



ОТРАБОТКА РЕЖИМОВ РОТАЦИОННОЙ СВАРКИ ТРЕНИЕМ РОТОРОВ ГТД ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

Инженер-технолог 1к., магистр
филиал АО «ОДК» «НИИД»
Анпилогов А.А.

Актуальность: в современном двигателестроении возрастают требования к массе, жесткости и ресурсу газотурбинных двигателей (ГТД), в частности, к роторам компрессоров высокого и низкого давления (КВД и КНД). Важным направлением является замена в конструкции роторов болтовых соединений на сварные. Кроме того, в авиационной и ракетной промышленности переходят на использование новых материалов с более высокими механическими свойствами. Такими являются гранулируемые жаропрочные сплавы, однако, они считаются несвариваемыми классическими методами сварки плавлением, из-за высокой склонности к образованию горячих трещин. Эту проблему позволяет решить ротационная сварка трением (РСТ). Этот метод относится к сварке при температурах ниже температуры плавления, что позволяет избежать горячих трещин.

Новизна: применение РСТ в отечественном производстве роторов ГТД

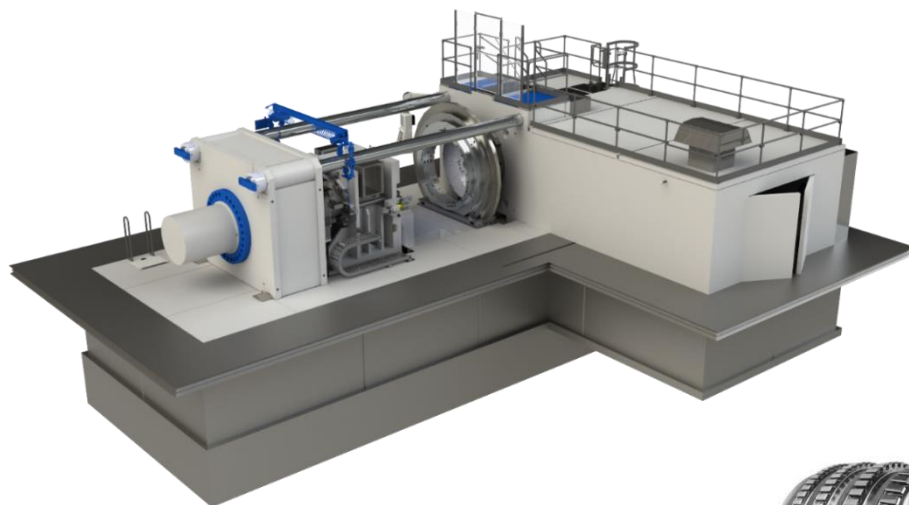
Практическое применение: замена болтовых и штифтовых соединений на сварные для уменьшения массы изделия.

Цели работы – запуск серийной технологии сварки роторов ГТД.

Задачи:

1. Оработка технологии РСТ на конструктивно-подобных элементах (стальные КПЭ для контроля стабильности работы установки и геометрии получаемых сварных узлов; КПЭ меньшего диаметра из материала, соответствующего изделию; полноразмерные КПЭ из материала, соответствующего изделию);
2. Сварка модельных секций (прототипов) для подтверждения геометрической точности получаемого изделия, отработки процесса механической и термической обработки, а также предварительные стендовые испытания и стендовые испытания на двигателе;

Объект исследования — сварной ротор компрессора высокого давления (КВД)



Установка PCT Model 2000B



Сварной барабан, изготовленный
на МТИ Model 2000B

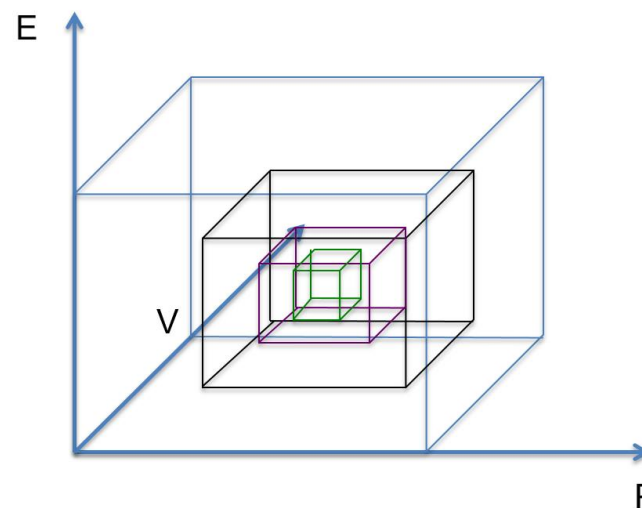


Схема объема исследований в зависимости
от параметров свариваемых деталей

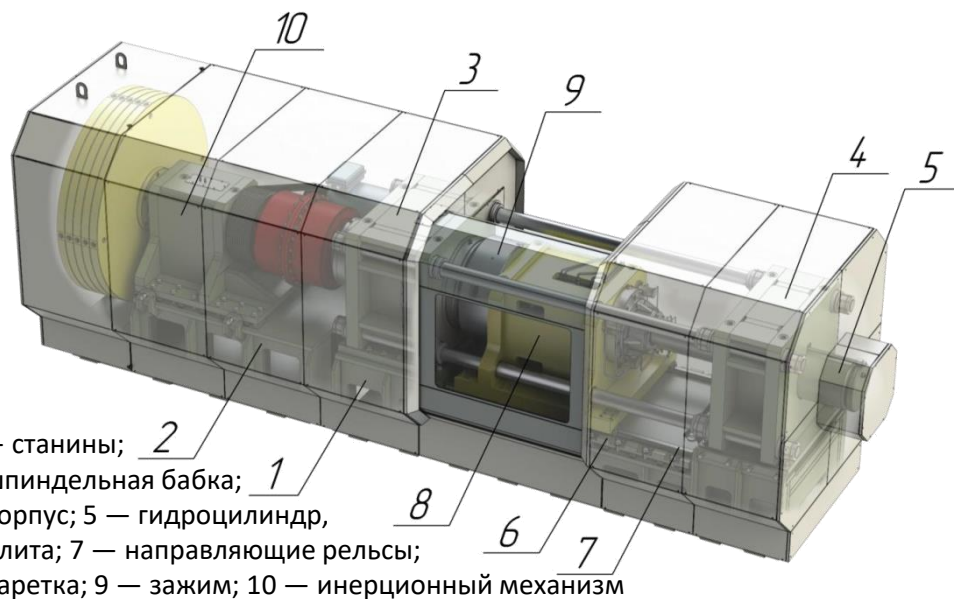
Цель проведения подготовительных работ: определение диапазона режимов сварки для обеспечения требуемых свойств Сварного соединения

* E – удельная энергия [Дж/мм²]; P – давление сварки [бар]; V – Скорость вращения поверхности стыка сварного шва в центре толщины стенки [м/с].

В работе используются жаропрочные никелевые сплавы, в том числе гранулируемые, изготовленные методом горячего изостатического прессования (ГИП)

Сплав	Механические свойства, 20 °С					Длительная прочность	МЦУ при 650 °С f=1 Гц, N=10 ⁴ циклов
	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	КСУ		
	МПа		%		Дж/см ²	МПа	
ВВ751П	1545	1173	14,5	15	28	1084	1099
ВЖ178П	1650	1180	18,5	14	40	1130	1400
ВЖ175ИД	1570	1177	14	17	37	1050	1275
ЭП741П	1352	882	17	19	31	980	1150

Химический состав ВВ751П, %																			
Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ce	Mo	W	V	Co	Nb	Ti	Al	B	Pb	Mg	La
до 1	0.04 - 0.08	до 0.3	до 0.3	50.0 9- 59.8 6	до 0.01	до 0.01 5	10- 12	до 0.01	4- 5	2.5- 3.5	0.4- 0.8	14- 16	3- 3.5	2.5- 3.1	3.7- 4.2	до 0.01 5	до 0.07	до 0.01	до 0.02

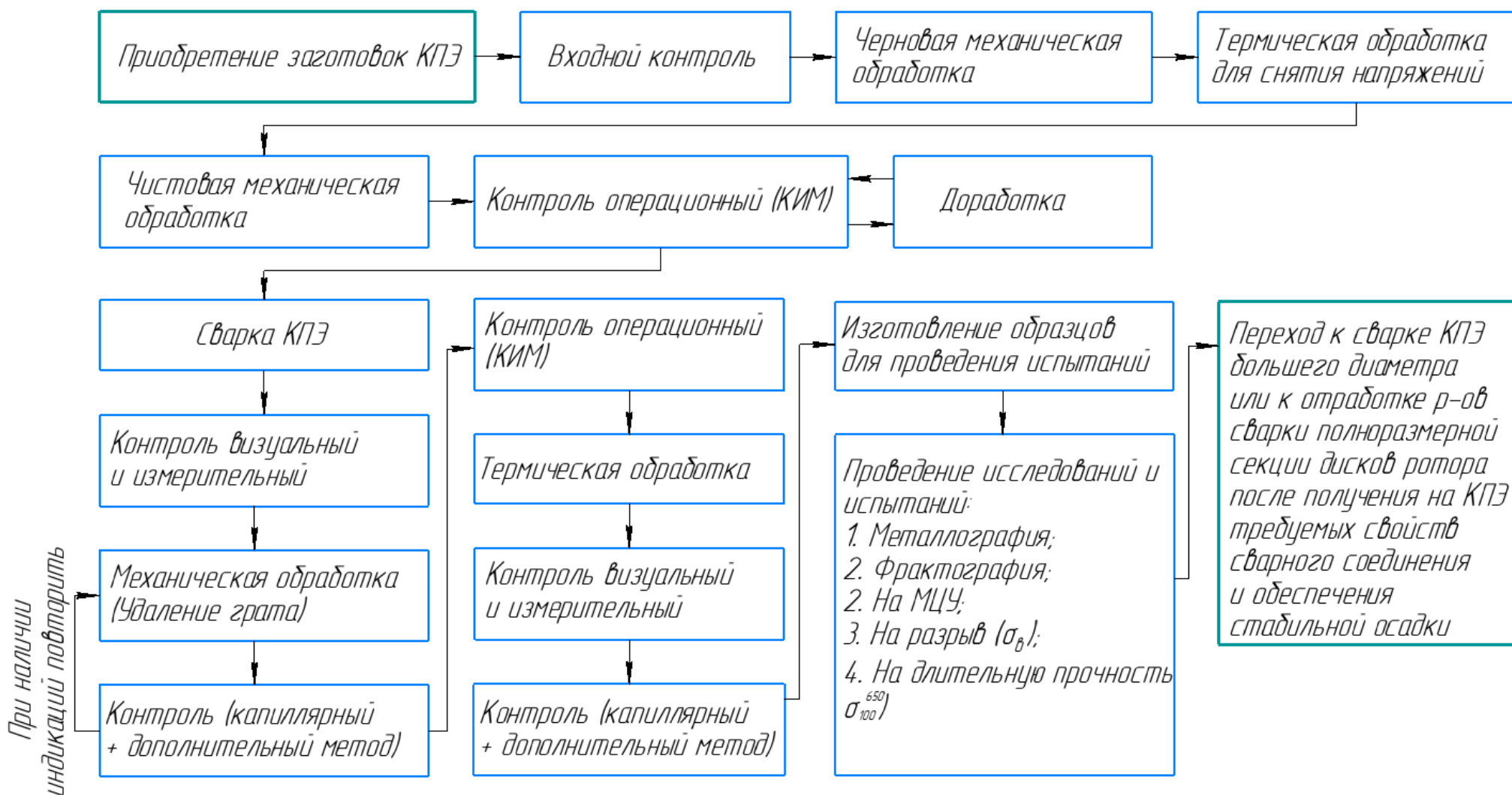


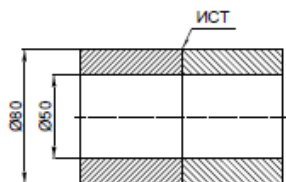
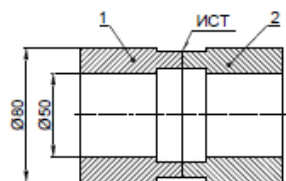
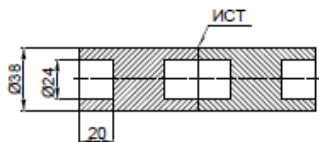
Устройство машины сварочной ПСТИ-400

Технические характеристики	
Максимальное рабочее давление в гидравлической системе, кгс/см ²	320
Величина осевого усилия, тх/мин, т·с	40–400
Площадь свариваемого сечения, тх, мм ² - жаропрочные стали - конструкционные стали	10 000 35 000
Диаметр свариваемых заготовок по зажиму, тх, мм	410
Момент инерции маховиков, кг·м ²	600
	2500
	4400
	6300
	8200
Максимальная начальная частота вращения шпинделя, об/мин - со всеми маховиками - без маховиков	10 100
	300
	600
Производительность, сварок в час	4
Масса станка, т	85
Габариты станка, м - длина - ширина - высота	9,3 6,0 3,1

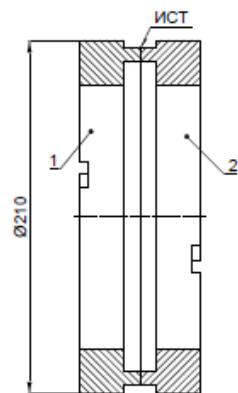


КПЭ под сварку и процесс сварки

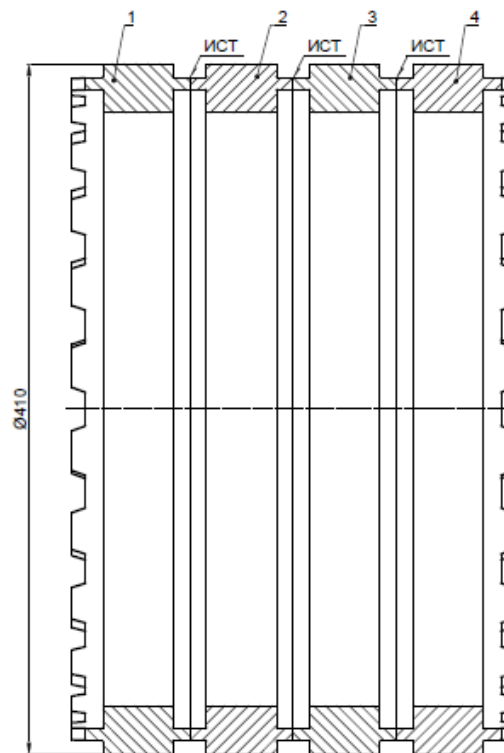




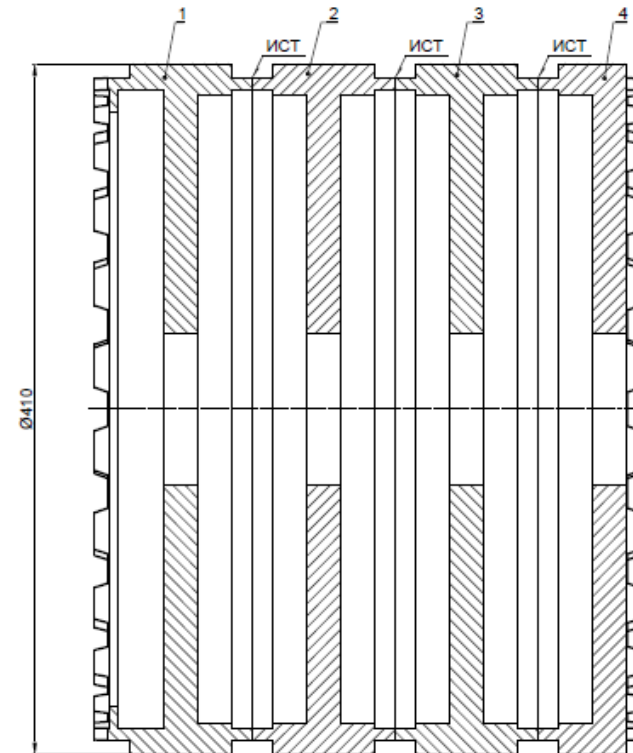
Сварные КПЭ
«Втулки»



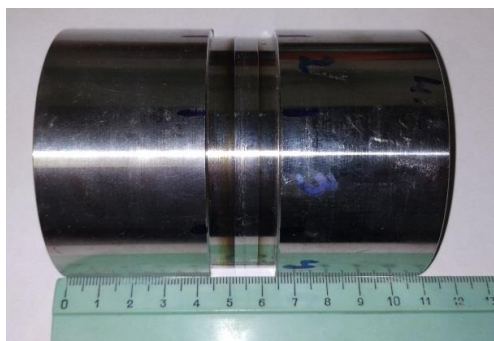
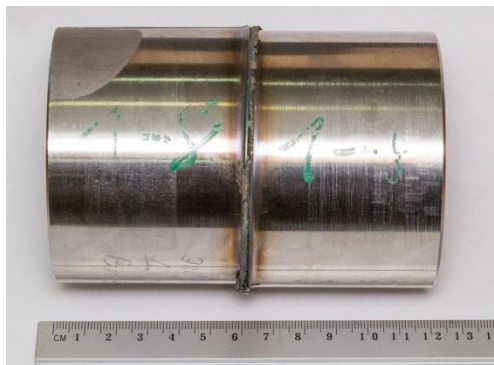
Сварной КПЭ200
«Кольца»



Сварная секция из
КПЭ400 «Обода»



Сварная секция из
КПЭ400 «Диски»



Сварные втулки различной конфигурации с гратом и без



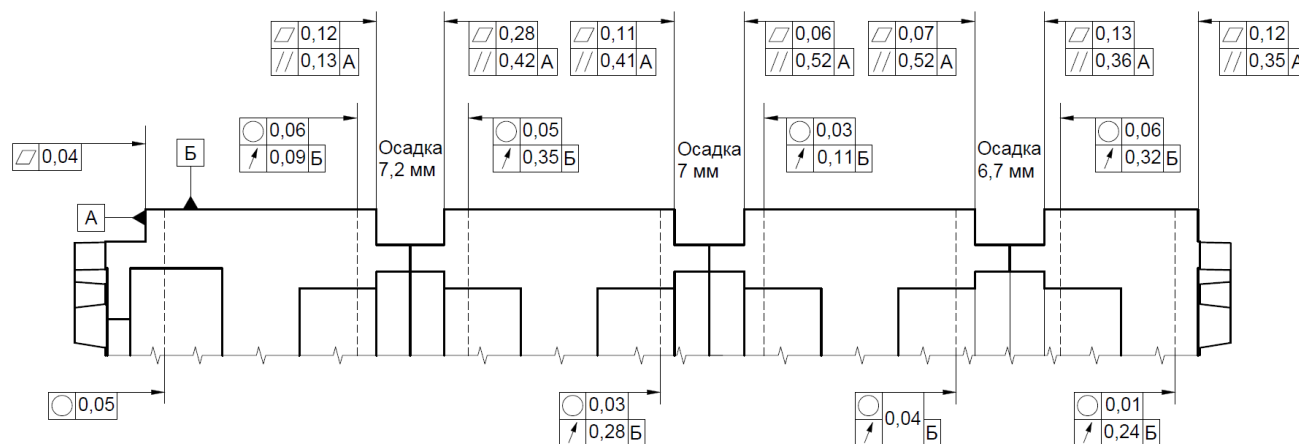
Сварные кольца с гратом и без



Сварная секция КПЭ400 «Обода»



Внешний вид модельной секции дисков



Контроль геометрии сварной модельной секции

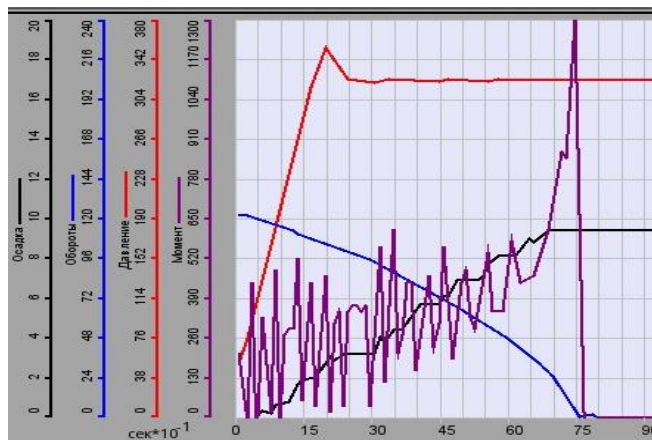
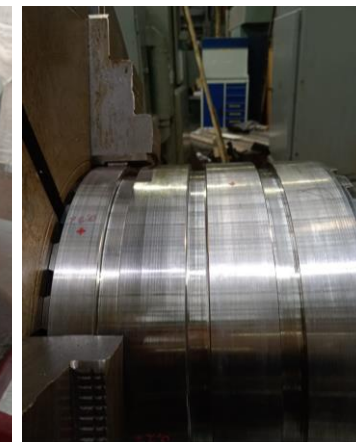
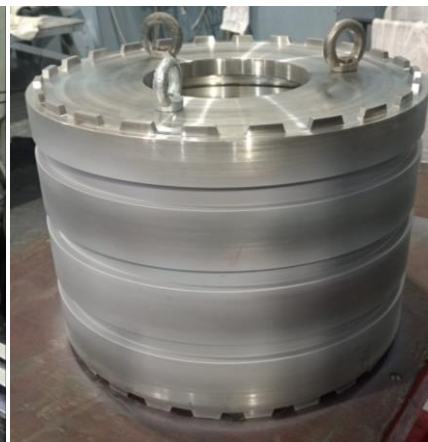
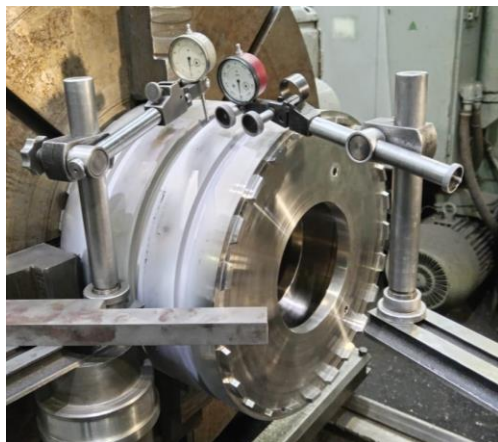


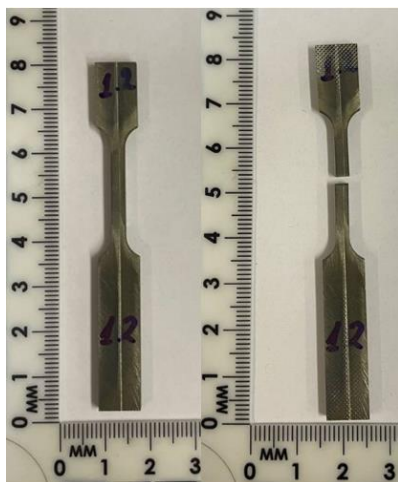
График сварки



Снятие грата и подготовка к циклическим испытаниям модельной секции дисков

Результаты испытаний на растяжение

Марка сплава	№ образца	Ширина рабочей части b, мм	Толщина рабочей части h, мм	Начальная площадь поперечного сечения F_0 , мм ²	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа (1127 МПа по ТУ)	Временное сопротивление σ_B , МПа (1519 МПа по ТУ)	Относит. удлинение после разрыва δ , %
ВВ751П	1.1	2,96	2,90	8,584	1151	1607	15,1
	1.2	2,95	2,90	8,555	1052	1535	13,2
	1.3	2,95	2,89	8,526	1135	1612	15,1
	2.1	2,95	2,91	8,585	1133	1540	13,2
	2.2	2,95	2,90	8,555	1162	1544	13,2
	2.3	2,95	2,89	8,526	1125	1557	15,1
	3.1	2,95	2,90	8,555	1113	1604	14,9
	3.2	2,95	2,90	8,555	1052	1602	14,7
	3.3	2,90	2,91	8,439	735	1609	14,6



Образец № 1.2 до испытаний и после

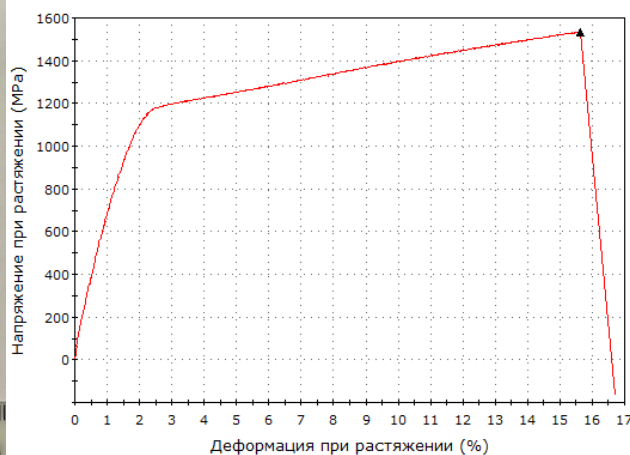


Диаграмма растяжения образца №1.2



Образец №1.3 до испытаний и после

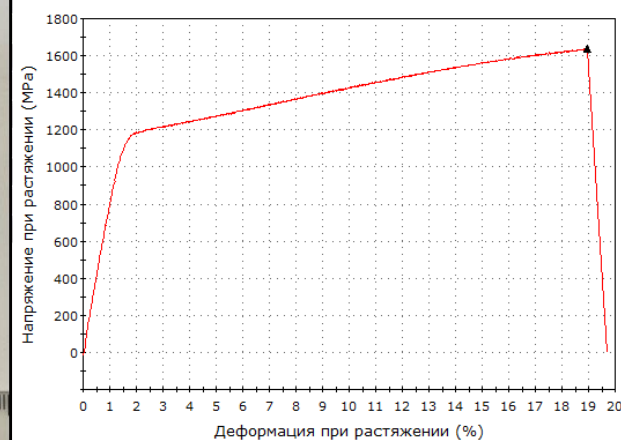
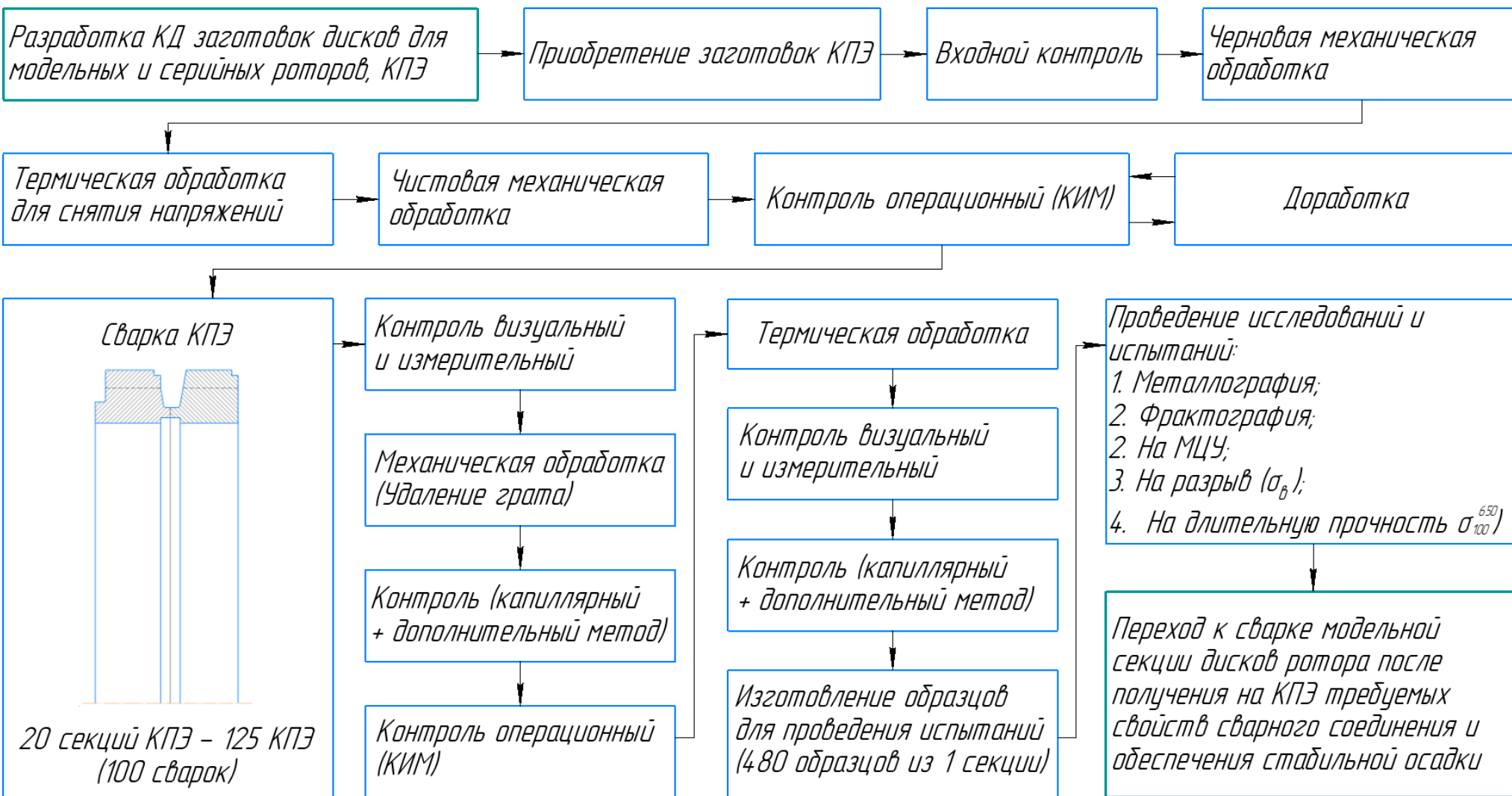
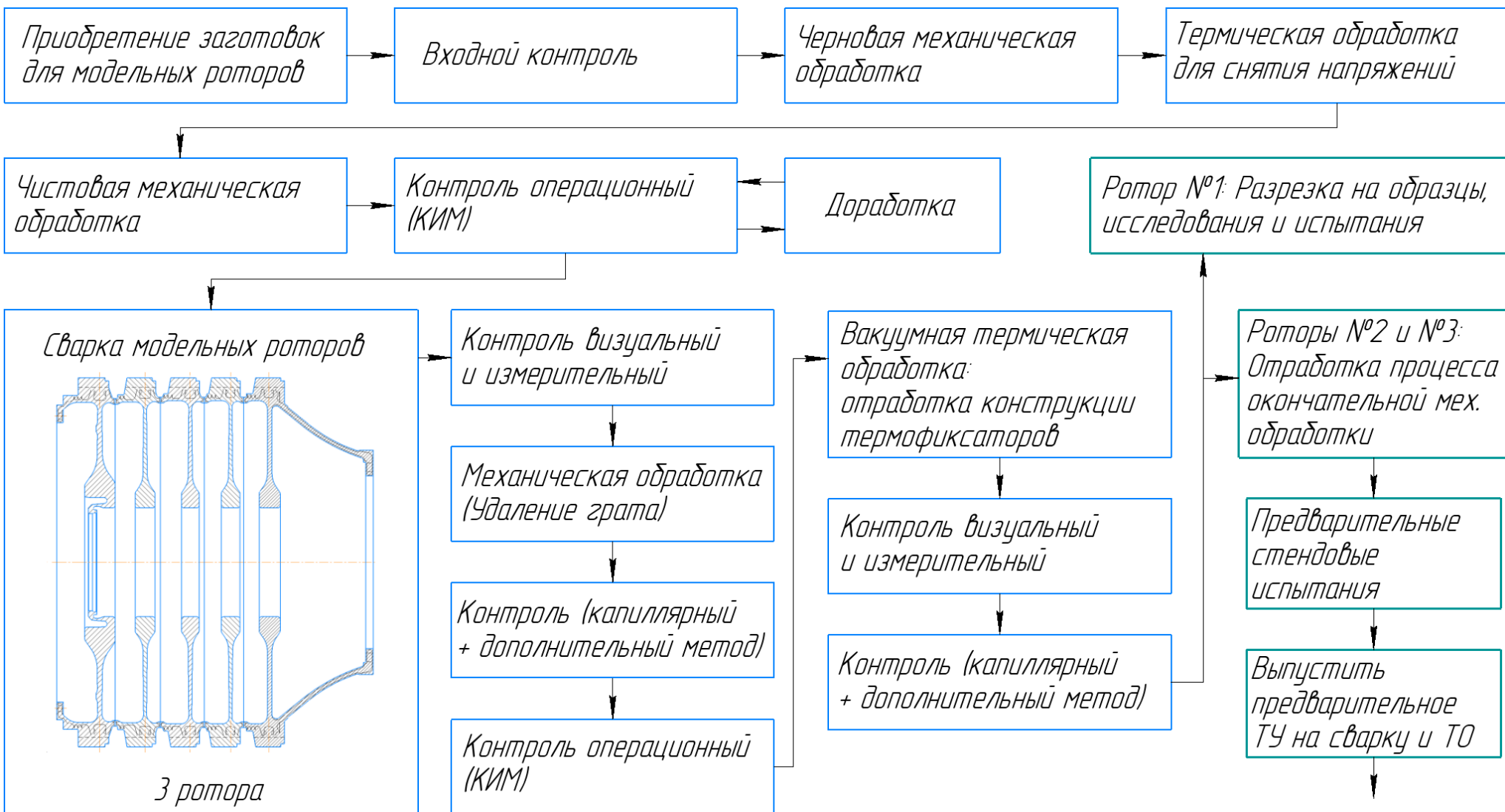
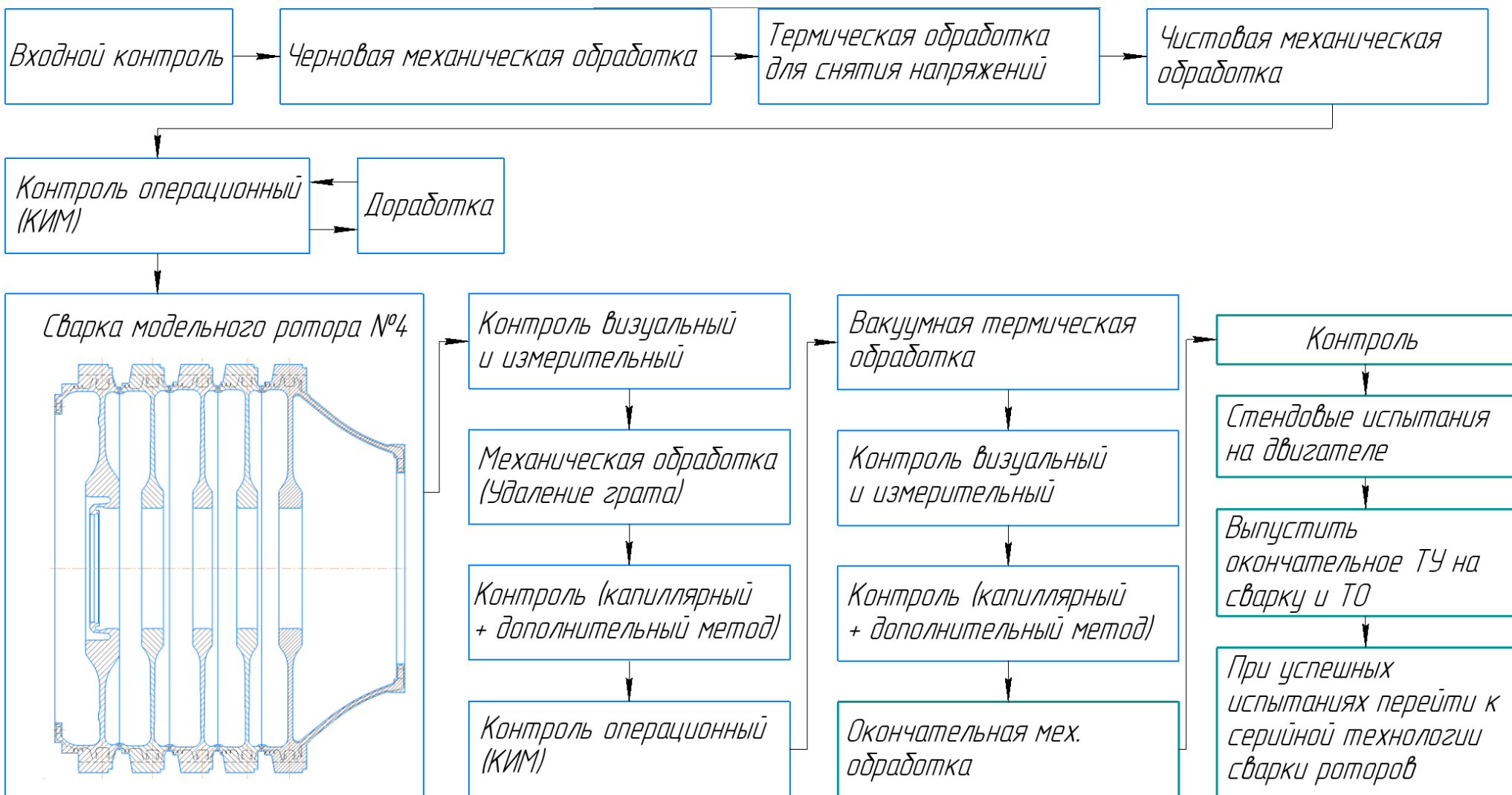
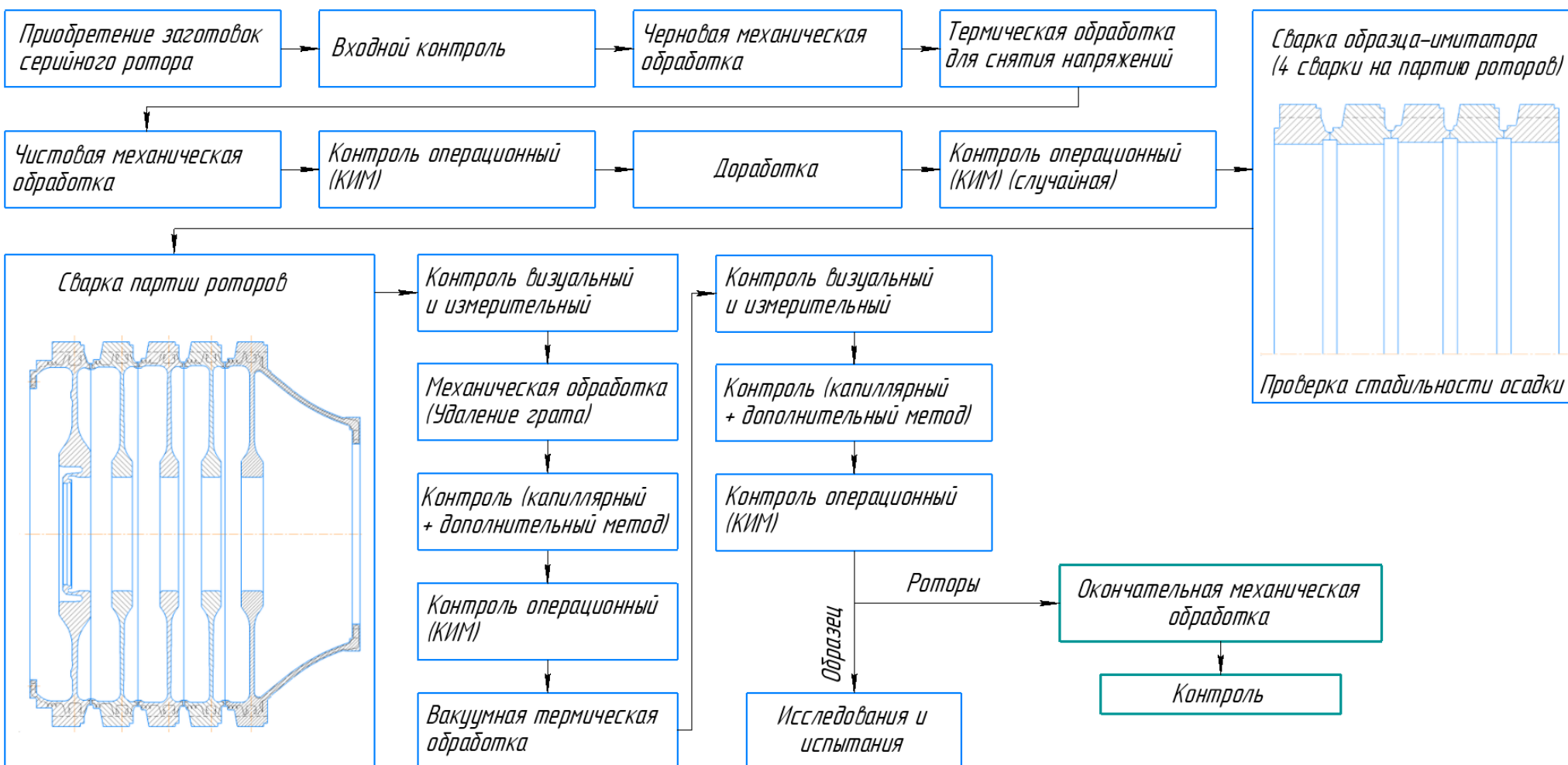


Диаграмма растяжения образца №1.3









- Накоплена теоретическая база отработки режимов сварки на отечественном оборудовании, получены практические навыки работы, обслуживания и наладки установки ротационной сварки трением отечественными специалистами;
- Получен положительный результат отработки режимов РСТ на КПЭ диаметром до 410 мм;
- Составлен маршрут отработки режимов на полноразмерных КПЭ;
- Составлен маршрут подтверждения корректности подобранных режимов посредством сварки модельных секций.

Перспективы работы:

- Сварка роторов КВД газотурбинных двигателей из гранулируемых жаропрочных никелевых сплавов;
- Сварка роторов КНД газотурбинных двигателей из титановых сплавов.

Спасибо за внимание!