

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ
НЕРАЗРУШАЮЩИМ МЕТОДОМ**

А.Н. Янушонок¹, А.С. Снарский²

¹ Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, Новополоцк, Беларусь

² Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В настоящее время обеспечение надежности линейной части магистральных трубопроводов основывается на периодическом проведении обследований внутритрубными диагностическими снарядами, позволяющими с определенной долей вероятности выявить и идентифицировать дефекты и повреждения в металле труб и их сварных соединений. В тоже время в процессе эксплуатации помимо развития повреждений в стенке трубопровода вследствие воздействия совокупности факторов различной природы и интенсивности также происходит изменение механических свойств металла труб и их сварных соединений. Это обуславливает необходимость их учета с целью адекватной оценки технического состояния магистральных трубопроводов и как следствие повышения надежности и безопасности функционирования. Стандартные методы определения механических свойств предполагают вырезку темплета материала из конструкции трубопровода, что требует остановки перекачки и проведения работ со вскрытием полости трубы, и последующие исследования в лабораторных условиях, что требует значительных финансовых затрат и организационных усилий и не приемлема для широкого применения. Поэтому актуальной задачей является совершенствование методов определения механических характеристик магистральных трубопроводов неразрушающими методами.

Практическое применение могут иметь методы, основанные на использовании взаимосвязи механических характеристик со значениями свойств материала, определение которых возможно неразрушающими методами, например, при измерении твердости. Наиболее перспективным является метод определения твердости по Виккерсу, так как твердость по Виккерсу не зависит от нагрузки, получаемые отпечатки имеют геометрическое и механическое подобие, а по результатам определения твердости можно судить как о прочностных, так и о пластических характеристиках. Для этого при определении твердости по Виккерсу измерялся ряд параметров: значение по Виккерсу HV , диагональ полученного отпечатка D и ширина отпечатка S . Для проведения исследований использовали твердомер WPM. Нагрузка на индентор твердомера составляла 200 Н. Определение диагонали отпечатка пирамидального индентора на трубной стали представлен на рисунке 1.

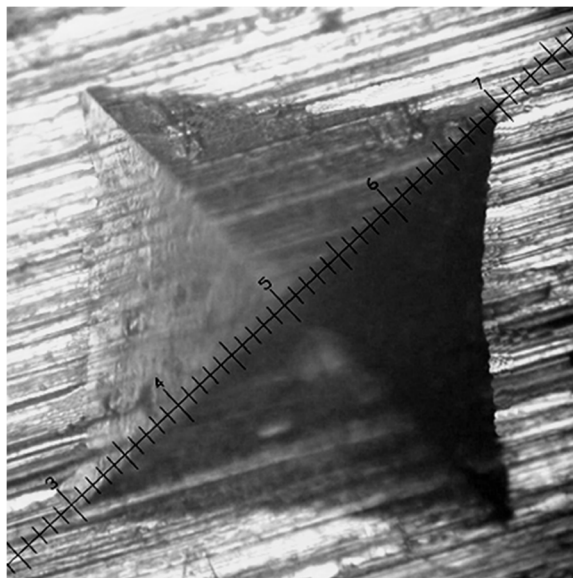


Рисунок 1. – Типичная форма отпечатка пирамидального индентора на трубной стали (x200)

Для установления взаимосвязей между параметрами, определяемыми при измерении твердости по Виккерсу (HV – твердость по Виккерсу, D – диагональ отпечатка, S – ширина отпечатка) и механическими характеристиками (σ_b – предел прочности, δ_5 – относительное удлинение) применялся многомерный регрессионный анализ. Объектом исследования являлась выборка экспериментальных данных, которые были представлены в виде массива, состоящего из чисел (σ_{bi} , HV_i , S_i) и (δ_5 , D_i , S_i). Решена задача аппроксимации этих зависимостей непрерывными функциями $\sigma_b = f(HV, S)$ и $\delta_5 = f(D, S)$ и определены коэффициенты полинома. Поскольку многомерные зависимости выражаются сложными трехпараметрическими функциями, для упрощения расчетов задача регрессии данных также сводилась к более надежной, с вычислительной точки зрения, линейной регрессии. Это было выполнено путем соответствующей замены переменных: $(\sigma_b/HV) = f(S)$ и $(\delta_5/D) = f(S)$. Также установлена линейная зависимость $\psi = f(S)$.

Ударная вязкость определялась по математической формуле 1, которая позволяет связать её с относительным сужением материала, который в свою очередь определялся на основании измерения ширины отпечатка при определении твердости по Виккерсу.

$$KCU = \gamma \cdot \frac{\psi}{1 - \psi}, \text{ МДж/м}^2, \quad (1)$$

где KCU — ударная вязкость, МДж/м²;
 ψ — относительное сужение, отн. ед.;

γ – коэффициент пропорциональности, значение которого зависит от значения механических свойств стали (таблица 1).

Таблица 1 – Значения коэффициента пропорциональности γ и разделение сталей на группы по значению механических свойств

Разделение на группы по ψ (%)		Разделение на группы по σ_B (МПа)		Разделение на группы по $\sigma_B \delta_5$ (МПа×%)	
Пределы	Коэффициент γ	Пределы	Коэффициент γ	Пределы	Коэффициент γ
$\psi > 80$	0,61	$\sigma_B > 1450$	0,72	$\sigma_B \delta_5 > 340$	1,07
$60 < \psi \leq 80$	0,76	$1200 < \sigma_B \leq 1450$	0,63	$290 < \sigma_B \delta_5 \leq 340$	0,90
$40 < \psi \leq 60$	0,83	$1000 < \sigma_B \leq 1200$	0,71	$240 < \sigma_B \delta_5 \leq 290$	0,95
$20 < \psi \leq 40$	1,19	$850 < \sigma_B \leq 1000$	0,73	$190 < \sigma_B \delta_5 \leq 240$	0,98
$\psi \leq 20$	1,66	$600 < \sigma_B \leq 850$	0,80	$140 < \sigma_B \delta_5 \leq 190$	0,73
		$450 < \sigma_B \leq 600$	0,76	$90 < \sigma_B \delta_5 \leq 140$	0,70
		$\sigma_B \leq 450$	0,65	$40 < \sigma_B \delta_5 \leq 90$	0,67

Для обработки экспериментальных данных использовался математический пакет Mathcad 13.0. Полученные коэффициенты корреляции показывают высокую статистическую значимость.