

Н.А. Долбин, А.Ф. Тихонов (профессор)

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОК МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию изменений твердости металлов в процессе сложного нагружения трубок внутренним гидростатическим давлением и высокочастотными вибрациями.

Испытания проводили на трубках из Ст. 20 (наружный диаметр $D = 17,6$ мм, внутренний — $d = 16$ мм) и меди М1 ($D = 18$ мм, $d = 15$ мм), изготовленных из прутков одной поставки. Трубки отжигали в вакууме и электрополировали. Перед испытаниями все образцы разбраковывали по толщине стенки, твердости и группировали по партиям. Нагружение трубок производилось на специально разработанной установке [1]. Величина циклических напряжений растяжения—сжатия ($f = 17,6$ кГц) определялась по амплитуде колебаний торца образца, которая несколько уменьшалась с увеличением внутреннего давления. На рис. 1 представлена зависимость σ_a от величины P .

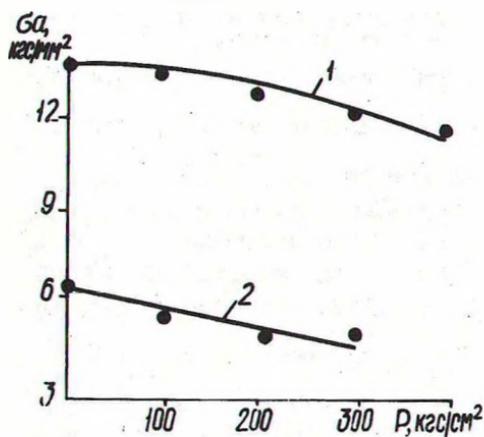


Рис. 1. Изменение циклических напряжений растяжения—сжатия в зависимости от величины внутреннего давления: 1 — сталь 20; 2 — медь М1.

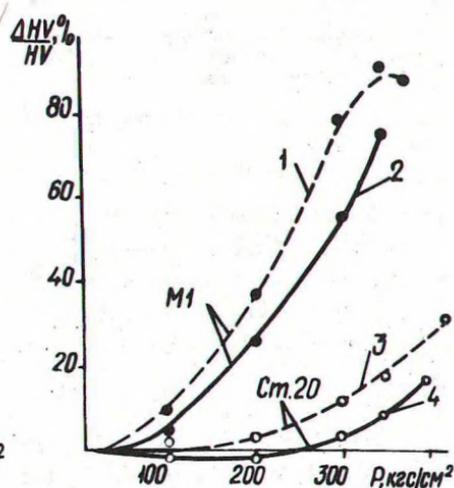


Рис. 2. Твердость материала трубчатых образцов: 1, 3 — после снятия давления; 2, 4 — при наличии внутреннего давления.

Измерение твердости по Викерсу производили после определенного числа циклов нагружения в зоне максимальных циклических напряжений, не снимая внутреннего давления и после

его снятия. На каждом уровне нагружения было испытано не менее 24 образцов.

На рис. 2 показано изменение твердости материалов в зависимости от величины внутреннего давления. Как видно из рис. 2, в начальный период нагружения в упругой зоне твердость понижается, что объясняется действием напряжений растяжения. При достижении предела текучести и до разрушения образца твердость повышается, так как процессы упрочнения от пластического деформирования преобладают над напряжениями растяжения.

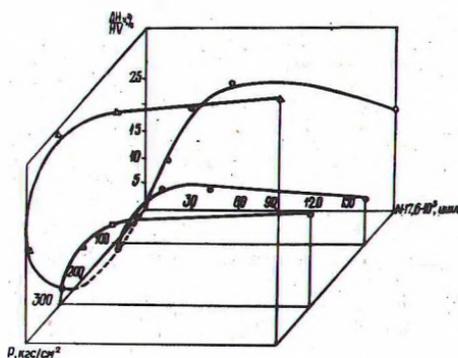


Рис. 3. Изменение твердости Ст. 20 в зависимости от величины внутреннего давления и числа циклов.

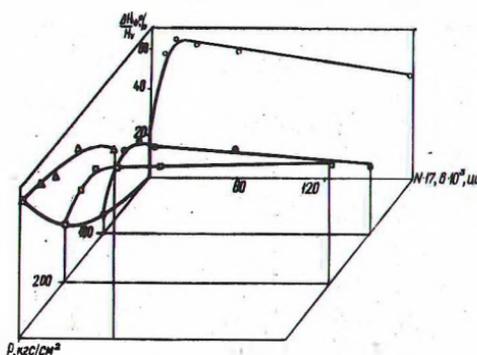


Рис. 4. Изменение твердости меди М1 в зависимости от величины внутреннего давления и числа циклов.

На рис. 3,4 даны зависимости относительной твердости $\frac{\Delta HV}{HV}$ от величины внутреннего давления и числа циклов нагружения высокочастотными вибрациями.

Высокочастотные циклические колебания при $P = 0$ вызывали увеличение твердости в начальный период нагружения. Так, например, после $N = 5,28 \cdot 10^5$ циклов с амплитудой колебаний торца образца $A_0 = 21$ мкм твердость меди возросла более чем на 50%, твердость стали при $A_0 = 31$ мкм -- на 20,6%.

Увеличение твердости, т.е. упрочнение металла в процессе тренировки, главным образом определяется взаимодействием дислокаций, приводящим к таким изменениям, что их движение будет затруднительным. Основным фактором, действующим на начальной стадии упрочнения, могут явиться дефекты, остающиеся за движущимися дислокациями и состоящие из дислокационных диполей [2].

После определенного числа циклов начинается спад HV и наступает разупрочнение. При этом спутанные конфигурации дислокаций распрямляются, выравниваются, плотность их уменьшается.

При одновременном нагружении внутренним давлением, не приводящим материал в состояние текучести, и высокочастотными вибрациями процесс упрочнения замедляется. Так, например, при $P = 200$ кгс/см² и $A_0 = 18$ мкм твердость меди после $N = 5,28 \cdot 10^5$ циклов возросла на 26%, Ст. 20 при $P = 200$ кгс/см² и $A_0 = 29$ мкм — на 10,9%. Замедление процесса упрочнения объясняется некоторым уменьшением циклических напряжений и влиянием напряжений растяжения от внутреннего давления.

Дальнейшее увеличение числа циклов вело к монотонному возрастанию твердости вплоть до разрушения образца.

Рост твердости можно объяснить тем, что увеличение времени озвучивания ведет к накоплению образцом остаточной деформации — виброползучести, особенно в зоне максимальных циклических напряжений.

При статических напряжениях от внутреннего давления, достигающих предела текучести, наложение вибраций приводит к резкому начальному увеличению твердости, так как быстро нарастает деформация трубки. Затем скорость нарастания деформации уменьшается, и твердость растет незначительно с увеличением числа циклов.

Резюме

Проведенные исследования позволили выявить характер изменения твердости Ст. 20 и меди М1 при их нагружении внутренним давлением и высокочастотными колебаниями, что дает возможность прогнозировать усталостное разрушение трубопроводов.

Л и т е р а т у р а

1. Довгялло И.Г. и др. Установка для исследований изменений твердости материалов при сложном нагружении. — Инф. лист БелНИИНТИ, 1975, № 362.
2. Северденко В.П. и др. Упрочнение и разупрочнение поверхностных слоев алюминия под действием циклических напряжений ультразвуковой частоты. — "Весті АН БССР. Сер. фіз.-техн. навук", 1974, №14.