

УДК 621.785.784

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАССИВА ИНФОРМАЦИИ ПО ПОЛОЖИТЕЛЬНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭФФЕКТА ДЕФОРМАЦИОННОГО СТАРЕНИЯ СТАЛИ**

**Ю.П. Гуль, к. т. н., М. П. Моргун, аспир.**

*Национальная металлургическая академия Украины*

**Постановка задачи**

Деформационным старением (ДС) называют произвольное изменение свойств холоднодеформированного металла в процессе длительного пребывания его при комнатной температуре (естественное ДС) или выдержки при повышенных температурах (искусственное ДС). Наиболее важными последствиями деформационного старения являются эффекты упрочнения и охрупчивания. Если указанные эффекты наблюдаются в основном при выдержке после деформации, такое старение называют статическим, а если в процессе самой деформации – динамическим.

Теория деформационного старения в общем виде исходит из двух основных положений, многократно подтвержденных практикой. Изменение свойств стали, характерное для деформационного старения, происходит только в том случае, если:

- 1) в металл деформацией введено определенное количество “свежих” дислокаций: не менее  $10^9 \text{ см}^{-2}$ ;
- 2) концентрация примесных атомов, которые могут эффективно взаимодействовать с этими дислокациями, превышает  $10^{-4} \%$  (по массе).

В основе процесса деформационного старения лежит механизм взаимодействия примесных атомов с дислокациями, введенными деформацией. Формальным итогом этого взаимодействия является изменение расположения примесных атомов в объеме металла после деформационного старения по сравнению с тем их расположением, которое существовало сразу после деформации. После деформационного старения распределение примесных атомов в основном следует за распределением дислокаций, дислокационной структуре, созданной деформацией.

Для стали явление старения имеет два аспекта. С одной стороны, это негативное явление, которое приводит к снижению пластичности и вязкости стали, в определенной степени нестабильности ее свойств во времени. Это имеет особенно большое значение для низкоуглеродистой стали обыкновенного качества, объем производства которой составляет до 2/3 от общего производства стали. В этом случае проблема старения решается путем исследования способов уменьшения интенсивности процесса старения, способов получения “нестареющей” стали. С другой стороны, старение можно использовать как упрочняющую обработку, что позволяет в определенных условиях заметно повысить несущую способность изделия или конструкции без опасного увеличения склонности к хрупкому разрушению. В этом случае стремятся получить такие композиции и режимы старения, которые позволяют достичь указанного эффекта в максимальной степени [1].

Целью настоящей работы является анализ существующей информации по положительному использованию эффекта деформационного старения для применения этих результатов в дальнейших разработках режимов ДС стали.

### Результаты анализа отобранного массива информации

Анализ информации проводился по литературным источникам, содержащим данные по использованию эффекта деформационного старения в положительном направлении. Глубина поиска составила более 60 лет и содержит данные как отечественных, так и зарубежных источников следующих типов: монографий и учебников, статей в научных журналах, патентов и прочих публикаций. Литературный поиск дал возможность отобрать 80 источников, касающихся вопроса исследования. Расположение этих источников во времени показано на рисунке 1.

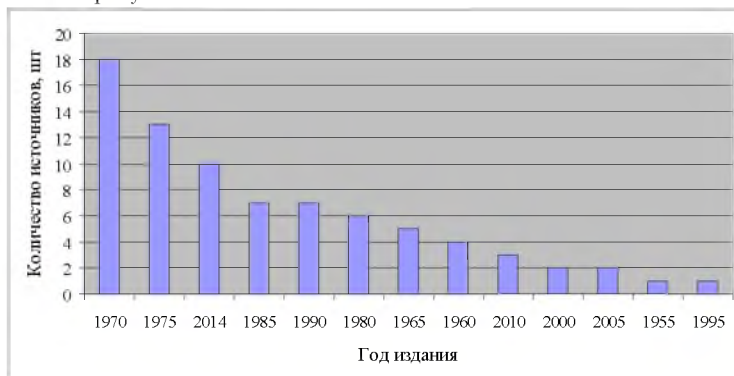


Рис. 1. Зависимость количества источников информации за исследованный период.

Распределение источников информации по их типу изображено на рисунке 2.

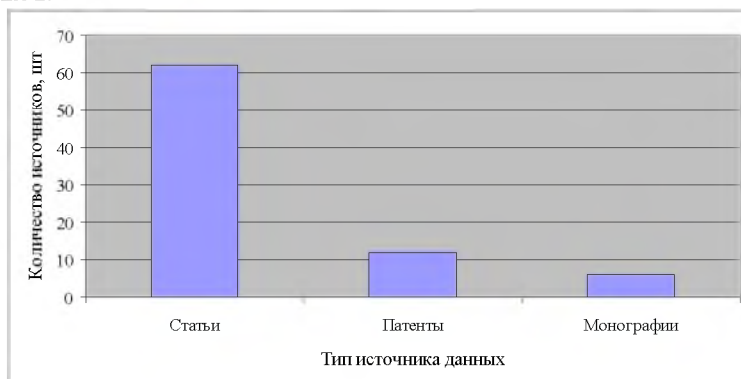


Рис. 2. Зависимость распределения источников информации по их типу.

Объектом деформационного старения (ОДС) в анализируемых источниках является углеродистая и низколегированная сталь с фазовым составом: Феррит + Цементит (карбиды, карбонитриды) с различной морфологией указанных фаз и различной объемной долей этих в соответствии с содержанием углерода в интервале от 0,1 до 1% по массе.

Анализ выявил несколько направлений возможного положительного использования ДС для указанного выше ОДС (см. рис.3):

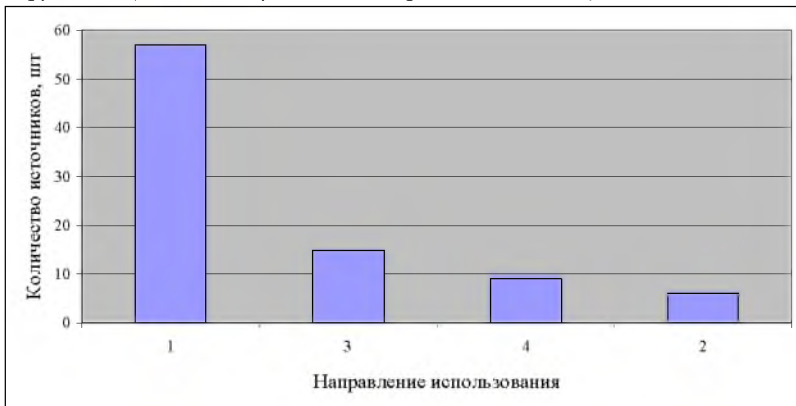
Первое направление – это использование ДС как упрочняющей обработки (вследствие деформации и старения) путем получения оптимального комплекса механических свойств, т.е. такого сочетания сопротивления деформации с необходимым уровнем сопротивления вязкому и хрупкому разрушению. Реализуется это направление на основе разработки цикла упрочняющей обработки (или ее режима), включающего:

- а) предварительную обработку для получения необходимого исходного структурного состояния (СС) стали;
- б) деформацию и ее параметры;
- в) соответственно старение и его режим.

Второе направление – это повышения функциональной конструкционной жесткости, увеличение сопротивления продольному изгибу, регулирование эффекта релаксации напряжений – на основе уменьшения дефекта модуля упругости холоднодеформированной стали.

Третье направление – повышение эксплуатационной надежности изделий, путем регулирования эффекта релаксации напряжений.

Четвертое направление – повышение сопротивления циклическому нагружению (повышение усталостной прочности изделия).



**Рис. 3.** Распределение источников информации по направлениям положительного использования эффекта деформационного старения.

Далее анализ каждого источника производили по его информативности, используя следующие характеристики:

1. Марка стали и ее химический состав.
2. Геометрия исследуемых стальных объектов.

## Строительство, материаловедение, машиностроение

3. Исходное структурное состояние стали и вид (режим) обработки, которая это состояние сформировала.
  4. Режим деформации: вид (схема), степень, скорость, температура.
  5. Режим старения: температура, длительность, другие особенности, если они есть.
  6. Характеристика конечного СС.
  7. Полученные свойства, их особенности, методы получения.
  8. Для каких изделий и почему имеют значение полученные свойства и как их можно получать на практике.
  9. Металлофизические объяснение (подтверждение в эксперименте или гипотетически) получаемым эффектам.
  10. Для каких конкретно изделий разработанный способ обработки с ДС использован на практике, эффективность использования.
- Удельная информативность исследованного массива по принятым информационным характеристикам приведена в таблице.

Таблица

Удельная информативность исследованного массива данных

| №   | Информационная характеристика   | Удельная информативность, % |
|-----|---|-----------------------------|
| 1.  | Марка стали и ее химический состав.   | 91,3                        |
| 7.  | Полученные свойства, их особенности, методы получения.  | 88,8                        |
| 5.  | Режим старения: температура, длительность, другие особенности, если они есть.   | 85                          |
| 4.  | Режим деформации: вид (схема), степень, скорость, температура.  | 80                          |
| 2.  | Геометрия исследуемых стальных объектов.  | 71,3                        |
| 3.  | Исходное структурное состояние стали и вид (режим) обработки, которая это состояние сформировала.                     | 65                          |
| 6.  | Характеристика конечного структурного состояния.  | 56,3                        |
| 8.  | Для каких изделий и почему имеют значение полученные свойства и как их можно получать на практике.                    | 35                          |
| 9.  | Металлофизические объяснение (подтверждение в эксперименте или гипотетически) получаемым эффектам.                    | 23,8                        |
| 10. | Для каких конкретно изделий разработанный способ обработки с ДС использован на практике, эффективность использования. | 20                          |

Информативность анализируемых источников по имеющимся в них указанным информационным характеристикам представлена на рисунке 4.

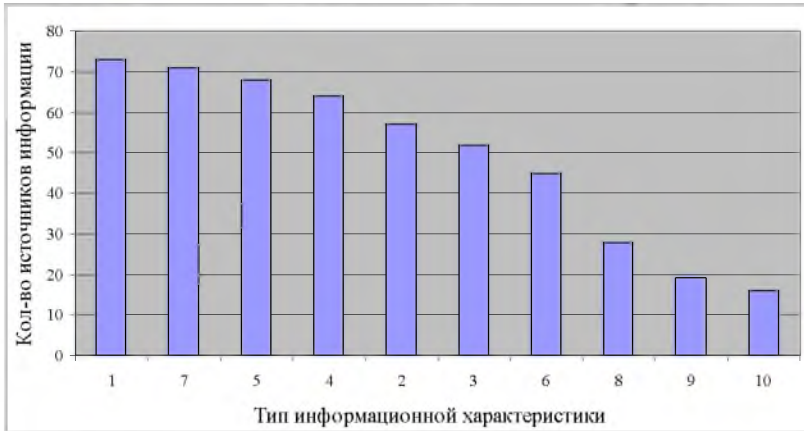


Рис 4. Распределение источников информации по имеющимся в них информационным характеристикам.

**Выводы:**

1. На протяжении длительного периода существовал и существует заметный интерес к определению возможности положительного использования эффекта деформационного старения (ЭДС) стали.

2. Проведенный анализ позволил определить 4 основных направления, в которых указанный эффект может быть использован и в ряде случаев уже используется.

3. Согласно анализа привлеченного массива информации весьма мало сведений о конкретном практическом использовании ЭДС для реальных изделий, а разработка теоретических металлофизических основ такого использования только начинается.

4. Можно обоснованно полагать, что большие потенциальные возможности положительного применения ЭДС используются пока в малой степени и только глубокое понимание типа формируемой дислокационной структуры, и типов источников примесных атомов, взаимодействующих с дислокациями, дадут реальную перспективу расширения области положительного использования ЭДС.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Бабич В.К., Гуль Ю.П., Долженков И.Е. Деформационное старение стали. М.: Металлургия, – 1972, – 320 с.