

ISSN 2091-5527

№ 2/2026

Ўзбекистон

# **K**ompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Ўзбекский научно-технический и производственный журнал

**Композиционные материалы**

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОВОЧНОГО ТЕПЛА ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДОЭВТЕКТОИДНЫХ СТАЛЕЙ

<sup>1</sup>Норхуджаев Файзулла Рамазанович, <sup>2</sup>Мухамедов Азод Анварович,  
<sup>3</sup>Маматкулов Рустам Шарип угли

<sup>1</sup>*Заведующий кафедрой "Материаловедения" ТГТУ имени И.А. Каримова.*

<sup>2</sup>*Доцент кафедры "Материаловедения" ТГТУ имени И.А. Каримова.*

<sup>3</sup>*Ассистент кафедры "Технологические машины и оборудование" Алмалыкского ГТУ*

**Аннотация.** Один из наиболее прогрессивных способов термической обработки - использование ковочного тепла. Обычно металл после горячей деформации охлаждается на воздухе до комнатной температуры и только после этого подвергается термической обработке. Целью данной работы является разработка условия охлаждения мелких поковок непосредственно после горячей обработки давлением, обеспечивающих измельчение продуктов распада аустенита в доэвтектоидных сталях 20, 45, 30X и 30Г без проведения последующих операций нормализации или улучшения.

**Ключевые слова.** Закалка, отпуск, механические свойства, электронагрев, охлаждение на воздухе, охлаждение в воде.

**Введение.** Одним из эффективных путей повышения производительности труда в промышленности является дальнейшая интенсификация производственных процессов на основе применения в технологических процессах высоких температур и давлений.

Применение высокотемпературного нагрева металла позволяет сократить время выдержки при нагреве деталей или заготовки под термическую обработку, а, следовательно, повысить производительность горячих цехов без расширения их площади. В современных условиях на заводах имеется возможность широкого использования высокотемпературного нагрева, применяя токи высокой частоты, безмуфельные печи и агрегаты - печи с радиационным нагревом, газовые печи и электропечи с нагревателями из специальных сплавов [1,2].

Использование тепла, оставшееся в заготовке после горячей прокатки,ковки,штамповки, для термической обработки позволяет интенсифицировать процесс термической обработки. Поэтому возможность использования нагрева металла до высоких температур при сохранении высокого качества обрабатываемых изделий должна быть изучена применительно к современным условиям.

**Обзор литературы.** Одним из перспективных направлений развития машиностроительной промышленности является интенсификация процессов термической и химико-термической обработки, поскольку длительность этих процессов, исчисляемая часами, нарушает ритм работы механообрабатывающих цехов и не позволяет создавать комплексные автоматизированные поточные линии.

Горячая обработка давлением и термическая обработка металла на большинстве предприятий в настоящее время производится

раздельно. Мерные заготовки перед ковкой,штамповкой, прокаткой и другими видами горячей обработки нагреваются. После обработки давлением деформированные заготовки охлаждаются на воздухе вблизи рабочего места. Большой запас тепловой энергии, имеющейся в поковках, излучается в окружающую атмосферу, создавая вредные условия труда рабочим цеха, после охлаждения холодные поковки транспортируются в термический цех или отделение, где их вновь нагревают до высоких температур под закалку,отжиг или нормализацию. Эта технически и экономически несовершенная технология горячей обработки металлов давлением существует почти на всех наших машиностроительных и металлургических заводах.

В связи с этим необходима разработка и внедрение нового комплексного технологического процесса, объединяющего горячую обработку давлением и термическую обработку.

Интенсификация процессов термообработки и совмещение процессов обработки давлением и термообработки вызвало проведение ряда работ по исследованию свойств сталей после высокотемпературной термообработки: цементации, закалки, термоулучшения, нормализации и т.д. [3,4].

Рассмотрим коротко состояние вопроса по изучению свойств сталей после некоторых видов высокотемпературной термической обработки.

Попытки сократить длительность процесса термообработки делались давно, и в особенности при цементации стали [5]. Известно, что ускорение диффузии углерода в железе идет за счет повышения температуры. Однако повышение температуры при

цементации во всех случаях сталкивалось с двумя отрицательными факторами.

Во-первых, резко падала стойкость печей, применяемых для термообработки, при применении температур выше  $1000^{\circ}\text{C}$  и, во-вторых, возникала опасность снижения механических свойств стали за счет увеличения размера зерна.

В последние годы первое препятствие стало все более устраняться, так как широкое применение находят нагрев токами высокой частоты и электроконтактный нагрев. При обработке с помощью токов высокой частоты /в том числе и при цементации/ тепло генерируется в самой детали, и температура нагрева не лимитируется стойкостью муфелей и нагревательных элементов.

Кроме того, в последние годы находят применение печи с радиационным нагревом, безмуфельные печи в качестве нагревателей новых сплавов [6].

Если вопрос с оборудованием решается удовлетворительно, то опасность снижения механических свойств стали из-за резкого, увеличения размеров аустенитного зерна изучен все еще недостаточно полно [6,7].

Как известно, температурой нагрева при термообработке доэвтектоидной стали принята температура  $A_{с3} + 30-50^{\circ}\text{C}$ . Все режимы термической обработки основаны на этом правиле. Такие ограничения температурного интервала ставятся с целью получения минимального аустенитного зерна, а, следовательно, и достаточно высоких механических характеристик после термообработки.

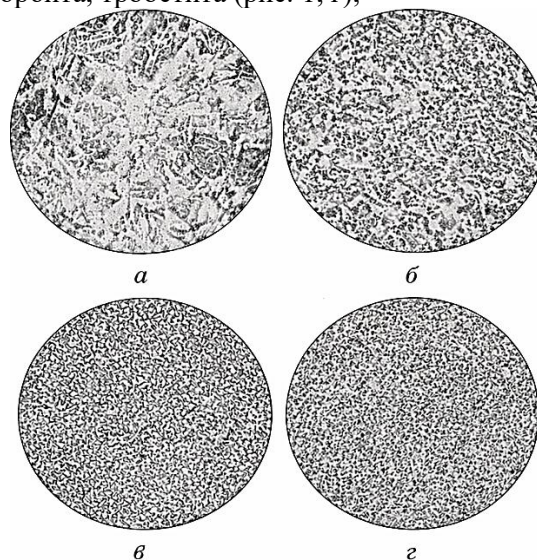
**Материалы исследования.** В исследуемых сталях получение мелкозернистой феррито-перлитной структуры при охлаждении на воздухе с высокой температуры нагрева затрудняется в связи с выделением избыточного феррита в виде игл или по границам зерен. Для подавления выделения избыточного феррита в опасном интервале температур  $700-650^{\circ}\text{C}$  охлаждение проводилось по схеме вода - воздух с различной степенью переохлаждения аустенита. Нагрев до высоких температур ( $1200^{\circ}\text{C}$ ) и прерывистое охлаждение осуществлялось на лабораторной установке, снабженной электроконтактами, бачком и душевым устройством.

Для исследования использовались микроструктурный, дюрOMETрический и рентгеноструктурный методы анализа. Анализируя данные, полученные в процессе исследования сталей после различных условий распада переохлажденного в воде крупнозернистого аустенита, весь интервал

температур (от точки  $A_1$  до точки  $M_n$ ) по изменению структуры в свойства условно можно разбить на четыре: 1)  $730-680^{\circ}\text{C}$  (режим охлаждения: вода 0,5 сек - воздух) – сохранение зерен аустенита вследствие выделения феррита в виде игл или по границам зерен (рис. 1, а);

2)  $650-550^{\circ}$  (режим охлаждения: вода 1,5-2 сек - воздух) получение мелкозернистой феррито-перлитной структуры (рис. 1, б). При этом с понижением температуры распада аустенита уменьшается количество и размер участков свободного феррита (рис. 1, в);

3)  $550-450^{\circ}\text{C}$  (режим охлаждения: вода 2,5-3 сек -воздух) получение структур типа сорбита, троостита (рис. 1, г);

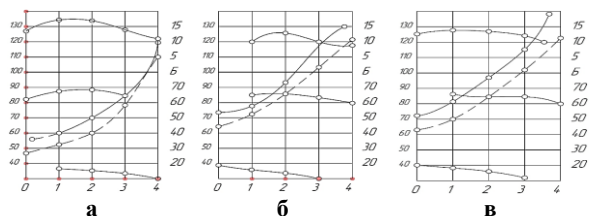


**Рис. 1. Микроструктура стали 20 после электронагрева до  $1200^{\circ}$ , подстуживания до  $900^{\circ}$  и распада переохлажденного в воде аустенита при температуре  $680^{\circ}$  (а),  $600^{\circ}$  (б),  $540^{\circ}$  (в) и  $450^{\circ}$  (г) X 200.**

В этом интервале температур могут наблюдаться смешанные структуры (состоящие из мелких полиэдрических участков феррита и игольчатых образований);

4) от  $450^{\circ}\text{C}$  до температуры  $M_n$  и ниже - получение игольчатых структур бейнита, мартенсита.

Изменению структуры с понижением температуры распада переохлажденного аустенита соответствует изменению механических свойств. Результаты механических испытаний ста марок 20; 30Х, 30Г после нагрева до  $1200^{\circ}\text{C}$ , подстуживания на воздухе до  $900^{\circ}\text{C}$  и охлаждения через воду на воздух с разной длительностью выдержки в воде приведены на рис. 2. Увеличение времени выдержки при охлаждении в воде приводит к непрерывному возрастанию прочностных свойств и снижению величины относительного удлинения. Значения ударной вязкости и относительного сужения вначале несколько возрастают, а за тем уменьшаются.



**Рис 2. Изменение механических свойств Ст20 (а), 30Х (б) и 30Г (в) после электронагрева по 1200°, подстуживания до 900° и охлаждения через воду на воздух**

**Обсуждения.** Оптимальное сочетание механических свойств достигается при условии охлаждения заготовок в воде в течение 3 сек. т. е. после распада переохлажденного аустенита в интервале температур 450-500°С и получения структуры сорбитного типа. Полученные значения механических свойств значительно выше, чем после обычной закалки и высокого отпуска (таблица).

Марка стали	№ режима	Термическая обработка	Механические свойства				
			$\sigma_{в1}$ кг/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{02}$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$\alpha_n$ , кгм/см <sup>2</sup>
20	1	Нормализация	42	25	25	55	5,5
45		Нормализация	60	32	20	45	8
30Г		Нормализация	60	36	18	45	6
20	2	Электронагрев до 1200 подстуживание на воздухе до 900, охлаждение в воде до 450°, затем на воздухе					
45		»	78	69	16	64	15
30Г		»	80	71	20	65	16
45	3	Закалка, высокий отпуск	69	86	17	45	14
30Г		Электронагрев до 1200° подстуживание до 900°, охлаждение в воде до 350- 300, затем на воздухе	85	58	13	35	6
45	4		75	50	15	50	7

После такого способа обработки, т. е. охлаждения в воде до 300°С и распада аустенита при температуре 500-450°С, в поверхностном слое глубиной до 2,0-2,5 мм за счет сильного переохлаждения образуется структура мартенсита и создаются остаточные напряжения сжатия. Последнее имеет большое значение для изделий, не подвергаемых в дальнейшем механической обработке (трубы, арматура, штанги и т. п.).

**Вывод.** В случае переохлаждения заготовок с температуры конца горячей обработки давлением (900°С) в воде в течение 2 сек и после распада переохлажденного аустенита при

температуре 600-550°С структуры, обеспечивается получение мелкозернистой феррито-перлитной структуры без проведения специальной операции нормализации. Комплекс механических, свойств после такого способа охлаждения значительно превышает получаемый после нормализации.

Таким образом, установлена возможность использования ковочного тепла для измельчения зерна и упрочнения доэвтектоидных сталей 20, 45, 30Г и 30Х непосредственно в процессе охлаждения заготовок после горячей обработки давлением.

**ЛИТЕРАТУРА**

- 1.Современные печные агрегаты. Составители М. Аларин, В.А. Володин и др. Металлургия НГТУ 2017 32с.
2. Расчеты нагревательных и термических печей Справочник под. ред. В.М. Томчака. М. Металлургия 1983,490с
3. Смирнов М.А. Основы термической обработки стали: учеб. Пос/М.А. Смирнов, В.М. Счастливцев, Л.Г. Журавлев. Екатеринбург: УрОРАН, 1999.-536 с.
4. Изучение кинетики распада аустенита в условиях непрерывного охлаждения экономно легированной стали для изготовления валков большого диаметра // Крылов С.Е., Якунина О.А., Фот А.П., Антонов С.М., Рушиц С.В., Чуманов И.В. // Электрометаллургия. 2013. - № 10. - С. 31-36.
5. Перевердев В.М., Колмыков В.И., Воротников В.А. Влияние карбидов на стойкость цементованных слоев к изнашиванию в кварцевом абразиве // МИТОМ. 1990. - №4. - С.45-47.
6. Гадалов В.Н. К вопросу о применении методов поверхностного упрочнения конструкционных и инструментальных материалов В современных условиях / В.Н. Гадалов, И.С. Захаров // Материалы и упрочняющие технологии. 2004. Сб. материалов XI юбилейной Росс., научно-техн. Конф. Курск: Курск ГТУ. 2004.- С.8-12.
7. Clarke A. J., Speer J. G., Matlock D. K., Rizzo F.C., Edmonds D.V., etc. Influence of carbon partitioning kinetics and final austenite fraction during quenching and partitioning // Scripta Materialia. 2009. Vol. 61. Pp. 149-152.

<b>Касимова М.Н., Негматова К.С.</b> Опыт-производственные испытания созданных композиционных материалов при крашении текстильных хлопчатобумажных материалов в производственных условиях ...	107
<b>Жуманов Ю.К., Эминов А.М., Кадирова З.Р., Эминов А.А.</b> Перспективы применения отработанного катализатора НИАП-1205 в составе керамического пигмента .....	110
<b>Азимова М.Х., Асамадинова У.Б., Элмурадов Аббосжон Х., Юлдашов Д.Я.</b> Роль и значение алюмосиликатных и органо-минеральных наполнителей в составе эластомерных композиций .....	115
<b>Кодиров О.Ш., Каттаев Н.Т., Нурманов С.Э., Бахридинова Л.А.</b> Синтез, структурные и физико-химические свойства цеолитов CaA5 и NaX на основе местного сырья для очистки природного газа .....	117
<b>Джумакулов Т., Жумаев М.Н., Максудходжаева М.С.</b> Переработка отработанных техногенных моторных масел .....	121
<b>Тошпулатова Г.Р., Сайдуллаева К.А., Негматова М.И.</b> Окисление молибденита (MoS <sub>2</sub> ) азотной кислотой в присутствии серной кислоты .....	123
<b>Ramazanov S.O., Arifova M.X.</b> Yangi xomashyolar asosida klinker va portlandsement tarkiblarini tanlash .....	126
<b>Ходжаева Д.Н., Рузиева Б.Ю., Негматов С.С., Абед Н.С.</b> Исследование и определение огнестойких свойств композиционных древесно-пластиковых и древесноволокнистых плитных материалов с использованием минеральных антипиренов .....	130
<b>Ortiqov Sh.Sh., Sharipov M.S., Radjabov O.I.</b> Tabiiy tarkibli kompozitsion yog'och yelimlarning fizik-kimyoviy va texnologik xossalari .....	133
<b>Хомитова Г.З., Амонова М.М.</b> Сапропелни механик фаоллаштиришнинг сорбцион хусусиятларига таъсири ва уни оқова сувларни тозалашдаги ўрни .....	136
<b>Buryanov A., Lukyanova N., Talipov N.</b> Effective filling mixtures based on synthetic anhydrite .....	138
<b>Раззоқов Х.Қ., Амонов М.Р., Тўхтаев С.А.</b> Сапропель асосидаги сорбентлар билан металлургия саноат оқова сувларини тозалаш .....	141
<b>5. Методы исследования, приборов и оборудования композиционных материалов</b>	
<b>Исмаилова Н.А., Сидиков А.С.</b> Использование органических соединений в качестве добавок к эмали ЭП-750 для защиты металлических конструкций, сооружений и оборудования бурильных установок .....	145
<b>Sadullayeva G.B., Ibragimova M.R., Xudoyberdiyeva D.A., Pirimova M.A., Jo'rayev A.Sh.</b> Mis atsetating izonikotinamid bilan yangi koordinatsion birikmasining sintezi va fizik-kimyoviy tahlili .....	147
<b>Norqobilov A.E., Adilov R.I., Ayxodjayev B.B., Yo'ldoshev S.B.</b> Kulrang past molekulari polietilen ranglanishining infraqizil spektroskopiya asosida tahlili va bentonit adsorbsiyasining roli .....	150
<b>Ochilov Sh.E., Yusufov M.S., Bobonazarova S.H., Bo'riyeva D.M., Abdushukurov A.K., Matchanov A.D.</b> 2-xlor-N-(3-xlor fenil)atsetamidning 5-ftoruratsil bilan reaksiyasini olib borish va olingan mahsulotning biologikfaolligini saraton hujayralarida o'rganish .....	153
<b>Норхуджаев Ф.Р., Мухамедов А.А., Маматкулов Р.Ш.</b> Использование ковочного тепла для термической обработки доэвтектонидных сталей .....	157
<b>Ахмадалиев Ш.Ш.</b> Толали композитлардан ташкил топган элементларни пресслаш .....	160
<b>Очилов Э.А., Хамдамова Ч.Х., Сайфиева П.О., Бекпулатов Х.О., Камолов Т.О.</b> Комплексный анализ элементного и фазового состава неорганических компонентов энергетических углей и золошлаковых отходов теплоэнергетики .....	161
<b>Po'latova M.N., Xushvaqto'v S.Y., Bekchanov D.J., Muxamediev M.G.</b> Amino va karboksil guruh tutgan ion almashinuvchi material sintezi .....	164
<b>Касимова М.Н., Негматова К.С., Икрамова М.Э., Бабаджанова М.А., Лапасова Ф.А.</b> Исследование свойств красящих композиций на основе солей поливалентных металлов, применяемых в процессе крашения шерстяных волокон .....	168
<b>Нурназарова Г.У., Тухтаев Ф.С., Негматова К.С., Эшпулатова Н.Ш., Рахматуллаева С.О.</b> Исследование молекулярных и структурных характеристик композиционных сорбентов методом ИК-спектроскопии .....	169