

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 4 (2023)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/PWGH3542>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,210

Импакт-фактор КазБЦ – 0,406

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., асоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Vaigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Lapuerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

***А. С. Берг¹, А. А. Берг², В. В. Юрченко³**

^{1,2,3}Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда

*e-mail: kibeko_1995@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ДЛИННОМЕРНЫХ СТАНИН МРС ОТ СОСТАВА ПОЛИМЕРБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

В данной статье представлен анализ различных составов полимербетона. Рассмотрены достоинства и недостатки полимербетона, применяемого для проектирования длинномерных металлорежущих станков (МРС). Были исследованы шесть заполнителей (базальт, сподумен, летучая зола, речной гравий, песок и мел). Образцы полимербетона были приготовлены с различными составами заполнителей, содержащих одинаковую объемную долю смолы (заполнители 83 % и смола 17 %). Для измерения прочности образцов полимербетона на изгиб был использован четырехточечный тест на изгиб. КТР полимербетона был измерен с помощью специально изготовленного устройства. Был рассмотрен оптимальный состав позволил снизить вариации деформации оснований до достаточно низкого уровня, что способствует дальнейшему повышению точности станков с прецизионным инструментом. Это улучшение условий эксплуатации для прецизионной обработки инструмента ускоряет уровень точности до более высокого пика при получении точных изделий. Были проведены численные исследования динамических свойств и анализ статических прочностных свойств двух корпусов станка. Во время теоретических исследований метод конечных элементов использовался для анализа гибридного корпуса, состоящего из двух материалов. Это представляет собой некоторое упрощение, поскольку модель контакта чугуна и полимербетона требует экспериментальной идентификации. Такая идентификация охватывала свойства конструкционных материалов.

Ключевые слова: полимерный материал, полимербетон, металлорежущий станок, состав полимербетона, прочность на изгиб, коэффициент теплового расширения.

Введение

Благодаря превосходному коэффициенту демпфирования, высокой адгезии и быстрому отверждению полимербетон используется в производстве оснований для широкого спектра прецизионных станков. Коэффициент теплового расширения для полимербетона является одним из основных параметров, который может повлиять на уровень точности в станках с прецизионным инструментом [1].

Прочность на изгиб – это фундаментальная прочность основания. Были исследованы шесть заполнителей (базальт, сподумен, летучая зола, речной гравий,

песок и мел). Образцы полимербетона были приготовлены с различными составами заполнителей, содержащих одинаковую объемную долю смолы (заполнители 83 % и смола 17 %). Для измерения прочности образцов полимербетона на изгиб был использован четырехточечный тест на изгиб. КТР полимербетона был измерен с помощью специально изготовленного устройства. Было установлено, что оптимальным наполнителем для состава с наибольшей прочностью на изгиб и наименьшим КТР являются базальт, сподумен и летучая зола. Состав базальта, песка и летучей золы был вторым в рейтинге. Различные образцы полимербетона были приготовлены с различными объемными долями смолы следующим образом: 17 %, 15 % и 13 %. Исследования показали, что объемная доля смолы оказывает значительное влияние на КТР и прочность на изгиб полимербетона. Конечная оптимизированная композиция состояла из базальта, песка и летучей золы (наполнитель 87 % и смола 13 %). Программное обеспечение ANSYS 13 использовалось для визуализации влияния полимербетонных композиций на тепловое расширение основания и того, как это влияет на уровень точности инструментального станка [2].

Полимербетон имеет широкий спектр областей применения, таких как промышленные полы, подземные трубопроводы, для производственных центров с ЧПУ и для шлифовальных станков с ЧПУ. Множество областей применения полимербетона отражает разнообразие свойств, таких как хорошая механическая прочность, низкая водопроницаемость, высокий коэффициент демпфирования, быстрое отверждение, хорошая адгезионная прочность, длительный срок службы и стойкость [6]. Уровень точности для прецизионных станков определяется базовой рамой станка, на которой установлены подсистемы позиционирования и привода. В прецизионном станке базовая рама обеспечивает позиционирование подсистем в сложных динамических и статических условиях. В этих условиях эксплуатации силы, крутящие моменты и градиенты температуры динамически генерируются по всей системе для сложной геометрии изделия и повышенные требования к точности инструмента [7].

Полимербетон имеет ряд недостатков, таких как усадка и низкое сопротивление ползучести [10]. Самым большим недостатком, влияющим на эффективность эксплуатации, является коэффициент теплового расширения (КТР), используемого в прецизионном оборудовании. Согласно Valore, КТР высок для полимербетона, в составе которого полиэфирная смола в качестве связующего, по сравнению с чугунными и другими металлическими вставками в основании.

При неоднородном распределении теплового расширения может снизиться точность станка с прецизионным инструментом. Сообщалось, что увеличение объемного соотношения смолы в полимербетоне приводит к увеличению КТР, прочности на сжатие и теплопроводности. Свойства полимербетона также зависят от свойств заполнителей: форма и распределение частиц по размерам, свойства поверхности частиц и объемные доли заполнителя.

Основной целью этого исследования является оптимизация состава заполнителя с достаточным количеством смолы для полимербетона, чтобы

уменьшить КТР и увеличить прочность на изгиб, что приведет к повышению точности основания станка [1].

Материалы и методы

Система упаковки заполнителей была определена в соответствии с печным методом, начиная с количества заполнителей, основанного на соотношении наибольшего диаметра частиц и наименьшего диаметра частиц. Путем применения соотношения диаметров и объема пустот, было определено количество заполнителей. Согласно методу Фурнаса, промежуточный диаметр D_2 был рассчитан с использованием следующего выражения [4]:

$$D_2 = \sqrt{D_1 \cdot D_3} \quad (1)$$

где D_1 и D_3 – наибольший и наименьший диаметры частиц. Общий абсолютный объем наполнителей V_0 рассчитывали по следующей формуле:

$$V_0 = \frac{1}{1 + V_1} + \frac{1}{1 + V_2} + \frac{1}{1 + V_3} \quad (2)$$

где V_1, V_2, V_3 – объемы пустот для самого большого, промежуточного и самого маленького диаметра частиц. Общую объемную долю, занимаемую твердыми частицами V_f , рассчитывали по следующей формуле:

$$V_f = V_0(1 - V_1^2) \quad (3)$$

Объемная доля каждого компонента наполнителей P_i была рассчитана с использованием приведенной ниже формулы;

$$P_i = \frac{V_{\rho}}{V_f} \quad (4)$$

Этот подход учитывает объем пустот и обеспечивает хорошее представление о возможном составе наполнителя. Однако он не учитывает формы частиц и может использоваться в основном для сферических тел. Для приготовления смеси ПК мелкий заполнитель 8,3 %, крупный заполнитель 49,8 % и средний заполнитель 24,9 % добавляли к 17 % смолы в последующем порядке и смешивали с помощью традиционного бетоносмесителя. Перемешивание продолжается в течении 15 минут, чтобы обеспечить наилучшее смачивание всех частиц смолой, максимально увеличивая поверхность контакта смолы с галькой и получить достаточную адгезию. Смесью, которая состоит из смолы и заполнителей, наполняют прямоугольную бетонную форму (100×100×300 мм) и покрывают с разделителем, который содержит гелевое покрытие во избежании прилипания полимербетона к форме из стали. Данную форму с полимербетоном фиксируют на вибростоле на 10 минут, поскольку это обеспечит наилучшее отверждения.

Образцы отвердевали в течении 29 дней при температуре окружающей среды. Образцы ПК были приготовлены с 17 %, 15 % и 13 % объемной доли смолы [4].

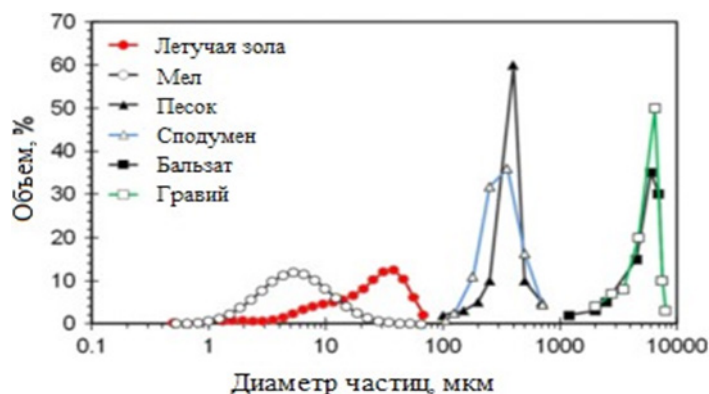


Рисунок 1 – Распределение частиц по размерам для всех агрегатов

Прочность образцов ПК на изгиб измеряли с использованием четырехточечного теста. Коэффициент теплового расширения измеряли с помощью изготовленного устройства. Устройство включает в себя нагревательную камеру (номер модели Thumler TH2700-26, Германия) с двумя датчиками перемещения, подключенными к небольшому цифровому дисплею (SYLVAC DSOS, Швейцария), и термостат, подключенный к микропроцессору контроля температуры. Температура образца ПК была получена с использованием системы сбора данных, оснащенной компьютером, как показано на рисунке 8. В этой установке используются два стержня, изготовленные из инвара. Инвар представляет собой 36 % сплав никель-железо с самым низким КТР в диапазоне 30–250 °С. Один из стержней используется в качестве идеала, а другой помещается над образцом ПК. Расширение эталонного стержня и образца со вторым стержнем обнаруживается в верхней части нагревательной камеры, которые касаются стержней инвара. На рисунке 2 показано расположение внутри нагревательной камеры. Образец ПК имеет отверстие в верхнем центре для размещения датчика термопары (термопара SE00 type K, Pico technology, Великобритания) для мониторинга и контроля температуры внутри образца. Система сбора данных Pico содержит регистратор данных термопары TC-08 (Pico technology, Великобритания), подключенный к компьютеру для отображения температуры. Из-за низкой теплопроводности полимербетона для достижения теплового равновесия требуется примерно 1 час. Тепловое расширение измеряли при следующих температурах: 25, 35, 40, 50 и 60 °С. Некоторые температуры выходят за пределы температурного диапазона основания во время эксплуатации. Были приняты дополнительные меры предосторожности, чтобы в такой степени охватить выбранные температуры. Коэффициент теплового расширения каждого образца из полимербетона рассчитывали с использованием следующего уравнения (8), полученного в соответствии с физическим принципом теплового расширения следующим образом [4]:

$$\Delta L = \alpha_i l_r \Delta T + \alpha_s l_s \Delta T$$

$$\Delta R = \alpha_i l_r \Delta T + \alpha_i l_s \Delta T$$

$$\Delta S = \Delta L - \Delta R$$

$$\alpha_s = \frac{\Delta S}{l_s \Delta T} + \alpha_i$$

где ΔL – изменение длины стержня инвара и образца в пределах разницы температур ΔT , а ΔR – изменение длины эталонного стержня инвара в пределах той же разницы температур ΔT . ΔS – это разница между ΔL и ΔR . l_r – это длина стержня инвара, который расположен поверх образца ПК, а l_s – длина образца ПК [4].

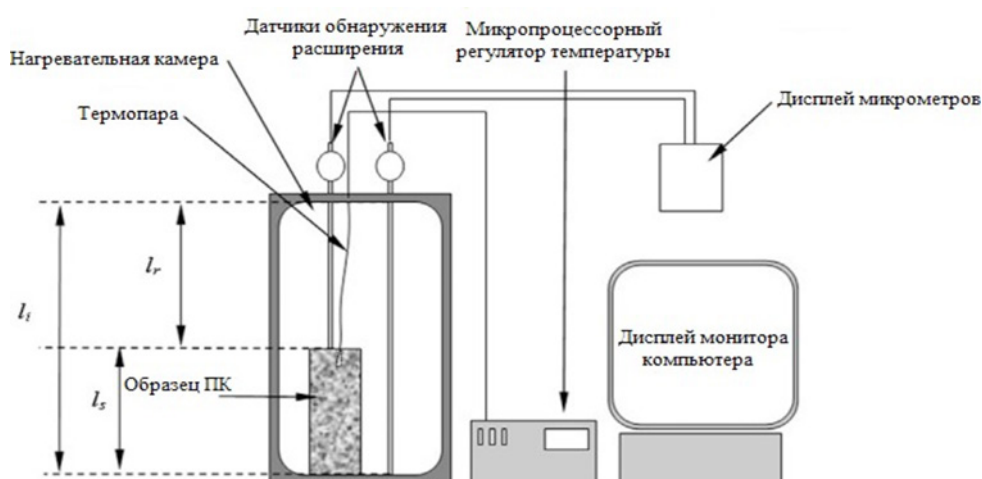


Рисунок 2 – Устройство для определения КТР для образца ПК

Тепловые свойства частиц и пропорции заполнителя влияют на общий коэффициент теплового расширения полимербетона [5]. На рисунке 3 показан поврежденный образец ПК, полученный через межфазное адгезионное соединение между частицами наполнителя.

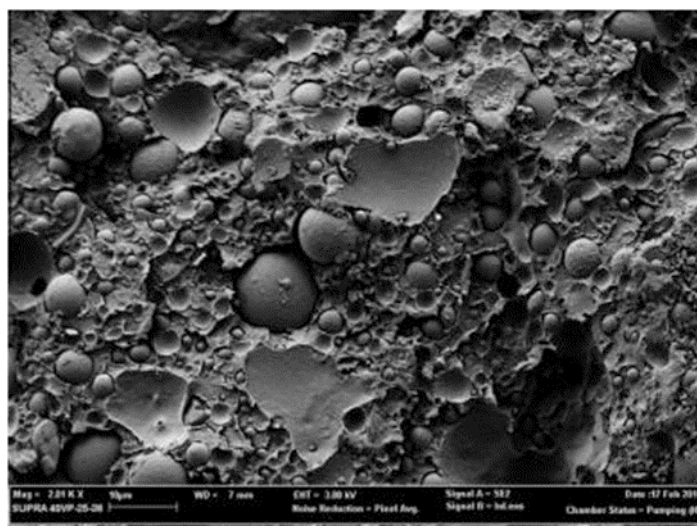


Рисунок 3 – Поврежденный образец ПК через межфазное соединение

Первым предложенным оптимальным составом для нанесения на основание прецизионного станка является базальт, сподумен и летучая зола, как показано в таблице 3 [5].

Таблица 1 – Влияние различного состава наполнителей на КТР и прочность на изгиб

Состав	σ , МПа	Отклонение, мм	КТР, $1/^\circ\text{C} \cdot 10^{-6}$
Бальзат, сподумен, летучая зола	23.15	1.5	9.5
Бальзат, песок, летучая зола	22.1	1.06	15.1
Бальзат, сподумен, мел	20.9	1.01	9.8
Бальзат, песок, мел	19.95	1.005	15.9
Гравий, песок, летучая зола	19.05	0.95	14.8
Гравий, сподумен, мел	18.36	0.91	12.5
Гравий, сподумен, летучая зола	15.98	1	12.3
Гравий, песок, мел	17.1	0.95	19.2

Прочность на изгиб составила 23.15 МПа. Летучая зола также увеличивает прочность полимербетона на изгиб.

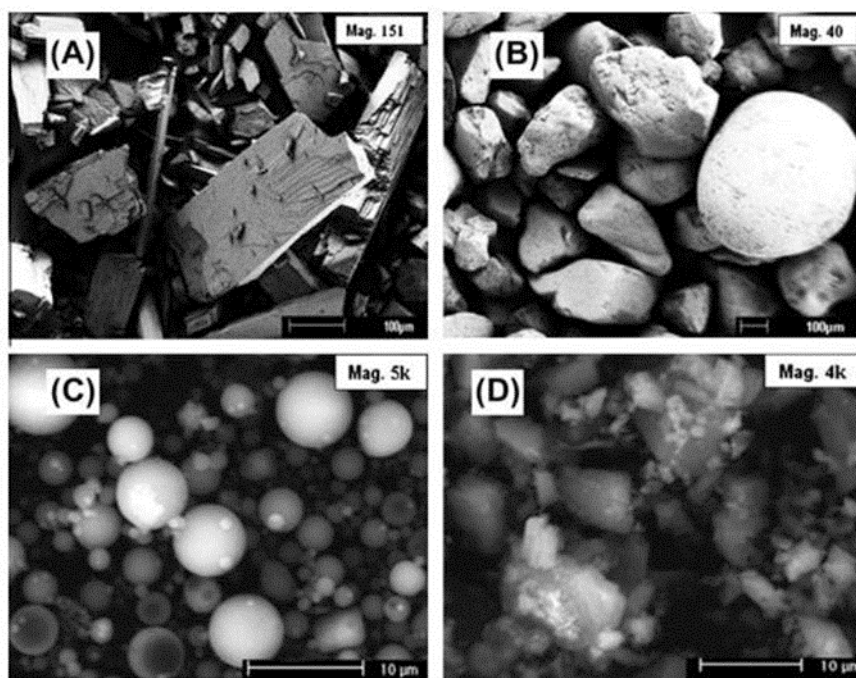


Рисунок 4 – Сподумен (А), Песок (В), Летучая зола (С), Мел (D)

Сподумен, который получают при добыче лития, имеет текстуры, связанные с процессом добычи. На рисунке 4 (А) показаны частицы сподумена. Микроструктура сподумена имеет форму слоев кристаллитов [6]. Эта ситуация позволяет смеси смолы из летучей золы протекать между слоями сподумена. Это условие приводит к более высокой адгезионной связи между связующим и наполнителями [7].

Прочность на изгиб второго состава (базальт, песок и летучая зола) составляет 21,1 МПа. Песок, в отличие от сподумена, имеет меньшую текстурную шероховатость на поверхности, как показано на рисунке 10(В). Кроме того, в микроструктуре частиц песка нет слоев, обеспечивающих дополнительное сцепление, что может быть причиной незначительного снижения прочности при изгибе. Второй состав наполнителя имеет более высокий КТР, примерно на 40 %, чем первый.

Основная причина снижения прочности при изгибе в третьем составе наполнителя (базальт, сподумен и мел) заключается в том, что смесь меловой смолы обеспечивает меньшую текучесть и заполняющую способность, чем смесь смолы из летучей золы. Причина этого заключается в том, что частицы мела имеют неправильную форму и несколько острых углов (шероховатая поверхность), как показано на рисунке 10(Д). Коэффициент теплового расширения в данном случае близок к первому, из-за наличия в составе наполнителя сподумена [7].

Четвертый состав наполнителя (базальт, песок и мел) имеет низкую прочность на изгиб и высокий КТР. Замена базальта речным гравием в пятом составе привела

к снижению прочности на изгиб, поскольку измельченный базальт увеличил прочность бетона на изгиб [8]. Речной гравий увеличил КТР пятого состава.

На рисунке 5 показано влияние уменьшения объемной доли смолы на коэффициент теплового расширения полимербетона. Уменьшение объемной доли смолы приводит к уменьшению КТР, поскольку смола имеет самый высокий КТР ($80 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) в компонентах ПК. На рисунке 6 показано, что уменьшение количества смолы на 3 % привело к снижению прочности при изгибе примерно на 40 %. Так как количество смолы, которая выполняла межфазную адгезионную связь между частицами, уменьшалось [9].

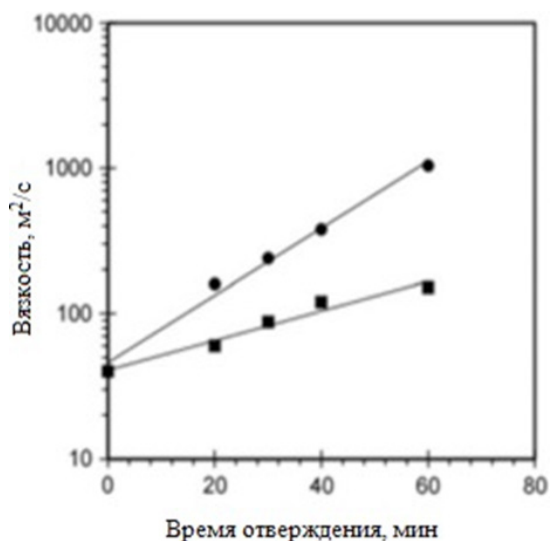


Рисунок 5 – Вязкость смеси летучей золы (нижняя), мела (верхняя) в зависимости от времени отверждения

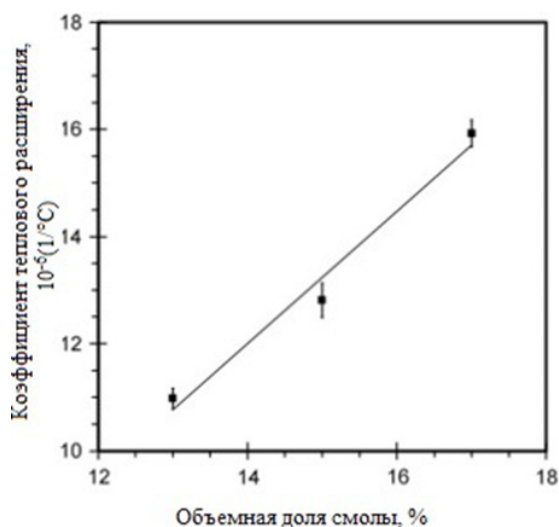


Рисунок 6 – Коэффициент теплового расширения полимербетона в зависимости от количества смолы

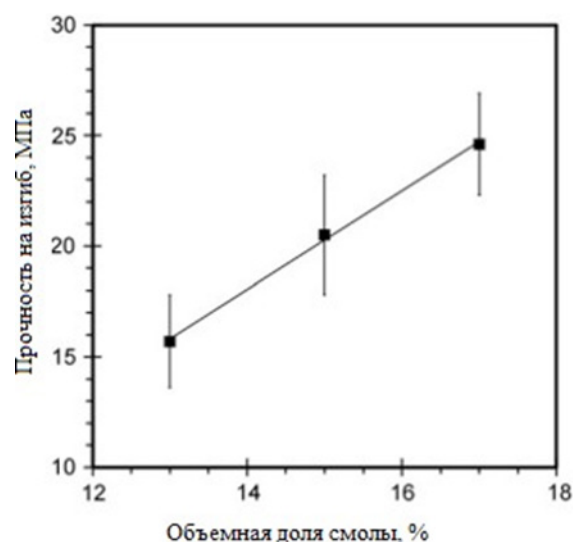


Рисунок 7 – Прочность полимербетона на изгиб в зависимости от количества смолы

Чтобы получить реалистичное визуализированное представление о составах наполнителя и отражении объемной доли смолы на основании, был проведен анализ методом конечных элементов (МКЭ) с использованием программного обеспечения CAE ANSYS 12.1 для выявления влияния свойств на функциональные характеристики основания. На рисунке 8 показана температура во времени для охлаждающей жидкости на входе, охлаждающей жидкости на выходе и температуры окружающей среды в рабочих условиях [10].

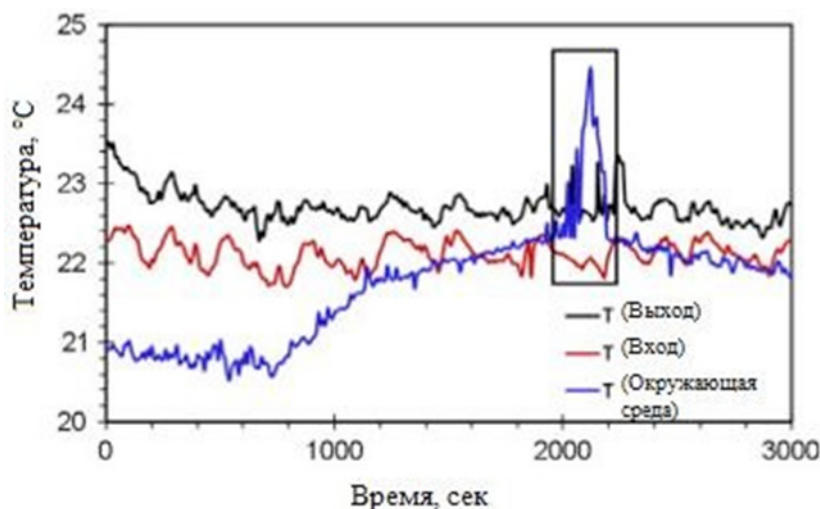


Рисунок 8 – Зависимость температуры от времени для шлифовального станка с ЧПУ

Область в рамке на рисунке 8 была выбрана в качестве граничных условий для температуры окружающей среды, температуры охлаждающей жидкости на

входе и температуры охлаждающей жидкости на выходе, которые должны были применяться при пике в моделировании.

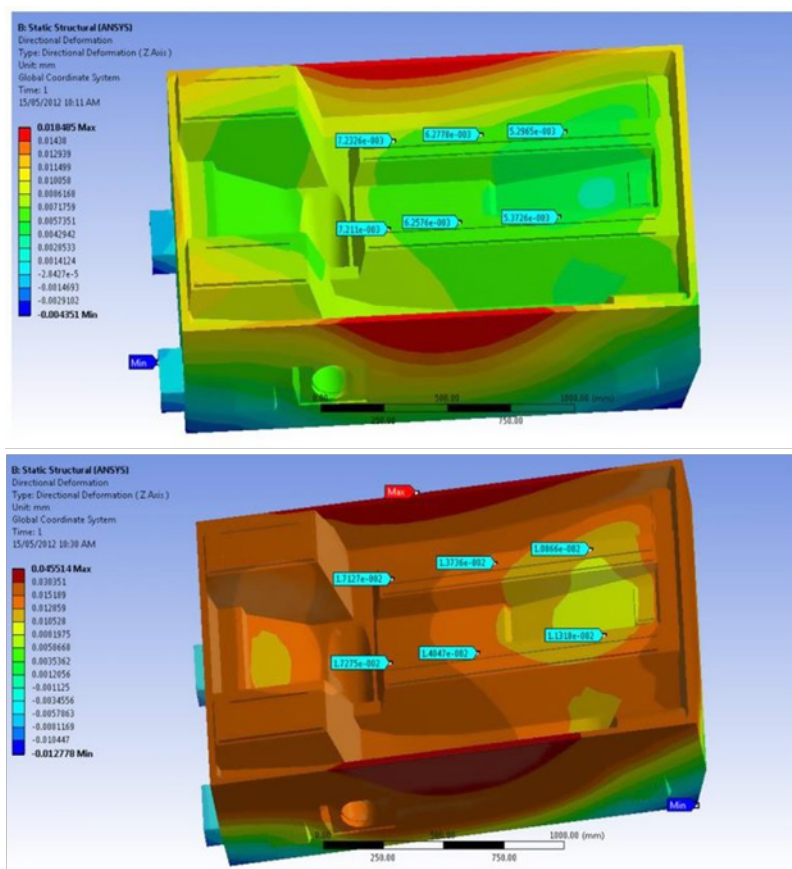


Рисунок 9 – Структурная деформация основания для:
 А) Бальзат, сподумен, летучая зола; В) Бальзат, песок, летучая зола

На рисунке 9 (А) изображена структурная деформация основания для состава: базальт, сподумен, летучая зола.

Таблица 2 – Влияние состава полимербетона и количества смолы на прогиб основания станка

Состав	Объемная доля смолы, %	Максимальный прогиб основания, мкм	Изменение деформации, мкм	Изменение деформации между 2 сторонами, мкм
Бальзат, сподумен, летучая зола	17	25	2	0.1–0.5
Гравий, песок, мел	18	46.2	3–5	1–3
Бальзат, песок, летучая зола	16	29	0.39–1.58	0.18–0.38
Бальзат, песок, летучая зола	14	15.1	0.15–0.33	0.01–0.055

Наиболее эффективной частью основания являются направляющие, которые удерживают движущиеся компоненты и управляют рабочей функцией в основании шлифовального станка с ЧПУ. Максимальная деформация составляет 25 мкм на основании, сосредоточенная на неэффективной, небольшой части основания, которая составляет примерно 2 % от основания.

Последний состав наполнителя (бальзат, песок, летучая зола) имеет почти в 2 раза большее тепловое расширение, чем первый состав (бальзат, сподумен, летучая зола). На рисунке 9 (В) показана направленная деформация на основании. Максимальная деформация составляет 46,2 мкм и 75 % верхней половины основания, которая была деформирована ближе всего к максимальной. Таблица 2 иллюстрирует все показатели в одной области для четкого сравнения.

На рисунке 10 показан состав полимербетона. Волокна и микронаполнители смешиваются с армирующими частицами для улучшения свойств. Свойства, требуемые для конструкций станков, такие как высокая жесткость, прочность на сжатие, коэффициент демпфирования и хорошие тепловые свойства, зависят от следующих элементов [9]:

- Армирование частицами
- Полимерная смола
- Армирование волокнами, наполнители и добавки

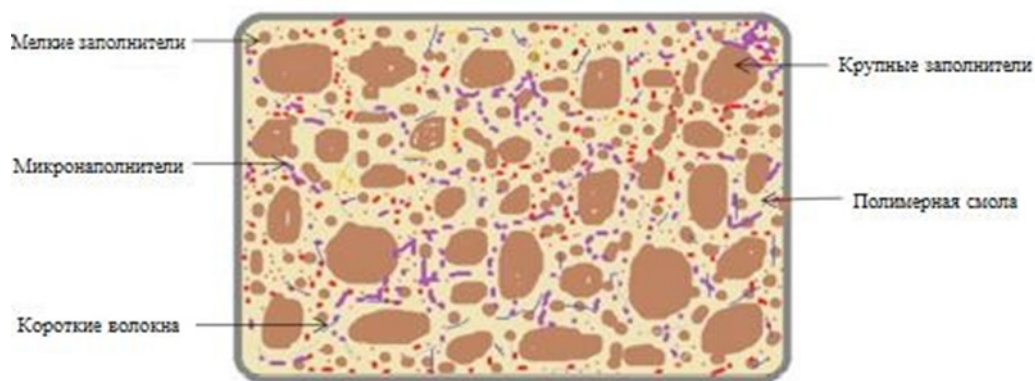


Рисунок 10 – Модель из полимербетона

Результаты и обсуждение

Свойства полимербетона зависят от размера зерен и плотности дисперсной арматуры [4]. Самая высокая плотность достигается за счет смешивания соответствующей массовой доли твердых и мелких частиц. Массовая доля определяется диапазоном размеров или сортировкой, выбранной для армирующих частиц. Было обнаружено, что градация размера частиц определяет результирующие свойства полимербетона, легкость обработки, обработку и характеристики отделки поверхности полимербетона [9]. Механические свойства, такие как модуль упругости, прочность на сжатие и т.д., определяются плотностью. Увеличение плотности и, следовательно, уменьшение содержания пустот увеличивает модуль упругости, прочность на сжатие за счет контактного

механизма [4]. Однако зависимость коэффициента демпфирования отличается от зависимости прочности на сжатие и модуля упругости, которые встречаются в обычных материалах. Коэффициент демпфирования является самым высоким при минимальном модуле упругости и прочности на сжатие [10].

В большинстве исследований диапазон размеров частиц, используемых для армирования, составлял до 23 мм. В таблице 3 обобщены результаты исследований, проведенных в отношении размера частиц и влияния на свойства. Это указывает на то, что пустоты играют важную роль в механизме гашения вибрации.

Таблица 3 – Влияние размера частиц на механические свойства

Авторы	Диапазон размеров частиц	Классификация	Различия в свойствах
Hyun Suk Kim et al.[4]	0-25.4 мм	Менее 3,36 мм - песок, более 3,36 мм – галька	Содержание гальки варьировалось от 0 до 50%, сохраняя общую массовую долю армирования в виде частиц постоянной. С добавлением 50% гальки прочность на сжатие и модуль упругости увеличились в 2,5 и 1,6 раза соответственно.
Wenfeng Bai al.[10]	0-10 мм	-	Коэффициент демпфирования уменьшился на 45%, поскольку крупноразмерные частицы были смешаны с мелкими частицами
Subrahmanya Swamy et al. [5]	0-10 мм	Более 4,75 мм – крупный заполнитель, менее 4,75 мм – мелкий заполнитель	Прочность на сжатие и модуль упругости увеличиваются на 9% и 20% по мере увеличения массовой доли крупноразмерных частиц с 0 до 50%

Благодаря превосходному коэффициенту демпфирования, высокой адгезии и быстрому отверждению полимербетон используется в производстве оснований для широкого спектра прецизионных станков. Существует множество исследовательских работ, связанных с применением полимербетона на прецизионных станках с различными типами армирующих частиц. Твердость частиц влияет на демпфирующие и другие механические свойства полимербетона [3].

Массовая доля смолы, используемой в качестве связующего в полимербетоне, оказывает существенное влияние на его механические и динамические свойства. Варьирование смолы было ограничено до максимальной массовой доли 20 %. При содержании смолы в полимербетоне до 10 % – модуль упругости увеличивается, прочности на сжатие и коэффициент демпфирования с количеством смолы [4]. Однако скорость увеличения становилась ниже по мере того, как массовая доля смолы приближалась к 10 %. Увеличение коэффициента демпфирования замедлилось с 10–12 % массовой доли смолы, увеличилось с 12–14 %, снова уменьшилось между 14–16 %. Однако увеличение коэффициента демпфирования

было линейным с массовой долей смолы до 14%, как сообщил Subramanya Swamy и др. [5].

Было обнаружено, что армирование волокнами улучшает механические свойства полимербетона. Для улучшения требуемых свойств использовались стальные волокна, стекловолокна, нейлоновые и полипропиленовые волокна. Автором W. Bai изучено влияние коротких стекловолокон (длиной 5–25 мм) с массовой долей до 5 % на коэффициент демпфирования полимербетона для применения в станкостроении. Автор сообщил об увеличении коэффициента демпфирования с увеличением массовой доли и длины волокна. По мере увеличения длины стекловолокна коэффициент демпфирования сначала увеличивался, а затем уменьшался [10]. Максимальный коэффициент демпфирования был получен, когда длина стекловолокна составляла 20 мм.

Есть много других исследователей, которые армировали различные типы волокон для улучшения механических свойств полимербетона. Из исследования автора Broniewski сообщалось о 40 % увеличении прочности при изгибе с добавлением 35 % стальных волокон в полимербетон, армированный песчаными заполнителями и связующим из эпоксидной смолы. Несколько авторов добавили нейлоновые, стеклянные, арамидные и стальные волокна длиной от 12,7 до 38,1 мм и обнаружили значительное увеличение прочности при сжатии и изгибе.

Нанесение покрытия вокруг частиц и других наполнителей, таких как стекловолокно, улучшает адгезию между полимерной смолой и наполнителями, и, следовательно, механические свойства. Установлено, что прочность на сжатие и прочность на изгиб полимербетона с силановым покрытием на 15–20 % выше, чем у немодифицированного полимербетона.

Общий способ изготовления полимербетонного слоя начинается со смешивания полимерной смолы с частицами требуемой массовой доли с микронаполнителями и короткими волокнами. Смесь выливается в форму требуемой формы. Чтобы удалить воздушные пустоты и обеспечить лучшее уплотнение и равномерное смешивание частиц со смолой, необходим вибростол с определенной частотой. Отвержденный слой полимербетона удаляют и выполняют отделочные операции, как показано на рисунке 11.

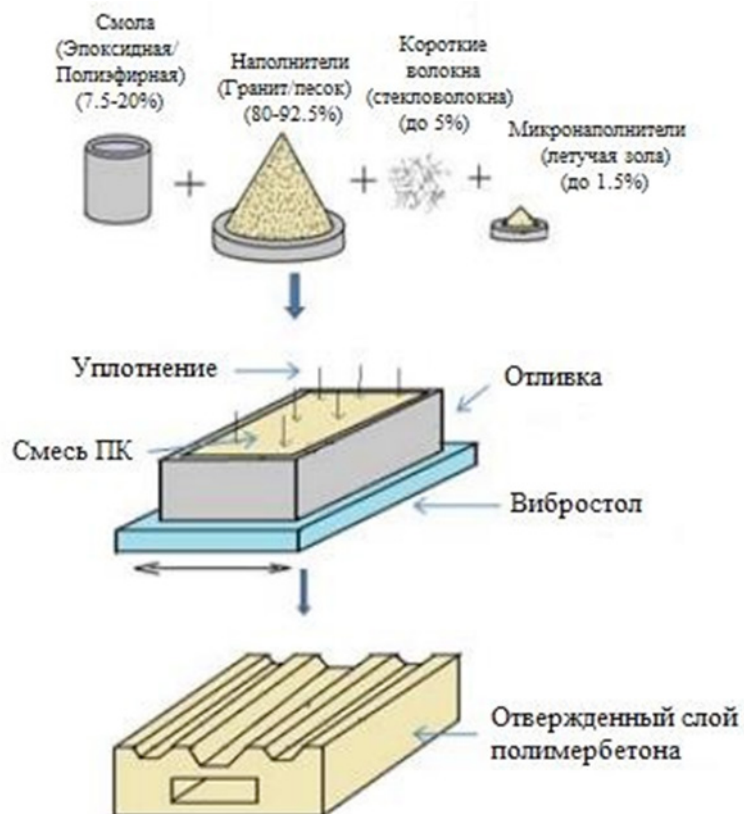


Рисунок 11 – Этапы изготовления станины станка из полимербетона

Поскольку полимербетон обладает низкой жесткостью по сравнению с чугуном и сталью, но обладает превосходным гашением вибрации, он использовался в конструкциях станков различными способами. Немногие авторы заменили всю станину станка полимербетоном, увеличив объем, чтобы сохранить ту же жесткость, в то время как немногие другие использовали ее в качестве гибридной конструкции наряду с традиционными материалами высокой жесткости, такими как сталь и композит из углеродного волокна и эпоксидной смолы, для усиления демпфирования вибрации и уменьшения массы конструкции без увеличения объема. Он также использовался в качестве демпфирующей каретки для линейных направляющих в станках. Сообщается об ограниченной работе по эксплуатационным характеристикам, таким как чистота поверхности и износ инструмента станка с полимербетонными конструкциями. Автором С. Brunі сообщалось об улучшении качества поверхности и снижении износа боковых поверхностей инструмента с помощью полимербетонного слоя. Чистовая токарная обработка, выполненная на станке, оборудованном полимербетонной станиной, обеспечивала значения Ra ниже, чем при тех же операциях, выполненных на токарном центре, оборудованном чугунной станиной.

Таблица 4 – Нанесение полимербетона на конструкции станков разными авторами

Авторы	Массовая доля арматуры (%)	Полимерная смола	Применение в конструкции станка	Улучшение
C. Bruni et al.	92	Эпоксидная смола	Станина токарного центра с ЧПУ	Был уменьшен износ боковой поверхности инструмента и улучшена чистота поверхности обработанной детали
Hyun Suk Kim et al.[4]	92.5	Эпоксидная смола	Сверхточная шлифовальная поверхность с зеркальной отделкой	-
M Weck et al.	-	-	Колонна и станина фрезерного станка	Резонансная частота увеличилась
Jung Do Suh al.	90	Полиэфирная смола	Гибридная стальная станина, сваренная из полимербетона, для высокоскоростного портального фрезерного станка	Демпфирование вибрации улучшено в 10-20 раз

Выводы

В ходе проведения исследований была подтверждена целесообразность использования полимербетона с оптимальным составом базальт, песок и летучая зола (87 % наполнителя и 13 % смолы), поскольку данный состав обладает наименьшей деформацией и приемлемой прочностью на изгиб при изготовлении станин металлорежущих станков. Оптимальный состав позволил снизить вариации деформации оснований до достаточно низкого уровня, что способствует дальнейшему повышению точности станков с прецизионным инструментом. Это улучшение условий эксплуатации для прецизионной обработки инструмента ускоряет уровень точности до более высокого пика при получении точных изделий.

Проведенный анализ показал, что с применением полимербетона при проектировании станин МРС произошло повышение частоты свободных колебаний с 3,2 % (на низких частотах) до 12,8 % (на высоких частотах). Статические исследования показали, что произошло усиление всей конструкции за счет использования заполнения свободных пространств полимербетоном.

Применение полимербетона при изготовлении станин МРС позволит улучшить частоту поверхности, снизить скорость износа инструмента и упростить процесс изготовления станин МРС. Также стоит отметить, что использование оптимального состава наполнителя позволит существенно снизить стоимость изделия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Барт, В. Е., Санина, Г. С., Шевчук, С. А.** «Применение полимербетонов в станкостроении», 1985.
- 2 **Барт, В. Е., Санина, Г. С., Шевчук, А. С.** «Применение синтеграна в станкостроении», 1993.
- 3 **Шевчук, С. А. Смайловская, М. С.** «Минерал – полимерный композит – перспективный конструкционный материал для станкостроения», 2014.
- 4 **Кирилин, Ю. В.** «Применение полимербетона для изготовления базовых деталей для тяжелых фрезерных станков», 2008.
- 5 **Cortes F., Castillo G.** «Comparison between the dynamical properties of polymer concrete and grey cast iron», 2007.
- 6 **McKeown P. A. and Morgan G. H.** «Epoxy granite: a structural material for precision machines», 2020.
- 7 **Paderewski K.** «Use of polymer concretes in machine tool construction», 1984г.
- 8 **Schulz H. and Nicklau R. G.** «Machine tool bases made of polymer concrete», 2018.
- 9 **Vrtanoski G. and Dukovski V.** «Design of polymer concrete main spindle housing for cnc lathe», 2005.
- 10 **Bruni C. et al.** «Hard turning of an alloy steel on a machine tool with a polymer concrete bed», 2008.

REFERENCES

- 1 **Bart, V. E., Sanina, G. S., Shevchuk, S. A.** «Primenenie polimerbetonov v stankostroenii» [The use of polymer concrete in machine tool construction], 1985.
- 2 **Bart, V. E., Sanina, G. S., Shevchuk, A. S.** «Primenenie sintegrana v stankostroenii» [The use of syntegran in machine tool construction], 1985.
- 3 **Shevchuk, S. A. Smajlovskaya, M. S.** «Mineral – polimerny`j kompozit – perspektivny`j konstrukcionny`j material dlya stankostroeniya» [Mineral – polymer composite is a promising structural material for machine tool construction], 2014.
- 4 **Kirilin, Yu. V.** «Primenenie polimerbetona dlya izgotovleniya bazovy`x detalej dlya tyazhely`x frezerny`x stankov» [The use of polymer concrete for the manufacture of basic parts for heavy milling machines], 2008.
- 5 **Cortes, F., Castillo, G..** «Comparison between the dynamical properties of polymer concrete and grey cast iron», 2007.
- 6 **McKeown, P. A. and Morgan, G. H.** «Epoxy granite: a structural material for precision machines», 2020.
- 7 **Paderewski, K.** «Use of polymer concretes in machine tool construction», 1984.
- 8 **Schulz, H. and Nicklau, R. G.** «Machine tool bases made of polymer concrete», 2018.
- 9 **Vrtanoski, G. and Dukovski, V.** «Design of polymer concrete main spindle housing for cnc lathe», 2005.

10 **Bruni, C et al.** «Hard turning of an alloy steel on a machine tool with a polymer concrete bed», 2008.

Принято к изданию 04.11.23.

***А. С. Берг¹, А. А. Берг², В. В. Юрченко³**

^{1,2,3}Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

Басып шығаруға 04.11.23 қабылданды.

ІРІ ҚАРА МАЛДЫҢ ҰЗЫН ТӨСЕКТЕРІНІҢ БЕРІКТІК ҚАСИЕТТЕРІНІҢ ПОЛИМЕРБЕТОН ҚОСПАЛАРЫНЫҢ ҚҰРАМЫНА ТӘУЕЛДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

Бұл мақалада полимербетонның әртүрлі құрамдарын талдау ұсынылған. Ұзын өлшемді металл кесетін станоктарды (ұсақ мал) жобалау үшін қолданылатын полимербетонның артықшылықтары мен кемшіліктері қарастырылады. Алты толтырғыш зерттелді (базальт, сподумен, күл, өзен қиыршық тастары, құм және Бор). Полимербетон үлгілері шайырдың бірдей көлемдік үлесі бар толтырғыштардың әртүрлі құрамдарымен дайындалды (толтырғыштар 83 % және шайыр 17 %). Полимербетон үлгілерінің иілу беріктігін өлшеу үшін төрт нүктелі иілу сынағы қолданылды. Полимербетонның КТР арнайы жасалған құрылғының көмегімен өлшенді. Оңтайлы композиция қарастырылды, бұл базальт деформацияның вариациясын жеткілікті төмен деңгейге дейін төмендетуге мүмкіндік берді, бұл дәл құралмен станоктардың дәлдігін одан әрі жақсартуға ықпал етті. Құралды дәл өңдеу үшін жұмыс жағдайларын жақсарту дәл өнімдерді алу кезінде дәлдік деңгейін жоғары шыңға дейін жылдамдатады. Машинаның екі корпусының динамикалық қасиеттерін сандық зерттеу және статикалық беріктік қасиеттерін талдау жүргізілді. Теориялық зерттеулер кезінде екі материалдан тұратын гибридіті корпусты талдау үшін ақырлы элементтер әдісі қолданылды. Бұл біршама жеңілдетуді білдіреді, өйткені шойын мен полимербетонның байланыс моделі эксперименттік сәйкестендіруді қажет етеді. Мұндай сәйкестендіру Құрылымдық материалдардың қасиеттерін қамтыды.

Кілтті сөздер: полимер материалы, полимербетон, Металл кескіш станок, полимербетон құрамы, иілу беріктігі, жылу кеңею коэффициенті.

***A. S. Berg¹, A. A. Berg², V. V. Yurchenko³**

^{1,2,3}Abylkas Saginov Karaganda Technical University,

Republic of Kazakhstan, Karaganda.

Accepted for publication on 04.11.23.

INVESTIGATION OF THE DEPENDENCE OF THE STRENGTH PROPERTIES OF LONG-LENGTH MRC MILLS ON THE COMPOSITION OF POLYMER CONCRETE MIXTURES

This article presents an analysis of various compositions of polymer concrete. The advantages and disadvantages of polymer concrete used for the design of long-length metal-cutting machines (MPC) are considered. Six aggregates were investigated (basalt, spodumene, fly ash, river gravel, sand and chalk). Polymer concrete samples were prepared with different compositions of aggregates containing the same volume fraction of resin (aggregates 83 % and resin 17 %). A four-point bending test was used to measure the bending strength of polymer concrete samples. The KTR of polymer concrete was measured using a specially manufactured device. The optimal composition was considered, which made it possible to reduce variations in the deformation of the bases to a sufficiently low level, which contributes to further improving the accuracy of machines with precision tools. This improvement in the operating conditions for precision tool processing accelerates the level of accuracy to a higher peak when producing accurate products. Numerical studies of dynamic properties and analysis of static strength properties of two machine bodies were carried out. During theoretical studies, the finite element method was used to analyze a hybrid housing consisting of two materials. This represents some simplification, since the model of contact between cast iron and polymer concrete requires experimental identification. Such identification covered the properties of structural materials.

Keywords: polymer material, polymer concrete, metal cutting machine, polymer concrete composition, bending strength, coefficient of thermal expansion/

Теруге 08.12.23 ж. жіберілді. Басуға 29.12.23 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 17,26 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4166

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz