

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ВЫСОКИМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ**

© *О.Н. Федоренко, В.Р. Бараз, Б.Р. Картак, 2012 г.*  
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»  
г. Екатеринбург  
*olgm@list.ru*

### **ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ФРИКЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ МЕТОДОМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА**

Известно, что в случае деформирования трением в поверхностном слое нагруженного материала может создаваться объемное напряженное состояние с высоким удельным давлением. В этих условиях не исключается возможность изменения фазового состава (если удастся реализовать полиморфное превращение). Кроме того, подобный способ деформирования обычно сопровождается сильным поверхностным наклепом. Такая обработка трением оказывается достаточно эффективной в изделиях малого поперечного сечения (типа пружинной ленты). Это объясняется тем, что формирующийся тонкий упрочненный слой на поверхности вполне соизмерим с толщиной самого изделия. Поэтому вклад фрикционного деформирования может оказаться весьма заметным в формировании структуры поверхностного слоя и, следовательно, определенным образом повлиять на свойства. Особенно заметно это должно отразиться на поведении изделий, подвергаемых изгибным нагрузениям.

Наглядным свидетельством поверхностного упрочнения в этих материалах обычно является резкое повышение микротвердости. Известно, что данный вид обработки влияет на такие специфические свойства пружинных материалов, как условный предел упругости и релаксационная стойкость. Кроме того, показано, что фрикционное деформирование отражается на проявлении эффекта Баушингера и влияет на характер текстурообразования.

Наиболее важным направлением данной работы является создание оригинальной установки для поверхностной фрикционной обработки. Материалом служили ленточные образцы аустенитной стали 3И-126 (12Х17Н8Г2С2МФ), характеризующейся наличием нестабильной  $\gamma$ -фазы.

На рис. 1 приведена схема поверхностной обработки, позволяющая обеспечивать деформирование за счет трения путем принудительного протягивания ленточной заготовки между двумя инденторами (ножами), имеющими в рабочей части сферическую кривизну. Тем самым

использование рабочей части инденторов имитирует режим протягивания через закрепленные валки. При этом нижний индентор является жестко закрепленный, а верхний способен испытывать вертикальное перемещение.

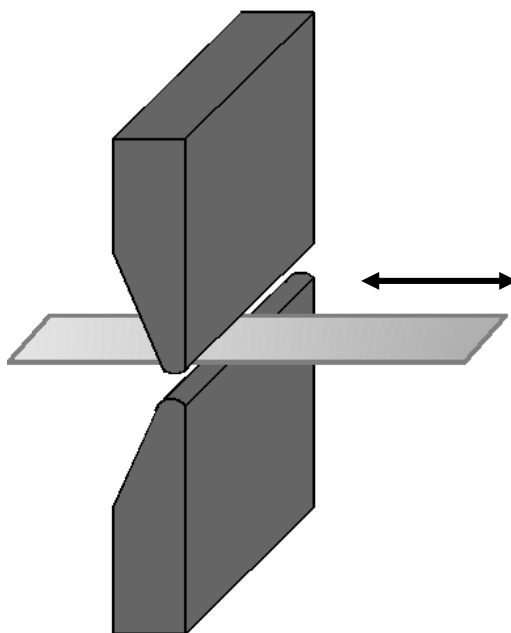


Рис. 1. Схема расположения инденторов при поверхностном деформировании стали ЗИ-126

Смысл самой обработки трением состоит в том, чтобы обеспечить локальное нагружение образца при поверхностном слое. При этом величина действующей нагрузки задается с учетом значения предела текучести материала таким образом, чтобы обеспечить упругопластическое деформирование в зоне контакта.

Освоение экспериментальной установки потребовало проведение специальных опытов по отысканию оптимальных режимов обработки трением ленточных образцов стали ЗИ126. При этом следовало выяснить возможное влияние следующих факторов: величины груза  $Q$ , действующего на инденторы; радиуса кривизны инденторов  $R$  и числа проходов  $n$ . Для поиска оптимальных условий указанной обработки был использован метод планирования эксперимента.

В настоящем эксперименте в качестве параметра оптимизации  $y$  использовался такой показатель, как микротвердость  $HV_{50}$ . Факторами являлись соответственно вес грузов  $Q$ , г ( $x_1$ ); число проходов через ножи-инденторы  $n$  ( $x_2$ ) и радиус закругления ножа-индентора  $R$ , мм ( $x_3$ ). Уровни и интервалы варьирования факторов представлены в табл. 1.

Таким образом, был применен полный трехфакторный эксперимент типа  $2^3$ . Всего было проведено 8 опытов, а также дополнительный эксперимент (9-й) на нулевом уровне.

Таблица 1

## Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Вес грузов $Q$ , г ( $x_1$ )	Число проходов $n$ ( $x_2$ )	Радиус закругления $R$ , мм ( $x_3$ )
Основной уровень	1160	100	2
Интервал варьирования	580	50	1
Нижний уровень	580	50	3
Верхний уровень	1740	150	1

В табл. 2 представлена матрица планирования и полученные результаты эксперимента. Указанные значения микротвердости представляют собой средние величины, полученные по результатам 10 параллельных измерений.

Таблица 2

## Матрица планирования

Номер опыта	$X_1$	$X_2$	$X_3$	HV <sub>50</sub>
1	580	50	1	297
2	1740	50	1	312
3	580	150	1	389
4	1740	150	1	465
5	580	50	3	312
6	1740	50	3	354
7	580	150	3	393
8	1740	150	3	402
9	1160	100	2	376

После расчетов коэффициентов регрессии уравнение примет вид:

$$y = 365 + 17,7 \cdot x_1 + 46,7 \cdot x_2 - 0,3 \cdot x_3 + 11,7 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Анализ уравнения показывает, что наиболее сильно воздействующим фактором оказывается число проходов, а самым менее влияющим – радиус кривизны.

Метод планирования эксперимента позволил выявить самое максимальное упрочнение ленточных образцов путем протягивания через инденторы с радиусом  $R=1$  мм, с числом проходов  $n$ , равном 150, и весом грузов  $Q$ , составляющим 1740 г.

В табл. 3 приведены данные по измерению микротвердости ленточных образцов исследованной стали, обработанных по разным режимам. Обработка включала закалку от 1070 °С и холодную деформацию (волочение на 40 % с последующим плющением в ленту) с заключительным старением при 470 °С. Кроме того, указанные схемы обработки дополнялись фрикционным нагружением.

Таблица 3

Микротвердость ленточных образцов аустенитной стали ЗИ-126

Режим обработки	HV <sub>50</sub>
1. Закалка 1070 °С + деформация 40 %	215
2. Закалка 1070 °С + деформация 40 % + старение 470 °С, 1 ч	254
3. Закалка 1070 °С + деформация 40 % + трение	434
4. Закалка 1070 °С + деформация 40 % + трение + старение 470 °С, 1 ч	492

Проведенный эксперимент позволил, таким образом, определить наиболее эффективные условия фрикционного упрочнения пружинной ленты из аустенитной стали ЗИ126. Если сопоставить величины микротвердости исходного образца (без трения) и образца, подвергнутого фрикционному нагружению по наилучшему варианту (термомеханический режим упрочнения), то получается следующая картина: соответственно 215 и 492 HV<sub>50</sub> – различие более чем в два раза.

Разработанная установка позволяет деформировать плоские заготовки практически неограниченной длины, менять условия самой деформации (от чисто упругого нагружения до смешанной схемы в виде упруго-пластического деформирования, завершая пластическим нагружением).