

Дисперсно-упрочненные композиционные материалы

Состав и назначение дисперсно-упрочненных композитов.

При дисперсном упрочнении частицы блокируют процессы скольжения в матрице. Эффективность упрочнения при условии минимального взаимодействия с матрицей зависит от вида частиц, их объемной концентрации, а также от равномерности распределения в матрице.

Применяют дисперсные частицы тугоплавких фаз типа Al_2O_3 , SiO_2 , BN, SiC, имеющие малую плотность и высокий модуль упругости. Композиты обычно получают методом порошковой металлургии, важным преимуществом которого является изотропность свойств в различных направлениях.

В промышленности обычно применяют дисперсно-упрочненные композиты на алюминиевой и реже — никелевой основах. Характерными представителями этого вида композитов являются материалы типа САП (спеченная алюминиевая пудра), которые состоят из алюминиевой матрицы, упрочненной дисперсными частицами оксида алюминия. Алюминиевый порошок получают распылением расплавленного металла с последующим измельчением в шаровых мельницах до размера около 1 мкм в присутствии кислорода. С увеличением длительности помола пудра становится мельче, в ней повышается содержание оксида алюминия.

Дальнейшая технология производства изделий и полуфабрикатов из САП включает в себя холодное прессование, предварительное спекание, горячее прессование, прокатку или выдавливание спеченной алюминиевой заготовки в форме готовых изделий, которые можно подвергать дополнительной термической обработке.

Сплавы типа САП удовлетворительно деформируются в горячем состоянии, а сплавы с содержанием Al_2O_3 6...9% — и при комнатной температуре. Из них холодным волочением можно получить фольгу толщиной до 0,03 мм. Эти материалы хорошо обрабатываются резанием и обладают высокой коррозионной стойкостью.

Марки САП, применяемые в России, содержат 6...23% Al_2O_3 . Различают САП-1 с содержанием 6...9%, САП-2 с 9... 13 %, САП-3 с 13... 18% Al_2O_3 . С увеличением объемной концентрации оксида алюминия возрастает прочность композитов. При комнатной температуре характеристики прочности САП-1 следующие: $\sigma_b = 280$ МПа, $\sigma_{0.2} = 220$ МПа; САП-3: $\sigma_b = 420$ МПа, $\sigma_{0.2} = 340$ МПа.

Материалы типа САП обладают высокой жаропрочностью и превосходят все деформируемые алюминиевые сплавы. Даже при температуре 500 °С они имеют σ_b не менее 60 МПа. Жаропрочность объясняется тормозящим действием дисперсных частиц на процесс рекристаллизации.

Характеристики прочности сплавов типа САП весьма стабильны. Испытания длительной прочности сплавов типа САП-3 в течение 2 лет практически не повлияли на уровень проявления их свойств, как при комнатной температуре,

так и при нагреве до 500 °С. При 400 °С прочность САП в 5 раз выше прочности стареющих алюминиевых сплавов.

Сплавы типа САП применяют в авиационной технике для изготовления деталей с высокой удельной прочностью и коррозионной стойкостью, работающих при температурах до 500 °С. Из них изготавливают штоки поршней, лопатки компрессоров, оболочки тепловыделяющих элементов и трубы теплообменников.

Синтегран. Слово «синтегран» означает синтетический гранит. Синтегран используют для изготовления инструмента, специальной оснастки, ответственных деталей измерительных комплексов, высокоточных и специальных станков (точность обработки которых составляет 0,001 мкм), шпал для метрополитена, изделий бытового и мемориального назначения, а также многих других деталей.

Работы по созданию синтеграна в нашей стране были начаты в 1983 г. в Экспериментальном НИИ металлорежущих станков при непосредственном участии специалистов Российского университета дружбы народов.

Поскольку состояние современного литейного производства не позволяет поставлять чугунные отливки конструктивных элементов металлорежущих станков требуемого качества, станкостроительные заводы вынуждены использовать при изготовлении станин станков альтернативные материалы. В частности, даже для изготовления станин универсальных станков стали использовать модифицированные бетоны.

Для изготовления элементов станков, обладающих особо высокой точностью и работающих в области высокочастотных колебаний (расточные, шлифовальные станки, станки для физикохимических методов обработки и др.), целесообразно использовать синтегран, который на данном этапе развития станкостроения является безальтернативным материалом.

Синтегран состоит из полимерного связующего и высокопрочных минеральных наполнителей и заполнителей.

Полимерное связующее состоит из смолы и отвердителя. От вида связующего, его содержания зависят свойства и физико-механические характеристики композита.

Наполнители — это мелкодисперсные порошки с размером частиц менее 100 мкм и имеющие удельную поверхность порядка 1 000 см²/г. Количество наполнителя в синтегране определяют опытным путем.

При изготовлении синтеграна в качестве наполнителя используют кислотоустойчивый порошок марки ПК-1, который представляет собой помол переплава габбро-диабазы и пироксенового порфита с удельной поверхностью 2 300...2500 см²/г.

Заполнители — это различные фракции минерального вещества (щебня) с размерами зерен 6,3...20 мм. От вида, количества и размера фракций

заполнителя зависят прочностные свойства материала. При изготовлении синтеграна используют щебень габбро-диабазы.

Поводом для разработки синтеграна послужило то, что многие конструкции высокоточных станков, оснастки и инструмента, выполненные из металла, не соответствуют предъявляемым требованиям, а изготовление их из натурального камня, например гранита, весьма трудоемко и экономически невыгодно. Существуют конструкции, которые из натурального минерала выполнить технически невозможно.

Использование же синтеграна снимает перечисленные проблемы.

По сравнению с чугуном, который традиционно применяется при изготовлении несущих элементов станков, синтегран имеет ряд преимуществ:

- более высокие демпфирующие способности;
- высокая тепловая стабильность и нечувствительность к кратковременному перепаду температур;
- высокая временная стабильность геометрических размеров из-за малых внутренних напряжений;
- высокая стойкость к действию агрессивных сред;
- малая усадка, позволяющая изготавливать детали без последующей механической обработки;
- высокий коэффициент использования материала (практически равный 1);
- простота и малые габаритные размеры используемого оборудования, высокая производительность при малых энергозатратах;
- возможность полной автоматизации технологического процесса изготовления.

Замена изделий из чугуна на изделия из синтеграна позволяет значительно повысить точность изготавливаемых станков, измерительных комплексов и отдельных узлов и деталей, а также снизить трудовые и материальные затраты (табл. 2.5).

При производстве высокоточного оборудования в таких странах, как Германия, США, Франция, Швейцария, Великобритания, Япония целенаправленно используют материалы, аналогичные синтеграну и серийно выпускают станки, измерительные комплексы, приспособления и оснастку с элементами, выполненными из композитов.

В зависимости от назначения различают три основных типа синтеграна:

- для изготовления корпусных деталей станков — синтегранны, которые обладают высокой жесткостью, прочностью, стабильностью размеров и физико-механических характеристик во времени. К этому типу материалов не предъявляют дополнительные требования по высокой износостойкости, низкому коэффициенту трения и т. п., поскольку эти детали не подвергаются механической обработке, а их рабочие поверхности выполняют из других материалов;

- изготовления корпусов инструмента и специальной оснастки, а также деталей измерительных машин и приборов — синте
- Области применения синтегрانا в станкостроении и инструментальной промышленности**

Область применения	Изделия	Станки	Достигаемый эффект
Детали функционального назначения	Державки и корпуса режущего инструмента (резцов, фрез, ше- веров и др.), центры, патроны, шпиндели и др.	Токарные, фрезерные, шлифовальные, расточные и др.	Улучшение демпфирующих характеристик, снижение шума, повышение точности, экономия материальных и трудовых затрат
Корпусные детали	Коробки скоростей и подач, каретки, корпуса редукторов, суппорты, столы и т.д.	То же	То же
Элементы измерительных машин	Контрольные плиты, направляющие, стойки, траверсы и т.д.	Измерительные машины, инструменты и системы	Повышение точности, упрощение конструкции, снижение материалоемкости
Элементы станков, к которым предъявляются специальные требования	Станины, корпуса, стойки, основания и др.	Для физико-химической обработки	Увеличение срока службы, экономия дорогостоящих специальных сталей, возможность создания новых конструкций
Комбинированные детали	Станины, заполненные синте- граном, столы, основания, стойки, траверсы	Общего назначения	Повышение жесткости и улучшение динамических характеристик

Основания	Станины, стойки траверс, порталы, тумбы и др.	Любые станки и механизмы	Улучшение демпфирования, снижение шума, повышение точности, экономия металла
-----------	---	--------------------------	--

CD

СО грани, обладающие перечисленными свойствами, а также обладающие высокими износостойкостью и термостабильностью и возможностью механической обработки;

- изготовления деталей оснастки и станков для физико-химических методов обработки — синтеграны, обладающие повышенной стойкостью к агрессивным средам, а также имеющие специальные свойства, например диэлектрические.

Кроме того, изготавливаемые детали отличаются друг от друга по размеру, массе, толщине стенок, что также влияет на состав синтегранов.

Поскольку компонентами синтегранов являются наполнители, заполнители и полимерное связующее, то от их свойств и соотношения решающим образом зависят и свойства готового материала.

Заполнители выполняют роль своеобразного скелета синтегра- на и определяют свойства материала в целом. В качестве заполнителей рекомендуют применять твердокаменные породы — базальты, граниты, габбро-диабазы в виде щебня с размерами зерен от 60 мкм до 20 мм.

В зависимости от коэффициента технологичности K_m синтеграны можно разбить на 5 групп: сверхжесткие, $K_m = 1,1 \dots 1,2$; жесткие, $K_m = 1,25 \dots 1,45$; нормальные, $K_m = 1,5 \dots 1,7$; пластичные, $K_m = 1,75 \dots 1,9$; сверхпластичные, $K_m = 2,0 \dots 2,1$.

Сверхжесткие и жесткие смеси в своем составе имеют очень малое количество связующего и их формование затруднено из-за необходимости создания избыточного давления. Такие смеси не используют для изготовления ответственных деталей.

Сверхпластичные смеси, наоборот, имеют большое количество связующего, вследствие чего они не обладают оптимальными физико-механическими характеристиками и используются, в основном, при изготовлении второстепенных изделий.

Для изготовления ответственных деталей оснастки и инструмента используют нормальные и пластичные смеси с содержанием связующего 6... 10 и 7,5... 13 % соответственно.

Количество связующего оказывает большое влияние на свойства композиционного материала: чем его больше, тем более упрощается технологический процесс и повышаются демпфирующие способности, но

снижается модуль упругости, повышается усадка, ведущая к внутренним напряжениям, снижается стабильность размеров во времени.

При увеличении размеров максимальной фракции заполнителя повышаются прочностные характеристики, но повышается трудоемкость изготовления и снижается технологичность.

Разработанные применительно для станкостроения составы синтегранов обладают достаточно высокими физико-механическими характеристиками и не уступают материалам, предназначенным для аналогичных целей, например гидробетонам. КомпоФизико-механические характеристики чугуна, натурального гранита и синтегран

Параметр	Чугун	Гранит натуральный	Синтегран
Плотность, г/см ³	7,0...7,5	2,6... 3,0	2,4...2,7
Предел прочности, МПа: при сжатии при растяжении при изгибе	<ul style="list-style-type: none"> • 400.. . 900 • 180.. .250 • 160.. .400 	3,5...5,0	<ul style="list-style-type: none"> • 180... 200 • 15.. .20 • 32.. . 36
Модуль упругости при изгибе, 10 ⁻⁴ МПа	10...12	1,5...2,5	4,5...5,5
Коэффициент Пуассона	0,26	-	0,25 ...0,4
Теплопроводность, Вт/(мК)	75	0,8	0,5... 0,9
Коэффициент линейного расширения, 10 ⁶ 1/°С	9,0... 12,0	7... 19,0	12,0... 16,0
Водопоглощение за сутки, %	-	0,02...0,1	0,02...0,05
Декремент колебаний	0,006... 0,008	0,02...0,04	0,06...0,08

зиционные материалы позволяют в 6—15 раз снизить радиоактивное излучение по сравнению с традиционно применяемыми для этих целей материалами при одинаковых габаритах конструкции. Сравнительные физико-механические характеристики чугуна, натурального гранита и синтегран приведены в табл. 2.6; синтегран и гидробетона — в табл. 2.7.

Сравнительные характеристики синтегран и гидробетона

Таблица 2.7

Параметр	Синтегран	Г гидробетон
Плотность, г/см ³	2,4...2,7	1,7...2,1
Водопоглощение за сутки, %	0,02...0,1	4...8
Предел прочности при сжатии, МПа	180... 200	80... 120
Модуль упругости при изгибе, 10 ⁻⁴ МПа	4,5...5,5	1,8...2,1
Склонность к короблению	1	4,5
Демпфирование	1	0,5...0,6

Области применения синтеграна

Область применения	Изделия
Режущий инструмент	Резцы, фрезы, шевсры, напильники, пилы, осевой мерный инструмент
Измерительный инструмент	Штанги штангенциркулей, поверочные плиты, динамометры
Станки и оснастка	Станины, стойки, основания, траверсы, столы, корпуса редукторов, коробки скоростей и подач
Строительство	Облицовочные материалы, стойки банков, шпалы метро, элементы строительных конструкций, крышки канализационных люков, столбы уличного освещения
Военное дело	Бронежилеты, броня танков, глушители, фюзеляжи самолетов, стабилизаторы ракет
Предметы народного потребления	Декоративные изделия, бильярдные столы, стрелы, акустические колонки, сантехнические изделия
Средства экологической защиты	Контейнеры для захоронения радиоактивных отходов, саркофаги, контейнеры для хранения и перевозки радиоактивных веществ

Более чем двадцатилетний опыт применения синтеграна в России показал, что область его использования весьма обширна и не ограничивается только станкостроением (табл. 2.8).

Из синтеграна строят бункеры и контейнеры как для наземного, так и для подземного захоронения радиоактивных отходов (табл. 2.9, рис. 2.6 и 2.7).

Таблица 2.9

Эффективность защиты от радиоактивного излучения различными материалами при коэффициенте ослабления 14

Материал	Плотность, г/см ³	Толщина стенки, см
Свинец	11,4	2,6
Бетон	2,3	28
Железо	7,9	7,5
Стекло свинцовое	—	5,0
Синтегран	2,8	4,0

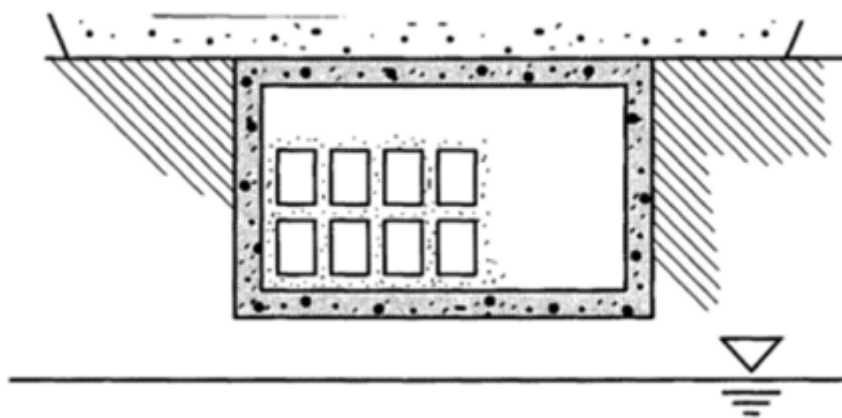


Рис. 2.6. Вариант подземного захоронения радиоактивных отходов

