полностью исключается потеря сырья;

– процесс прессования металлополимерных композиций проводится на стандартном прессовом оборудовании, выбираемом в зависимости от размеров изделия;

– сокращается технологическое время на производство единицы изделия;

– технология является безотходной, так как изделия на основе металлополимерных материалов после того, как отслужат свой срок и придут в негодность, могут перерабатываться вторично по предложенной технологии.

Таким образом, предложенные в работе технологический процесс и оборудование позволяют комплексно решать вопросы получения металлополимерных композиций и изделий на их основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Плановский А. Н., Николаев П. И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1987. – 496 с.

2 Сиденко П. М. Измельчение в химической промышленности. – 2-е изд., перераб. – М.: Химия, 1977. – 368 с.

3 Ворожцов Н. Н. Основы синтеза промежуточных продуктов и красителей. – М.: Госхимиздат, 1955. – 328 с.

4 Ревнивцев В. И., Денисов Г. А., Зарогатский Л. П., Туркин В. Я. Вибрационная дезинтеграция твердых материалов. – М.: Недра, 1992. – 430 с.

5 Гороховский Г. А., Чернышев В. Г., Рева В. П., Коваленко Л. В. Получение металлических порошков методом измельчения стружкоотходов // Порошковая металлургия. – 1988. – № 12. – С. 1 – 8.

6 Кипарисов С. С., Падалко О. В. Проблемы получения порошков и изделий из них с использованием в качестве сырья стружковых отходов // Порошковая металлургия. – 1979. – № 9. – С. 56 – 64.

7 Ходаков Г. С. Физика измельчения. – М.: Наука, 1972. – 307 с.

8 Кипарисов С. С., Падалко О. В. Оборудование предприятий порошковой металлургии. – М.: Металлургия, 1988. – 448 с.

9 Гусев Ю. И., Карасев И. Н., Кольман-Иванов Э. Э. и др. Конструирование и расчет машин химических производств. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.

10 Чайников Н. А., Мозжухин А. Б., Пискурев И. А. Переработка чугунной стружки в порошок материал // Кр. тезисы докл. I науч. конф. ТГТУ. – Тамбов: ТГТУ, 1994. – С. 153.

11 А. с. 585875 СССР, МКИ В 02 С 19/00, В 02 С 2/04. Устройство для измельчения материала / В. В. Морозов, В. А. Серегин, Ю. Ф. Якименко. – № 2184314/29-33. – Заявл. 29.10.75. – Опубл. 30.12.77. – Бюл. № 48.

- 12 А. с. 592446 СССР, МКИ В 02 С 19/00, В 02 С 2/04. Устройство для измельчения материала / В. А. Бродский, В. В. Морозов. – № 2303818/29-33. – Заявл. 29.12.75. – Оpubл. 15.02.78. – Бюл. № 6.
- 13 А. с. 1764690 СССР, МКИ А1 В 02 С 2/02. Конусная инерционная дробилка / Л. П. Зарогатский, К. Е. Белоцерковский, С. Л. Потехин и др. – № 4874171/33. – Заявл. 15.10.90. – Оpubл. 30.09.92. – Бюл. № 36.
- 14 А. с. 592449 СССР, МКИ В 02 С 19/16. Роликовая вибрационная мельница / В. Д. Коляда, Л. П. Зарогатский, А. Д. Рудин. – № 2352979/23-33. – Заявл. 28.04.76. – Оpubл. 15.02.78. – Бюл. № 6.
- 15 А. с. 1024104 СССР, МКИ В 02 С 17/16. Устройство для измельчения порошков / В. Я. Фурс, А. А. Колесников, М. Я. Литвиненко и др. – № 3386017/29-33. – Заявл. 15.01.82. – Оpubл. 23.06.83. – Бюл. № 23.
- 16 А. с. 1266657 СССР, МКИ А1 В 22 F 9/04. Агратор / А. И. Дудяк, В. Г. Тюш-няков, В. И. Новиков и др. – № 3869441/22-02. – Заявл. 06.03.85. – Оpubл. 30.10.86. – Бюл. № 40.
- 17 Пат. 1782195 СССР, МКИ А3, В 22 F 9/04, В 02 С 19/16. Устройство для измельчения материалов / Л. П. Зарогатский, Д. М. Кривелев. – № 4891168/02. – Заявл. 11.12.90. – Оpubл. 15.12.92. – Бюл. № 46.
- 18 А. с. 592450 СССР, МКИ В 02 С 19/16. Вибророликовая мельница / В. Д. Коляда, В. Г. Кравченко, Г. Г. Самойленко и др. – № 2364030/29-33. – Заявл. 25.05.76. – Оpubл. 15.02.78. – Бюл. № 6.
- 19 А. с. 613811 СССР, МКИ В 02 С 19/00. Устройство для измельчения материала / Р. А. Восканян. – № 2425371/29-33. – Заявл. 02.12.76. – Оpubл. 05.07.78. – Бюл. № 25.
- 20 А. с. 587995 СССР, МКИ В 02 С 19/16. Мельница тонкого помола / Р. А. Восканян. – № 2117820/29-33. – Заявл. 28.02.75. – Оpubл. 15.01.78. – Бюл. № 2.
- 21 А. с. 691192 СССР, МКИ В 02 С 19/16. Вибрационная мельница / В. Г. Горбачев, Е. А. Кремлевский. – № 2405445/29-33. – Заявл. 24.09.76. – Оpubл. 15.10.79. – Бюл. № 38.
- 22 А. с. 1400785 СССР, МКИ А1, В 22 F 9/04. Способ получения металлического порошка / А. П. Зарогатский, А. А. Арделян, Г. А. Денисов и др. – № 4151142/23-02. – Заявл. 17.11.86. – Оpubл. 07.06.88. – Бюл. № 21.
- 23 А. с. 1250324 СССР, МКИ А1, В 02 С 18/06. Устройство для измельчения металлической стружки / А. П. Полинков, В. В. Шикунов, О. В. Рожкова и др. – № 3799735/29-33. – Заявл. 09.10.84. – Оpubл. 15.08.86. – Бюл. № 30.
- 24 А. с. 1196029 СССР, МКИ А, В 02 С 18/06. Дробилка для металлической стружки / А. М. Тихонцов, В. И. Зацаренко, А. С. Левчук. – № 3726891/29-33. – Заявл. 19.01.84. – Оpubл. 07.12.85. – Бюл. № 45.
- 25 А. с. 1581380 СССР, МКИ А2, В 02 С 18/06. Дробилка для металлической стружки / А. М. Тихонцов, В. И. Зацаренко, А. С. Левчук. – № 4499988/31-33. – Заявл. 31.10.88. – Оpubл. 30.07.90. – Бюл. № 28.
- 26 А. с. 629969 СССР, МКИ В 02 С 15/08. Устройство для измельчения твердого материала / В. Г. Некрасов. – № 2429995/29-33. – Заявл. 16.12.76. – Оpubл. 30.10.78. – Бюл. № 40.
- 27 А. с. 1741896 СССР, МКИ А1, В 02 С 19/00, 15/16. Роликокольцевая мельница / А. В. Семеновых, А. Ф. Сказыткин, Ю. А. Гвоздев. – № 4842078/33. – Заявл. 25.06.90. – Оpubл. 23.06.92. – Бюл. № 23.
- 28 А. с. 1011257 СССР, МКИ А, В 02 С 19/00. Способ получения порошка / В. В. Ландышев, Г. Н. Кузнецов, А. А. Вакалов. – № 3320138/29-33. – Заявл. 06.05.81. – Оpubл. 15.04.83. – Бюл. № 14.
- 29 А. с. 1636053 СССР, МКИ А1, В 02 С 19/16. Измельчитель / А. П. Волков, В. П. Жуков, Е. И. Михайлов. – № 4389068/33. – Заявл. 24.12.87. – Оpubл. 23.03.91. – Бюл. № 11.

- 30 А. с. 884723 СССР, МКИ В 02 С 17/04. Барабанная мельница / Ю. П. Григорьев, С. М. Шибяев. – № 2896046/29-33. – Заявл. 18.01.80. – Оpubл. 30.11.81. – Бюл. № 44.
- 31 А. с. 1676653 СССР, МКИ А1, В 02 С 13/02. Устройство для измельчения металлической стружки / В. Я. Моторыгин, Ю. А. Миляков. – № 4731433/33. – Заявл. 28.08.89. – Оpubл. 15.09.91. – Бюл. 34.
- 32 А. с. 1688914 СССР, МКИ А1, В 02 С 18/06. Устройство для измельчения материалов / Л. Н. Шухнин, В. А. Галич, В. Н. Алтухов и др. – № 4470220/33. – Заявл. 23.06.88. – Оpubл. 07.11.91. – Бюл. № 41.
- 33 А. с. 1551416 СССР, МКИ А1, В 02 С 7/06, В 02 С 7/08. Мельница / В. И. Косяк, А. С. Ленович, Т. Б. Ведмедева и др. – № 4428619/31-33. – Заявл. 23.05.88. – Оpubл. 23.03.90. – Бюл. № 11.
- 34 А. с. 1583168 СССР, МКИ А1, В 02 С 18/06. Устройство для дробления материалов / С. И. Чухно, А. М. Тихонцов, В. И. Зацаренко и др. – № 4367728/31-33. – Заявл. 20.01.88. – Оpubл. 07.08.90. – Бюл. № 29.
- 35 А. с. 1757741 СССР, МКИ А1, В 02 С 18/06. Дробилка / Г. С. Кузинец, А. А. Авдиенко, П. П. Горн и др. – № 4747641/33. – Заявл. 11.10.89. – Оpubл. 30.08.92. – Бюл. № 32.
- 36 Пат. 1774885 СССР, МКИ А3, В 02 С 18/06. Устройство для измельчения стружки / Б. И. Пашко. – № 4914322/33. – Заявл. 25.02.91. – Оpubл. 07.11.92. – Бюл. № 41.
- 37 А. с. 1641421 СССР, МКИ А1, В 02 С 13/02. Дробилка / Ю. Н. Кулаков, П. К. Величко. – № 4684349/33. – Заявл. 27.04.89. – Оpubл. 15.04.91. – Бюл. № 14.
- 38 А. с. 1645003 СССР, МКИ А1, В 02 С 18/02. Устройство для измельчения металлоотходов / В. Л. Завацкий, О. С. Барбуль, А. В. Чернышев и др. – № 4681855/33. – Заявл. 18.04.89. – Оpubл. 30.04.91. – Бюл. № 16.
- 39 Пат. 1793965 СССР, МКИ А3, В 02 С 18/02. Устройство для измельчения металлоотходов / В. Л. Завацкий, О. С. Барбуль, С. И. Стомба. – № 4933757/33. – Заявл. 29.04.91. – Оpubл. 07.02.93. – Бюл. № 5.
- 40 А. с. 1645006 СССР, МКИ А1, В 02 С 19/12. Стружкодробилка / Б. И. Демедюк, В. И. Кузнецов, В. Ф. Головешко и др. – № 4684005/33. – Заявл. 25.04.89. – Оpubл. 30.04.91. – Бюл. № 16.
- 41 А. с. 1722575 СССР, МКИ А2, В 02 С 18/06. Дробилка для измельчения материалов / Н. Н. Кузнецов. – № 4672139/33. – Заявл. 31.01.89. – Оpubл. 30.03.92. – Бюл. № 12.
- 42 Пат. 1788914 СССР, МКИ А3, В 02 С 13/04. Устройство для дробления металлической стружки / Б. И. Демедюк, Ю. И. Самойленко, В. И. Кузнецов и др. – № 4816367/33. – Заявл. 20.02.90. – Оpubл. 15.01.93. – Бюл. № 2.
- 43 Чайников Н. А., Мозжухин А. Б. Вращательно-вибрационный метод измельчения металлической стружки // Проблемы химии и химической технологии. Тезисы докл. 2-й региональной науч. конф., 4 – 6 окт. 1994 г. – Тамбов: ТГТУ. – 1994. – С. 85 – 86.
- 44 Чайников Н. А., Мозжухин А. Б. Переработка стружковых отходов металлообработки в порошковые материалы // Вестник ТГТУ. – 1995. – Т. 1. – № 3 – 4. – С. 384 – 387.
- 45 Пат. 2090313 РФ, МКИ С1, В 22 F 9/04. Способ получения порошка из металлической стружки / А. С. Клинков, Н. А. Чайников, А. Б. Мозжухин, С. П. Хрущев. – № 94041266/02. – Заявл. 11.11.94. – Оpubл. 20.09.97. – Бюл. № 26.
- 46 ГОСТ 18318-73. Порошки металлические. Метод ситового анализа.
- 47 Манукян Н. В., Касьян М. В. Эффективные методы получения железных порошков // Труды VII Всесоюзной науч.-техн. конф. по порошковой металлургии. – Ереван, 1964. – С. 142 – 159.
- 48 Металлы: Справочник металлиста. В 5 т. / Под ред. А. Б. Богуславского. – Т. 2. – М.: Машиностроение, 1978. – 598 с.
- 49 Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. / Под ред. В. И. Анурьева. – Т. 1. – М.: Машиностроение, 1975. – 679 с.
- 50 ГОСТ 1583-89. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия.

- 51 Егоров Г. Г. Теория дробления и тонкого измельчения. – М.: Горно-топливная и геологоразведочная литература, 1938. – 156 с.
- 52 Ходаков Г. С. Тонкое измельчение строительных материалов. – М.: Литература по строительству, 1972. – 240 с.
- 53 Джильберт Л. А., Хьюг Т. Х. Исследование тонкого помола в присутствии добавок // Труды европейского совещания по измельчению / Пер. с нем. – М.: Литература по строительству, 1966. – С. 169 – 194.
- 54 Гороховский Г. А., Граевская Л. М. К вопросу о циклической прочности металлопластов // Докл. АН УССР. Сер. Б. – 1980. – № 3. – С. 34 – 36.
- 55 Натансон Э. М., Брык М. Т. Металлополимеры // АН СССР. Успехи химии. – М.: Наука, 1972. – Т. XLI. – Вып. 8. – С. 1465 – 1493.
- 56 Петерс К. Механохимические реакции // Труды европейского совещания по измельчению / Пер. с нем. – М.: Литература по строительству, 1966. – С. 80 – 103.
- 57 Гришко О. А. Физико-химические свойства порошка из стали 30ХГСА, полученного методом вибропомола // Опыт и проблемы внедрения порошковой металлургии: Тезисы докл. науч.-техн. конф., г. Владивосток, 14 – 16 окт. 1984 г. – Владивосток: ДПИ, 1984. – С. 12.
- 58 Чернышев В. Г., Цыбульская О. И., Овчаренко Д. Н. Виброобработка медного порошка в присутствии полиметилметакрилата и его технологические свойства // Опыт и проблемы внедрения порошковой металлургии. Тезисы докл. науч.-техн. конф., г. Владивосток, 14 – 16 окт. 1984 г. – Владивосток: ДПИ, 1984. – С. 11.
- 59 Глинка Н. Л. Общая химия. – 25-е изд., испр. / Под ред. А. Б. Рабиновича. – Л.: Химия, 1986. – 704 с.
- 60 ГОСТ 20799-88. Масла индустриальные. Технические условия.
- 61 ГОСТ 18188-72. Растворители марок 645, 646, 647, 648 для лакокрасочных материалов. Технические условия.
- 62 ГОСТ 8505-80. Нефрас-С 50/170. Технические условия.
- 63 ГОСТ 8981-78. Эфиры этиловый и нормальный бутиловый уксусной кислоты. Технические условия.
- 64 ГОСТ 2768-84. Ацетон технический. Технические условия.
- 65 Салтыков С. А. Метод измерения удельной поверхности порошков // Труды VII Всесоюзной науч.-техн. конф. по порошковой металлургии. – Ереван, 1964. – С. 34 – 41.
- 66 Мозжухин А. Б. Разработка и исследование вибровращательного способа измельчения металлических стружковых отходов в порошковые материалы: – Дис. ... канд. техн. наук. – Тамбов: ТГТУ, 1997. – 231 с.
- 67 Пат. 2147931 РФ, МКИ С1, 7В 02 С 17/06, 17/14. Вибровращательная шаровая мельница / Н. А. Чайников, А. Б. Мозжухин, В. В. Жариков. – № 98108314/03. – Заявл. 28.04.1998. – Оpubл. 27.04.2000. – Бюл. № 12.
- 68 Андриевский Р. А. Порошковое материаловедение. – М.: Металлургия, 1991. – 205 с.
- 69 ГОСТ 19440-74. Порошки металлические. Определение насыпной плотности.
- 70 ГОСТ 20899-75. Порошки металлические. Метод определения текучести.
- 71 ГОСТ 25280-90. Порошки металлические. Метод определения уплотняемости.
- 72 Акименко В. Б., Буланов В. Я., Рукин В. В. и др. Железные порошки. Технология, состав, структура, свойства, экономика. – М.: Наука, 1982. – 264 с.
- 73 Дальский А. М., Арутюнова И. А. и др. Технология конструкционных материалов. – 2-е изд., перераб. и доп. / Под общей ред. А. М. Дальского. – М.: Машиностроение, 1985. – 448 с.
- 74 Структура-состав-свойства железных порошков и порошковых тел / Под ред. В. Я. Буланова и Л. И. Кватера // Сборник препринтов. – Свердловск: Институт металлургии, 1983. – 68 с.
- 75 Липатов Ю. С. Физическая химия наполненных полимеров. – М.: Химия, 1977. – 304 с.
- 76 Натансон Э. М., Черногоренко В. Б., Анистратенко Г. А. Свойства металлополимеров на основе эпоксидной смолы // Укр. хим. журнал. – Киев: Наукова думка, 1965. – № 31. – Вып. 6. – С. 592 – 596.

- 77 Натансон Э. М., Ульберг З. Р. Коллоидные металлы и металлополимеры. – Киев: Наукова думка, 1971. – 348 с.
- 78 Натансон Э. М., Черногоренко В. Б., Полетова В. Н. Взаимодействие макромолекул натурального каучука и полиизобутилена с высокодисперсными частицами железа в момент их выделения на катоде // Коллоидный журнал. – Киев: Наукова думка, 1965. – № 1. – С. 70 – 76.
- 79 Натансон Э. М., Черногоренко В. Б., Химченко Ю. И. и др. О взаимодействии макромолекул натурального каучука и полиизобутилена с коллоидными частицами никеля и кобальта в момент их выделения на катоде // Коллоидный журнал. – Киев: Наукова думка, 1965. – № 3. – С. 412 – 416.
- 80 Таумбан А. Б., Толстая С. Н., Михайлова С. С. Активация пигментов поверхностно-активными веществами и структурообразование в растворах полимерных пленкообразователей // Коллоидный журнал. – Киев: Наукова думка, 1964. – № 3. – С. 356 – 361.
- 81 Толстая С. Н. Адсорбционное взаимодействие поверхностно-активных веществ и полимеров // Успехи коллоидной химии. – М.: Химия, 1973. – С. 348 – 353.
- 82 Френдиц А. С., Сокольникова И. Н., Михайлова С. С. Адсорбция эпоксидной смолы на модифицированной окиси алюминия. Макромолекулы на границе раздела фаз. – Киев: Химия, 1971. – С. 82 – 86.
- 83 Ульберг З. Р. Металлополимеры на основе свинца и кадмия: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. – Киев, 1965. – 16 с.
- 84 Натансон Э. М., Химченко Ю. И., Швец Т. М. и др. Условия образования металлополимеров на основе эпоксидной смолы, карбоксилатного каучука и коллоидного железа // Укр. хим. журнал. – Киев: Наукова думка, 1968. – № 8. – С. 832 – 836.
- 85 Химченко Ю. И., Серпученко Е. А., Натансон Э. М. О механизме взаимодействия полиуретанов с коллоидными частицами железа в момент их образования // Коллоидный журнал. – Киев: Наукова думка, 1969. – № 4. – С. 601 – 605.
- 86 Желибо Е. П., Амеличкина Т. Н. Влияние высших жирных кислот на электроосаждение высокодисперсного железа в присутствии эпоксидных олигомеров // Порошковая металлургия. – Киев: Наукова думка, 1981. – № 10. – С. 1 – 12.
- 87 Ильина З. Т., Брык М. Т. Диспергирование титана в присутствии полиалюмоэтилсилоксана и его смесей с эпоксидной смолой // Порошковая металлургия. – Киев: Наукова думка, 1982. – № 11. – С. 14 – 17.
- 88 Марк-Кельви Д. М. Переработка полимеров / Пер. с англ. Ю. В. Зеленева, Б. П. Пашинина, Э. И. Родина. – М.: Химия, 1965. – 444 с.
- 89 Ильина З. Т., Брык М. Т. и др. Механохимическое модифицирование дисперсного титана эпоксидной смолой. Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем // Порошковая металлургия. – Киев: Наукова думка, 1978. – № 9. – С. 49 – 54.
- 90 Смирнова А. М., Райкова Т. В., Бродова Э. М. и др. Влияние дисперсности наполнителя и продолжительности перетира на физико-механические свойства полимеров // Коллоидный журнал. – Киев: Наукова думка, 1962. – № 6. – С. 742 – 748.
- 91 Барамбойм П. К. Механохимия высокомолекулярных соединений. – М.: Химия, 1971. – 363 с.
- 92 Ильина З. Т., Брык М. Т., Кацюк О. А. и др. Механохимическое диспергирование титана в присутствии олигомеров, содержащих функциональные группы // Порошковая металлургия. – Киев: Наукова думка, 1978. – № 10. – С. 1 – 5.
- 93 Ильина З. Т., Брык М. Т. и др. Механохимическое модифицирование дисперсного титана смесями реакционноспособных олигомеров и наполненные системы на их основе // Укр. хим. журнал. – Киев: Наукова думка, – 1981. – № 2. – С. 170 – 173.
- 94 Брык М. Т., Ильина З. Т., Кириленко О. Д. и др. Термические свойства металлополимеров на основе совмещенной системы полиалюмосилоксан-эпоксидная смола // Укр. хим. журнал. – Киев: Наукова думка, 1974. – № 11. – С. 1180 – 1183.

- 95 Белый В. А. Создание и исследование материалов и конструкций на основе полимеров и металлов. – Рига: Наука и техника, 1970. – 745 с.
- 96 Белый В.А., Егоренков Н.И., Плескачевский Ю.М. Адгезия полимеров к металлам. – Минск: Наука и техника, 1971. – 436с.
- 97 Egorenkov N. I., Lin D. G., Belyi V. A. – J. Polymer Sci., Polymer Chem. Ed.,1975. – V. 13, № 7. P. 1493.
- 98 Бартенев Г. М., Лялина Н. М., Стороженко В. М. Коллоидный журнал. Киев: Наукова думка, 1978. – № 1. – С. 3 – 6.
- 99 Обрядчикова К. Н., Коврига В. В. Высокомолекулярные соединения. – Л.: Химия, 1973. – 988 с.
- 100 Ли Х., Неввилл К. Справочное руководство по эпоксидным смолам / Под. ред. Н. В. Александрова. – М.: Энергия, 1973. – 412 с.
- 101 Иванов А. А. Разработка и исследование износостойких композиций на основе металлизированных гранул пластмасс применительно к узлам трения машин: Автореф. ... канд. техн. наук. – Иваново, 1996.
- 102 Балашов С. В., Жуков Н. П., Ляшков В. И. Измерительно-вычислительная система для исследования температурных зависимостей теплофизических характеристик материалов // Труды ТГТУ: Сб. науч. статей молодых ученых. – Тамбов, 2000. – С. 99 – 102.
- 103 Жуков Н. П., Муромцев Ю. Л., Рогов И. В., Майникова Н. Ф. и др. Об одном методе измерения теплофизических свойств полимеров // Сб. науч. трудов.– Тамбов, 1998. – Ч. I. – С. 107 – 118.
- 104 Металлополимерные материалы и изделия / Под ред. В. А. Белого. Москва: Химия, 1979. – 310 с.

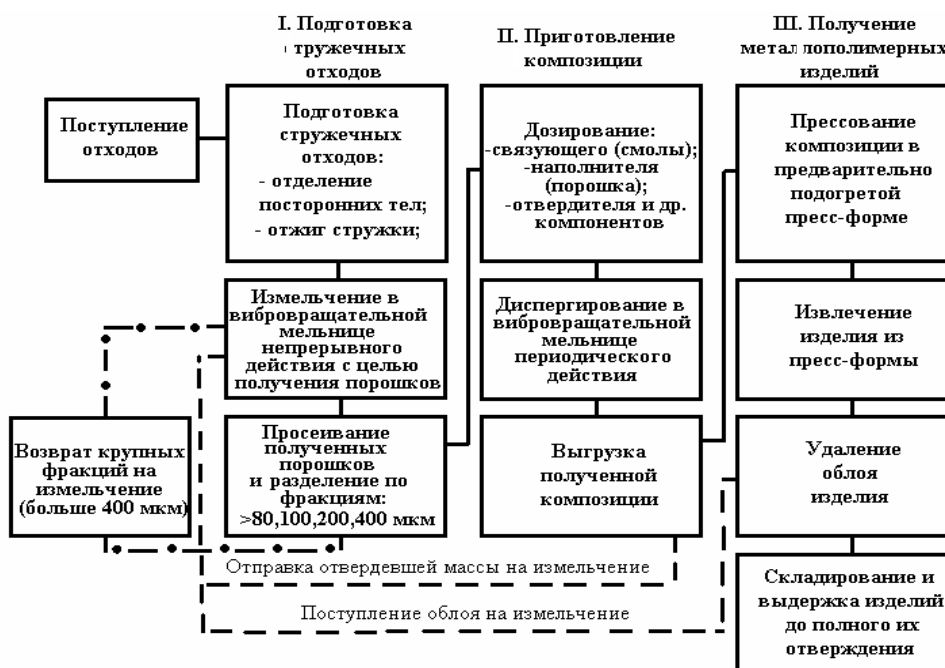


Рис. 6.1 Технологическая схема получения изделий на основе металлополимерных композиций:
 — основной технологический процесс; — возврат крупных фракций порошка на доизмельчение;
 — возврат облоя на переработку

