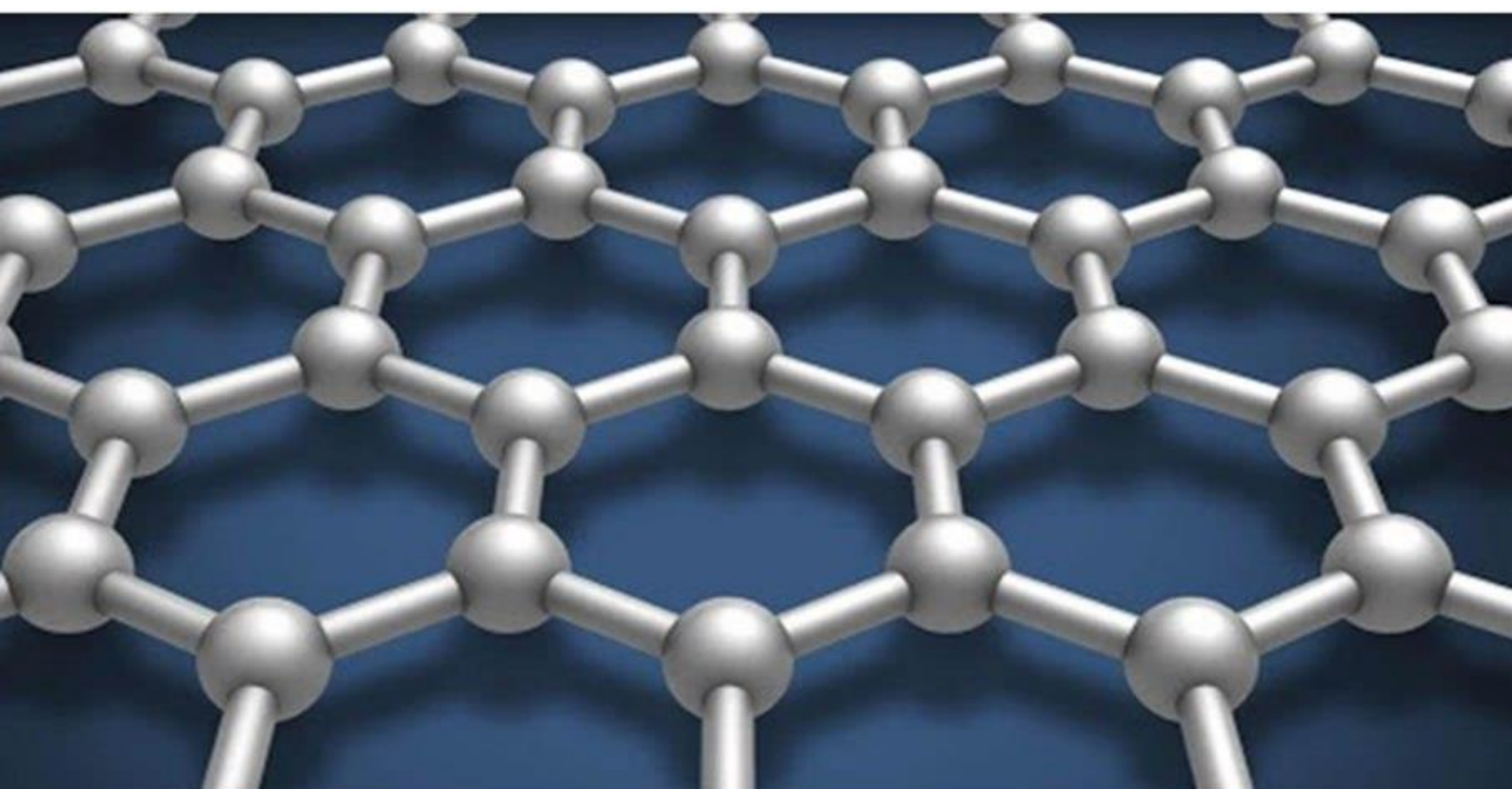


O'zbekiston

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Узбекский научно-технический и производственный журнал
Композиционные материалы

Современные пути получения органических биотоплив, альтернативных нефти и природному газу, многообразны. Технологии конверсии угля, твёрдых бытовых отходов, биомассы создают разнообразие возможностей и способны обеспечить устойчивое развитие химико-технологических и энергетических отраслей промышленности. Качественно новые возможности связаны со становлением и развитием биотопливной индустрии. Использование биогазового сырья позволяет параллельно решать и энергетические, и экологические, и социальные вопросы, как местного, так и более общего масштабов.

Key words: biogas, biofuels, saccharides, furfural, hydrolysis, pyrolysis, hydrogenolysis.

Modern ways of obtaining organic biofuels, alternative to oil and natural gas, are diverse. Technologies for the conversion of coal, municipal solid waste, biomass create a variety of opportunities and are able to ensure the sustainable development of the chemical-technological and energy industries. Qualitatively new opportunities are associated with the formation and development of the biofuel industry. The use of biogas raw materials makes it possible to simultaneously solve energy, environmental, and social issues, both local and more general.

Уринов У.К. Профессор декан факультет «Нефти и газа», ТГТУ
Атакузиева Д.Р. Старший преподаватель кафедры «Переработка нефтегазовых объектов», ТГТУ
Батиров А.М. Ассистент кафедры «Переработка нефтегазовых объектов», ТГТУ

УДК 621.78

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

А.А. Юсупов, Б.М. Сайдумаров, С.С. Файзуллаев

Введение. Предприятия сельскохозяйственного машиностроения Республики Узбекистан постоянно увеличивают выпуск хлопкоуборочных машин. При эксплуатации данной техники в результате абразивного изнашивания выходит из строя таких деталей как зубчатые колеса и вал-шестерени, в результате чего ежегодно расходуется большое количество металла для изготовления запасных частей. С каждым годом машиностроительная техника становится более сложной, и для обеспечения ее эффективного использования необходима мощная ремонтная база.

Работоспособность зубчатых колес во многом определяет долговечность их зубьев. Зубчатые колеса, как правило, изготавливают из низкоуглеродистой стали (содержание углерода $0,1 \div 0,25$ %) и подвергают их термической обработке – цементация, закалка и низкий отпуск. Сокращение времени обработки обеспечивает цементация в газовой среде. При этом расходуется много электроэнергии и газообразного углеводорода.

В последующие годы исследователями были предложены разные варианты термической обработки зубчатых колес, включая многократные нагревания и охлаждения в основном выше точки фазового превращения. Такую обработку называли термоциклической обработкой. Ее используют для измельчения зерна и снятия внутренних напряжений, что

обеспечивает повышение прочности и вязкости стали.

Анализ публикаций по термической обработке [1–3] показал, что в настоящее время для улучшения структуры и свойств сталей широко используют циклическую термическую обработку (ЦТО), которая эффективнее улучшает механические свойства сталей по сравнению с традиционными термическими обработками [2].

В настоящей работе исследования направлены на повышение износостойкости зубьев мелко модульных зубчатых колес из низколегированной стали 65Г применением ЦТО без изменения химического состава материала зубчатых колес. Положительные результаты достигнуты изменениями структуры материала в результате физических и химических процессов.

При ЦТО интенсифицируются диффузионные превращения в результате повторного ускоренного нагревания и охлаждения в стадии незаконченной перекристаллизации аустенита и еще несформированного роста зерен. Данный способ обработки основан на получении устойчивого аустенита путем размельчения структурных зерен и перераспределения дислокаций при высоких температурах, достигаемых индукционным нагреванием (ИН). В результате накопления структурных преобразований и фазовых превращений получали структуру стали, которую нельзя

получить традиционными способами термообработки.

Эффективность ЦТО зависит от последовательности операций, числа циклов, скорости нагревания и охлаждения, химического состава стали. Применения ЦТО с полиморфными превращениями и в условиях их отсутствия показали, что при нагревании и охлаждении сталей имеют место фазовые превращения. Для повышения износостойкости низколегированных сталей необходимо оптимизировать режимы ЦТО. Для этих целей исследовали структуры сталей и определяли износостойкость в условиях трения после предварительной ЦТО и последующей ИН образцов.

Материалы и методика исследования. В экспериментах использовали образцы из стали 65Г [3]. При ЦТО образцы диаметром 20 мм и высотой 7 мм нагревали высокочастотным током продолжительностью от нескольких до 20 с. Для нагревания использовали устройство ЛЗ107, для определения температуры – термодпары. Образцы нагревали до температур $T = 450, 550$ и $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, после чего их охлаждали. Для этого подавали охлажденный воздух. Повторная фазовая перекристаллизация сталей достигалась нагреванием до температуры $A_{c3} + (30 \div 50)\text{ }^{\circ}\text{C}$. Окончательное нагревание осуществляли при температуре $T = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$. Далее сталь охлаждали в масле и нагревали до температуры $T = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$, затем охлаждали подачей воздуха [7].

Металлографический анализ выполняли на ионном хроматографе Metrohm 850 Professional IC (SEM-EDX) и растровом электронном микроскопе Zeiss EVO MA 10 [5]. Структуру стали изучали с помощью спектрального рентгеновского анализатора Shimadzu [6]. Для определения износостойкости измеряли износ при трении образцов стали по неприкрепленным абразивным материалам и по металлу [6].

Результаты и обсуждение. Анализ состояния структуры предварительно термически обработанной стали 65Г с помощью ИН при разных температурах (в пределах докритической) после ЦТО показал, что дефектность кристаллической структуры стали мало зависит от температуры и числа циклов [7]. Установлено, что при нагревании выше критической температуры A_{c1} и при охлаждении подачей воздуха формировались примерно одинаковые структуры, при этом дефектности были разные.

Ранее в опубликованной работе [8] указаны значение показателя дефектности β , среднее значение β_{cp} и твердость HRC образцов из стали 65Г после ЦТО, индукционной заковки и отпуска при $T = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Лучшие результаты получены при

температуре $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ и числе циклов нагревания $N = 3 \div 5$. При других температурах (550 и $700\text{ }^{\circ}\text{C}$) дефектность кристаллического строения была неустойчивой или низкой. Хорошие результаты при $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ можно объяснить микропластической деформацией в результате быстрого теплообмена при циклическом нагревании. Образование второй фазы обусловлено микропластической деформацией зерен. В результате имело место интенсификация возникновения дислокаций, при этом высокая температура приводит к полигонизации структуры, что обеспечивает ее стабильность, в результате кристаллическая структура материала имеет невысокую дефектность.

Повторное нагревание выше температуры образования одноразовой полигонной структуры при высокой плотности дислокаций обеспечивает образование требуемой структуры. При ЦТО сталей при температуре до $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит интенсивная перекристаллизация структуры, при этом полигонная структура не образуется.

Сравнение результатов после ЦТО при температуре $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ и окончательной заковке ИН с результатами традиционной заковки ИН показало, что плотности дислокаций в первом случае повышаются незначительно. При одинаковой твердости ($59 \div 60\text{ HRC}$) разница ширины рентгеновских линий составила $\Delta\beta_{cp} = 5 \cdot 10^{-3}\text{ рад}$ [8].

Испытания на износостойкость образцов, прошедших разные режимы обработки, показали аналогичные результаты, что и выводы исследований микроструктур и тонких структур образцов. При ЦТО и ИН в образцах образовалась одинаковая микроструктура, зерна одинаковых размеров, образцы имели одинаковые твердости, отличие заключалось в дефектности кристаллической решетки.

В таблице представлены результаты испытания на износостойкость образцов из стали 65Г после термических обработок на разных режимах.

Установлено, что после трех циклов ЦТО при $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$, охлаждении воздухом, ИН при $T = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ и отпуске при $T = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 60 мин износостойкость стали 65Г на $25 \div 30\%$ выше по сравнению с износостойкостью образцов, подвергнутых другими видами термической обработки.

Рентгеноструктурный анализ образцов сталей, обработанных ИН при разных температурах, показал, что степень дефектности кристаллической структуры после заковки стали зависит от продолжительности нагревания (рисунок). Самый высокий показатель дефектности β структуры наблюдался при продолжительности нагревания $t = 4 \div 5\text{ с}$. Однако

эта закономерность может измениться при других размерах изделия.

Таблица

Результаты испытания на износостойкость стали 65Г после термообработки при разных режимах

Термообработка (Т, °С)	Δm_v , мг	Δm_n , мг	HRC	m_{cp} , мг
Индукционная закалка (900), отпуск (180)	59,07	29,06	53,5÷60	89,37
	65,00	28,86	53,5	
	61,53	28,78	58÷60	
	58,36	27,34	59	
Три цикла нагревания (450), индукционная закалка (900), отпуск (180)	46,09	22,14	59	66,78
	49,30	23,09	59	
	40,02	24,49	58	
	38,00	24,01	59	
Три цикла нагревания (550), индукционная закалка (900), отпуск (180)	60,33	22,05	59	82,14
	36,01	24,15	59	
	54,26	25,13	59	
	59,12	27,02	59	

Примечание. Обозначения: Δm_v и Δm_n – износы соответственно верхнего и нижнего образцов; $m_{cp} = (\Delta m_v + \Delta m_n)/2$.

Полученные результаты сравнивались с показателями образцов из стали 18ХГТ, прошедших нитроцементацию и термообработку.

Экспериментально был определен оптимальный режим термической обработки зубцов мелко модульных зубчатых колес из стали 65Г, который включает:

1. Циклическое нагревание (число циклов $N = 3$) при $T = 400 \div 500^\circ\text{C}$; охлаждение подает воздух до температуры $80 \div 100^\circ\text{C}$; при напряжении на аноде $V_a = 6,5 \text{ кВ}$ и силе тока $I_a = 5,5 \text{ А}$; сила тока составила $I = 0,55 \text{ А}$, зубья нагрелись до $T = 450^\circ\text{C}$, время нагревания составило $t = 3 \div 4 \text{ с}$; время охлаждения воздухом до температуры $T = 80 \div 100^\circ\text{C}$ составило 140 с.

2. Закалка при напряжении на аноде $V_a = 9 \text{ кВ}$ и силе тока $I_a = 8,5 \text{ А}$. Сила тока составила $I = 0,8 \div 1,8 \text{ А}$, зубья нагрелись до $T = 900^\circ\text{C}$, время нагревания 7 с, охлаждающая среда – масло.

3. Нагревание в селитровой ванне до $180 \div 200^\circ\text{C}$ в течение 60 мин, отпуск на воздухе.

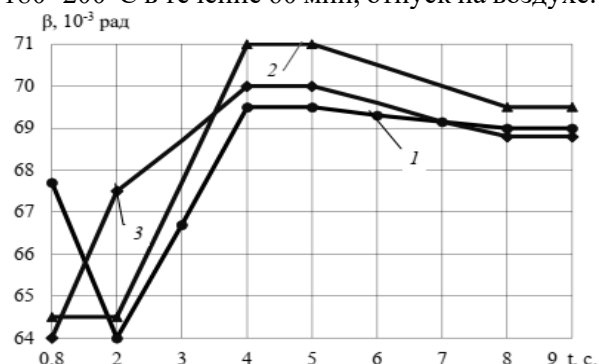


Рис. Зависимость показателя дефектности β стали от времени t термической обработки при $T = 870^\circ\text{C}$ (1); 900°C (2); 950°C (3)

Выводы. Зубья зубчатых колес из стали 65Г, прошедшие ЦТО и ИН, имели износостойкость в 1,3–1,4 раза выше износостойкости зубчатых колес с термообработкой традиционным ИН и в 1,2–1,3 раз выше износостойкости зубцов из нитроцементированной стали 18ХГТ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Structural heredity in the U-6Nb Alloy and Conditions for its Elimination / V. V. Sagaradze, Yu.N. Zuev, S. V. Bondarchuk, et. al. // The Physics of Materials and Metallography. 2013. Vol. 114. N. 4. P. 299–307.
2. Structural heredity in low-carbon martensitic steels / S. S. Yugai, L. M. Kleiner, A. A. Shatsov, N. N. Mitrokhovich // MetallSciens and teat treatment. 2004. Vol. 46. N. 11, 12. P. 539–542.
3. Бердиев Д. М., Юсупов А. А. Повышение износостойкости зубьев зубчатых колес циклической закалкой с индукционным нагреванием // Вестник машиностроения. 2020. №3 С. 50–52.
4. Батаев В. А., Батаев А. А., Алхимов А. П. Методы структурного анализа материалов и контроля качества деталей. М.: Наука, 2007. 224 с.
5. Горелик С. С., Скаков Ю. А., Расторгуев Л. Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. М.: МИСИС, 1994. 328 с.
6. Гаркунов Д. Н. Триботехника. М.: МСХА, 2005. 356 с.
7. Бердиев Д. М., Юсупов А. А. Повышение износостойкости стальных изделий методом нестандартных режимов термической обработки // Литьё и металлургия. 2021. № 2. С. 100–104.
8. Бердиев Д. М., Юсупов А. А., Тошматов Р. К. Совершенствование технологии термоциклической обработки для повышения износостойкость зубчатых колес // Вестник машиностроения. 2022. № 11. С. 69–72.

С.Б. Мирзажоннова, Б.Б. Юсупов, Н.У. Хасанова, Л.А. Буранов, Х.С. Аслонов. Извлечения металлов из техногенных отходов гидрометаллургическим способом	96
И.Н. Нугманов, Х.Х. Бобоев, Р.Х. Муродқосимов. Природа сверхпластического течения и ползучести.....	99
Б.К. Тилабов. Технологические процессы получения газифицируемых пеномоделей и стальных зубьев борона с износостойким твердосплавным покрытием и последующим упрочнением.....	101
У.К. Уринов, Д.Р. Атакузиева, А.М. Батиров. Технологические возможности получения газообразного сырья для процесса фишера тропша из биомассы	105
А.А. Юсупов, Б.М. Сайдумаров, С.С. Файзуллаев. Технология термоциклической обработки для повышения износостойкости зубчатых колес	108
Ш.Т. Тошматова, Н.Д. Тураходжаев, Н.Х. Таджиев, Ф.М. Махмудов. Микротўлқинли печи ёрдамида алюминий қотишмасини суюқлантириш технологияси	111
О.М. Ёқубов, А.С. Хасанов, И.С. Умаралиев, Х.Ю. Джумаева, Ж.Б. Суннатов, М.М. Якубов, Ш.А. Мухамеджанова. Обогащение и переработка техногенных образований на АО «Алмалыкский ГМК»	113
R.A. Abdirahimova, S.T. Yulchieva, Z.A. Smanova. Analytical application of modified polymer sorbents from waste fiber "nitron"	117
С.С. Бектурганова, С.Ф. Фозилов, Ж.О. Бобоев, Х.С. Фозилов, У.К. Уринов, Д.Р. Атакузиева. Шўртан газ-кимё мажмуаси иккиламчи маҳсулотидан метилэтилкетонни олиш ва тозалаш усуллари такомиллаштириш	119
А.А. Сарымсаков, Х.Э. Юнусов, М.М. Мирхалисов, В.Е. Агабеков, Ж.В. Игнатович. Воздухопроницаемый антибактериальный биоматериал со стабилизированными наночастицами серебра	123
Sh.A. Axmedova, N.D. Turaxodjayev, Sh.N. Saidxodjayeva. Additiv texnologiyalar yordamida ishlab chiqarilgan suyuqlantriv oluvchi modellar (LVM) yordamida quyma ishlab chiqarish texnologiyasi	127
Ж.М. Бегатов, М.С. Эргашев. Влияние режимов низкотемпературной нитроцементации на структуру и свойства стали X12Ф1	129
М. Каршиев, А. Саттаров, Ш. Мустафоев, Т. Пардаев, А.А. Етмишев. Технология получения фильтрующих элементов для очистки моторного масла автомобиля марки ISUZU методом осаждения в пористую заготовку из газопылевого потока воздуха с анизотропной структурой и внедрение их в промышленность.....	132
О.Г. Абдуллаев, А.В. Умаров. Тўйинмаган полиэфир смоласи ва «фарғонаазот» аж да ҳосил бўладиган қаттиқ чиқинди асосида автошпатлевка ишлаб чиқариш технологиясини йўлга қўйиш	135
4. Прикладные, экономические и экологические аспекты применения композиционных материалов	
Б.М. Абдураимов, А.И. Худойбердиев. Сополимеры в качестве структурообразователей для фарфоровой массы... ..	140
Н.А. Кадилов, М.Н. Мусаев, В.В. Зайниддинов. Саноат чиқиндилардан иккиламчи хом-ашё сифатида фойдаланишнинг замонавий усуллари	143
Д.Б. Саидмирзаева, Ш.П. Нуруллаев, И. Рўзматов, З.С. Алихонова, Х.С. Толипова, Ш. Қўзибоев. Магнит хоссали композицион адсорбентлар билан оқова сувларни нефть маҳсулотларидан тозалаш	145
К.М. Муртазаев, Х.Г. Азимов. Ёнғиндан ҳимояловчи, қавариқланадиган полимер композитларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини тадқиқ этиш	148
А.Г. Анисович, Т.Ж. Кодиров, У.О. Худанов, М.И. Маркевич, В.И. Журавлева, У.Б. Нуриддинов. Создание композиционных материалов на основе натуральной кожи	154
Д.Ш. Шакарова, Ч.К. Бегимкулова, А.Б. Ибрагимов. Наногибридный хитозан-кремнеземный адсорбент для извлечения ионов тяжелых металлов из загрязненных вод	157
Н.А. Игамкулова, Ш.Ш. Менглиев, Ш.А. Омонов. Саноат сорбентларининг деградацияга учраш сабабларини аниқлаш	160
М.Р. Амонов, К.А. Равшанов, М.И. Рахмонов, М. Бакаева. Битумные композиции на основе госсипола	162
Ж.К. Мухамедов, С.М. Турабжанов, Н.К. Насирова, К.Г. Мухамедов. Технология очистки сточных вод кожевенного производства	165
F.B. Isakulov, S.B. Raximov, Z.A. Smanova, Q.K. Arifjanov, B.R. Ummatova. O‘zbekistondagi tabiiy kaolinlarni temir va titan birikmalaridan tozalash va boyitish	168
И.О. Камолова, Р.Х. Сайдахмедов. Формирование наноструктуры на основе твердого сплава WC-CO искровым плазменным спеканием	170
5. Методы исследования, приборов и оборудования композиционных материалов	
С.С. Негматов, Т.У. Улмасов, Н.С. Абед, С.С. Жовлиев, Б. Хаминов, Б.Б. Эшмуротов, Ж.Н. Негматов. Релаксационные максимум взаимопроникающих полимерных сеток впис из эпоксидных и полиуретано полимеров... ..	173
Ш.Ш. Ахмадалиев. Кучланган-деформацияланган холат экспериментал тадқиқот усуллари таҳлили	177
М.Н. Мусаев, В.В. Зайниддинов, Н.А. Кадилов. Методы эффективного использования промышленных отходов автомобильной промышленности	179
A.SH. Bekmirzayev, D.A. Xandamov, R.J. Eshmetov, X.S. Talipova. Qo‘ng‘irtog‘ bentonitlarining aminlangan na‘munalarini iqtisodiy-spektroskopik ko‘rsatkichlari	181
Sh.P. Shumkarova, M.N. Rajapova. Comprehensive assessment of the quality of rubber-fabric jersey of different assortment	185
Ш.Ш. Менглиев, Н.А. Игамкулова, Г.А. Хакимова, Ж.Р. Эргашев. Определение качественного и количественного состава сивушных масел методом газожидкостной хроматографии	188
М. Каршиев, А. Саттаров, К.И. Юнусалиева, Ж.М. Бегатов, А.А. Етмишев. Регенерация фильтров для очистки питьевых вод из металлических порошков бронзы методом ультразвука	190
M. Ergashev, Z.Sh. Sadullayev, L.M. Raufov, A.A. Abdukaxxarov. Yeyilgan detallarni qayta tiklashning zamonaviy usullari	192