

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Д. Серикбаева

УДК66.065.32

На правах рукописи

Шаров Виталий Владимирович

«Структурно-фазовое состояние и критический диаметр прокаливаемости
легированных сталей при нормализации»

6N0604 «Физика»

Автореферат диссертации на соискание академической степени магистра

Научный руководитель: Скаков М.К.,
д.ф.-м.н., профессор

Республика Казахстан
Усть-Каменогорск, 2010

Объем: 87 страниц; **структура диссертации:** титульный лист; содержание; нормативные ссылки; определения, обозначения и сокращения; введение; литературный обзор; материал и методика эксперимента; экспериментальные результаты и их обсуждение; выводы и заключение; список использованных источников; приложения.

Количество иллюстраций: 46; **количество таблиц:** 17; **количество использованных литературных источников:** 45.

Перечень ключевых слов: Прокаливаемость, закаливаемость, критический диаметр прокаливаемости, критическая твердость, воздушная закалка, отпуск, критическая скорость закалки, термокинетические диаграммы, структура, фазы, микротвердость, категория прочности.

Актуальность исследования: Несмотря на то, что проблема прокаливаемости изучается давно и область исследований достаточно обширна, многие ее вопросы до конца не выяснены. Так, сравнение сортментов США и Японии с ГОСТ 4543-71 показывает, что ГОСТ 4543-71 имеет в 3-3,5 раза меньшее количество марок сталей с гарантированной полосой прокаливаемости, чем стандарты США (75% от общего количества марок) и Японии (60%), хотя справочные данные по прокаливаемости сталей методом торцевой закалки (ГОСТ 5657-82) приведены во многих марочниках сталей. К тому же отсутствие данных по прокаливаемости или же критическому диаметру прокаливаемости средне- и высоколегированных сталей после закалки на воздухе вызывает необходимость интенсифицирования исследований в этой области, поскольку это не может не сказаться на технологическом процессе производства деталей, так как прокаливаемость стали определяет технологичность изделий, собственно технологию их производства и эксплуатационные свойства. К примеру, некоторые легированные стали закаливаются на воздухе и в этом случае достигается наименьшая деформация, что имеет высокую практическую значимость, так как исключается технологический брак по деформациям и поломкам деталей при правке.

Цель исследования: Исследование влияния объемной воздушной закалки по технологии ТОО «Казцинкмаш» на прокаливаемость, фазовый состав, распределение структур и твердости по объему хромоникельмолибденовой стали.

Объект исследования: Сталь 34ХН1М в состоянии поставки – заводская поковка III группы с твердостью НВ 187 по ГОСТ 8479-70. Химический состав стали 34ХН1М соответствовал ТУ 24-1-12-179-75: 0,29% С; 1,42% Cr; 0,19% Si; 0,74% Mn; 1,28% Ni; 0,22% Mo; 0,023% S; 0,029% P; остальное Fe.

Сталь предназначена для изготовления валов, вал-шестерней, валов экскаваторов, муфт и других особо ответственных высоконагруженных деталей машиностроения, к которым предъявляются высокие требования по механическим свойствам. Детали из стали 34ХН1М могут работать при температуре до 500°С.

Методы исследования: В настоящей диссертации применялся метод объемной воздушной закалки стали 34ХН1М. Для оценки прокаливаемости стали 34ХН1М на воздухе были проведены следующие экспериментальные исследования вала диаметром 390 мм и длиной 850 мм:

1 Воздушная закалка по технологии: загрузка в шахтную печь типа Ц-105 при $T=300-400^{\circ}\text{C}$, подъем температуры со скоростью $50-60^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ до $T=850-870^{\circ}\text{C}$. Выдержка 3,5 ч, охлаждение в охладительном колодце под вентилятором (интенсивность и циркуляция воздуха, система охлаждения в охладительном колодце – технология ТОО «Казцинкмаш»).

2 Отпуск: загрузка при $T=300-400^{\circ}\text{C}$, подъем температуры со скоростью $50-60^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ до $T=630-650^{\circ}\text{C}$. Выдержка в течение 5-ти часов с последующим охлаждением на спокойном воздухе.

Отдельно после каждой операции на механической пиле с использованием СОЖ отрезали диск толщиной 25 мм. Затем для металлографического анализа и «точечного» измерения твердости фрезеровали образец высотой в радиус вала и шириной 25 мм. После чего, данный образец с использованием СОЖ разрезали на 3 равные части: поверхностный слой, переходной слой и сердцевина. Готовили шлифы.

Исследования структурно-фазового состава, распределения легирующих элементов и твердости проводились в лаборатории инженерного профиля «ИРГЕТАС» ВКГТУ им. Д. Серикбаева и металлографической лаборатории ТОО «Казцинкмаш».

Для реализации поставленной цели использовались прямые классические методы исследования в физике конденсированного состояния:

1 Металлографический анализ (металлографическая лаборатория на базе ТОО «Казцинкмаш»).

2 Методы механических испытаний – испытания на прочность, пластичность, ударную вязкость и твердость согласно ГОСТ 1497-84 и ГОСТ 9454-78 (металлографическая лаборатория на базе ТОО «Казцинкмаш»).

3 Рентгеновская дифрактометрия с использованием рентгеновского дифрактометра X'Pert PRO (НИИ нанотехнологий и новых материалов на базе ВКГТУ им. Д. Серикбаева).

4 Растровая электронная микроскопия с использованием сканирующего электронного микроскопа JSM-6390LV с приставкой энергодисперсионного анализа INCA Energy (НИИ нанотехнологий и новых материалов на базе ВКГТУ им. Д. Серикбаева).

5 Теоретический расчет идеального критического диаметра прокаливаемости и критической твердости стали по химическому составу.

Полученные результаты, их новизна, научная и практическая значимость: Научная новизна состоит в проведении комплексных исследований по изучению прокаливаемости среднелегированных хромоникельмолибденовых сталей после объемной воздушной закалки по технологии ТОО «Казцинкмаш». Так, в результате магистерской работы впервые исследовано влияние объемной воздушной закалки по технологии

ТОО «Казцинкмаш» на прокаливаемость, фазовый состав, распределение структур и твердости по объему хромоникельмолибденовой стали 34ХН1М.

На основании проведенных экспериментальных исследований можно сделаны следующие основные выводы:

1 В состоянии поставки стали 34ХН1М установлено, что основной составляющей структуры является дисперсный сорбит с межпластинчатым расстоянием 0,4-0,2 мкм. Более того, обнаружены обособленные участки избыточного феррита. Распределение структурных составляющих неоднородно. Воздушная закалка с отпуском формирует структуры бейнитного типа, представляющие собой рейки, объединенные в разориентированные пакеты. По морфологической модификации структура относится к типу нижнего бейнита, который образуется в интервале температур 350-250°C и имеет игольчатое мартенситоподобное строение. После воздушной закалки повторно обнаружены отдельные участки избыточного феррита. Преимущественно объемная доля избыточного феррита присутствует в поверхностном слое и по мере приближения к сердцевине она уменьшается. Нерастворенные участки грубых включений избыточного феррита уменьшают устойчивость переохлажденного раствора, инициируя его распад. Так, при охлаждении с температур закалки такие участки служат затравками для выделения из раствора основных фаз и прокаливаемость соответственно снижается. К тому же участки избыточного феррита опасны еще и тем, что после воздушной закалки не приобретают необходимую твердость, что сказывается на прочностной однородности закаленной детали.

В состоянии поставки стали 34ХН1М неоднородные обособленные участки феррита были отмечены и, вероятнее всего, температуры воздушной закалки и длительности выдержки не хватило для того, чтобы прошла полноценная диффузия и структура гомогенизировалась. Поэтому и после воздушной закалки в структуре имеются отдельные участки избыточного феррита. В связи с этим, представляется целесообразным проведение исследований по выявлению оптимальной температуры воздушной закалки и продолжительности выдержки с целью гомогенизации структуры и, соответственно, увеличения прокаливаемости и прочностной однородности.

Бейнитная морфология, образовавшаяся в стали при воздушной закалке, после отпуска трансформаций не претерпела. Выделения промежуточных карбидов, цементита и их коагуляции данным методом исследования установить не удалось.

2 Методом растровой электронной микроскопии установлено неравномерное распределение легирующих элементов в состоянии поставки стали 34ХН1М, в частности, флуктуации по Cr и Mn. Так, в структуре сорбита содержание Cr 2-4%, Mn – 0,81-1,37%, тогда как в ферритных областях содержание данных элементов меньше. Никель по своему процентному содержанию также имеет отклонение в структуре сорбита. Молибден присутствует лишь в структуре сорбита. После воздушной закалки выявлено наличие включений. Элементный анализ данных включений

показывает загрязненность оксидами и сульфидами MnS. Элементный анализ легирующих элементов показывает равномерное их распределение после воздушной закалки.

3 Анализ термокинетических диаграмм превращения аустенита позволяет заключить, что стали 34ХН1М и 34ХН3М могут закаливаться на мартенсит и на воздухе. Однако в технологическом процессе следует учитывать сечение заготовки.

4 Рентгеноструктурный анализ стали 34ХН1М в состоянии поставки и после воздушной закалки выявил наличие линий α -фазы: $(110)_\alpha$, $(200)_\alpha$, $(211)_\alpha$ и линий твердого раствора $\text{Cr}_{1,36}\text{Fe}_{0,52}$ - фазы. После воздушной закалки изменение фазового состава не наблюдается, однако установлено уменьшение интенсивности линий α -фазы и $\text{Cr}_{1,36}\text{Fe}_{0,52}$ - фазы. В данном случае, вероятнее всего, уменьшение интенсивности линий α -фазы и $\text{Cr}_{1,36}\text{Fe}_{0,52}$ - фазы после воздушной закалки объясняется разориентированными пакетами структур бейнитного типа.

5 Анализ значений макротвердости после воздушной закалки и отпуска показывает равномерное распределение по объему, перепад значений не превышает 7%. Естественно, при воздушной закалке были различия в скоростях охлаждения на поверхности и в центре вала, однако отсутствие пиковых перепадов твердости по сечению объясняется большим весом вала и, соответственно, недостаточно резким охлаждением, и, как следствие, передачей температуры нижележащих слоев (сердцевина) вышележащим (поверхностным). В данном случае свою роль сыграл процесс самоотпуска.

В связи с наличием в структуре прослоек избыточного феррита «провала» микротвердости обнаружить не удалось ввиду их малых размеров, вследствие чего замерить их микротвердость практически невозможно.

6 Теоретические расчеты идеального критического диаметра и критической твердости дают хорошую сходимость со справочными данными. Формулы для расчета делительных коэффициентов, твердости на заданном расстоянии от торца и идеального критического диаметра со структурой полной закалки (100% мартенсита) необходимо уточнить.

Таким образом, в заключении хотелось бы отметить, что данные по распределению структур, твердости и легирующих элементов после воздушной закалки позволяют судить о сквозной бейнитной прокаливаемости стали 34ХН1М на диаметр 390 мм, 100% бейнита и равномерном распределении легирующих элементов и твердости.

Присутствие избыточного феррита в структуре стали после воздушной закалки отрицательно сказывается на прочностной однородности закаленной детали. Поэтому для увеличения надежности и долговечности ответственных деталей, необходимо на производстве осуществлять входной контроль заготовок по структуре или совершенствовать технологический процесс закалки в плане повышения температуры нагрева или продолжительности выдержки с целью гомогенизации структуры.

Сведения о публикациях: Всего по результатам исследований в области структурно-фазовых состояний и свойств сталей и сплавов опубликовано в соавторстве 10 работ, в том числе по представляемой теме – 3 научные публикации: 2 статьи и 1 тезисы доклада Международных и Республиканских конференций.

Аңдатпа

Көлемі: 87 бет; **диссертацияның құрылымы:** титул беті; мазмұны; нормативтік сілтемелер; анықтамалар, белгілеулер мен қысқартулар; кіріспе; әдеби шолу; эксперимент материалы және әдістемесі; эксперименттік нәтижелер мен олардың талдауы; қорытындылар мен тұжырымдар; қолданылған әдебиеттер тізімі; қосымша.

Иллюстрациялар саны: 46; **кестелер саны:** 17; **қолданылған әдебиеттер саны:** 45.

Негізгі сөздер тізімдемесі: Қызуы, шындалуы, қызудың ауыспалы диаметрі, ауыспалы қаттылығы, ауадағы шындалуы, жіберілуі, шындалудың ауыспалы жылдамдығы, термокинетикалық диаграммалар, құрылымы, фазалар, микроқаттылық, беріктілік категориясы.

Зерттеудің өзектілігі: Орта және жоғары қоспадағы болаттың қызуы бойынша деректердің болмауынан ауада шындаудан кейін бұл салада интенсивті зерттеу қажеттілігі туындады, көптеген зерттеулер детальдардың құрылымы көлеміне қарай біркелкі бөлшектелуіне байланысты екенін көрсетіп отыр.

Зерттеу мақсаты: «Казцинкмаш» ЖШС технологиясы бойынша қызудың көлемді ауадағы шындалуына тигізетін әсерін, фазалық құрамын, хромоникельмолибденді болаттың қаттылығы мен құрылымының көлеміне қарай бөлшектелуін зерттеу.

Зерттеу нысаны: 34ХН1М болаттың жеткізілім кезіндегі күйі – III топтағы ГОСТ 8479-70 бойынша НВ 187 қаттылықты болаттың зауыттық оралымы.

Зерттеу әдісі: 34ХН1М болатының ауада көлемді шындалу әдісі; металлографиялық талдау; механикалық сынау әдісі; рентгендік дифрактометрия, энергодиспансерлік талдау қолданылған электронды микроскопия; қызудың ауыспалы диаметрі мен болаттың ауыспалы қаттылығының теориялық есебі.

Алынған нәтижелер, олардың жаңашылдығы, ғылыми және практикалық маңызы: Ауада шындаудан кейін қоспалы болаттың қаттылығы мен құрылымы бойынша деректер 34ХН1М болатының 390 мм диаметрге бейнитті қызуы, 100% бейнит және қоспалы элементтерді біркелкі бөлшектеу жайлы пікір айтуға мүмкіндік береді. Ауада шындалған болаттың құрылымындағы артық ферриттің болуы қызған детальдің біркелкі

мықтылығына кері әсер етеді. Жұмыс нәтижесінің ғылыми жаңашылдығы мен практикалық маңыздылығы сол, тұңғыш рет «Казцинкмаш» ЖШС технологиясы бойынша қызудың көлемді ауадағы шыңдалуына тигізетін әсері, фазалық құрамы, хромоникельмолибденді 34ХН1М.болатының қаттылығы мен құрылымының көлеміне қарай бөлшектелуі зерттеліп отыр..

Басылымдар туралы мәлімет: Болат пен оның қорытпасының фазалық-құрылымдық қалпын зерттеуде барлығы 10 бірлескен авторлық жұмыс басылып шыққан, соның ішінде ұсынылған тақырып бойынша – 3 ғылыми басылым: 2 мақала мен Халықаралық және Республикалық конференциялар баяндамаларының 1 тезисі.

The volume: 87 pages; **the structure of dissertation:** title page; the contents; the normative references; the determinations, indications and reductions; introduction; the literary review; the material and methodology of the experiment; the experimental results and their discussion; the conclusion; the list of the used sources; appendixes.

The amount of illustrations: 46; **the amount of the tables:** 17; **the amount of the used literary sources:** 45.

Keywords: hardenability, hardened, critical diameter of hardenability, critical hardness, air hardening, tempering, critical velocity of hardening, thermocinetical diagrams, structure, phases, microhardness, category of the strength.

The urgency of the study: The absence facts on hardenability of alloyed steels after the air hardening causes necessity of studies in this area since numerous studies is installed that carrier ability of detail is connected with the rational distribution of the structure on its volume.

The purpose of the study: the study of influence of the air hardening by technology of "Kazzinkmash" on the hardenability, phase composition, distribution of the structures and hardness on volume of steel 34CrNi1Mo.

The object of the study: steel 34CrNi1Mo in the as-supply condition – factory-made blank (was forgeable) of III group with the hardness HB 187 by GOST 8479-70.

The methods of the study: The method of the air hardening of steel 34CrNi1Mo; the method of metallography; the methods of the mechanical tests; the method of X-Ray analysis, the electron microscope with using of chemical analysis; the theoretical calculation of the ideal critical diameter of the hardenability and critical hardness of steel.

The results, their novelty, scientific and practical importance: Facts on the distribution of the structures, hardness and alloyed elements after the air hardening allows to judge about through beynit hardenability of steel 34CrNi1Mo on the diameter 390 mms, 100% of beynit and even distribution of alloyed elements and hardness. The presence of the surplus ferrite in structure of steel after the air hardening negatively tells on strong homogeneity of the hardened detail. Scientific novelty and practical importance of the results of work is concluded is that for the first time is studied the influence of the air hardening by technology of

"Kazzinkmash" on the hardenability, phase composition, distribution of the structures and hardness on volume of steel 34CrNi1Mo.

Information about publications: On results of the studies in the field of structured-phase conditions and properties of steels and alloys are published 10 works, including on the presented subject - 3 scientific publications: 2 articles and 1 theses of the report of International and Republican conferences.