

**СЕМБАЕВ НУРБОЛАТ САКЕНОВИЧ**

**Комплексная оценка качества труб и технического состояния  
трубопрокатного оборудования квалиметрическими методами**

05.03.01 – Технологии и оборудование механической  
и физико-технической обработки

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Работа выполнена в Павлодарском государственном университете  
имени С. Торайгырова.

Научный руководитель	доктор технических наук Машеков С.А.
Научный консультант	кандидат технических наук Биякаева Н.Т.
Официальные оппоненты:	доктор технических наук Аликулов Д.Е.
	кандидат технических наук Каржаубаев А.С.
Ведущая организация:	Карагандинский государственный технический университет

Защита состоится «25» июня 2010 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 14.17.02 при Казахском национальном техническом университете им. К.И. Сатпаева по адресу: 050013, г.Алматы, ул.Сатпаева, 22<sup>а</sup>, Институт машиностроения, ИМС 106.

Факс: 8(7272)926025, т. 2577183 (083), E-mail: aspirantura@ntu.kz

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева.

Автореферат разослан «24» мая 2010 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета



доктор технических наук  
Сазамбаева Б.Т.

## Введение

**Общая характеристика проблемы.** Развитие науки, масштабы практического использования ее результатов в настоящее время становятся важнейшими факторами повышения эффективности промышленного производства. Решение подобной задачи невозможно без разработки принципиально новых технологий и оборудования, позволяющих получать изделия высокого качества при наименьших затратах на их производство. При этом в современных формирующихся условиях рыночных отношений фактор высокого качества необходимо рассматривать как реальное средство повышения конкурентоспособности создаваемой металлической и неметаллической продукции различного назначения и, следовательно, как главное условие функционирования промышленного предприятия любой формы собственности.

**Актуальность проблемы.** Для оценки качества труб применяют несколько стандартных показателей, по величинам которых обычно определяют, к какой группе можно отнести полученное изделие и не является ли оно браком. Так как используемые для оценки качества показатели обычно не зависят друг от друга, то получение одного показателя в пределах требуемого класса точности вовсе не гарантирует выполнение других показателей качества. Таким образом, решить проблему управления качеством металлоизделий, получаемых способами пластического формоизменения лишь на базе использования аппарата механики обработки металлов давлением (ОМД), как это преимущественно делается в настоящее время, невозможно. Комплексное использование аппарата механики ОМД и *теории квалиметрии* позволит реально решать задачи по оптимизации качества металлоизделий. Работы подобного плана в прокатном производстве находятся на стадии постановочного характера, развитие этого направления следует признать *актуальным*.

В настоящее время в машиностроительной и металлургической промышленности качественную продукцию, т.е. продукцию, полно отвечающую требованиям потребителя, дающую наибольший экономический эффект и обладающую наиболее высокими технико-экономическими и эксплуатационными показателями получают путем разработки новых технологических процессов и оборудования. Совершенствование традиционных и разработка принципиально новых технологических процессов и оборудования прокатки, направленные на повышение качества труб, являются *актуальной* задачей.

**Цель работы.** На основе реализации комплексного подхода, базирующегося на методологии математического и физического моделирования, получить новые научные результаты управления качеством, выработать управляющее воздействие, апробировать в исследовательских испытаниях новые технические и технологические решения, направленные на повышение качества труб.

**Научной задачей** настоящей работы является:

– исследование закономерностей появления дефектов при прокатке труб, и на основе этих исследований разработка методики комплексной оценки их качеств;

- изучение закономерностей распределения энергосиловых параметров при прессовании труб на трубопрессовом оборудовании новой конструкции;
- разработка новой методики контроля и управления качеством в трубном производстве и на основе этих исследований разработка новых конструкций трубопрокатных станов;
- изучение закономерностей распределения напряженно-деформированного состояния (НДС) при ковке-прокатке непрерывнолитых трубных заготовок в инструменте, обеспечивающих улучшение качества поковок.

**Научная новизна.** В работе представлены результаты решения важной проблемы по оценке качества труб и разработке новой конструкции трубопрокатных станов, позволяющие повысить качество выпускаемой продукции. В связи с этим:

- получены аналитические зависимости для единичных свойств продукции трубного производства (механические свойства, химический состав, структура, поверхностные и внутренние дефекты), позволяющие объективно характеризовать качество труб;
- разработана методика контроля и управления качеством в трубном производстве, позволяющих квалитметрической методикой оценить качества изготовления труб и на основе этой оценки определить технологическое состояние отдельных элементов трубопрокатного оборудования;
- рассчитаны количественные данные и установлены основные закономерности распределения НДС и температуры при моделировании ковки-прокатки в инструменте с цилиндрической рабочей поверхностью;
- впервые получены количественные данные и установлены основные закономерности изменения энергосиловых параметров при прессовании труб на трубопрессовом оборудовании новой конструкции.

**Методика исследований** базируется на использовании теории напряженно-деформированного состояния, конечно-элементном моделировании процессов обработки. Для теоретического расчета использовался программный комплекс MSC.SuperForge. Наблюдение и съемка шлифов проводились на вертикальном металлографическом микроскопе МИМ -7.

Объекты исследования – технология прокатки труб, новые трубопрокатные станы и образцы, деформированные на новом стане.

Экспериментальные исследования проводились на базе оборудования Павлодарского государственного университета им. С.Торайгырова и Павлодарского филиала ТОО «Кастинг».

**Практическая ценность** работы определяется тем, что в ней решены следующие научно-технические задачи:

- полученные аналитические зависимости, использованная модель контроля и управления качеством дают реальную возможность формализовать процедуру объективной оценки качества труб в виде некоторой целевой функции. И тогда решение задачи может быть сформулировано как математическая проблема поиска экстремума, позволяющая находить наиболее выгодное решение, как отдельных операций, так и технологического процесса в целом;

– предложены новые конструкции трубопрокатных станков и способ прессования труб, позволяющие интенсифицировать измельчение структуры металла по сечению гильз за счет макросдвиговой деформации.

Предлагаемый метод к оценке качества труб квалитетическим методом может быть использован как потребителем, так и производителем.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

– аналитические зависимости для единичных свойств труб, характеризующихся механическими свойствами, химическим составом, структурой, поверхностными и внутренними дефектами, позволяющих объективно характеризовать его качество;

– новая методика контроля и управления качеством в трубном производстве, позволяющих квалитетической методикой оценить качества изготовления труб и на основе этой оценки определить технологическое состояние отдельных элементов трубопрокатного оборудования;

– количественные данные и основные закономерности изменения энергосиловых параметров при прессовании труб на трубопрессовом оборудовании новой конструкции;

– закономерности изменения НДС по сечению заготовки при деформировании в инструменте с цилиндрической рабочей поверхностью.

**Достоверность полученных результатов.** В ходе экспериментального исследования использована научно-обоснованная методика проведения эксперимента и обработки полученных данных, проверенное лабораторное оборудование и контрольно-измерительные приборы.

Достоверность результатов теоретических расчетов достигается обоснованным использованием теоретических зависимостей, допущений и ограничений, корректностью постановки задач математического моделирования, а также применением современных математических методов и средств вычислительной техники и подтверждена качественным и количественным их согласованием с данными эксперимента при погрешности в пределах 10 %.

**Апробация практических результатов.** Результаты диссертации апробированы и обсуждены на ежегодных научно-технических семинарах профессорско-преподавательского состава Павлодарского государственного университета им. С.Торайгырова (2007-2009); Международной научно-практической конференции «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии» (Алматы, КБТУ, 2008); Международной научно-технической конференции «Роль вузов в формировании инновационной экономики» (Усть-Каменогрск, ВКГУ, 2008); Международной научно-технической конференции «Wykształcenie i nauka bez granic - 2008» (Przemysl. Nauka i studia, 2008); Международной научно-технической конференции «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии» (Алматы, КБТУ, 2009); Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы механики и машиностроения» (Алматы, КазНТУ, 2009); Международной научно-технической конференции «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии» (Алматы, КБТУ, 2010); Международной научной конференции молодых ученых, студентов и школьников «Стратегический план 2020: Казахстанский путь к

лидерству» (Павлодар, ПГУ, 2010); на научном семинаре кафедры «Стандартизация, сертификация и технология машиностроения» (Алматы, КазНТУ, 2010); на объединенном научном семинаре кафедр «Металлургические машины и оборудование», «Стандартизация, сертификация и технология машиностроения» и «Станкостроение, материаловедение и технология машиностроительного производства» (Алматы, КазНТУ, 2010).

**Публикации.** Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 16 научных трудах, среди которых 5 статей в периодических изданиях, перечень которых утвержден Комитетом по контролю в сфере образования и науки, 7 докладов на международных научно-технических конференциях, и 3 инновационного патента Республики Казахстан и одно положительное решение.

**Личное участие автора.** Основные результаты, изложенные в диссертации, получены автором лично. Анализ этих данных проведен самостоятельно с учетом имеющихся в отечественной и зарубежной литературе сведений.

**Связь темы с планом научных работ.** Работа выполнена в рамках госбюджетной тематики в соответствии с координационным планом научно-исследовательских работ факультета металлургии, машиностроения и транспорта ПГУ им. С. Торайгырова.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из Введения, 4 глав, заключения и списка использованных источников, включающего 109 наименований. Объем диссертации – 154 страниц машинописного текста, 118 формул, 37 таблиц, 71 рисунка.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** показана актуальность проблемы и новизна темы диссертации, сформулирована цель работы, поставлены задачи исследования и изложены положения, выносимые на защиту.

**В первом разделе** настоящей диссертационной работы проанализированы проблемы и перспективы совершенствования технологии прокатки труб на миниметаллургических заводах. Здесь же рассмотрены технологические особенности предупреждения образования дефектов, повышения качества при прокатке труб и квалиметрия объектов металлообработки в прокатном производстве. Из приведенных в литературном обзоре данных видно, что в настоящее время ведутся многочисленные исследования в направлении создания новых способов прокатки труб и конструкций инструмента. Однако все же большая часть их не находят широкого применения. Это объясняется многими причинами, в частности: сложностью изготовления инструментов; трудностью установки его на оборудование; высокими затратами на их изготовление; низкой производительностью; узким профилем специализации многих инструментов и т.д.

**Во втором разделе** рассмотрена проблема оценки качества исходных лент и сварных труб листопркатных и трубопркатных цехов металлургических заводов. Для оценки качества листового проката и труб применяют несколько стандартных показателей, по величинам которых обычно определяют, к какой

группе можно отнести полученное изделие и не является ли оно браком. Так как используемые для оценки качества показатели обычно не зависят друг от друга, то получение одного показателя в пределах требуемого класса точности вовсе не гарантирует выполнение других показателей качества.

В методологическом аспекте достаточно обоснованное решение проблемы количественной оценки качества продукции дает *квалиметрия*. Поэтому в данной диссертационной работе квалиметрию использовали для комплексной оценки контролируемых качеств полос и труб.

Авторами известной методики, было предложено, для объединения и сравнения разнородных аргументов, нормировать оценки единичных свойств, используя при этом меру Харрингтона в следующей трактовке

$$r_i = \exp[-\exp(-y^*(d_i))], \quad (1)$$

т.е. для перевода натурального значения  $d_i$  в размерность  $r_i$  было предложено использовать уравнение (1).

Руководствуясь рекомендациями известных работ, можно функцию дефектности  $y^*(d_i)$  назначить так, чтобы базовым отметкам  $r_i$ , равным 0,20; 0,37; 0,63; 0,80 и 1,0, соответствовали реперные значения функции  $y^*(d_i)$  равные 0,0; 0,50; 0,85; 1,5 и 3,0. Если соотношение (1) охарактеризовать как аналог известной функции Харрингтона, то систему оценок качества труб можно представить в виде обобщенной таблицы.

Результаты можно представить по следующей шкале желательности:  $r = 0,2$  – неисправимый брак;  $r = 0,37$  – исправимый брак;  $r = 0,63$  – соответствие сварных труб требованиям стандарта;  $r = 0,8$  – перевод сварных труб в повышенный класс точности;  $r = 1$  – гипотетически возможный уровень свойств сварных труб.

Для оценки качества исходной полосы в работе были использованы известные уравнения нормировки балльных оценок дефектности листового проката

$$r_1 = \exp[-\exp(- (20,1 \cdot \Delta^2 - 9,35 \cdot \Delta + 3,1))];$$

$$r_2 = \exp[-\exp(- (0,52 \cdot 10^{-3} \cdot \ell^2 - 0,374 \cdot 10^{-1} \cdot \ell + 3,2))];$$

$$r_3 = \exp[-\exp(- (5,778 \cdot 10^3 \cdot h^2 - 1,25 \cdot 10^2 h + 3,2))];$$

$$r_4 = \exp\{-\exp[-(46,042 + 9,986 \cdot \ln(1,2 \cdot 10^{-3} B_o / (B_o - B_n) + 0,008))]\};$$

$$r_5 = \exp\{-\exp[7,416 \cdot 10^2 (S_{„T} - S_{II})^3 + 7,784 \cdot 10^3 (S_{CT} - S_{II})^2 - 3,71 \cdot 10^2 (S_{CT} - S_{II}) - 3]\},$$

где  $\Delta$  – шероховатость поверхности листа;  $\ell$  – длина рябизны, рисунок, царапин листов;  $h$  – глубина рябизны, рисунок, царапин листов;  $B_o$  – ширина полосы;  $B_{II}$  – ширина участка полосы без цветов побежалости;  $S_{II}$  – толщина полосы;  $S_{CT}$  – толщина полосы по стандарту.

С использованием известных результатов механических свойств листового проката были определены эмпирические зависимости вида

$$r_6 = \exp\{-\exp[-A + B \ln(x + C)]\}, \text{ либо } r_6 = \exp\{-\exp[-(A + Bx)]\}, \quad (2)$$

представляющие, своего рода, модификации известной функции Харрингтона, которые подбираются статистическими методами на базе реализации на ЭВМ методологии регрессионного анализа, где  $A, B, C$  – эмпирические константы для листового проката;  $x$  – нормируемое свойство, представленное в соответствующем масштабе.

Химический состав относится к наиболее характерным представителям оценки качества, количественные оценки которых практически однозначно регламентируются соответствующими эталонами. В литературе на базе использования соотношения (1) было получено следующее уравнение нормировки балльных оценок по влиянию марганца, серы и фосфора на качества черного металла

$$r_8 = \exp\{-\exp[-(46,041 + 9,983 \ln(\theta \cdot 10^{-3} + 0,00813))]\}, \quad (3)$$

где  $\theta = Mn/S, Mn/P$  – отношения содержания в стали марганца к сере или к фосфору.

Результаты расчета по известным данным показали, что шкалы нормированных оценок ликвации и оценки структурных свойств черных металлов подчиняются очень простой зависимости:  $r_7 = 1,5 - 0,25 \cdot \bar{r}_l$  и  $r_9 = 1,2 - 0,2 \bar{r}_e$ , где  $\bar{r}_l$  – балльные оценки ликвации;  $\bar{r}_e$  – балльные оценки структуры металла по соответствующей шкале.

На основе большого массива данных по качеству труб были получены следующие уравнения нормировки балльных оценок дефектности сварных труб

$$r_{ij} = \exp[-\exp-(a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4)], \quad (4)$$

где  $x$  – нормируемые свойства, представленные в соответствующим масштабе;  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$  – эмпирические константы для труб (таблица 1).

В работе произведена оценка технологии изготовления труб на трубосварочном агрегате ТЭСА 20-76, предназначенных для изготовления труб с наружным диаметром от 20 мм до 76 мм и толщиной стенки от 1,0 мм до 4,5 мм. Исследование качества металла сварных труб производили после прокатки полос, порезки металла на АПР 1500-6 и производство труб на трубоэлектросварочном агрегате ТЭСА 20-76.

В непрерывном широкополосном стане горячей прокатки 1700 непрерывнолитой сляб из стали 08кп был прокатан на номинальный размер 2,0?820 мм. Температура конца прокатки составила 860 – 880 °С, смотки 630 – 660 °С. После транспортировки рулонов на склад горячекатаных рулонов продолжительность остывания составила около 70 часов.

Для исследования влияния каждого этапа технологического процесса прокатки на качество труб вырезали образцы из катаных полос и труб, провели микроскопические исследования, а также определяли механические свойства.

Металлографический анализ был проведен на оптическом микроскопе «Axiovert-200 MAT» при увеличениях 200, 500 и 1000 крат. Обработка изображений производилась по программе ВидеоТесТ «Металл 1.0».



Количественный анализ параметров дефектной субструктуры и фазовый анализ осуществляли стандартными методами. Шлифы для металлографического исследования готовили по традиционной методике на шлифовальных и полировочных кругах. Для травления образцов был использован концентрированный раствор азотной кислоты в этиловом спирте.

Определение механических свойств стали 08кп после прокатки осуществляли на автоматизированной установке МВ-01м, позволяющей проводить механические испытания на изготовленных микрошлифах и оперативно оценивать характеристики прочности и пластичности.

Таблица 1 – Константы для нормирования единичных показателей

Показатели	Нормируемые свойства	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
$R_{21}$	$K_p = \frac{l_m - l_p}{l_m}$	0,781	0,0209	0,2291	-0,1701	0,0297
$R_{22}$	$K_{pF} = \frac{F_{n.m} - F_p}{F_{n.m}}$	74,961	-78,0719	-57,971	76,993	-16,974
$R_{23}$	$l$	21,9	-1,986	-22,981	17,098	-2,996
$R_{23}$	$d$	5,75	-0,8387	-0,2394	2,6029	-0,3384
$R_{24}$	$\Delta D$	58,1	-9,37	-3,84	27,13	-3,401
$R_{24}$	$\Delta D_1$	23,1	-0,109	-31,095	24,12	-5,124
$R_{25}$	$k$	2,231	-0,0181	-3,116	2,431	-0,4697
$R_{26}$	$q$	1,734	-0,423	-2,216	1,936	-0,526
$R_{27}$	$\Delta l$	5,37	-0,694	-0,1956	2,289	-0,241
$R_{28}$	$\Delta H/\Delta B$	5,91	-0,951	-0,359	2,872	-0,421
$R_{29}$	$t$	3,1	9,35	20,16	0	0
$r_{210}$	$v$	3,2	125,62	5778,2	0	0
$r_{211}$	$S_T/S_{CT}$	-397,97	1943,26	-3256,5	2218,28	-504,09
$r_{212}$	Ликвация	8,094	-7,37	2,7	-0,46	0,029
$r_{213}$	$R_z$ , мкм	5,5	-2,71	0,122	0,103	-0,0126
$r_{214}$	Внутренние дефекты $w$	4,366	-2,04	0,352	-0,025	0,0006
$r_{215}$	$s$ , мм? $10^{-2}$	-18,42	-0,167	0,0087	0,0009	1,637E-06

Примечание:  $l_m$  – длина трубы;  $l_p$  – длина дефектов «расслой», «плены» и «закаты»;  $F_{n.m}$  – площадь поверхности трубы;  $F_p$  – площадь поверхности расслоя;  $l$  – длина дефектов «царапины», «задиры» и «риски»;  $d$  – диаметр дефекта «вмятина»;  $\Delta D$  – дефект «отклонение диаметра»;  $\Delta D_1$  – дефект «отклонение диаметра» (на отрицательную величину);  $k$  – дефект «кривизна на 1 м»;  $q$  – дефект «овальность»;  $\Delta l$  – дефект смещение кромок;  $\Delta H/\Delta B$  – отклонение высоты/ширины сварных швов;  $t$  – дефект «подрезы»;  $v$  – дефект «газовые поры»;  $S_T$  – толщин контролируемой трубы;  $S_{CT}$  – толщина трубы по стандарту;  $R_z$  – шероховатость внутренней поверхности трубы;  $w$  – дефект, определяемый ультразвуковым контролем;  $s$  – глубина дефекта.

Исследование химического состава стали 08кп проводили на установке МФС-8. Система предназначена для определения концентрации элементов в металлах, сплавах и в других материалах на основании градуировочных графиков,

построенных по стандартным образцам. В основу работы системы положен метод эмиссионного спектрального анализа, использующий зависимость интенсивности спектральных линий от массовых долей элементов в пробе.

Измерение толщины в цехе горячей прокатки привела к получению следующих данных: 2,06 мм, 2,10 и 2,12 мм и т.д.

Используя систему МФС-8, исследование химического состава образцов вырезанных из горячекатаного металла привело к следующим результатам: углерод – 0,065 – 0,07 %, марганец – 0,32 – 0,34 %, кремний – 0,010 – 0,012 %, фосфор – 0,022 – 0,024 %, сера – 0,020 – 0,021 %.

Для получения хорошего качества сварного соединения большое значение имеет балл неметаллических включений. При величине балла менее 3 гарантируется получение качественного сварного шва. При микроструктурном анализе образцов вырезанных из горячекатаного металла установлено, что балл неметаллических включений не превышает 2,5.

Полученные механические свойства на установке МВ-01м, поверхностные и внутренние дефекты, разнотолщинность листов образовали статистические массивы, которые подверглись статистической и квалиметрической оценке для определения качества рулонов цеха горячей прокатки.

Приняли, что в рассматриваемом случае ненормируемые весомости единичных свойств равны между собой, т.е. свойства по своему влиянию на оценку качества равнозначны.

Среднее значение обобщенного показателя качества для горячекатаного листового проката составляет 0,7329. При этом для стандартной технологии величина исправимого брака (от 0,2 до 0,37 по шкале Харрингтона) составляет 3,27 %, от всего объема массива. Процент выполнения требований стандарта для листового проката составил 68,41 %. Перевод в повышенный класс точности наблюдает 28,32 % стандартных листах. Достижение гипотетически желательных свойств при серийной технологии достигает 4,18 %, (гипотетический уровень свойств – от 0,8 до 1,0 по Харрингтону). Дисперсия обобщенного коэффициента качества для стандартной группы составляет 0,04865.

На непрерывном широкополосном стане 1700 прокатанные и смотанные рулоны в последующем передаются для порезки на АПР 1500-6. В трубном цехе массу задаваемых рулонов в порезку, массу готовых лент после порезки, массу обрезки передних и задних концов, массу обрезаемых кромок определяют взвешиванием на весах. Общая масса нами исследованных пяти рулонов составила 61,4 т. Получено 57,58 т годной ленты размером 2,0?61,0 мм. Расход металла при порезке составил 1,052 (нормативный расход металла равен 1,044). Перерасход металла обусловлен сверхнормативной шириной подрезаемой кромки (фактический – 38 мм, норматив – 20 мм). Для снижения расхода металла требуется обеспечение требуемой фабрикации ширины горячекатаного металла.

Имеющиеся нарушения по предельным отклонениям толщины связаны с прокаткой полос с плюсовым допуском на непрерывном широкополосном стане 1700, а ширины порезкой полос с плюсовыми допусками на АПР-1500-6. Все эти предельные отклонения возможно связать с конструктивными возможностями агрегатов. Минимальная ширина разрезаемой ленты на АПР-1500-6 толщиной 2,0 мм составляет 62,0 мм.

Следующим этапом производства сварных труб является прокатка труб. Технологический процесс прокатки труб состоит из следующих основных операций: подготовка ленты; формовка ленты в незамкнутую трубную заготовку; сварка трубной заготовки в трубу; калибровка; правка; порезка.

После профильно-калибровочного стана непрерывная труба проходила неразрушающий контроль дефектоскопом, оснащенным звуковой сигнализацией.

При неразрушающем контроле непрерывной трубы выявлялись дефекты сварного соединения (непровар, трещина и т.д.) и структуры тела трубы (плены, расслой и т.д.).

После дефектоскопа непрерывная труба направлялась на отрезное устройство, где разрезалась на мерные длины. Мерные трубы поступали по отводящему рольгангу в карманы. Трубы с наличием дефектов отсортировывались в карман брака. Годные трубы направлялись в соответствующие карманы и пакетировались.

При проведении на ТЭСА 20-76 операций подготовки полос (обрезка и сварка передних и задних концов лент), транспортирование ленты в головной части агрегата, в петлевом устройстве и формовки обеспечивали необходимое качество трубной заготовки.

При высокочастотной сварке трубной заготовки наблюдали: неустойчивую работу ВЧС 2 630/0,44 из-за выхода из строя конденсатора; пробоя и выхода из строя индуктора.

Увеличение разнотолщинности с 9,0 % на ленте до 15,5 % на стенке трубы характеризует неустойчивый процесс редуцирования трубы в калибровочных клетях при повышенной вытяжке.

Для проведения механических испытаний были отобраны образцы труб.

Настройку датчика дефектоскопа проводили на стандартном образце с наружным диаметром 21,3 мм. Непрерывная труба, проходящая контроль через датчик дефектоскопа, опиралась на поддерживающие ролики перед и за дефектоскопом.

Гидроиспытания труб проводили по методике испытаний согласно с требованиями ГОСТ 3845-75 с выдержкой под пробным давлением 5; 10; 15; 20; 25 с.

Испытания образцов труб на сплющивание проводили по методике в соответствии с требованиями ГОСТ 8695 – 75. Все технологические испытания на сплющивание, проводимые в цехе, прошли удовлетворительно, а три образца труб из четырнадцати не выдержали аттестационные испытания на сплющивание.

Металлографическое исследование показало, что металл труб характеризуется феррито-перлитной структурой 9-11 номеров зерна феррита, наблюдается различие в структуре стыкуемых кромок на 2-3 номера. Наблюдается разнотолщинность у некоторых образцов: от внутренней поверхности к внешней поверхности номер зерна меняется от 9-11 до 7-8. Толщина слоя крупного зерна изменяется от 0,1 до 0,4 мм. Зерно феррита равноосное, трещин по внутренней кромке нет.

Сварной шов характеризуется небольшой протяженностью (от 0,75 до 1,0 мм) включает одну-две переходные зоны и зону стыка. Переходная зона характеризуется ферритно-перлитной структурой от 11 до 7-8 номеров зерна феррита, в зоне стыка наблюдается феррито-перлитно-бейнитная структура с зерном феррита 7-11 номеров. Для ряда образцов характерно наличие окисных включений на границе металл-грата с внутренней стороны трубы.

При микроструктурном анализе в переходной зоне шва выявлено наличие окисных пленок. Появление окисных пленок может быть объяснено нарушением режима сварки. Окисные пленки наблюдаются в сварном соединении при сварке с оплавлением кромок заготовки при малой величине осадки, то есть при недостаточном выдавливании грата из зоны сварки. Окисные пленки, находящиеся в сварном соединении, снижают его прочность, так как способствуют концентрации механических напряжений при работе труб.

Для удаления окисных пленок в сварном соединении труб необходимо поддерживать нагрев кромок и сварочное давление таким образом, чтобы высота наружного грата перед снятием, была в пределах 1,6-2,2 мм.

Используя выше приведенные данные, оценили качества сварных труб. Полученные механические свойства, поверхностные и внутренние дефекты образовали статические массивы, которые подвергались статической и квалитметрической оценке для выявления качества сварных труб.

Приняли, что в рассматриваемом случае ненормируемые весоности единичных свойств равны между собой, т.е. свойства по своему влиянию на оценку качества равнозначны.

Среднее значение обобщенного показателя качества для труб составляет 0,608. При этом для стандартной технологии величина исправимого брака (от 0,2 до 0,37 по шкале Харрингтона) составляет 6,29 % всего объема массива. Процент выполнения требований стандарта для труб составил 64,59 %. Перевод в повышенный класс точности наблюдается на 27,49 % стандартных трубах. Достижение гипотетически желательных свойств при серийной технологии достигает 1,63 % (гипотетический уровень свойств – от 0,8 до 1,0 по Харрингтону – рассчитан для существующей технологии). Дисперсия обобщенного коэффициента качества составляет 0,3921. Полученные результаты показывают, что качество сварных труб соответствует международному стандарту ИСО 3183.

**В третьем разделе** рассмотрена проблема оценки качества стальных бесшовных труб, изготовленного на Павлодарском трубопрокатном заводе. На линии горячей прокатки данного завода выполняются все операции, необходимые для изготовления бесшовных труб, начиная от стальных стержней и кончая готовыми трубами. При этом главными участками горячепрокатного стана являются: линия резки стержней и подводящая линия печи; печь с вращающимся подом для заготовок; стан горячей прокатки; нагревательная печь; редуционный трубопрокатный стан с натяжением; система охлаждения труб; многодисковая пила и разгрузочный рольганг.

На первом этапе оценили качество непрерывнолитых заготовок. Для контроля макроструктуры вырезали поперечные и продольные шлифы.

При этом темплеты для поперечных шлифов вырезали перпендикулярно направлению прокатки иликовки, а для продольных шлифов – параллельно направлению прокатки иликовки. Плоскость шлифа совпадала с осью контролируемого прутка. Длина продольных темплетов равнялась 100-150 мм, а высота поперечных темплетов 15-40 мм. Поверхность темплетов перед травлением подвергается торцеванию, строганию, шлифованию. Оценку макроструктуры непрерывнолитых заготовок производили по ГОСТ 10243-76 и в соответствии с ОСТ 14-235-91. Такая оценка позволила оценить все сечение заготовок и благодаря травлению выявить крупные и мелкие дефекты (включая ликвационные) и особенности структуры.

Пробы для контроля на флокены отбирали на расстоянии не менее одного диаметра (стороны квадрата) от конца заготовки по окончании охлаждения или термической обработки каждой партии данной плавки. Если образец отрезался в горячем состоянии, то его длина равнялась не менее четырех диаметров (сторон квадрата). Охлаждение или термическую обработку такого образца производили вместе с металлом контролируемой партии плавки.

Химический состав сталей исследуемых заготовок производили на специализированном оборудовании МФС-8.

При оценке макроструктуры по ГОСТ10243-76 полученную структуру сравнивали с фотоэталоны шкал или отдельных дефектов. Данный ГОСТ позволил оценить по пятибалльной шкале следующие виды дефектов и особенности структуры: центральной пористости, точечной неоднородности, общей пятнистой ликвации, краевой пятнистой ликвации, ликвационного квадрата, усадочной ликвации, подкорковых пузырей, межкристаллитных трещин, послышной светлой полосы (контур). В стандарте также приведены фотоэталоны макроструктуры с такими дефектами, как пузыри, корки, флокены, черновины, трещины и др.

Выборочный (систематический) анализ макроструктуры непрерывнолитых заготовок, производимых в ПФ ТОО «Кастинг» выявил следующие результаты: На темплетях наблюдаются множественные ликвационные полосы и трещины, образовавшиеся, как в кристаллизаторе, так и в зоне вторичного охлаждения, боковые грани имеют раздутие. Исследование показало, что на качество макроструктуры металла заготовок значительное влияние оказывает соотношение количественного состава марганца и серы Mn/S. Предельно допустимым видимо следует считать  $Mn/S > 18 - 20$ .

При оценке качества бесшовных труб с использованием соотношения (1), стандартов и каталога дефектов труб была оформлена шкала оценок.

На основе большого массива данных по качеству внутренней и внешней поверхности, геометрических размеров, химического состава были получены уравнения вида (2), (3) и (4) нормировки балльных оценок дефектности труб.

Приняли, что в рассматриваемом случае ненормируемые весомеры единичных свойств равны между собой, т.е. свойства по своему влиянию на оценку качества равнозначны.

Среднее значение обобщенного показателя качества для труб составляет 0,578. При этом для стандартной технологии величина исправимого брака

(от 0,2 до 0,37 по шкале Харрингтона) составляет 6,72 % от всего объема массива. Процент выполнения требований стандарта для труб составил 66,86%. Перевод в повышенный класс точности наблюдается на 26,5 % стандартных трубах. Достижение гипотетически желательных свойств при серийной технологии достигает 0,79 % (гипотетический уровень свойств – от 0,8 до 1,0 по Харрингтону – рассчитан для существующей технологии). Дисперсия обобщенного коэффициента качества составляет 0,058762. Полученные результаты показывают, что качество труб удовлетворяет международному стандарту ИСО 3183.

Определение величин единичных показателей во времени цикла технологического процесса по выше описанной методике осуществляется по средним величинам единичного показателя, а точки на кривой  $r_i - t$  (где  $t$  – время технологического цикла прокатки) соответствуют вероятности бездефектной работы соответствующих узлов прокатного стана  $\rho = 50\%$ . Поэтому в работе предложена методика определения единичных показателей с вероятностью бездефектной работы узлов прокатного стана  $\rho > 50\%$ .

Единичные показатели, соответствующие вероятности бездефектной работы узлов прокатного стана  $\rho > 50\%$  могут быть определены по формуле

$$r_{i\rho} = r_i - \Delta r_i = r_i - t_1(\rho, k)S, \quad (5)$$

где  $r_i$  – истинное значение единичного показателя;  $\Delta r_i$  – доверительный интервал для вероятности бездефектной работы узлов прокатного стана  $(1 - \rho)/2$  при числе измерений  $n$  и числе  $k = n - 1$  степеней свободы, проведенных для расчета соответствующего единичного показателя;  $t_1(\rho, k)$  – коэффициент

Стьюдента;  $S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (r_{ii} - \bar{r}_i)^2}$  – средняя квадратичная ошибка.

Для использования формулы (5) необходимо определить истинное значение единичного показателя по известному среднему значению единичного показателя. При этом среднее значение  $\bar{r}_i$  находится на определенном доверительном интервале, и этот доверительный интервал определяется из условия

$$|r_{i\rho} - \bar{r}_i| = t_2(\rho, k) \frac{S}{\sqrt{n}} \quad \text{или} \quad r_i = \bar{r}_i \pm t_2(\rho, k) \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (6)$$

С учетом формулы (6) уравнение (5) можно представить в виде

$$r_{i\rho} = r_i - \Delta r_i = \bar{r}_i \pm t_2(\rho, k) \frac{S}{\sqrt{n}} - t_1(\rho, k)S. \quad (7)$$

В диссертационной работе после определения величин различных дефектов рассчитали по формуле (7) единичные показатели и выявили причины нежелательного конечного результата при прокатке бесшовных труб. Причинами нежелательного конечного результата является уменьшение единичного показателя до 0,37 и ниже. На основе этих расчетов даны рекомендации по использованию величин единичных показателей для оценки состояния различных узлов используемого оборудования.

**В четвертом разделе** для повышения качества получаемых труб и снижения усилия деформирования предложены два стана для горячей прокатки и один способ для прессования труб.

Первый стан для горячей прокатки труб содержит главный привод, рабочую клетку с вращающимися в одну сторону четырьмя валками и вращающимися в другую сторону выталкивателя гильзы с оправкой. Валки и оправка имеют противоположно направленные гладкие и волнисто-конусообразные участки захвата и обжатия, соответственно, и калибрующие цилиндрические участки. При этом выступы и впадины валков и оправки, имеющие одинаковую ширину и соответственно высоту или глубину, выполнены по винтовой линии с углом между касательной к винтовой линии и линией, проходящей через точку касания по образующей перпендикулярно основанию валка равным от  $45^\circ$  до  $60^\circ$ . Поступательнодвигающиеся оправка сделана вращающимся против направления вращения валков.

Прокатка труб осуществляется следующим образом. Гильза подается в зазор между валками и деформируется с выступами, а также впадинами волнисто-конусообразных участков валков и оправки при вращении валков в одном направлении, а поступательнодвигающиеся оправки в другом направлении.

Прокатка труб в волнисто-конусообразных участках валков и оправки, при вращении валков в одном направлении, а поступательнодвигающейся оправки в другом направлении обеспечивает поступательное и вращательное движение заготовки в направлении прокатки, эффективное измельчение структуры по всему сечению гильзы за счет развития сдвиговых деформации и уменьшение усилия прокатки. Создание дополнительных сдвиговых деформации приводит к дополнительному измельчению структуры металлов и сплавов, т.е. создаются дополнительные условия для получения качественной продукции.

Второй стан для прокатки бесшовных труб содержит главный привод, рабочую клетку с вращающимися в одну сторону валками и вращающимися в другую сторону выталкивателя гильзы с оправкой. При этом внутреннее отверстие, выполненное в виде одной волоки, валков и оправка имеют противоположно направленные гладкие и волнисто-конусообразные участки захвата и обжатия, соответственно, и калибрующие цилиндрические участки. Выступы или впадины внутреннего отверстия волоки и оправки имеют одинаковую ширину и соответственно высоту или глубину и выполнены по винтовой линии с углом между касательной к винтовой линии и линией, проходящей через точку касания по образующей перпендикулярно основанию оправки, равным от  $45^\circ$  до  $60^\circ$ . Поступательнодвигающаяся оправка сделана вращающимся против направления вращения волоки.

Прокатка труб осуществляется следующим образом. Гильза подается в конусообразное отверстие волоки и деформируется с выступами, а также впадинами волнисто-конусообразных участков волоки и оправки при вращении волоки в одном направлении, а поступательнодвигающиеся оправки в другом направлении.

Прокатка труб в волнисто-конусообразных участках волоки и оправки, при вращение волоки в одном направлении, а поступательно двигающейся оправки в другом направлении обеспечивает поступательное и вращательное движение заготовки в направлении прокатки, эффективное измельчение структуры по всему сечению гильзы за счет развития сдвиговых деформации и уменьшение усилие прокатки. Создание дополнительных сдвиговых деформаций приводит к дополнительному измельчению структуры металлов и сплавов, т.е. создаются дополнительные условия для получения качественной продукции.

Нами предложен так же способ прессования труб. По данному способу заготовку сначала нагревают до температуры 1100-1200 °С и прошивают в подкладном штампе коническим прошивнем и получают коническое отверстие. После чего производят подогрев полученной гильзы до температуры 1100-1150 °С, подачу гильзы в контейнер, а в отверстие гильзы иглы и выдавливание металла пресс-штемпелем. При этом трубу получают путем выдавливания металла вращательно-поступательно двигающимся коническим пресс-штемпелем в кольцевой зазор между конусообразной матрицей и иглой. В процессе прессования металлу гильзы дают вращательно-поступательное движение за счет выступов и впадин, расположенных по винтовой линии на рабочей поверхности вращающихся и поступательно двигающихся пресс-штемпеля и матрицы.

Прошивка коническим прошивнем в подкладном кольце обеспечивает снижение усилия деформирования, уменьшение разностенности исходной заготовки и получение гильзы с коническим отверстием, что облегчает проведение последующего прессования. Прессования металла гильзы путем выдавливания вращательно-поступательно двигающимся пресс-штемпелем в кольцевой зазор между конусообразной матрицей и иглой обеспечивают снижение усилия прессования. При этом движения выступов и впадин пресс-штемпеля по винтовой линии позволяет вытеснить весь металл, находящийся в контейнере, т.е. позволяет производить прессования труб без пресс-остатков. Снижение усилия прессования уменьшает отклонения оси иглы от оси прессования, и тем самым позволяет уменьшить разностенность получаемой трубы.

Таким образом, предлагаемый способ прессования позволяет получать трубы без пресс-остатков, при этом уменьшается разностенность труб.

Для лабораторного опробования прокатки труб на трубопрокатном стане или на трубопрессовой установке была изготовлена деревянная валковая или прессовая оснастка. На данной оснастке была прокатана труба диаметром 50 мм, толщиной стенки 2 мм. В качестве материала для изготовления гильзы и для последующей прокатки трубы использовали пластопарафин. Результаты проведенного лабораторного исследования доказали возможность получения труб без отходов на предлагаемом стане или трубопрессовой установке.

В работе разработана методика расчета силовых параметров прокатки или прессования труб на новом стане или трубопрессовой установке.

По предлагаемой технологии трубу получают в процессе прессования с вращательно-поступательно двигающимся пресс-штемпелем. При этом металлу гильзы дают вращательно-поступательное движение за счет выступов и впадин расположенных по винтовой линии на рабочей поверхности вращающихся и



поступательнодвигающихся пресс-штемпеля и матрицы. Поэтому разделили напряжение прессования на две составляющие. Первый составляющий напряжения способствует течению металла по винтовой линии, а второй – действует вдоль оси прессования. Для каждого случая ввели свою цилиндрическую систему координат. В первом случае ось  $z$  направили по винтовой линии, а втором случае – вдоль оси прессования. Приняли, что на контактной поверхности задается закон трения в виде  $\tau_i = \psi \tau_T e_i$ , где  $e_i$  – направляющий косинус единичного вектора, определяющего направления напряжения трения.

Составили уравнения равновесия элементарного слоя соответственно для первого и второго случая и определили усилие прессования труб на новом стане или трубопрессовом установке следующим виде

– для первого случая

$$P_{\text{ск}} = \sigma_z = \sigma_T \left[ \frac{\varepsilon}{2} \left( \frac{27}{4\pi^2} K^2 + \frac{3}{\pi} K - 2 \right) + (e^{3\varepsilon} - 1) \right] \times \left( \frac{3}{32} m^2 - \frac{9}{2\sqrt{3}\pi} mK + \frac{9}{8\pi^2} K^2 \right) + (e^{1.5\varepsilon} - 1) \left( \frac{mK}{2\sqrt{3}\pi} - \frac{K^2}{\pi^2} \right) \frac{9}{4}, \quad (8)$$

– для второго случая

$$P_{\text{ск}} = \sigma_z = \sigma_T \left[ \frac{\varepsilon}{2} \left( \frac{27}{4\pi^2} K^2 \sin^2 \beta + \frac{3}{\pi} K \cos \beta - 2 \right) + (e^{3\varepsilon} - 1) \right] \times \left( \frac{3}{32} m^2 - \frac{9}{2\sqrt{3}\pi} mK \sin \beta + \frac{9}{8\pi^2} K^2 \sin^2 \beta \right) + (e^{1.5\varepsilon} - 1) \times \left( \frac{mK}{2\sqrt{3}\pi} \sin \beta - \frac{K^2}{\pi^2} \sin^2 \beta \right) \frac{9}{4}, \quad (9)$$

где  $K = \frac{2\pi}{3\sqrt{3}} \frac{\psi}{a}$ ;  $\varepsilon = 2 \ln \frac{R_0}{R}$  – обжатие;  $m = \frac{M_0}{W_p \tau_T}$  – полярный момент сопротивления начального сечения прутка.

Умножая уравнение (8) на радиус контейнера определили крутящий момент, действующий на гильзу в процессе прессования.

На основе полученных расчетных данных установлено, что:

- напряжение прессования уменьшается с ростом крутящего момента, приложенного к заднему концу прессуемой гильзы;
- с увеличением угла  $\alpha$  (угол между осью прессования и коническим контейнером) и коэффициента  $K$  увеличивается усилие прессования;
- существенное влияние на усилия прессования оказывает направление действия сил трения. Наименьшее усилие прессования получено при угле направления действия сил трения равной  $45^\circ$ ;
- крутящий момент увеличивается с увеличением угла  $\alpha$ ;
- наименьший крутящий момент возникает при угле направления действия сил трения равной  $45^\circ$ .

Таким образом, нами расчетным путем установлены рациональные геометрические размеры предлагаемой установки для прессования труб.

Эффективность процесса непрерывного литья слябов, блюмов или другой заготовки для ее последующей прокатки общеизвестна. Но эта эффективность еще больше возрастает при объединении процесса литья с прокаткой в одном агрегате или стане. Применение этого технологического процесса для получения проката непрерывным методом из жидкого металла открывает большие перспективы в деле повышения эффективности металлургического производства. При такой технологии удастся использовать первичное тепло слитка для его деформации, исключить промежуточный склад металла и достичь полной непрерывности в процессах литья и прокатки, что обеспечит резкое повышение производительности труда. Машины, входящие в агрегат для выполнения этого процесса, становятся более компактными, уменьшаются их масса и требуемые производственные площади. Наряду с эксплуатационными преимуществами существенно снижаются также и удельные капитальные вложения.

Однако современные прокатные станы не позволяют совместить процессы непрерывной разливки и прокатки, т.е. создать непрерывные литейно-прокатные комплексы. Связано это с тем, что в непрерывных литейно-прокатных комплексах существует значительный разрыв между производительностью МНЛЗ и непрерывного прокатного стана, что делает нерациональным совмещение их в одну линию.

Для создания оптимальной непрерывной технологии литья и прокатки труб и развития благоприятной картины НДС в заготовке, нами был предложен инструмент для ковки-прокатки, содержащий верхний и нижний бойки с цилиндрическими рабочими поверхностями.

Инструмент для ковки-прокатки состоит из: двух бойков, четырех цилиндрических рабочих поверхностей, которые расположены в полуцилиндрических гнездах бойков, четырех станин. При этом к верхним и нижним цилиндрическим рабочим поверхностям прикреплены через зубчатые соединения водило и опора, а сами цилиндрические рабочие поверхности через подшипники прикреплены к станинам.

Деформирование непрерывнолитых блюмов осуществляют следующим образом. Непрерывнолитой блюм подают между цилиндрическими рабочими поверхностями верхнего и нижнего бойков. При движении траверсы прессы вниз происходит пластическая деформация непрерывнолитого блюма цилиндрическими рабочими поверхностями бойков. При этом опора с помощью зубчатого соединения и водило приводит во вращательное движение верхние и нижние цилиндрические рабочие поверхности.

Для определения НДС заготовки при ковке-прокатке в предлагаемом инструменте применили метод конечных элементов реализованный в программных продуктах MSC.SuperForge. Задача исследования объемного НДС заготовки в процессе ковки-прокатки является контактной, упругопластической, нелинейной, с учетом температурного режима деформирования, а также больших перемещений и деформаций. Требуется произвести расчет НДС и температурное поле в заготовке при одном ходе инструмента.

Заготовка представляет собой цилиндр размером  $060 \times 300$  мм. В качестве материала заготовки выбрана сталь Ст3 с температурным диапазоном деформирования 1000-1100 °С. Радиус цилиндрической рабочей поверхности инструмента составляет 90 мм. Для моделирования пластичности материала заготовки была выбрана упругопластическая модель Джонсона-Кука. Контакт между инструментом и заготовкой смоделирован трением по Кулону, коэффициент трения был принят равным 0,3.

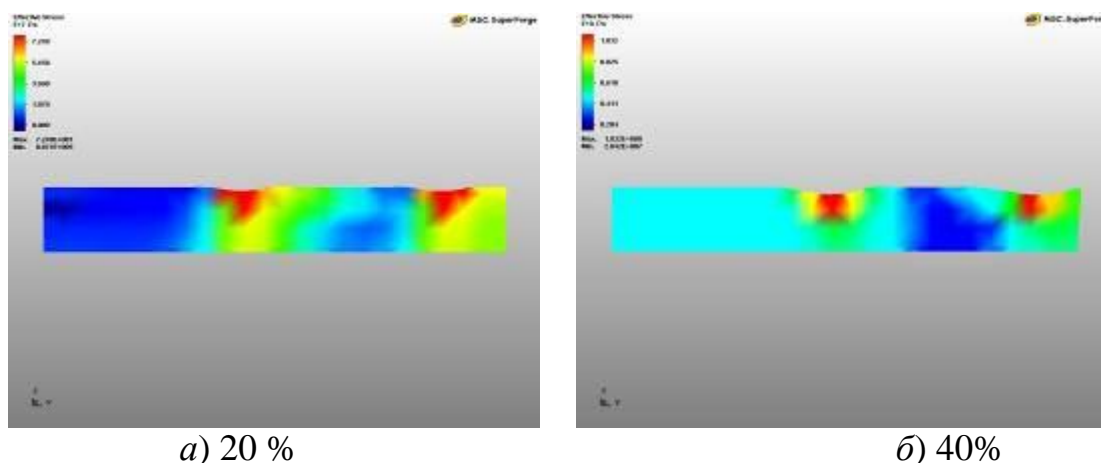


Рисунок 1 – Картина распределения эквивалентных напряжений в заготовке

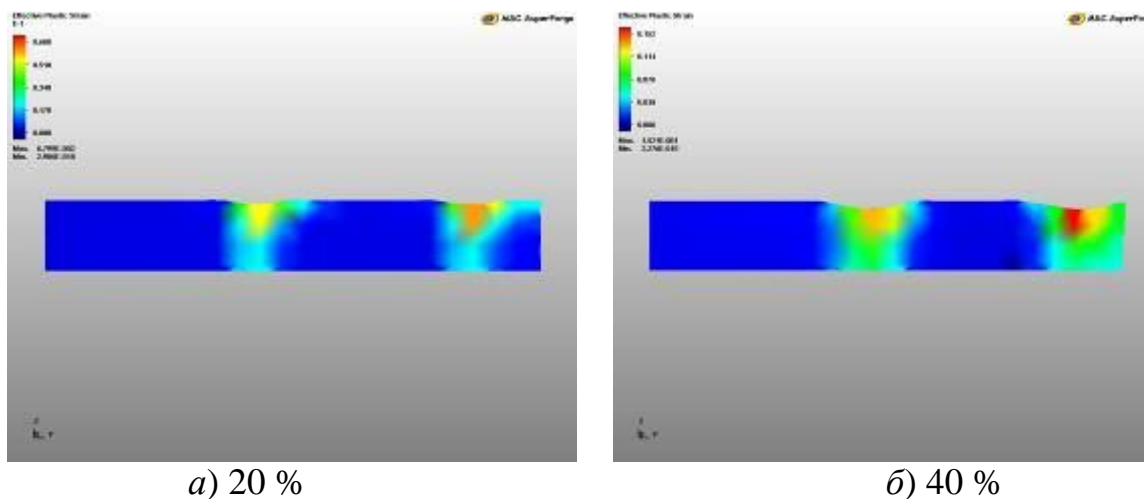


Рисунок 2 – Картина распределения эквивалентных деформаций в заготовке

Трехмерная геометрическая модель инструмента была построена в САД программе Inventor, и импортирована в САЕ программу MSC.SuperForge. При создании конечно-элементной модели заготовки и инструмента, был использован трехмерный объемный элемент ТЕТРА (четырёхузловой тетраэдр), применяемый для моделирования трехмерных тел. Для модели заготовки и инструмента потребовалось 2518 элементов и 3180 узла. Время расчета процесса составило 24 мин на компьютере Pentium Duo с тактовой частотой 3,4 ГГц и оперативной памятью 2 Гбайта.

На рисунках 1, 2 представлены картины распределения эквивалентных напряжений и деформаций. В диссертации приведено температурное поле, контактное давление и скорости течения металла в заготовке.

На основе полученных результатов численного моделирования установлено, что:

1 Использование дляковки-прокатки вращающихся верхних и нижних цилиндрических рабочих поверхностей позволяет деформировать непрерывнолитые блюмы без образования выпукло-вогнутых поверхностей на заготовках, т.е. поверхность заготовки получается гладкой (не требуется выравнивание поверхностей в других устройствах), что приводит к увеличению производительности протяжки.

2 Использование сложного движения устройства, т.е. обжатия с вращательным движением способствует получению заготовок с точными размерами и более гладкими поверхностями.

3 В начальный моментковки-прокатки эквивалентные напряжения и деформации локализуются в контактных зонах заготовки с инструментом (рисунки 1 и 2, а и б);

4 Увеличение единичного обжатия приводит к увеличению эквивалентных напряжений и деформаций в центральной части заготовки;

5 В процессековки-прокатки в зонах локализации деформации повышается температура;

6 При ковке-прокатке в инструменте с цилиндрической рабочей поверхностью степень деформации сдвига (накопленная деформация) распределяется равномерно по сечению протягиваемой заготовки.

Таким образом, при ковке-прокатке в инструменте с цилиндрической рабочей поверхностью НДС распределяются равномерно по сечению деформируемой заготовки, т.е. схема НДС получается «мягкой», а степень деформации сдвига распределяется равномерно. Все это приводит к повышению качества получаемых блюмов.

На основе полученных данных в среде MSC.SuperForge разработана методика расчета степени использования ресурса пластичности при ковке-прокатке непрерывнолитых заготовок в инструменте с цилиндрической рабочей поверхностью.

Компоненты тензора напряжения и деформации в объеме очага деформации, а также коэффициент жесткости схемы напряженного рассчитывали в следующей последовательности.

Результаты имитационного моделирования в системе MSC.SuperForge показали, что когда инструмент с цилиндрической рабочей поверхностью внедряется в непрерывнолитой блюм на заданную величину, металл течет преимущественно в направлении протяжки. Это позволяет принять плоскую схему деформации в продольном сечении блюма, т.е.  $u_1 = u_1(x_1, x_2)$ ;  $u_2 = u_2(x_1, x_2)$ ;  $u_3 = 0$ .

Из уравнений  $\sigma_{ik} - \sigma_o \delta_{ik} = \frac{2T}{l} \varepsilon_{ik}$ , связывающих компоненты тензора напряжений с компонентами тензора деформациями, получаем:  $\sigma_3 - \sigma_o = 0$ , откуда среднее напряжение равно

$$\sigma_3 = \sigma_o = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) \quad (10)$$

При плоской схеме деформации максимальное касательное напряжение можно определить по формуле

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + 4\sigma_{12}^2}. \quad (11)$$

Известно, что интенсивность касательного напряжения определяется по формуле

$$T = \frac{1}{\sqrt{6}}\sqrt{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{11} - \sigma_{33})^2 + 6(\tau_{12}^2 + \tau_{13}^2 + \tau_{23}^2)} \quad (12)$$

Поскольку  $\sigma_{22} - \sigma_{33} = \frac{1}{2}(\sigma_{22} - \sigma_{11})$  и  $\sigma_{33} - \sigma_{11} = \frac{1}{2}(\sigma_{22} - \sigma_{11})$ , а  $\sigma_{23} = \sigma_{31} = 0$ , имеем  $T = \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + 4\sigma_{12}^2} = \tau_{\max}$ . (13)

Таким образом, при плоском течении несжимаемой среды величина интенсивности касательных напряжений совпадает с максимальным касательным напряжением.

Используя соотношения (11) и (10), нетрудно получить соотношение между максимальным касательным напряжением и средним напряжением в виде

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{1}{2}\left(\sigma_1 - \frac{(\sigma_1 + \sigma_2)}{2}\right) = \frac{1}{4}(\sigma_1 + \sigma_2) = 0,5 \cdot \sigma_o. \quad (14)$$

Сравнивая формулы  $\sigma_{\text{экв}} = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 - (\sigma_1 - \sigma_3)^2}$ , (12), (13), (14) и (11) можно легко получить уравнение  $\sigma_o = 2\tau_{\max} = 2T = \sqrt{2}\sigma_{\text{экв}}$ .

Условие разрушения стали и сплавов при ковке-прокатке в предлагаемом инструменте оценивали по величине СИРП

$$\psi = \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon_{\text{экв}}}{\Lambda_{pi} [k_{\text{ж}}(\varepsilon)]}, \quad (15)$$

где  $n$  – количество этапов относительных обжатий;  $\Lambda_{pi} = f(k_{\text{ж}})$  – предельная степень деформации сдвига;  $k_{\text{ж}} = \sigma_o/T$  – коэффициент жесткости схемы напряженного состояния;  $\sigma_o$  – среднее напряжение.

Для определения  $\Lambda_p$  при деформировании стали Ст3 использовали известное уравнение регрессии.

На основе расчета СИРП установлено, что:

- при ковке-прокатке в предлагаемом инструменте стали Ст3 нарушения сплошности материала полосы нет ( $\psi < 1$ );

- в процессековки-протяжки СИРП сосредотачивается на участке контакта цилиндрическая поверхность инструмента – заготовка;

- наибольшее значение СИРП локализуется по краям и на поверхности заготовки;

- наименьшее значение СИРП получается в центральной части заготовки, что должен приводить к завариванию центральных дефектов блюмов.

## Заключение

Результаты проведенных теоретических исследований и их практическое использование позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Показано, что в методологическом аспекте достаточно обоснованное решение проблемы количественной оценки качества труб дает квалиметрия.

2. Получены аналитические зависимости для единичных свойств продукции трубного производства (механические свойства, химический состав, структура, поверхностные и внутренние дефекты) и рассчитан обобщенный показатель качества, позволяющий объективно характеризовать качество сварных и сплошных труб.

3. Установлено, что используя квалиметрический метод оценки качества и статистический метод контроля качества, можно точно оценить качество труб выпускаемых в Республике Казахстан, а также получаемого из стран дальнего и ближнего зарубежья.

4. Предложена методика контроля и управление качеством в трубном производстве, позволяющая выявить причины нежелательного конечного результата и сосредоточиться на устранение этих причин.

5. Подтверждена адекватность предложенной модели путем сравнения получаемых при ее помощи результатов с результатами, полученными в производственных условиях. Выявлена высокая степень достоверности результатов расчетов.

6. Получены количественные данные и установлены основные закономерности изменения НДС и температуры при ковке-прокатке в устройстве для протяжки.

7. Для производства труб высокого качества предложены новые конструкции трубопрокатных станков.

8. Установлено, что при прессовании или прокатке труб с кручением энергосиловые параметры процесса снижаются.

## Список опубликованных работ по теме диссертации

1 О возможности квалиметрии при контроле качества стальных труб // С.А. Машеков, Н.С. Сембаев, Г.А. Смаилова, Б.Н. Абсадыков, А.С. Машекова // Сборник трудов. «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии». Международная научно-практическая конференция Алматы, 3-4 апреля, 2008. – С. 232-239.

2 Методика статистической обработки данных квалиметрической оценки качества // С.А. Машеков, Н.С. Сембаев, Б.Н. Абсадыков, А.С. Машекова // Вестник КазНТУ им. К.Сатпаева №3, 2008. – С. 59-61.

3 Квалиметрический метод оценки качества сварных труб // С.А. Машеков, Н.С. Сембаев, И.И. Кузьминов, Б.Н. Абсадыков // Материалы международной научно-технической конференции «Роль вузов в формировании инновационной экономики». Том 2. Усть-Каменогорск: ВКТУ им. Д. Серикбаева, 2008. – С. 133-140.

4 Машеков С.А., Сембаев Н.С., Нугман Е.З. Проблемы и перспективы развития прокатных станков // *Materialy iv miedzynarodowej naukowe-praktycznej konferencji «Wyksztalcenie I nauka bez granic - 2008» 07-15 grudnia 2008 roku Volume 19 Techniczne nauki Budownictwo i architektura Fizyczna kultura i sport, Przemysl Nauka i studia 2008.* – С. 5-9.

5 Машеков С.А., Сембаев Н.С., Кузьминов И.И. Контроль качества сварных труб (Сообщение 1) // *Вестник КазНТУ им. К.Сатпаева №5, 2008.* – С. 49-54.

6 Машеков С.А., Сембаев Н.С., Кузьминов И.И. Контроль качества сварных труб (Сообщение 2) // *Вестник КазНТУ им. К.Сатпаева №6, 2008.* – С. 48-51.

7 Машеков С.А., Сембаев Н.С., Кузьминов И.И. Контроль качества сварных труб (Сообщение 3) // *Вестник КазНТУ им. К.Сатпаева №1, 2009.* – С. 76-82.

8 Машекова А.С., Абсадыков Б.Н., Сембаев Н.С. Новые разработки в области производства горячекатаных труб для нефтегазовой отрасли (Сообщение 1, 2) // *Сборник трудов. «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии». Вторая Международная научно-практическая конференция Алматы, 26-27 февраля, 2009.* – С. 54-60. – С. 60-66.

9 Сембаев Н.С. Методика определения энергосиловых параметров прессования труб с кручением // *Сборник трудов. «Актуальные проблемы механики и машиностроения». Третья Международная научная конференция. Том 2. Алматы, 17-19 июня, 2009.* – С. 269-272.

10 Стан для горячей прокатки труб. С.А. Машеков, Н.С. Сембаев, А.Е. Нуртазаев и др. Патент № 21104. Оpubл. 20.03.2008, бюл. № 3. -2с: ил.

11 Стан для прокатки бесшовных труб. С.А. Машеков, Н.С. Сембаев, А.Е. Нуртазаев и др. Патент РК № № 21450. Оpubл. 20.03.2008, бюл. № 3. -2с: ил.

12 Устройство для протяжки. С.А. Машеков, Н.С. Сембаев, Н.Т. Биякаева и др. Патент № 21687. Оpubл. 15.09.2009, бюл. № 9. -2с: ил.

13 Решение о выдаче инновационного патента на изобретение «Способ прессования труб» по заявке № 2009/0367.1 от 19.03.2009 г. Авторы: С.А. Машеков, Н.С. Сембаев, А.Е. Нуртазаев и др.

14 Численное моделирование методом конечных элементов НДС заготовки при протяжке в инструменте с цилиндрической рабочей формой // С.А. Машеков, А.Е. Нуртазаев, Н.С. Сембаев, Н.Т. Биякаева // *Вестник ПГУ им. С.Торайгырова №4, 2009.* – С. 107-115.

15 Квалиметрический метод оценки исходной ленты и сварных труб (Часть 1, 2, 3) / С.А. Машеков, Н.С. Сембаев, И.И. Кузьминов, Б.Н. Абсадыков // *Сборник трудов. «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии». Третья Международная научно-практическая конференция Алматы, 25-26 февраля, 2010.* – С. 77-81, – С. 82-85, – С. 85-91.

16 Сембаев Н.С. Оценка качества бесшовных труб // *Сборник трудов. «Стратегический план 2020: Казахстанский путь к лидерству». X Сатпаевские чтения Международная научная конференция молодых ученых, студентов и школьников Павлодар, 12 апреля, 2010.* – С. 76-82.

## СЕМБАЕВ НҰРБОЛАТ САКЕНҰЛЫ

### Құбырлардың сапасын және құбырилемдеу жабдықтарының күйін квалиметриялық әдіспен кешенді бағалау

05.03.01 – «Механикалық, физико-техникалық өңдеу технологиялары мен жабдықтары» мамандығы бойынша техника ғылымдарының кандидаты ғылыми дәрежесін ізденуге

#### ТҮЙІН

**Тақырыптың өзектілігі.** Құбырдың сапасын бағалап, оның қай топқа жататынын және жарамдылығын анықтау үшін бірнеше стандартты көрсеткіштер қолданылады. Негізінен сапа көрсеткішінің бір түрін анықтау үшін қолданылатын себепшарттар бір-біріне тәуелді емес. Сондықтан, қажетті дәлдік классының көрсеткіштері сапа көрсеткіштерінің басқаларына кепілдік бермейді. Осыған орай, соңғы кездері көптеген өндіріс саласында қалыптасқандай, металдарды қысыммен өңдеу (МКӨ) механикасы аппараттарын пайдаланып, пішінін өзгертіп алған металдан жасалған бұйымдардың сапасын басқару мүмкін емес. Металдарды қысыммен өңдеу механикасы аппараттарын пайдалану мен *квалиметрия теориясын* кешенді пайдалану ғана металл бұйымдардың сапасын оңтайландыра шешудің бір көзі болып табылады. Илемдеу өндірісіндегі осы тектес проблемелар өнім көлемі ұлғайған сайын кең етек алуда. Бұл бағыттағы шараларды дамытуды **өзекті** деп тану дұрыс болып табылады. Сонымен бірге құбыр сапасын жоғарылатуға бағытталған дәстүрлі технологиялық үрдістерді дамыту және мейлінше жаңа үрдістер мен илемдеу жабдықтарын құрастыру **өзекті** мәселе болып табылады.

**Жұмыстың мақсаты.** Математикалық және физикалық модельдеу әдіснамасына негізделген кешенді есептеулерді іске асыру арқылы сапаны басқарудың жаңа ғылыми нәтижелерін алу, сапаны басқарудың іс-әрекеттерін таңдау, металдан жасалған бұйымдардың сапасын жоғарылатуға бағытталған жаңа техникалық және технологиялық шешімдерді ойлап табу.

Диссертациялық жұмыстың ғылыми міндеттері:

- құбырды илемдеу кезінде пайда болатын ақаулардың заңдылықтарын зерттеу, олардың негізінде сапаны кешенді бағалаудың әдіснамасын құрастыру;
- жаңа конструкциялы құбырбаспақтау жабдықтарында құбырларды баспалау кезінде энергия күштерінің параметрлерінің таралу заңдылықтарын зерттеу;
- құбыр өндірісіндегі сапа басқару және бақылаудың жаңа әдіснамасын зерттеу және солардың негізінде құбыр илемдеу орнақтарының жаңа конструкциясын құрастыру;
- үздіксіз құйылған құбыр дайындамаларын соғымдаудың сапасын жоғарылататын соғымдау-илемдеу аспаптарында өңдеу кезінде кернеулі-деформация күйінің таралу заңдылығын зерттеу.

**Ғылыми жаңалық.** Жұмыста өндірілетін өнімнің сапасын жоғарылатуға мүмкіндік беретін құбыр сапасын бағалаудағы негізгі ірі проблемеларды шешу нәтижелері мен құбыр илемдеу орнағының жаңа құрылымының құрылысы көрсетілген. Осыларды жүзеге асыру мақсатында атқарылған жұмыстар:

- құбырлардың сапасын объективті сипаттауға мүмкіндік беретін (механикалық қасиеттер, химиялық құрамы, құрылымы, бет-бедерлі және ішкі



ақаулар) құбыр өндірісі өнімдерінің белгілі қасиеттерінің эмпириялық тәуелділіктер анықталды;

– құбыр өндірісінде сапаны бақылаудың жаңа әдіснамасы мен басқарудың жаңа нұсқасы зерттелді;

– құрылымы жаңа құбыр баспақтау жабдығында құбырларды баспақтағанда энергия күштік параметрдің өзгеруінің негізгі заңдылығы табылды және сандық мөлшері бірінші рет алынды;

– жұмысшы беті цилиндрлі болатын сайманда соғып – илемдеген кезде кернеулі-деформациялы күйдің, температураның және энергия күштік параметрдің өзгеруінің негізгі заңдылықтары табылды және олардың сандық көрсеткіштер алынды.

**Зерттеу әдіснамалары.** Зерттеу әдіснамалары кернеулі-деформациялы күйдің теориясын қолдануға және өңдеу үрдісіне соңғы-элемент модельдеуін пайдалануға негізделген. Теориялық есептеулерге MSC.SuperForge бағдарламалық кешені қолданылды. Сынақтағы үлгілерді зерттеу және суретке түсіру үшін МИМ-7 металлографиялық микроскопын пайдаландық.

Зерттеу объектілері болып құбырларды илемдеу технологиясы, құрылымы жаңа құбыр илемдеу орнағы және жаңа орнақта деформацияланған үлгілер табылды.

Тәжірибелік зерттеулер С.Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті және «Кастинг» ЖШС Павлодар филиалы жабдықтарында жүзеге асырылды.

**Жұмыстың тәжірибелік құндылығы** төмендегі ғылыми-техникалық мәселелердің шешімін табуы:

– анықталған эмпириялық тәуелділіктер, қолданылған сапаны басқару моделі мен басқарудың кейбір бағытты функция түрінде құбыр сапасын объективті бағалаудың іс-әрекеттерін қалыптастыруға нақты мүмкіншілік берді;

– құбыр өндірісінде сапаны бақылаудың жаңа әдіснамасы мен басқарудың жаңа нұсқасы зерттелген;

– деформацияның макрожылжыту арқылы гильза қимасы бойынша металл құрылымын қарқынды майдалауға мүмкіншілік беретін құрылымы жаңа құбыр илемдеу орнағы ұсынылып отыр.

Ұсынылып отырған квалиметриялық әдіс бойынша құбыр сапасын бағалауды тұтынушылар мен қатар өндірушілер де қолданыла алады.

#### **Қорғауға шығарылатын тұжырымдар:**

– механикалық қасиеттермен, химиялық құрамымен, құрылымымен, беттік және ішкі ақауларымен сипатталатын құбырлардың бірлік қасиеттерінің аналитикалық тәуелділіктері оның сапасын объективті бағалауға мүмкіндік береді;

– құбыр өндірісіндегі сапаны бақылу мен басқарудың жаңа әдіснамасы – құбыр дайындаудың квалиметриялық сапа бағалау әдіснамасы және соның көмегімен құбыр илемдеу орнақтарының жеке элементтерінің күйін технологиялық тұрғыда бағалау;

– жаңа конструкциялы құбыр баспалау жабдықтарында құбырларды баспалау кезіндегі энергия күштері параметрлерінің өзгеруінің сандық көрсеткіштері мен негізгі заңдылықтары;

– дайындаманы жұмыс беті цилиндр пішінді аспаппен деформациялау кезінде қима бойынша КДК өзгеру заңдылықтары.

## SEMBAEV NURBOLAT SAKENOVICH

### A comprehensive assessment of the quality of tubes and the technical condition of the tube-rolling equipment by qualimetric methods

05.03.01 major – Mechanical and physics-technical processing technology and equipment

#### SUMMARY

**The urgency of the problem.** To assess the quality of pipes used several standard indicators of the magnitude of which usually determines which group may include the resulting product and whether it is broken. As used for assessing the quality indicators are typically not dependent of each other, then a single target within the required precision class does not guarantee the performance of other indicators of quality. Thus, to solve the problem of quality control of metal obtained by means of plastic formation only on the basis of machinery mechanics of pressure metal forming (PMF), as is mostly done at present, is impossible. Integrated use of machinery mechanics of PMF and the *theory of qualimetry* will really solve the problem of optimizing the quality of metal products. The work of such a plan in rolling production are being staged nature of the development of this direction should be deemed to be *relevant*.

Now quality products, i.e. products that meet your business requirements, which gives the best economic results and with the highest technical and economic and performance indicators, in the engineering and metallurgical industry produced by the development of new technological processes and equipment. Improving the traditional and the development of new technological processes and rolling equipment, which improve the quality of pipes, are the *actual* problem.

**Objective.** On the basis of an integrated approach, based on the methodology of mathematical and physical modeling, to obtain new scientific results of quality management, to develop control action, to test in research trials new technical and technological solutions aimed to improving the quality of tubes.

**Scientific aim** of this work is:

- study of the regularities of defects occurrence in rolling tubes, and on basis of these studies development a methodology of integrated assessment of their qualities;
- study of the regularities distribution of energy-power parameters in pressing tubes in new construction of tube pressing equipment;
- development of new methods of control and quality management in tube production and on the basis of these studies to develop new designs of tube machines;
- study of the regularities of distribution of the stress-strain state (SSS) in forging rolling of continuous tube billets in the tool that improve the quality of forgings.

**Scientific novelty.** I this work presents results of solving the important problem of estimate the quality of tubes and the development of new construction tube machines, to enhance the quality of products. Therefore:

- obtained the analytical dependences for individual production properties of

tube production (mechanical properties, chemical composition, structure, surface and internal defects), allowing an objective to characterize the quality of tubes;

- developed the methodology and quality management in tube production, allowing to estimate the quality of manufacturing of tubes by qualimetric methodology and on the basis of this estimation to determine the technological state of the individual elements of the tube-rolling equipment;

- calculated quantitative data and establish the basic patterns of distribution of SSS and temperature in simulation of forging rolling in tool with a cylindrical working surface;

- first obtained the quantitative data and establish the basic patterns of change in energy-force parameters in the pressing tubes on new construction of tube pressing equipment.

**The method of research** is based on the theory of stress-strain state, finite-element simulation of processing. For the theoretical calculation using software package MSC.SuperForge. Observation and photography of thin sections was performed on vertical metallographic microscope MIM - 7.

The objects of study were rolling tube technology, the construction of new tube machines and the samples deformed on new machine.

Experimental studies were conducted on the bases of equipment of Pavlodar State Technical University and pavlodar branch of LLP “Casting”.

**The practical value** of work is determined by the fact that it addressed the following scientific and technical tasks:

- obtained analytical dependence, the used model control and quality management provide a real opportunity to formalize a procedure for objective estimate of the quality of tube in the form some of a target function. And then the problem can be formulated as a mathematical problem of finding the extremum, which allows to find the most advantageous solution, as individual operations, and process as a whole;

- proposed new constructions of tube machines and the method of pressing tubes, help to intensify the grinding of metal structure on the cross section of bushes at the expense macroshift deformation.

The proposed method for estimate the quality of tubes by qualimetric method can be used in both consumer and producer.

**Provisions for defence:**

- analysis according to the individual properties of tubes, characterized by mechanical properties, chemical composition, structure, surface and internal defects, allowing objectively characterize its quality;

- a new method of control and quality management in tube production, allowing qualimetric methodology to estimate the quality of tube manufacturing on the basis of this estimation to determine the technological state of the individual elements of tube rolling equipment;

- quantitative data and the basic patterns of change in energy-force parameters in the pressing tubes on new construction of tube pressing equipment;

- the regularities of changes of SSS on cross-section billet during the deformation in the tool with a cylindrical working surface.