

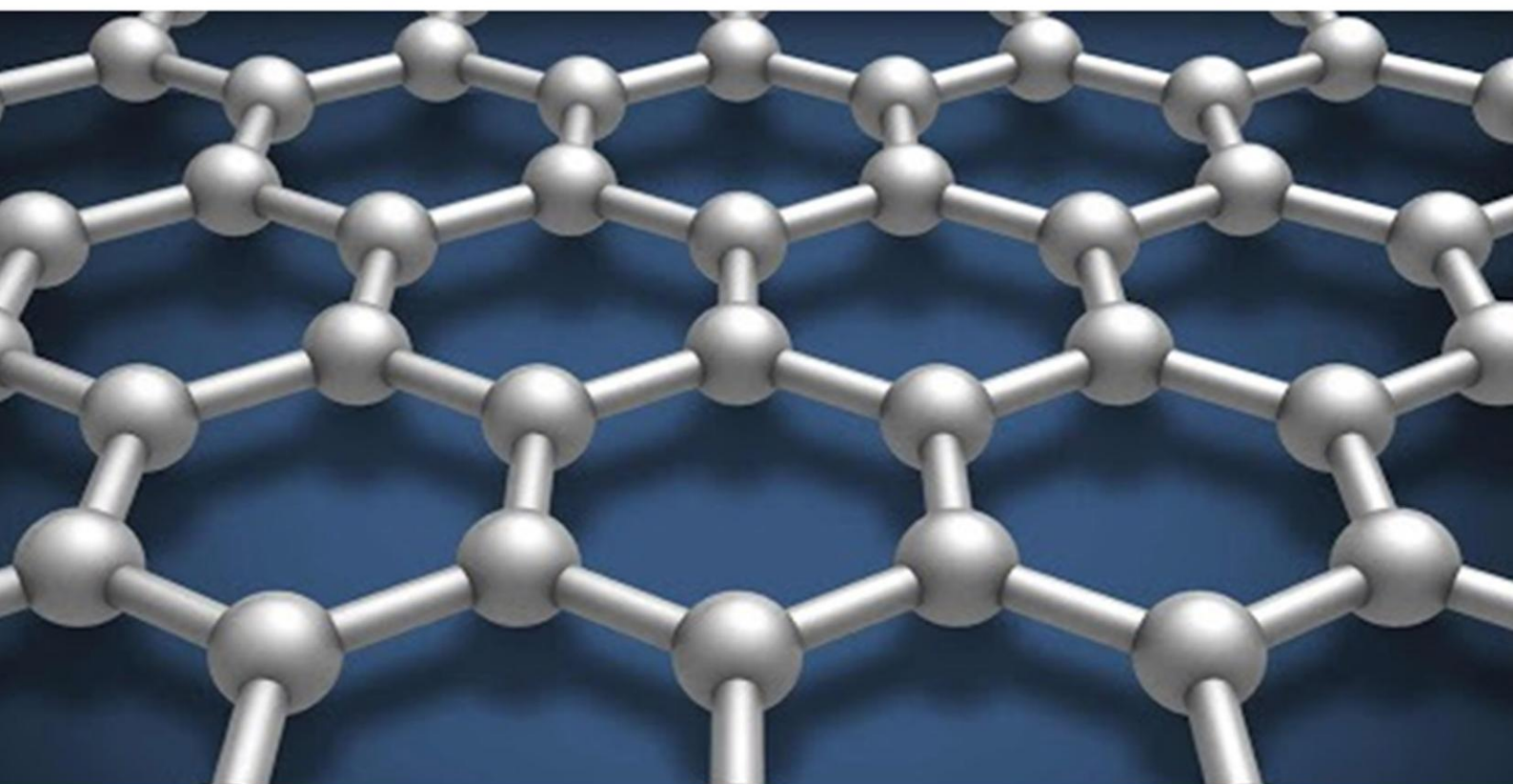
ISSN 2091-5527

№ 3/2026

O'zbekiston

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Узбекский научно-технический и производственный журнал
Композиционные материалы

УДК 666.017; 621.078

**АНАЛИЗ СОСТАВА, СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ,
ЧУГУНОВ И СПЛАВОВ И ИХ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА****Тилабов Баходир Курбанович**

д.т.н., профессор заведующий кафедрой «Материаловедение и современные инновационные технологии» Совместного Белорусско - Узбекского межотраслевого института прикладных технических квалификаций в городе Ташкенте

Аннотация: В статье рассмотрены комплексные исследования образцов и деталей машин, проанализированы химический состав, механические свойства и микроструктуры различных марок углеродистых (20, 30, 35) и легированных (18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ) сталей, сплавов и чугунов, изучены технологические процессы поверхностных покрытий металлических образцов. Доказано, что термическая обработка с двойной фазовой перекристаллизацией повышает твердость и износостойкость деталей в 3-4 раза выше, чем серийных изделий.

Ключевые слова: состав, свойства, структура углеродистых и легированных сталей, термическая обработка, твердость и износостойкость деталей.

Введение. Детали или изделия используемые в металлургических и автотракторо-сельхозмашиностроительных отраслях промышленности имеют химический состав, механические свойства и микроструктуры с заданными требованиями [1,2]. В этих предприятиях часто используются различные марки сталей, чугунов и их сплавов [3,4]. Химические составы этих материалов определяются химическим методом или же химанализатором которые показывают процентное содержание железа (Fe) и других химических элементов. Металлургические способы анализа химического состава стали и чугуна включают комплекс методов, позволяющих точно определить содержание углерода (C), кремния (Si), марганца (Mn), хрома (Cr), фосфора (P), серы (S) и других легирующих элементов. Ключевое отличие стали от чугуна заключается в содержании углерода: в стали его доля составляет менее 2 %, тогда как в чугуне — более 2 %, как правило, от 2 до 4 %. На металлургическом комбинате применяются следующие методы химического анализа:

- **Эмиссионный спектральный анализ** применяется как один из наиболее оперативных способов контроля химического состава чугуна и стали. Метод основан на исследовании спектра излучения, характерного для каждого химического элемента. Использование специальных приборов — спектрометров — позволяет за несколько минут установить наличие и количественное содержание основных компонентов металлического сплава.;

- **Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА):** используется для точного определения содержания элементов, в том числе при сортировке лома;

- **Химический анализ (мокрой химии):** применяется для арбитражных анализов.

Включает методы, при которых проба растворяется в кислотах для определения точного содержания конкретных элементов.

Процедура отбора проб. Для получения достоверных результатов анализ проводится по пробам, отобранному в соответствии с ГОСТ:

- **Отбор проб:** от ковша при выплавке отбирают от одной до трех проб, обычно после разливки;

- **Подготовка образцов:** пробы (слитки) подвергаются шлифовке перед спектральным анализом или сверлению для получения стружки при химическом анализе.

Основные элементы для контроля углерода, марганца, сера, фосфора и других элементов:

- **Углерод (C):** определяет механические свойства (ковкость стали или хрупкость чугуна);

- **Марганец (Mn), Кремний (Si):** влияют на раскисленность и структуру.

- **Сера (S), Фосфор (P):** считаются вредными примесями, ухудшающими механические свойства, их содержание жестко ограничивается.

Для экспресс-оценки в полевых условиях применяют также методы *искра-анализа* или *внешнего осмотра излома*, но они не дают точных количественных данных о химическом составе.

Исходя из этих химический состав стали является процентное содержание железа (Fe) с углеродом (C) обычно от 0,02% до 2,14%C и других элементов (примесей или легирующих добавок), определяющее структуру, механические свойства и назначение сплава. Основу всегда составляет железо (более 45%), а углерод повышает прочность, оставаясь в виде соединений (например, цементит (Fe₃C)). Основной состав регламентируется ГОСТами и маркируется, разделяясь на углеродистые и легированные стали. Кроме железа и углерода имеется другие легирующие элементы

(добавки), которые улучшают закаливаемость. Введение легирующих компонентов способствует улучшению прокаливаемости металлического сплава, увеличению его прочности и твёрдости, а также повышению сопротивляемости износу и коррозионным воздействиям. Благодаря этому стальные и чугунные детали приобретают более высокие эксплуатационные характеристики и продолжительный срок службы.

Сталь, название которой происходит от немецкого слова *Stahl*, представляет собой сплав на основе железа, углерода и ряда других химических элементов. Массовая доля железа в таком материале составляет не менее 45 %, а содержание углерода варьируется в пределах от 0,02 до 2,14 %. Сплавы, содержащие от 0,6 до 2,14 % углерода, относятся к категории высокоуглеродистых сталей.

Основная классификация сталей по составу разделяют на углеродистые которые содержат только железо, углерод и небольшое количество примесей (Mn, Si, P, S и др.). Делятся на низкоуглеродистые ($<0,3\%C$), среднеуглеродистые ($0,3-0,6\%C$) и высокоуглеродистые ($>0,6\%C$), а легированные содержат дополнительные элементы (Cr, Ni, Mn, Mo, V, Ti, Cu), специально введенные для повышения характеристик.

К основным свойствам относятся **прочность, пластичность, твердость, ударная вязкость, упругость и т.п.** Механические свойства определяют, для каких целей можно использовать конкретную сталь (например, прочные для конструкций, пластичные для гибки). Они напрямую зависят от химического состава (содержания углерода) и термической обработки (отжиг, нормализация, закалка и отпуск).

Сплав представляет собой материал, образованный сочетанием двух или нескольких химических элементов, по крайней мере один из которых является металлом. В его состав могут входить как металлические, так и неметаллические компоненты. Наиболее широко в промышленности применяются железо, алюминий, медь, титан, цинк и магний. Железо, в частности, служит основой для производства сталей.

Сплавы получают не только посредством совместного расплавления исходных веществ, но и с использованием порошковой металлургии, диффузионных процессов, электролиза, возгонки, механохимического синтеза и других технологических методов. Полученный материал сохраняет характерные металлические свойства, однако его эксплуатационные характеристики могут

существенно отличаться от свойств отдельных исходных компонентов.

В материаловедении **системой** называют исследуемый объект, например чистый металл или металлический сплав, рассматриваемый как совокупность находящихся в равновесии фаз. Чистый металл относится к простым системам, тогда как сплав является сложной системой. Если материал состоит только из одной фазы, такую систему называют гомогенной. При наличии двух или нескольких фаз система считается гетерогенной. По числу компонентов различают однокомпонентные системы, к которым относятся чистые металлы, и многокомпонентные системы, представленные различными сплавами.

Компонентами системы являются вещества, участвующие в её образовании. В качестве компонентов могут выступать отдельные химические элементы, а также сложные вещества и соединения, возникающие в результате их взаимодействия. Следовательно, металлический сплав как сложная система способен включать значительное количество компонентов, каждый из которых оказывает определённое влияние на его структуру и свойства.

Фаза — это однородная часть системы, обладающая единым химическим составом, строением, агрегатным состоянием и физико-механическими характеристиками. От других частей материала она отделяется поверхностью раздела. При переходе через такую границу наблюдается заметное изменение химического состава, структуры или свойств вещества.

Механические свойства сплава характеризуют его способность противостоять деформированию, разрушению и изменению первоначальной формы под действием внешних сил. Они позволяют оценить поведение материала в процессе эксплуатации и определить степень его надёжности при использовании в конструкциях и изделиях.

К числу основных механических характеристик относятся прочность, твёрдость, пластичность, упругость и вязкость. При оценке эксплуатационных качеств материала также учитываются его склонность к хрупкому разрушению и способность сопротивляться усталостным повреждениям при многократном нагружении. Совокупность этих свойств определяется химическим составом сплава, особенностями его внутреннего строения, способом обработки и условиями дальнейшей эксплуатации.

Чугун — это сплав железа (Fe) с углеродом (C), где содержание углерода составляет более 2,14% (обычно до 6,67%), что отличает его от

стали. В составе также присутствуют постоянные примеси (кремний, марганец, фосфор, сера и др.) и иногда легирующие элементы (хром, никель), влияющие на структуру и свойства чугунов. Основные компоненты химического состава чугуна *железо* – это основа сплава, обычно составляет более 90%. *Углерод* 2,0–4,5% (до 6,67%) определяет хрупкость и твердость. Находится в форме графита или цементита (Fe_3C). *Кремний* 1,0–3,5% способствует графитизации и повышает жидкотекучесть. *Марганец* 0,5–1,0% повышает прочность и отбел чугуна. *Сера* вредная примесь (обычно < 0,15%), увеличивает хрупкость. *Фосфор* примесь (обычно < 0,3%), повышает жидкотекучесть, но увеличивает хрупкость чугуновых материалов. В зависимости от назначения (перелитейный или литейный), содержание компонентов может варьироваться для получения разных марок чугуна.

Механические свойства чугуна характеризуют его способность воспринимать внешние нагрузки и сохранять работоспособность в определённых условиях эксплуатации. К наиболее характерным особенностям этого материала относятся высокая твёрдость, устойчивость к изнашиванию, хорошие литейные качества, в том числе повышенная жидкотекучесть расплава, а также способность эффективно поглощать вибрации и колебания.

Цель работы поэтапный анализ состава, свойств и структуры сталей, сплавов и чугунов и их термическая обработка, которые улучшает механические свойства и повышает прочность, твердость, износостойкость и долговечность, а также коррозионную стойкость стальных деталей машин и их механизмов.

Объектом исследования углеродистые (20, 30, 35) и легированные (18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ) стали, образцы и детали машин, которые подвергали к термической обработке.

Методика проведения исследования. В качестве исследуемых материалов были выбраны образцы углеродистых сталей марок 20, 30 и 35, а также легированных сталей 18ХГТ, 25ХГТ и 30ХГТ. На первом этапе определяли их химический состав, результаты которого представлены в таблице 1. Далее исследовали механические характеристики и микроструктуру образцов в исходном состоянии, а также после проведения термической обработки, включавшей закалку и последующий отпуск.

Твёрдость металлических образцов измеряли методами Бринелля и Роквелла с использованием соответствующих шкал HB, HRC и HRA. Для оценки микротвёрдости применяли метод Виккерса, результаты измерений выражали в единицах HV. В отличие от стандартных методов определения макротвёрдости, измерение микротвёрдости проводится при небольших нагрузках и позволяет исследовать локальные участки материала, включая отдельные структурные составляющие металлов и сплавов.

Определение микротвёрдости выполняли на приборе ПМТ-3 посредством вдавливания алмазной четырёхгранной пирамиды в поверхность предварительно подготовленного образца. Данный метод позволяет оценивать микротвёрдость отдельных фаз, поверхностных слоёв и твёрдосплавных покрытий деталей машин. Полученные результаты использовали для сравнительного анализа изменений структуры и свойств сталей под воздействием термической обработки [5].

Таблица 1

Химический состав углеродистых и легированных сталей

№ п/п	Марка стали	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	As	Fe
углеродистые стали											
1.	20	0,17 - 0,24	0,17 - 0,37	0,35 - 0,65	до 0,04	до 0,04	до 0,25	до 0,25	до 0,25	до 0,08	~97
2.	30	0,27 - 0,35	0,17 - 0,37	0,50 - 0,80	≤ 0,040	≤ 0,035	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,08	~98
3.	35	0,32 - 0,40	0,17 - 0,37	0,50 - 0,80	≤ 0,040	≤ 0,035	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,08	~98
легированные стали											
4.	18ХГТ	0,17 - 0,23	0,17 - 0,37	0,8 - 1,1	до 0,035	до 0,035	до 0,3	0,03 - 0,09 Ti	до 0,3	0,03 - 0,09 Ti	< 0,11 Mo
5.	25ХГТ	0,22 - 0,29	0,17 - 0,37	0,8 - 1,1	< 0,04	< 0,04	< 0,3	1 - 1,3	< 0,3	0,03 - 0,09 Ti	< 0,11 Mo
6.	30ХГТ	0,24 - 0,32	0,24 - 0,32	0,8 - 1,1	< 0,04	< 0,04	< 0,3	1 - 1,3	< 0,3	0,03 - 0,09 Ti	< 0,11 Mo

Результаты исследований и их обсуждение. В ходе работы были проведены металлографические исследования, измерения

твёрдости и микротвёрдости, а также испытания материала на абразивное изнашивание с использованием машины трения ПВ-7.

Объектом исследования служило износостойкое покрытие марки ПГ-С27, производимое из местного сырья на предприятии ХК «Metallmexqurilish».

Твёрдость образцов после отжига определяли на приборе Бринелля ТВБ-5004 посредством вдавливания стального шарика. Полученные значения находились в пределах 156–158 НВ. После закалки измерения проводили на твердомере Роквелла ТК-2 с применением алмазного конуса по шкале HRC. Твёрдость закалённых образцов составляла 58–60 HRC.

Микротвёрдость исследуемых материалов измеряли на приборе ПМТ-3 при нагрузке на индентор 100 г. Для вдавливания использовали алмазную пирамиду, а результаты выражали в единицах НВ. В связи с определённым разбросом экспериментальных значений каждое измерение выполняли многократно, после чего определяли наиболее достоверные показатели. Размеры исследуемых образцов составляли 15 × 15, 20 × 20 и 22 × 22 мм, а толщина нанесённого покрытия находилась в диапазоне от 2 до 3 мм [6].

Термическую обработку литых образцов и деталей из стали и чугуна осуществляли в несколько последовательных этапов. Первый цикл включал нагрев под закалку до температуры 900–1150 °С с последующим отпуском при 200–250 °С. Затем проводили промежуточный отпуск при температуре 600–650 °С. Вторая закалка выполнялась при 925–940 °С, после чего следовал окончательный отпуск при температуре 300 °С.

Исследуемые детали изготавливались из местного сырья Республики Узбекистан

методом литья по газифицируемым моделям в литейном цехе ХК «Metallmexqurilish». На рабочие поверхности изделий наносилось износостойкое твёрдосплавное покрытие, после чего детали подвергались термической обработке, предусматривающей двойную фазовую перекристаллизацию [7, 8]. Применение такой технологии обеспечило существенное повышение твёрдости и сопротивляемости абразивному изнашиванию — в три раза и более по сравнению с исходным состоянием материала.

Выводы. Результаты лабораторных и производственных испытаний показали, что относительная износостойкость экспериментальных деталей машин может превышать показатели серийных изделий в четыре раза. Для деталей без твёрдосплавного покрытия увеличение износостойкости составило приблизительно 1,2 раза. Нанесение твёрдосплавного покрытия позволило повысить данный показатель в 2,4–2,8 раза.

Наибольший эффект был получен при использовании износостойкого твёрдосплавного покрытия в сочетании с последующей термической обработкой методом двойной фазовой перекристаллизации. В этом случае износостойкость опытных деталей оказалась в 3,5–4,0 раза выше по сравнению с серийно выпускаемыми изделиями.

Разработанная инновационная технология внедрена в производственную деятельность ХК «Metallmexqurilish». Её практическое применение позволило увеличить срок службы деталей, снизить интенсивность их изнашивания и получить значительный фактический экономический эффект.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Губинский В.И. Металлургические печи: Учебное пособие. – Днепрпетровск.: НМетАУ, 2016. – 189 с.
2. Подгородецкий Г.С., Шульц Л.А. Современные направления развития и повышения энерго-экологической эффективности черной металлургии // Экология и промышленность России, 2016. Т.20. №4. – С.46-52.
3. Горицкий В.М., Шнейдеров Г.Р., Гусева И.А. Влияние химического состава и структуры на механические свойства низколегированных свариваемых сталей после термомеханической прокатки. – М.: Металлург, 2016. №5. – С.49-55.
4. Зубарев Ю.М. Методы получения заготовок в машиностроении и расчет припусков на их обработку. – М.: Лань, 2016. – 256 с.
5. Тилабов Б.К., Мухамедов А.А. Получение многослойных износостойких покрытий при литье изделий по газифицируемым моделям // Естественные и технические науки. – М.: 2017. №1. – С.67-68.
6. Мухамедов А.А., Тилабов Б.К. Повышение износостойкости деталей с твёрдосплавными покрытиями термической обработкой // Металловедение и термическая обработка металлов. – М.: 2014. №3. – С.29-31.
7. Tilabov B.K. Heat treatment of wear resistant hardalloyed coating of the details obtained by casting on gasified models. Известия на технически университет Габрово. Journal of Technical University of Gabrovo. – Bulgaria. Vol.49. 2015. – S.11-14.
8. Tilabov B.K. Optimal modes of heat treatment to improve the abrasive wear resistance of cast machine parts. European applied sciences. Europäische Fachhochschule. ORT Publishing. – Germany, 2016. #3. – S.35-38.

ОКТАБРЬ

№ 3(108)

2026

С О Д Е Р Ж А Н И Е

1. Химия и физикохимия композиционных материалов и нанокмпозитов

Негматов С.С., Юлдашев Н.Б., Негматова К.С., Раупова Д.Н., Исмаилов Р.И., Мусабеков Д.Х., Рахимов Х.Ю. Экспериментальное исследование процесса обезвоживания отработанного масла с применением деэмульгатора «КХД-М-1».....	3
Абед Н.С., Негматов С.С., Бухаров С.Н., Сергиенко В.П., Туляганова В.С., Сохобиддинова Ф.Ж., Эшкobilов О.Х., Джабаров Б.Т., Шамсиева С.С. Научно-технологические принципы создания и применения антиэлектростатических полимерных композитов и покрытий	6
Kucharov A.A., Yusupov F.M., Qurbonov A.R., Xalilov S.U., Toshboboyeva R.A. Sirt faol moddalarning ko'mirni boyitishdagi kolloid-kimyoviy mexanizmlari	11
Sayimova D.Q., Amonov M.R., Ramazonova Z.Y. Sorbentning sorbsion xossasiga kislotalik muhiti va sirt g'ovaklik o'lchamlarini ta'siri	16
Азизова Х.М., Каттаев Н.Т., Акбаров Х.И. Равновесные и кинетические характеристики сорбции меди(II) гранулированным амидоксимным ионитом	19
Umarova S.R., Ibragimova K.S., Xusenov A.Sh., Kiyamova M.I., Raxmanberdiev G. Monokarboksilinulinning sintezi va fizik-kimyoviy xossalari o'rganish	22
Berdiqulov B.Sh., Ixtiyarova G.A., Safarov A.R. Kaolin va Apis mellifera xitozan asosidagi kompozit biosorbentni sintez qilish va dastlabki tavsiflash	26
Abdurazakov S.E., Maksumova O.S., Fozilova U.J. Metakril kisloata asosida antipiren sintezi	30
Негматов С.С., Юлдашев Н.Б., Негматова К.С., Раупова Д.Н., Мусабеков Д.Х., Рахимов Х.Ю., Исмаилов Р.И. Методики определения физико-химических свойств отработанного масла после обработки композиционным деэмульгатором.....	33

2. Физико-механика и трибология композиционных материалов

Негматов С.С. Теоретические основы контактного взаимодействия антифрикционных композиционных полимерных материалов машиностроительного назначения с хлопком-сырцом	36
Тухтаев Ф.С., Мусоева Д.Н., Мардонова М.З., Махмудова М.М., Негматов С.С. Исследование физико-механических свойств полимер-полимерных композиционных материалов, наполненных минеральными ингредиентами	41
Каримов Ш.А., Алимбабаева З.Л. Темир кукуни асосли юкори ғовакли материал олиш ва унинг хоссалари	44
Yusupova S.Yu., Kamalova D.I. Polipropilen grafit kompozitlarining tuzilishi va mexanik xossalari grafit miqdorining ta'siri	46
Djabarov B.T. Elektrotexnika sanoati uchun polimer kompozit materiallarning elektrofizik xususiyatlari va ularni boshqarish usullari tadqiqoti	49
Кабулова Л.Б., Оразимбетова Г.Ж. Влияние глинистого сланца на физико-механические свойства и пуццолановую активность композиционного портландцемента	51
Тилабов Б.К. Анализ состава, свойств и структуры сталей, чугунов и сплавов и их термическая обработка	53
Axmedova M.F., Ubaydullayeva D.H. Ko'p davrli cho'zilish deformatsiyasini baholash metodikasini takomillashtirish	57
Arabov J.S., Matismailov S.L., Urmanov N.T., Islomova M.S., Ergashova J.J. Qutblangan elektr maydonida sintetik tolalarni emulsiyalashning fizik asoslarini tadqiq etish	59
Karimov K.A., Shaxobutdinov R.E., Karimova A.R., Xo'jamov A. Zoldir prokatlash valogi rebordalariga 35V9X3CF markali kukunli sim qoplama qoplash orqali ish unumdorligini oshirish istiqbollari	63
Абдурахимова М.И., Тухташева М.Н., Сапаров Б.Ж., Рахимов М.Ю. Оптимизация технологических параметров и исследование механических свойств композиционного покрытия ADC12/SiC для поверхностей корпуса редуктора	66