

- Владимирский Р. А. и др.]; под ред. Ю. М. Пятинина. — [2-е изд.]. — М.: Машиностроение. 1982. — 528 с.
25. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки / [Г. Л. Амитан, И. А. Байсулов, Ю. М. Барон и др.]; под ред. В. А. Волосатова. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1988. — 719 с.
26. Смирнова Л. В. Высокоскоростное анодное растворение вольфрама и твердых сплавов типа ВК в водно-органи-

ческих растворах хлорида натрия [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.17.03 / Л. В. Смирнова. — Иваново, 2000. — 126 с.

27. Козлова Н. Б. Электрохимическое растворение молибдена, вольфрама и сплавов на их основе в водных и водно-органических растворах электролитов [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.17.03 / Н. Б. Козлова. — Иваново, 2003. — 133 с.

УДК 621.783

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ОДНОРОДНОСТИ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ НА КАЧЕСТВО ПОКОВОК КРУПНЫХ СЕЧЕНИЙ

**А. И. Волошин**  
Главный инженер\*\*

Контактный тел.: +38(06264)7-88-01  
E-mail: ztm@nkmz.donetsk.ua

**В. Е. Фельдман**  
Кандидат технических наук

Начальник центральной заводской лаборатории\*  
Контактный тел.: +38(06264)7-83-56, 067-377-67-10

**А. И. Шимко**  
Кандидат технических наук

Начальник лаборатории металловедения и термической обработки\*  
Контактный тел.: +38(06264)7-81-79, 050-222-25-09  
E-mail: mito@nkmz.donetsk.ua

**Л. П. Бундюк**  
Ведущий инженер лаборатории металловедения и термической обработки\*

Контактный тел.: +38(06264)7-81-79, 095-257-58-53

\*Отдел главного металлурга\*\*

\*\*Публичное акционерное общество  
«Новокраматорский машиностроительный завод»

ул. Орджоникидзе, 5, Краматорск, Донецкая область, Украина, 84305

*Приведені результати досліджень металу крупних поковок, нагріваючи на кування яких виконаний в печах старої конструкції і реконструйованих печах. Показано, що досягнута температурна однорідність робочого простору покращує якість великогабаритних поковок.*

*Ключові слова: температурна однорідність, ліквідаційні утворення, підплавлення, макроструктура.*

*Приведены результаты исследований металла крупных поковок, нагрев на ковку которых выполнен в печах старой конструкции и реконструированных печах. Показано, что достигнутая температурная однородность рабочего пространства улучшает качество крупногабаритных поковок.*

*Ключевые слова: температурная однородность, ликвационные образования, подплавление, макроструктура.*

*The results of researches of metal of large packing are resulted, warming on forging of which executed in the stoves of old construction and reconstructed stoves. It is rotined that the attained temperature homogeneity of working space improves quality of krupnogabaritnykh pokovok.*

*Keywords: temperature homogeneity, likvacionnyye educations, submelting, macrostructure.*

### 1. Введение

В результате обследования состояния нагревательных печей существующей конструкции, проектирование и строительство которых осуществлялось в конце 60-х годов прошлого столетия, был установлен ряд технических, конструкторских и технологических проблем, обуславливающих низкие эксплуатационные показатели печного оборудования. Так, для теплового ограждения применены шамотные огнеупорные материалы с общей толщиной стенки печей 1000–1300 мм. Использование

горелочных устройств прямого смешивании газ — воздух с управлением качества горения в ручном режиме приводило к местному повышению температуры и образованию пережога металла слитков и поковок. Наличие неплотностей в футеровке и подсос холодного воздуха обуславливали значительную часть потерь энергоносителей. В связи с наличием большого количества кислорода в атмосфере печей процесс нагрева сопровождается образованием окисной пленки толщиной до 16 мм. Точность ведения температурного режима в таких печах во многом зависела от субъективных факторов — опыта нагревальщика,

длительности эксплуатации печей, состояния горелок и подины печей. Как результат, удельный расход топлива на нагрев под ковку составлял 315–355 кг у. т. на тонну поковок, а перепад температур по сечению садки достигал  $\pm 40$  °С.

Необходимость создания современных нагревательных печей была продиктована не только стремлением к наиболее эффективному использованию энергоресурсов, снижению энергозатрат в процессе нагрева поковок в ходе ихковки, сокращению длительности режимов, но и к обеспечению температурной равномерности в каждой точке печного пространства  $\pm 10$  °С в диапазоне температур 600...1250 °С.

Последнее требование к эксплуатационным характеристикам нагревательных печей имеет немаловажное значение, т. к. ряд исследований показал пагубное влияние неоднородности распределения температур в объеме печи на качество металла поковок крупных сечений.

## 2. Экспериментальная часть

Исследовали опорный валок, изготовленный из слитка слитка массой 82,0 т стали 70ХЗГНМФ. При проведении ультразвукового контроля в его бочке были обнаружены дефекты, превышающие требования технических условий. Более того, на отдельных участках скопления выявленных дефектов наблюдалось экранирование донного сигнала, что свидетельствовало о наличии в этих зонах протяженных несплошностей металла. После разрушения валка в поперечном направлении в результате механического воздействия образовавшаяся поверхность посредством механической обработки была подготовлена для исследования макроструктуры методом серных отпечатков и травления.

Серный отпечаток отразил различное распределение сернистых включений по сечению бочки валка (рис. 1).

Поверхностная зона на глубину ~100 мм характеризуется равномерным точечным распределением сернистых включений (рис. 1,а). Далее по сечению сернистые включения образуют ликвационные образования, имеющие вид темных пятен  $\sim \varnothing 3 \div 5$  мм (рис. 1,б). В осевой зоне сечения на диаметре ~180 мм размеры ликвационных образований достигают  $\sim \varnothing 30$  мм (рис. 1,в).

Макроструктуру металла исследовали после травления 15 % раствором персульфата аммония с последующим «отбеливанием» 10 % раствором азотной кислоты.

Металл после травления выявил неравномерную травимость. Во всех зонах сечения, за исключением кольцевой полосы у поверхности валка, на сером фоне основного металла выявлены ликвационные образования в виде светлых пятен (рис. 2). До глубины ~300 мм ликваты имеют размеры  $\sim \varnothing 3 \div 5$  мм, далее от 300 до 600 мм размеры ликвационных образований увеличиваются до  $\varnothing 10 \div 15$  мм и в осевой зоне сечения на  $\sim \varnothing 200$  мм размеры ликватов составляют  $\sim \varnothing 30 \div 35$  мм.

Ликвационные образования в зоне на половине радиуса сечения и в осевой зоне сопровождаются разноориентированными нарушениями сплошности металла протяженностью  $\sim \varnothing 5 \div 100$  мм. С увеличением размеров ликвационных образований увеличиваются и размеры несплошностей металла, располагающихся в участках структурной неоднородности.

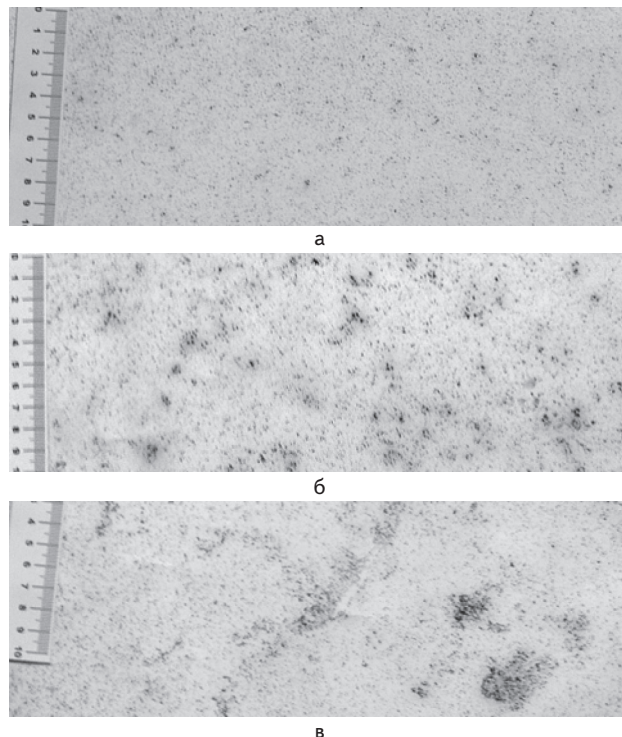


Рис. 1. Фрагмент серного отпечатка снятого по сечению бочки валка: из поверхностной зоны (а), зоны на 1/2 радиуса (б), осевой зоны (в)

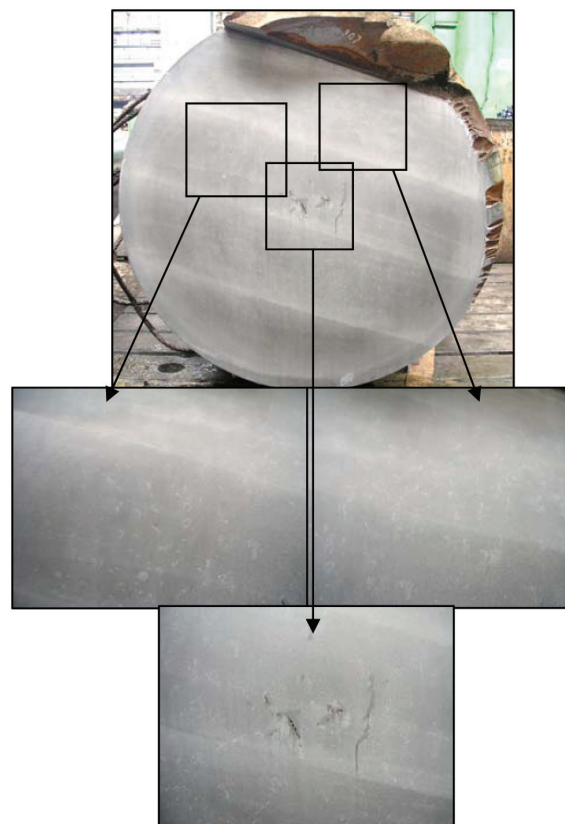


Рис. 2. Макроструктура поперечного сечения бочки исследуемого валка

По выявленным в макроструктуре ликвационным образованиям отобрали трепаны  $\varnothing 25$  мм длиной 170 мм с целью исследования характера распределения химических элементов в металле, изучения микроструктуры.

Химический состав металла, по месту расположения ликвационных образований и вне их расположения, определенный спектральным методом, приведен в табл. 1.

данной статьи отметим очень важный аспект этой проблемы. Разница в химическом составе металла близрасположенных участков определяет различный уровень физико-механических свойств этих участков.

Таблица 1

Анализируемый металл	Номер обжига	Содержание химических элементов, %								
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V
По ликвац. образ.	1	0,85	0,47	1,15	0,041	0,056	3,40	0,35	0,70	0,17
	2	0,87	0,49	1,19	0,045	0,061	3,48	0,36	0,74	0,18
	3	0,90	0,47	1,88	0,057	> 0,18	3,67	0,33	0,87	0,21
	4	1,0	0,47	1,24	0,076	0,078	3,95	0,34	1,0	0,24
	5	0,91	0,46	2,09	0,052	> 0,18	3,79	0,33	0,98	0,22
Вне ликвац. образ.	6	0,80	0,44	0,95	0,015	0,016	2,80	0,37	0,44	0,12
	7	0,76	0,44	0,92	0,013	0,012	2,67	0,37	0,40	0,10
	8	0,77	0,45	0,95	0,013	0,011	2,71	0,37	0,40	0,10
	9	0,79	0,44	0,91	0,015	0,007	2,76	0,36	0,43	0,11
	10	0,77	0,44	0,90	0,013	0,005	2,72	0,37	0,41	0,10
Анализ ковшевой пробы		0,72	0,40	0,90	0,015	0,013	2,73	0,37	0,50	0,11
Сталь 70ХЗГНМФ		0,65	0,40	0,90	≤	≤	2,70	0,35	0,50	0,10
		—	—	—	0,020	0,015	—	—	—	—
		0,75	0,60	1,30			3,30	0,50	0,70	0,30

Существенное отличие в содержании химических элементов по ликватам и вне их расположения обусловлено зональной ликвацией в процессе кристаллизации слитков большой массы. Анализ ликвационных процессов заслуживает особого внимания, однако в рамках

Используя широко применяемые формулы расчета [1, 2], определили температуры «солидус» и «ликвидус» для металла по ликвационным образованиям и вне их расположения. Оказалось, что температура «солидус» для металла ликватов соответствует 1183 °С, а для металла свободного от структурной неоднородности — 1364 °С. Менее существенное различие в температурах «ликвидус»: по ликватам она соответствует 1435 °С, вне их расположения — 1467 °С.

Макроструктура продольных трепанов представлена на рис. 3–5. Ликваты в металле трепанов имеет форму пятен размером ~15 × 10 мм (рис. 3, 4) и полос ~10 × 90 мм (рис. 5) и сопровождаются нарушением сплошности. Наиболее представительные несплошности с целью изучения излома по дефектам были раскрыты под прессом. Излом по выявленным в ликвационных образованиях несплошностям имеет грубокристаллическое камневидное строение без температурного окисления. Подобное строение поверхности разрушения свидетельствует об образовании несплошностей при высоких температурах — периоде, характеризующимся крупным аустенитным зерном.

В результате анализа выполнения технологических процессовковки валка установлено, что нагрев слитка

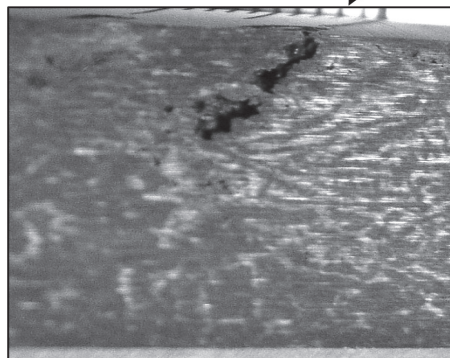
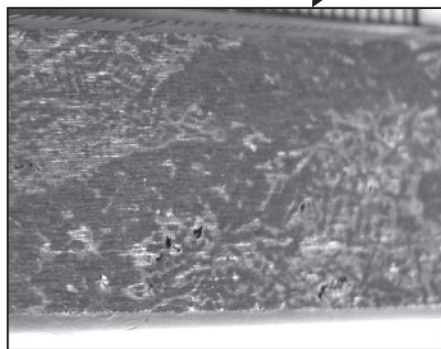
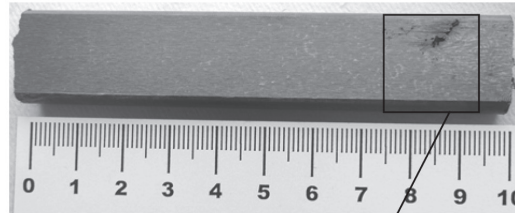
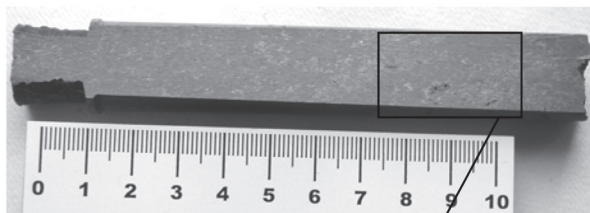
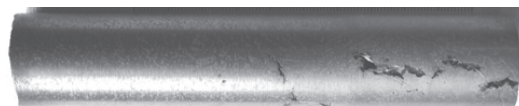
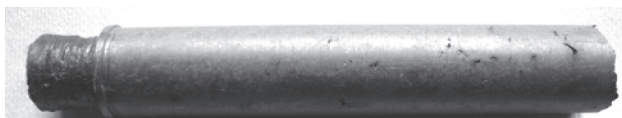
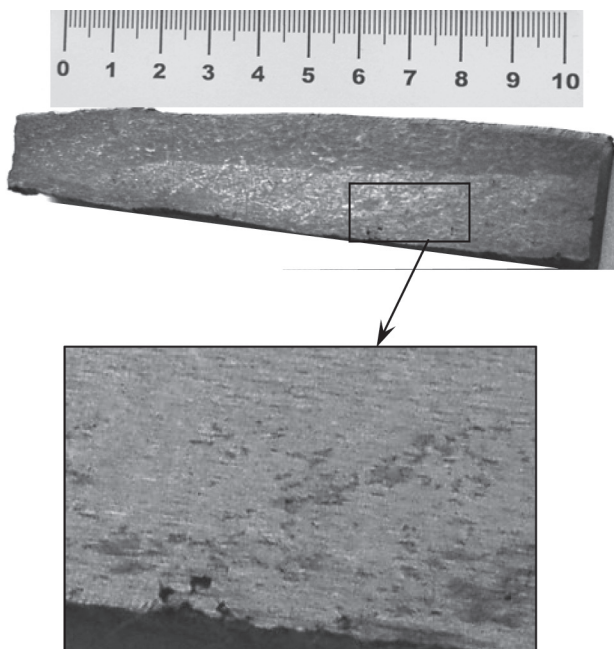


Рис. 3. Макроструктура трепана, отобранного в зоне на половине радиуса бочки валка

Рис. 4. Макроструктура трепана, отобранного в центральной зоне сечения бочки валка



**Рис. 5.** Макроструктура трепана, отобранного в центральной зоне сечения бочки валка

и поковки на промежуточных операциях осуществлялся в нагревательных печах старой конструкции, характерной особенностью которых является температурная неоднородность по объему печей. В некоторых случаях при замере температуры на поверхности слитков (поковок) инфракрасным пирометром в процессе нагрева на операцииковки разница достигнутой температуры металла в зависимости от места нахождения поковки на подине нагревательной печи соответствовала 50–80 °С.

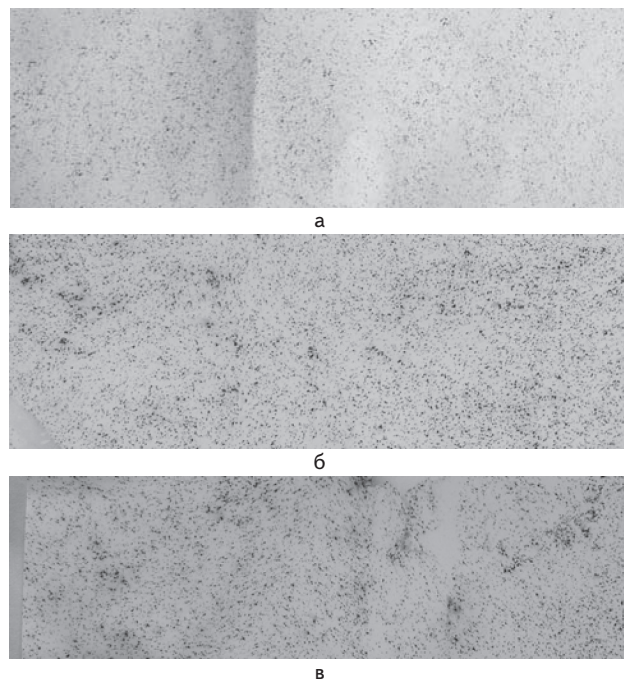
По всей видимости, образование несплошностей в местах наличия ликватов происходит по следующему механизму. Обогащенные ликвирующими примесями отдельные участки в структуре металла имеют более низкую температуру плавления по сравнению со сталью вне их расположения (в нашем случае 1183 и 1364 °С соответственно). В процессе нагрева на заданную температуруковки (1150 °С) из-за температурной неравномерности в рабочем пространстве печи металл поковок, находящихся в зонах с более высокой температурой (на 50...80 °С выше заданной), в участках ликвационных образований подплавляется и размягчается. Вследствие малой прочности этих участков при деформации в ходековки в местах ликватов образуются разрывы. Эти разрывы при дальнейших операцияхковки могут завариваться, но в осевой зоне, характеризующейся малыми степенями деформации, эти нарушения сплошности сохраняются. Наличие несплошностей фиксируется при УЗК и существенно снижает эксплуатационные характеристики валков. Предложенный механизм образования разрывов при ковке валка подтверждается другими исследователями [3, 4].

Таким образом, отсутствие температурной однородности в рабочем пространстве нагревательной печи отрицательно сказывается на качестве заготовок, инициируя возникновение дефектов в процессе пластической деформации вследствие создания условий, обеспечивающих различный уровень физико-механических свойств металла соседних участков, содержащих и не содержащих в макроструктуре ликватов, по сечению крупногабаритных поковок.

В доказательство приведенным выводам об образовании нарушений сплошности в сечении крупных поковок в процессе их отковки из-за температурной неоднородности по объему нагревательной печи подвергли разрезке макет валка из стали 70ХЗГНМФ, изготовленный из слитка 82,0 т, такого же чертежа, что и исследованный ранее. Технология изготовления макета валка, учитывая одинаковые их размеры, не отличалась от технологии изготовления ранее исследованного валка ни по производству исходного слитка, ни по схеме и температурным параметрамковки, ни по режимам предварительной термической обработки. Отличие состояло лишь в том, что нагрев слитка и поковки в процессековки макета был осуществлен в одной из нагревательных печей после ее коренной реконструкции.

В результате проведенного ультразвукового контроля бочки макета в состоянии изотермического отжига внутренних дефектов, превышающих установленный уровень, не было обнаружено. В отдельных участках наблюдалось понижение донного сигнала ниже уровня фиксации, что было обусловлено крупнозернистым строением центральных зон сечения.

После разрезки бочки макета поверхность реза подготовили для исследования макроструктуры. Фрагменты серного отпечатка с поперечного сечения бочки приведены на рис. 6.



**Рис. 6.** Фрагмент серного отпечатка, снятого по сечению бочки макета валка: из поверхностной зоны (а), зоны на 1/2 радиуса (б), осевой зоны (в)

Характер распределения сернистых включений в металле макета был аналогичен характеру распределения сульфидов по сечению бочки исследованного валка. В поверхностной зоне сернистые включения распределены равномерно без видимых ликвационных образований (рис. 6,а). На половине радиуса сечения бочки макета проявляются ликваты сульфидов в виде пятен неправильной формы размером 3–5 мм (рис. 6,б). В осевой зоне сечения ~ Ø 200 мм ликваты имеют овальную форму и достигают размеров 8 × 30 мм (рис. 6,в).

В макроструктуре металла макета, выявленной в результате травления 15 % раствором персульфата аммония с последующим «отбеливанием» 10 % раствором азотной кислоты, обнаружена структурная неоднородность в виде светлых пятен неправильной формы, разного размера, отличающаяся по травимости от основного металла. Структурная неоднородность проявляется, в основном, в зоне на половине радиуса сечения и осевой зоне. Кольцевая полоса шириной ~200 мм у поверхности бочки свободна от ликвационных образований, далее до глубины ~600 мм от поверхности ликваты имеют размеры ~ Ø 3...5 мм. В осевой зоне на ~ Ø 200 мм обнаружены отдельные ликвационные образования размером 20 × 8 мм, 15 × 7 мм, 10 × 12 мм (рис. 7). Следует отметить, что с приближением к центру сечения плотность распределения ликвационных участков возрастает. Ни в одном из ликвационных образований, исследованных на поперечном сечении бочки макета, нарушений сплошности не было обнаружено.

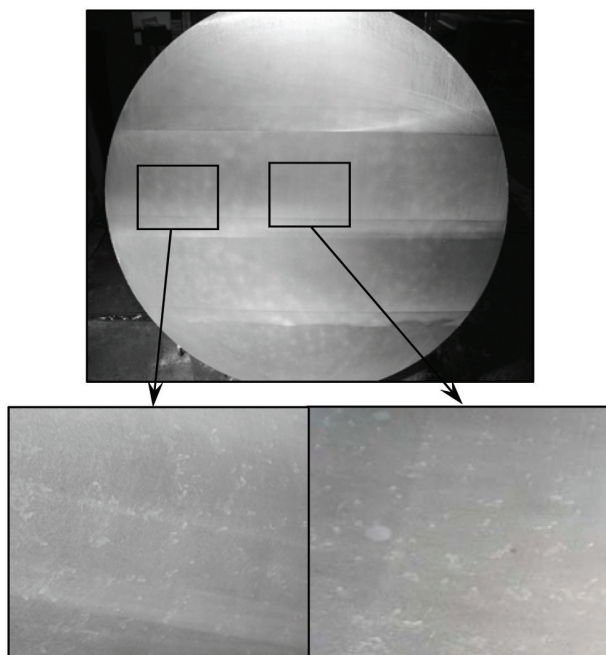


Рис. 7. Макроструктура поперечного сечения бочки макета исследуемого вала

Для дальнейшего исследования в различных зонах сечения бочки макета по ликвационным образованиям и вне их расположения были отобраны трепаны Ø 25 мм длиной 170 мм в осевом направлении. В макроструктуре металла трепанов по подготовленным плоским площадкам после травления выявлены ликвационные образования в виде отдельных пятен (рис. 8) и полос (рис. 9). Как показало исследование макроструктуры металла трепанов ликвационные образования нарушением сплошности не сопровождаются.

Химический состав металла исследованных трепанов по ликвационным образованиям и вне их расположения приведен в табл. 2.

Как и при химическом анализе металла исследованного вала из стали 70ХЗГНМФ (табл. 1) в металле макета вала обнаружили существенное отличие в содержании химических элементов по участку ликвационных образований в сравнении с основным металлом, где в макроструктуре проявлений структурной неоднородности не наблюдалось. Из-за значительной разницы химического

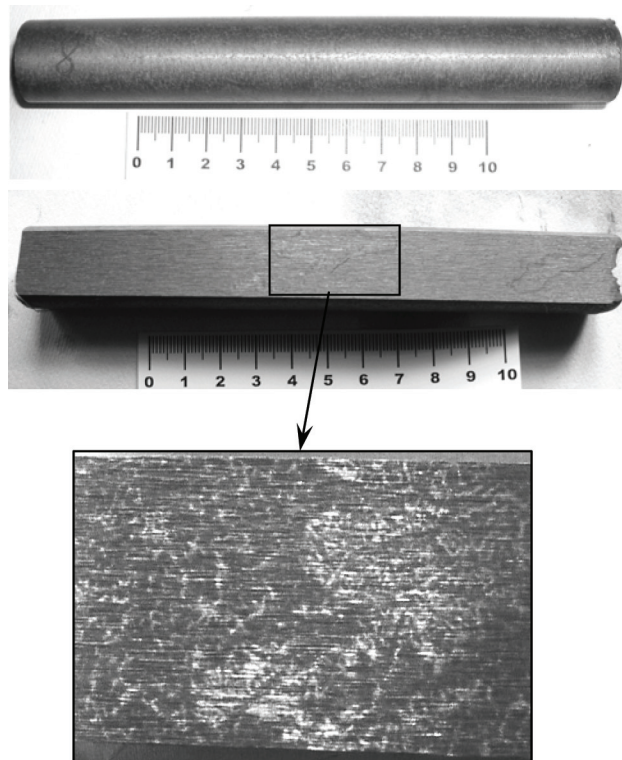


Рис. 8. Макроструктура трепана из зоны на 1/2 радиуса сечения бочки макета

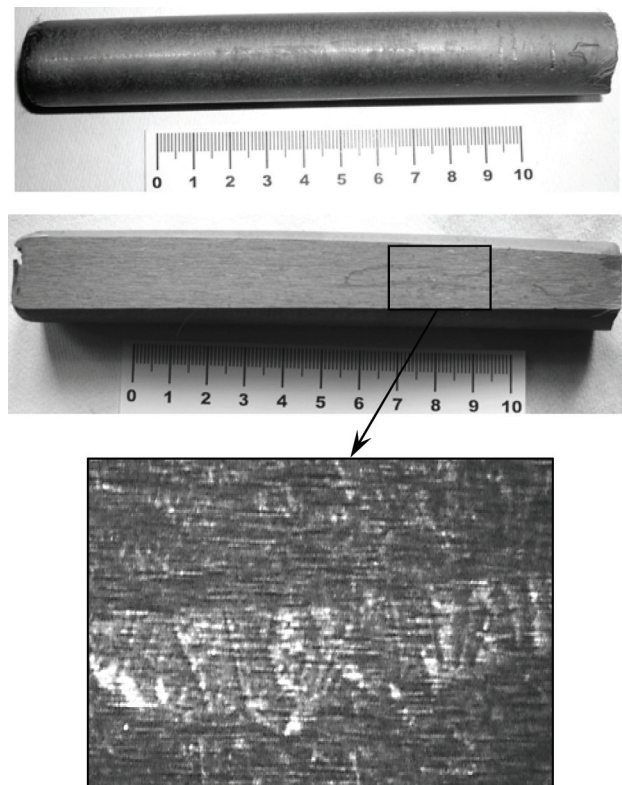


Рис. 9. Макроструктура трепана из осевой зоны сечения бочки макета

состава соседних объемов металла близрасположенные участки обладают различными свойствами.

Температура «солидус» металла ликвационных образований, определенная расчетным методом [1, 2], соответствует 1172 °С, основного металла — 1355 °С. В тоже

Таблица 2

Анализируемый металл	Номер обжига	Содержание химических элементов, %								
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V
По ликвац. образцов.	1	0,90	0,48	1,23	0,043	> 0,18	3,35	0,24	0,68	0,17
	2	0,94	0,46	1,06	0,057	0,043	3,24	0,25	0,69	0,16
	3	0,89	0,45	1,14	0,040	0,044	3,39	0,23	0,67	0,15
	4	1,02	0,45	1,15	0,056	0,083	3,30	0,23	0,78	0,14
	5	0,88	0,45	1,03	0,033	0,050	3,29	0,23	0,71	0,19
Вне ликвац. образцов.	6	0,77	0,41	0,89	0,020	0,017	2,70	0,24	0,46	0,10
	7	0,78	0,43	0,90	0,022	0,021	2,76	0,24	0,50	0,11
	8	0,77	0,41	0,91	0,019	0,015	2,75	0,24	0,51	0,11
	9	0,76	0,42	0,91	0,023	0,019	2,68	0,24	0,49	0,10
	10	0,78	0,43	0,91	0,024	0,018	2,74	0,24	0,51	0,11
Анализ ковшевой пробы		0,71	0,43	0,91	0,020	0,014	2,71	0,25	0,50	0,10
Сталь 70ХЗГНМФ		0,65	0,40	0,90	≤	≤	2,70	0,35	0,50	0,10
		0,75	0,60	1,30	0,020	0,015	3,30	0,50	0,70	0,30

время температуры «ликвидус» для металла ликватов и основного металла отличаются незначительно — 1443 и 1465 °С соответственно.

Судя по достаточной близости температуры «солидус» металла макета валка в участках ликвационных образований (1172 °С) и температуры нагрева на операцииковки (1150 °С) существовала опасность подплавления ликвационных участков и, как следствие, образования по ним разрывов в ходе выполнения операцииковки. Результат подобного явления зафиксирован нами в макроструктуре исследованного валка (рис. 2–5). При изучении макроструктуры металла макета валка в выявленных участках ликвационных образований нарушений сплошности не обнаружено.

Принимая во внимание идентичность технологических процессов изготовления забракованного по результатам УЗК валка и макета валка, наличие в макроструктуре ликвационных образований, близких по составу и сходной степени развития, одинаковые размеры двух поковок, образование разрывов по ликватам при отковке валка можно объяснить лишь размягчением и частичным подплавлением металла в участках структурной неоднородности из-за превышения фактической температуры нагрева на ковку температуры «солидус» локальных объемов металла. Это фактически достигаемое превышение температуры нагрева обусловлено температурной неоднородностью в рабочем пространстве нагревательной печи существующей модели.

Коренная реконструкция нагревательной печи, включившая целый комплекс технологических и конструктивных решений, а именно:

- применение современных газогорелочных устройств и оптимальное их размещение для создания равномерного температурного поля в рабочем пространстве печи;
- использование комбинированной схемы теплового ограждения — свод печи выполнен керамоволокнистыми теплоизоляционными материалами, а стены — легковесным шамотом и теплоизоляционными плитами;
- использование режимов импульсного управления горелками;

- рациональный выбор многослойной композиции огнеупорных материалов на основе разработанного графоаналитического метода определения необходимых характеристик керамоволокнистых изделий;

- применение автоматизированного ведения режима нагрева с использованием микропроцессорной техники;

- обеспечение герметичности печи в результате применения боковых прижимов и лабиринтного затвора, исключающих попадание светового излучения на металлоконструкции, позволила создать современное автоматизированное теплотехническое оборудование, возможности которого обеспечивают проведение операций по нагреву поковок в строгом соответствии с заданными параметрами.

В результате существенно улучшены теплотехнические характеристики при эксплуатации нагревательных печей — расход топлива на нагрев составил 220–250 кг у. т. на тонну поковок, разброс температуры в рабочем пространстве печей соответ-

ствовал ±5 °С.

Именно проведение нагревов на температуруковки 1150 °С при отковке макета валка в реконструированной печи, обладающей температурной однородностью в рабочем пространстве, не повлияло на снижение механических свойств ликвационных образований в макроструктуре металла, имеющих близкую температуру «солидус» 1172 °С, по причине их размягчения и подплавления, чем обеспечило высокое качество массивной поковки большого сечения.

### Выводы

1. Большой разброс температур в нагревательных печах старой конструкции приводил к превышению температурных параметров выполняемой технологии, что вызвало подплавление и размягчение локальных объемов металла в местах структурной неоднородности. В процессековки в этих местах образовывались трещины, что снижало эксплуатационные характеристики готовых изделий и приводило к разрушению крупных прокатных валков в процессе эксплуатации.

2. Реконструкция нагревательных печей позволила значительно снизить расход топлива при нагреве слитков и поковок на операцииковки, улучшить температурную однородность рабочего пространства печей.

3. Достигнутая после реконструкции однородность температур ±5 °С в объеме печей обеспечивает выполнение температурных режимов согласно установленным параметрам.

4. Соответствие температур нагрева под ковку металла поковок заданным значениям и высокая температурная однородность рабочего пространства реконструированных нагревательных печей сводят к минимуму возможность образования трещин по ликвационным образованиям в процессе деформации вследствие уменьшения вероятности подплавления и размягчения этих участков по достижению температур началаковки.

## Литература

1. Andrews K. W. Solidification ranges of steel [Текст] / K. W. Andrews. — A note submitted to the alloy phase diagram date Committee of the Metals Society, 1981. — 1—8 p.
2. Kagava A. Influence of alloying elements on temperature and composition for peritectic reaction in plain carbon steel [Текст] / A. Kagava, T. Okamoto. — Material science and technology. — Oktober, 1986. — V. 2. — № 10. — 997—1008 p.
3. Дефекты стали [Текст]: справочник / под ред. С. М. Новокщеновой, М. И. Виноград. — М.: Металлургия, 1984. — 198 с.
4. Гедеон М. В. Термическая обработка валков холодной прокатки [Текст] / М. В. Гедеон, Г. П. Соболев, И. В. Паисов. — М.: Металлургия, 1973. — 344 с.

У даній роботі запропонована одновимір-  
на математична модель багатофазної дифу-  
зії в бінарній металевій системі. При побудові  
моделі було враховано вплив різниці парціаль-  
них мольних об'ємів компонентів системи на  
процеси міжфазової взаємодії.

**Ключові слова:** бінарна металева система,  
багатофазна дифузія, парціальний молярний об'єм.

В данной работе предложена одномерная  
математическая модель многофазной дифу-  
зии в бинарной металлической системе.  
При построении модели было учтено влияние  
различия парциальных мольных объемов ком-  
понентов системы на процессы межфазного  
взаимодействия.

**Ключевые слова:** бинарная металлическая  
система, многофазная диффузия, парциальный  
молярный объем.

In this work presented an one-dimensional  
mathematical model of multiphase diffusion in  
binary metal system. In constructing the model  
was taken into account the effect differences of  
partial molar volumes of components on the pro-  
cesses of interphase interaction.

**Keywords:** binary metal system, multiphase dif-  
fusion, partial molar volume.

УДК 004.942:539.219.3

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОФАЗНОЙ ДИФФУЗИИ В ДВУХКОМПОНЕНТНОМ МЕТАЛЛИЧЕСКОМ СПЛАВЕ

Н. А. Красношлык

Аспирант\*

Контактный тел.: (0472) 36-13-55, 097-780-10-03

E-mail: wik007@ukr.net

А. О. Богатырёв

Кандидат физико-математических наук, доцент\*

Контактный тел.: (0472) 36-13-55

E-mail: a\_bogatyrev@ukr.net

\*Кафедра прикладной математики  
Черкасский национальный университет  
имени Богдана Хмельницкого

бул. Шевченко, 81, г. Черкассы, Украина, 18031

### 1. Введение

В современном производстве разнообразных изделий, приборов, оборудования, техники и аппаратуры достаточно широко используются чистые металлы и сплавы на их основе. В качестве исходного материала производства значительно чаще выступают металлические сплавы, при этом сфера их применения охватывает такие основные отрасли, как микро- и нанoeлектроника, машиностроение, судостроение, авиастроение, нефтегазовая и химическая промышленность, энергетика, строительство, ракетно-космическая техника.

Металлический сплав представляет собой сложный материал, полученный сплавлением или спеканием двух и более компонентов, которые являются металлами. В дальнейшем будем рассматривать бинарные соединения, состоящие из двух металлов, примерами таких систем могут быть Ag-Au, Al-Ni, Al-Ti, Cu-Zn, Al-Ni и многие другие. Сплавы имеют более сложное строение, чем чистый металл. В зависимости от количества фаз различают одно-, двух- и многофазные сплавы. С точки зрения материаловедения [1, 2] под фазой понимают однородную

часть сплава, обладающую одинаковым химическим составом, строением, а также свойствами и имеющую границы раздела с другими фазами, при переходе через которые свойства сплава резко изменяются. Таким образом, свойства двухкомпонентных металлических сплавов во многом определяются фазовым составом данной системы и происходящими фазовыми превращениями.

Изучение процессов межфазного взаимодействия в сплавах предполагает построение новых уточненных математических моделей, позволяющих исследовать широкий класс различных двухкомпонентных металлических систем. Целью данной работы является описание математической модели процесса взаимной диффузии в многофазной системе.

### 2. Применение двухкомпонентных металлических сплавов

Как уже было отмечено, область применения металлических сплавов очень разнообразна. Наше исследование ограничивается многофазными двухкомпонентными