

УДК 620.178.3:620.194.8

А.А. Дербенев

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССЕ ХОЛОДНОЙ ВЫСАДКИ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлена апробация метода прогнозирования основных показателей упрочнения изделий, изготовленных многооперационными процессами холодного деформирования, основанного на применении микроструктурного анализа локальных зон изделий, математическом моделировании процессов изготовления изделий и построения обобщенных кривых упрочнения применяемых металлов. В качестве объектов исследований были рассмотрены многооперационные процессы холодной высадки крепежных изделий: гайки М18 из стали 10кп, болта М10 и фланцевого болта М10 из сталей 10кп и 20Г2Р. Для прогнозирования показателей упрочнения были использованы обобщенные кривые упрочнения металла, построенные по методике, основанной на применении методов твердости и микроструктурного анализа Г.А. Смирнова-Аляева.

Ключевые слова: кривые упрочнения, микроструктурный метод, итоговая деформация, многопереходные процессы, холодная высадка.

Вопросы оценки и прогнозирования упрочнения металла, полученного в процессе холодной обработки давлением, являются актуальной проблемой и рассматриваются при анализе действующего или вновь проектируемого технологического процесса.

Ранее была изложена методика усовершенствования построения экспериментальных обобщенных кривых упрочнения, основанная на совместном применении методов твердости и микроструктурного анализа с применением оптической цифровой микроскопии и расчетного математического программного пакета [1–3]. Это позволило в данной работе предложить апробацию метода прогнозирования показателей деформационного упрочнения металла для подтверждения применимости разработанной методики относительно многооперационных процессов холодного деформирования.

Предлагаемая методика содержит следующие этапы:

1. Выбор исследуемых зон в объеме металлоизделия.
2. Испытание исходной заготовки (проволоки) на одноосное растяжение, построение кривой упрочнения металла и определение его предела
3. Создание 3-мерных моделей инструмента, заготовки и математическое моделирование процесса высадки по переходам, с учетом полученной кривой упрочнения, с целью:
 - определения положения исследуемых зон в исходной заготовке и на ее переходах высадки и задание их размерами;
 - получения картин напряженного и деформированного состояния металла и определение по ним интенсивностей деформации и напряжений в исследуемых зонах.
4. Получение заготовок по переходам высадки, их электроэрозионная резка по продольной оси и изготовление шлифов, а также продольного шлифа исходной проволоки.
5. Выполнение микроструктурного анализа по методу Г.А. Смирнова-Аляева на шлифах переходов в обозначенных зонах на основе цифровой микроскопии с применением специализированного программного пакета, и получение результатов в виде значений компонентов деформации: главных деформаций, интенсивности деформации и ее вида согласно коэффициенту В. Лоде.
6. Замеры микротвердости на шлифах переходов в обозначенных зонах и их перевод в значения напряжений текучести по выражению Г. Деля.

7. Построенные зависимости упрочнения металла исследуемых зон в координатах «степень деформации - напряжение текучести» (рис. 1 и рис. 2). По горизонтальной оси откладываются значения интенсивностей деформированного состояния металла по переходам с учетом их арифметического суммирования. По вертикальной оси указываются напряжения с учетом соотношения между временным сопротивлением при растяжении и твердостью материала по Г. Делю. Дополнение графика зависимостей кривой упрочнения, полученной при испытаниях металла на растяжение.

8. Определение общей степени деформации за весь технологический процесс в каждой исследуемой зоне и проведение анализа по возможности ее повышения либо за счет изменения технологии либо путем применения нового материала.

Определение деформированного состояния может осуществляться математическим моделированием или экспериментальным микроструктурным методом Г.А.Смирнова-Аляева, которые, как было доказано, однозначно оценивают итоговую степень деформации металла в отдельной материальном объеме изделия за весь технологический процесс [4–6]. Ее значение, для многооперационного процесса, определяется арифметической суммой степеней деформации отдельных операций, величины которых численно равны интенсивностям их главных деформаций [7].

Исходя из изложенного, для апробации предложенного направления по оценке и прогнозированию упрочнения металла штампуемых изделий, были проведены структурно-деформационные исследования металлов изделий, изготавливаемых многооперационными процессами холодного деформирования, в частности холодной высадки.

Методика проведения эксперимента

В качестве объекта исследования был выбран болт М8 с головкой типа TORX из стали 20Г2Р, изготавливаемый холодной высадкой (рис. 1).



Рис. 1. Изделие болт М8 типа «TORX» из стали 20Г2Р

Методика исследований включила определение деформированного состояние металла объема высаженного изделия с применением специализированного программного комплекса DEFORM-3D и микроструктурного анализа металла.

Характеристика деформированного состояния металла объема высаженных изделий показана в виде его картин (рис. 2)

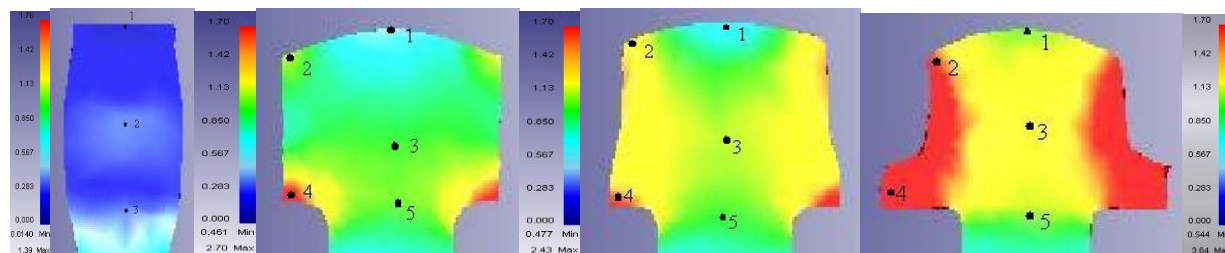


Рис. 2. Деформированное состояние металла заготовки болта типа TORX

Структура металла высаженного изделия в характерных зонах (указаны точками на рис. 1) представлена в табл. 1.

Таблица 1

Структура металла высаженного изделия в характерных зонах

<i>№ точки</i> <i>№ перехода</i>	<i>Точка №1</i>	<i>Точка №2</i>	<i>Точка №3</i>	<i>Точка №4</i>	<i>Точка №5</i>
<i>I переход</i>					
<i>II переход</i>					
<i>III переход</i>					
<i>IV переход</i>					

Для стали 20Г2Р на рис. 3 приведены обобщенные зависимости деформационного упрочнения. Они были построены согласно методики, основанной на применении методов твердости и микроструктурного анализа с применением оптической цифровой микроскопии и расчетного математического программного пакета [3].

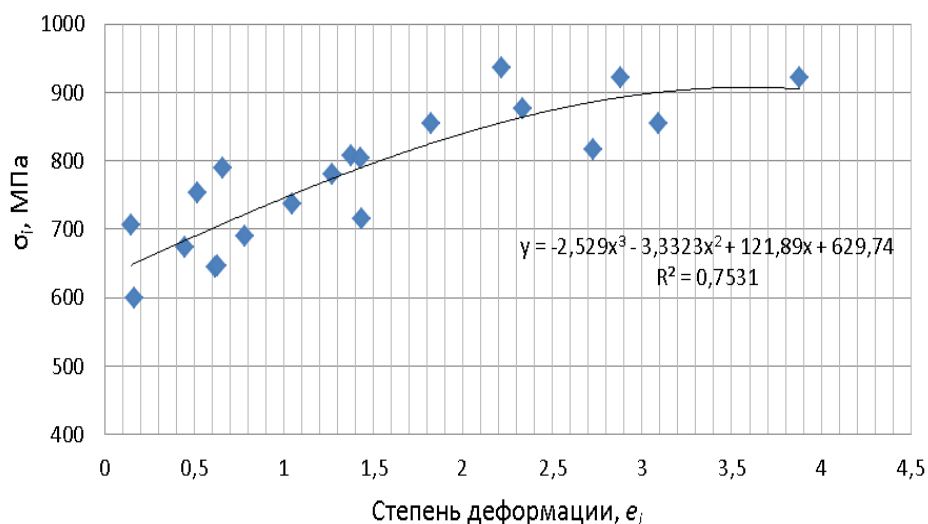


Рис. 3. Обобщенная кривая упрочнения $\sigma_i - e_i$ стали 20Г2Р (формула на поле кривой – математическое ее выражению и R - достоверность ее аппроксимации)

Полученные зависимости описываются полиномом третьей степени и имеют пороги упрочнения для металлов: сталь 10 - $\sigma_i = 750 \div 800$ МПа при $e_i = 2,9$; сталь 20 - $\sigma_i = 920 \div 950$ МПа при $e_i = 2,9$; сталь 20Г2Р - $\sigma_i = 900 \div 920$ МПа при $e_i = 2,2$.

Результаты экспериментов

Анализ деформированного состояния металла высаженных изделий показал значительную его неоднородность в различных зонах высадки.

Центральная зона головки деформирована со степенью деформации $e_i = 0,8-1,5$, при этом меньшее значение соответствует верхней его поверхности. Наибольшая степень деформации $e_i = 2,5-3,0$ соответствует боковым его поверхностям по зоне фланца. По месту перехода головки в стержень степень деформации равна $e_i = 0,5$.

В случае изменения марки материала, в частности при изготовлении изделия из стали 20Г2Р, можно прогнозировать повышение прочностных характеристик, так как порог упрочнения данного материала соответствует меньшей степени деформации $e_i = 2,2$ при большем упрочнении $\sigma_i = 920-940$ МПа. Его центральная зона имеет упрочнение $\sigma_i = 800-850$ МПа, что ниже возможного повышения до $\sigma_i = 900-920$ МПа. Это свидетельствует о ресурсе его повышения за счет изменения технологии высадки, включающей увеличение числа операций.

Неоднородность деформированного состояния высаженного изделия подтверждается микроструктурным анализом, в частности изменением текстуры исходной заготовки – проволоки, полученной волочением. По верхней поверхности изделия и по месту перехода головки в стержень текстура исходной проволоки практически не изменилась и сохраняет осевое направление, в отличие от зоны фланца.

В целом результаты подтверждают возможность оценки и прогнозирования упрочнения металла изделий, полученных многооперационными процессами холодного деформирования, направлением основанным на применении обобщенным кривым упрочнения используемых материалов совместно с определением деформированного состояния изделий.

Выводы

1. Проведена апробация метода прогнозирования деформационного упрочнения металла изделия, изготовленного многооперационным процессом холодного деформирования, на основе применения обобщенных кривых упрочнения используемых материалов, полученных с применением микроструктурного метода и математического моделирования.

2. Дана оценка упрочнения холодно высаженного крепежного изделия из стали 20Г2Р. Определен ресурс возможного его повышения в зависимости от марки используемого материала и особенностей технологического процесса изготовления.

Библиографический список

1. **Галкин, В.В.** Развитие микроструктурного метода исследования конечных пластических деформаций // В.В. Галкин, С.А. Кудрявцев, Е.Г. Терещенко // Заготовительное производство. 2010. № 2. С. 22–24.
2. **Галкин, В.В.** К вопросу построения экспериментальных зависимостей интенсивности напряжений металла от степени деформации // В.В. Галкин, С.А. Кудрявцев, Е.Г. Терещенко, А.А. Дербенев // Заготовительное производство. № 11. 2013. С. 23–27.
3. **Филинов, М.В.** Повышение точности количественных оценок поверхностных дефектов и структур металлов по их цифровым изображениям в оптическом неразрушающем контроле: автореферат на соискание ученой степени д.т.н. / М.В. Филинов. НИИ Интроскопии МНПО «СПЕКТР», 2007. – 56.
2. **Смирнов-Аляев, Г. А.** Сопротивление металлов пластическому деформированию / Г. А. Смирнов-Аляев. – Л.: Машиностроение, 1978. – 386 с.

4. Дель, Г.Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твердости / Г.Д. Дель. – М.: Машиностроение, 1971.
5. **Ильюшин, А.А.** Сопротивление материалов / А.А. Ильюшин, В.С. Ленский. – М.: Физматгиз. 1959. – 371 с.
6. **Галкин, В.В.** Методика расчета конечных пластических деформаций металлоизделий, изготовленных много переходными процессами холодной объемной штамповки // В.В. Галкин, С.А.Кудрявцев, Е.Г. Терещенко, А.А. Дербенев // Заготовительное производство. 2012. № 9. С. 23–27.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

A. A. Derbenev

THE METHOD OF FORECASTING INDICATORS OF STRAIN HARDENING OF THE METAL IN THE PROCESS OF COLD HEADING FASTENERS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R. E. Alexeev

Presents a tested method of predicting the main indicators of the hardening products manufactured multistage processes of cold deformation, based on the application of microstructural analysis of local areas of products, mathematical modeling of processes of manufacturing and construction of generalized curves hardening of the applied metals. As objects of research were considered multistage processes cold heading fasteners: nuts M18 steel 10kp, and flange bolts M10 bolts M10 steel 10kp and GR. To predict performance of hardening were used generalized curves hardening of metal, constructed by the method based on application of methods of hardness and microstructural analysis G.A.Smirnova-Aleeva.

Key words: curves hardening, microstructure method, the resulting deformation, multi processes, cold landing.