

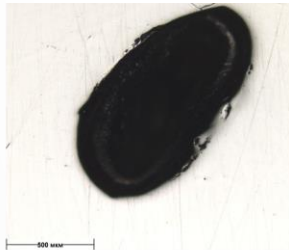
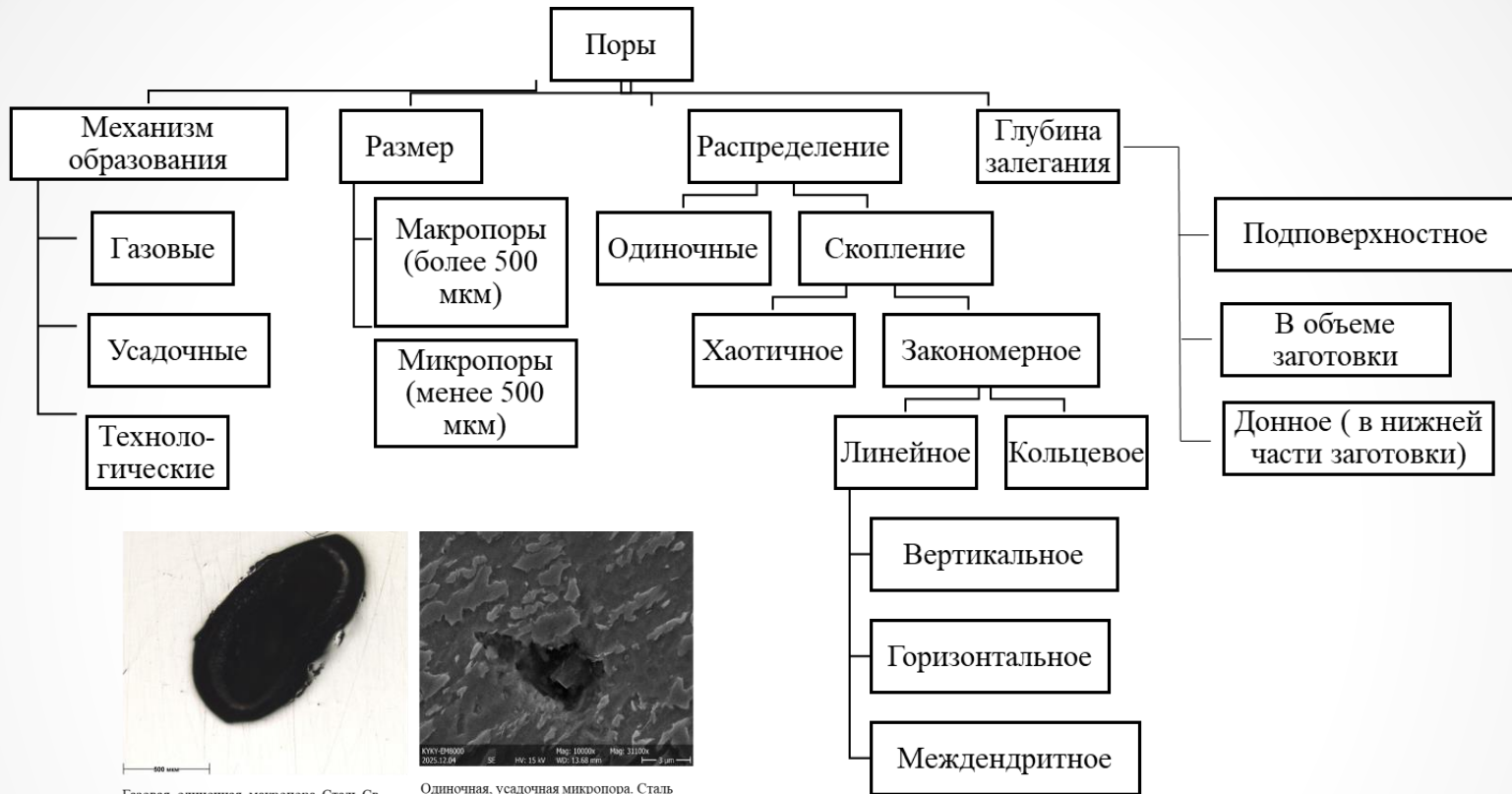


АНАЛИЗ МЕТОДОВ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ И МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРИСТОСТИ СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ПО WAAM-ТЕХНОЛОГИИ

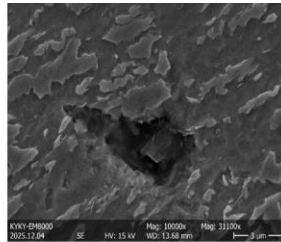
Киричек А.В., д.т.н., профессор
Макаренко К.В., д.т.н., профессор
Котлярова И.А., к.т.н., доцент
Илюшкин Д.А., к.т.н., доцент
Зенцова Е.А., старший преподаватель

Настоящее исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, работа «Проведение фундаментальных научных исследований» в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки РФ по проекту № FZWR-2024-0003 (№ 075-00150-24-03) «Разработка технологической стратегии и теоретико-экспериментальное исследование ключевых элементов технологии аддитивного синтеза из металлической проволоки деталей 3DMP-методом и волнового термомодеформационного упрочнения синтезируемых деталей машин».

ОБРАЗОВАНИЕ ПОР В СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВКАХ СВЯЗАНО С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ WAAM-СИНТЕЗА



Газовая, одиночная, макропора. Сталь Св-30ХГСА. Без ВДУ, в объеме заготовки



Одиночная, усадочная микропора. Сталь 09ХГНМГАА. Без ВДУ. Глубина залегания – в объеме заготовки

Традиционно для детального изучения поровой структуры применяют **МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ**

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ: разрешающая способность ~ 500 мкм

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

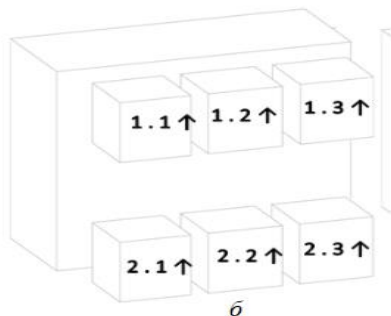
Образцы,
полученные WAAM-методом из
проволок
Св-08Г2С и **04Х19Н9**

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Пористость исследовали на нетравленных шлифах (микроскоп Leica DM IRM, методика SIAMS 800) в трех полях зрения при увеличении 50х



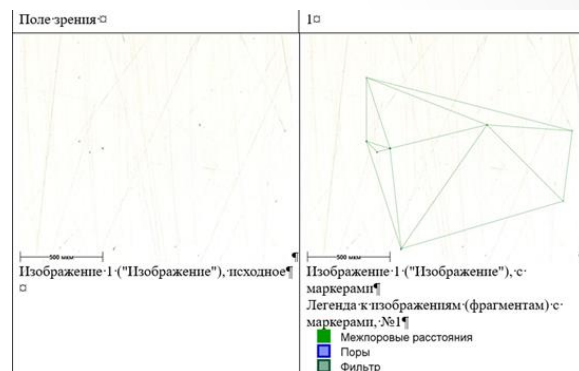
а



б

Основные технологические
параметры режимов WAAM-
синтеза

Параметр	Материал проволоки	
	Св-08Г2С	Св-04Х19Н9
Ток, А	180	180
Напряжение, В	16,3	18,8
Скорость подачи проволоки, м/мин	4,5	6,7
Скорость осцилляции, мм/мин	1000	1000
Шаг осцилляции, мм	2,5	2,5
Ширина слоя по программе, мм	52,5	52,5
Высота подъема сопла на первом слое, мм	14,8	15,2
Подъем исполнительного органа на слое, мм	2,3	2,7
Диаметр проволоки, мм	1,2	1,2
Масса (кг) и объем (см ³) материала за 1 секунду	0,0006675/ 0,085467	0,000994/ 0,127415
Время наплавки одного слоя, мин:сек	1:23	1:23
Мощность источника, Вт	2934	3384
Материал подложки	Сталь Ст3	



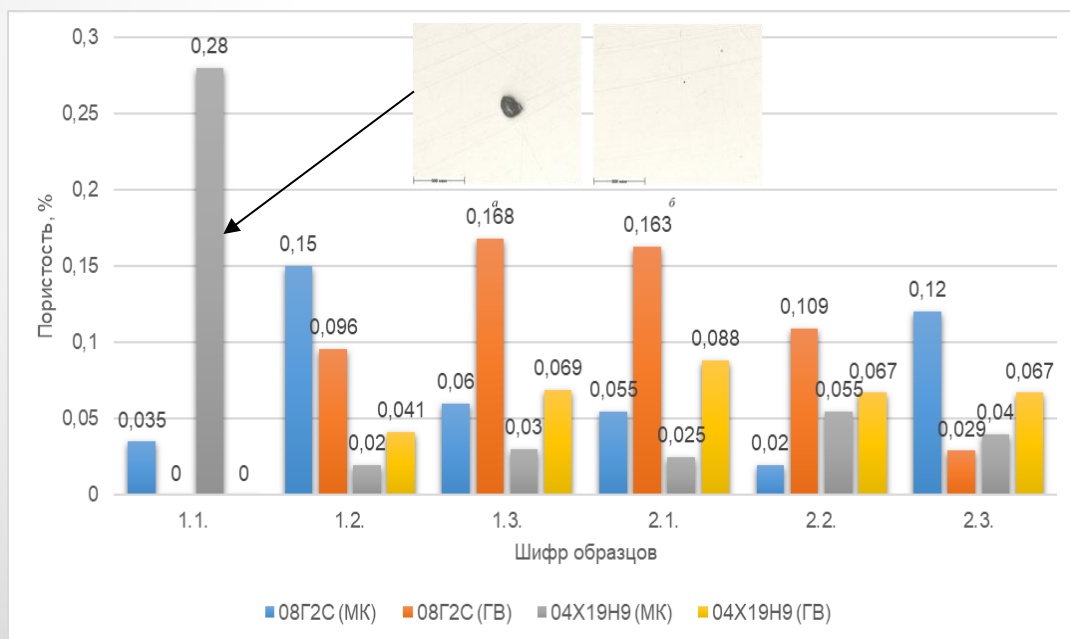
МЕТОД ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ

Измерения проводили на «образцах-кубах»
(аналитические весы ВЛК-224С-И
(дискретность 0,0001 г) + приспособление
УОП-301)

$$\rho = \frac{m_{\text{воздух}}}{(m_{\text{воздух}} - m_{\text{вода}})} \rho_{\text{вода}}$$

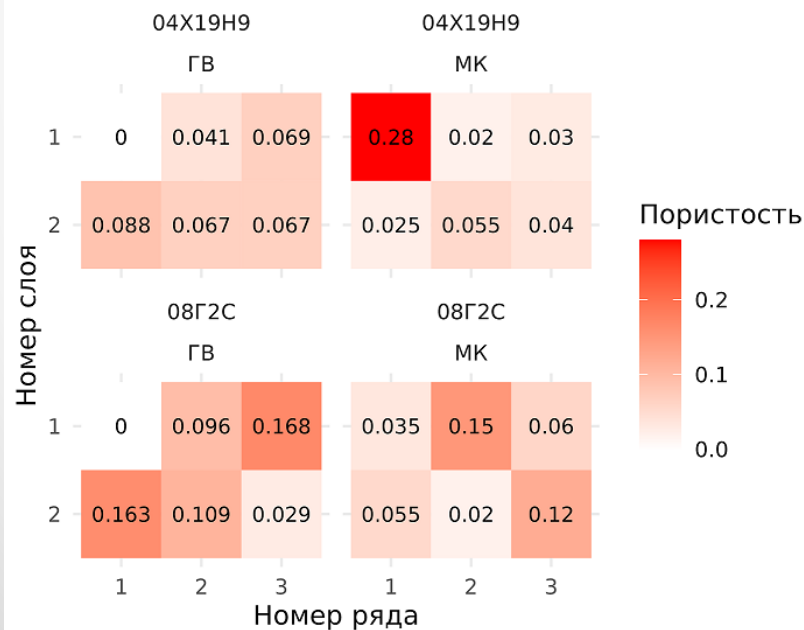
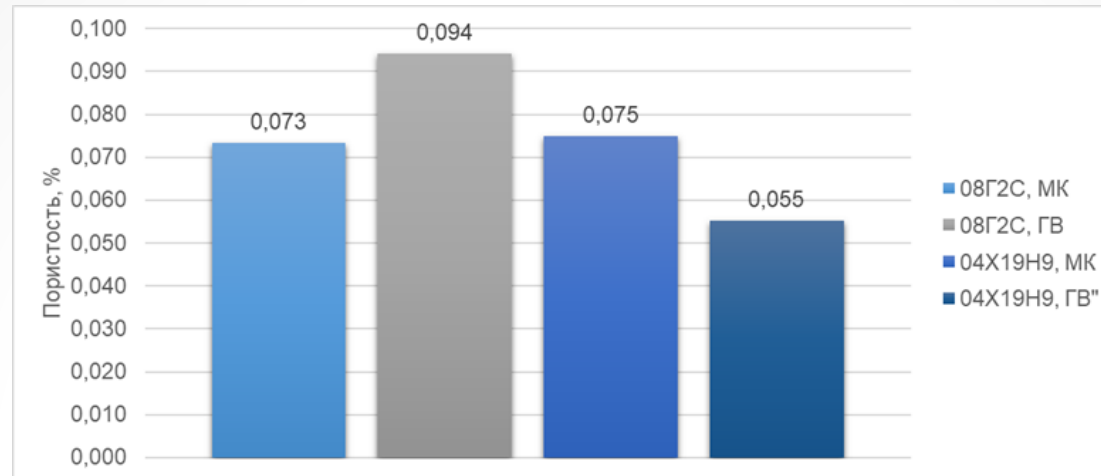
$$\varphi = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_{\text{ЭТ}}}\right) * 100\%$$

Шифр образца	Плотность, $\rho_{\text{каж}}$, г/см ³ (среднее значение по результатам трех измерений)	Шифр образца	Плотность, $\rho_{\text{каж}}$, г/см ³ (среднее значение по результатам трех измерений)
08Г2С		04Х19Н9	
1.1.	$\rho_{\text{ЭГ}}$ 7,839297	1.1.	$\rho_{\text{ЭГ}}$ 7,883057
1.2.	7,831737	1.2.	7,879783
1.3.	7,826097	1.3.	7,87754
2.1.	7,826537	2.1.	7,876087
2.2.	7,83068	2.2.	7,877737
2.3.	7,836983	2.3.	7,8778



❖ Пористость всех исследуемых образцов не превышает 0,28% (существенно ниже критических значений 2...5%).

Средние значения пористости заготовок, синтезированных из проволок 08Г2С и 04Х19Н9



❖ Данные, полученные металлографическим МК и гидростатическим ГВ методами, близки и не противоречат друг другу.

❖ Поры равномерно распределены по объему синтезированных заготовок

ВЫВОДЫ:

- ❖ Метод гидростатического взвешивания может применяться для экспресс-анализа интегральной пористости стальных WAAM-изделий.
- ❖ Перспективы развития данного подхода связаны с разработкой нормативных диапазонов плотности для различных марок сталей. Это позволит оперативно контролировать сплошность и качество материала, полностью исключив этап математического расчета пористости.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ