

УДК 620.178.3:620.194.8

СТРУКТУРНО-ДЕФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА РЕСУРСА УПРОЧНЕНИЯ ПРИ ВЫСАДКЕ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ**Галкин В.В., Дербенев А.А., Пачурин Г.В.***ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,
Нижегород, e-mail: PachurinGV@mail.ru*

Дана структурно-деформационная оценка возможности прогнозирования ресурса упрочнения металлических изделий, изготовленных многооперационными процессами холодного деформирования. Эта оценка основана на определении деформированного состояния и характера структурных изменений исследуемых изделий совместно с анализом обобщенных кривых упрочнения применяемых металлов. Аprobация проведена на примере исследований многооперационной холодной высадки крепежных изделий: гайки М18, обрезного болта М10 и фланцевого формованного болта М10 из сталей 10, 20 и 20Г2Р. Определение деформированного состояния проводилось методом математического моделирования с применением программного комплекса DEFORM. При оценке упрочнения были использованы обобщенные кривые упрочнения металла, построенные по методике, основанной на применении методов исследования твердости и микроструктурного анализа Г.А. Смирнова-Аляева. Полученные результаты показали неоднородность упрочнения и структурно-деформированного состояния металла высаженных изделий. Дана оценка ресурса упрочнения металлов изделий в зависимости от их марки и технологических процессов изготовления.

Ключевые слова: структурный анализ, деформационное упрочнение, обобщенные кривые деформационного упрочнения, многооперационное холодное деформирование, холодная высадка, крепежные изделия

STRUCTURAL DEFORMATION RESOURCES ASSESSMENT HARDENING WHEN LANDING FIXING PRODUCTS**Galkin V.V., Derbenyov A.A., Pachurin G.V.***FGBOU VPO «Nizhny Novgorod State Technical University. R.E. Alekseev», Nizhny Novgorod,
e-mail: PachurinGV@mail.ru*

Dana structural deformation to assess the possibility of forecasting resource hardening metal products made multistage cold forming processes. This estimate is based on the determination of strain state and the nature of structural changes in the studied products, together with an analysis of generalized hardening curves used metals. Testing of research carried out by the example of multistage cold heading fasteners: nuts M18, edged bolt M10 and molded flange bolt M10 steels 10, 20 and 20G2P. Determination of strain state was conducted by mathematical modeling using software package DEFORM. In assessing the hardening curves were used generalized hardening metal constructed by a method based on the application of research methods hardness and microstructural analysis G.A. Smirnov-Alyayev. The results showed heterogeneity of structural hardening and strain state of metal gardening products. The estimation of the resource metal hardening products depending on their brand and manufacturing processes.

Keywords: structural analysis, strain hardening, strain hardening generalized curves, multistage cold deformation, cold heading, fasteners

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.

В предыдущих исследованиях было изложено усовершенствование построения экспериментальных обобщенных кривых упрочнения, основанное на совместном применении методов твердости и микроструктурного анализа с применением оптической цифровой микроскопии и расчетного математического программного пакета [1, 2, 3]. Это позволило в данной работе предложить структурно-деформационное направление оценки и прогнозирования прочностных характеристик металла изделий, изготовленных многооперационными процессами холодного деформирования.

Определение деформированного состояния может осуществляться матема-

тическим моделированием или экспериментальным микроструктурным методом Г.А. Смирнова-Аляева, которые, как было показано, однозначно оценивают итоговую степень деформации металла в отдельном материальном объеме изделия за весь технологический процесс [4, 5, 6]. Ее значение для многооперационного процесса определяется арифметической суммой степеней деформации отдельных операций, величины которых численно равны интенсивностям их главных деформаций [7].

Исходя из вышеизложенного для опробования 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.

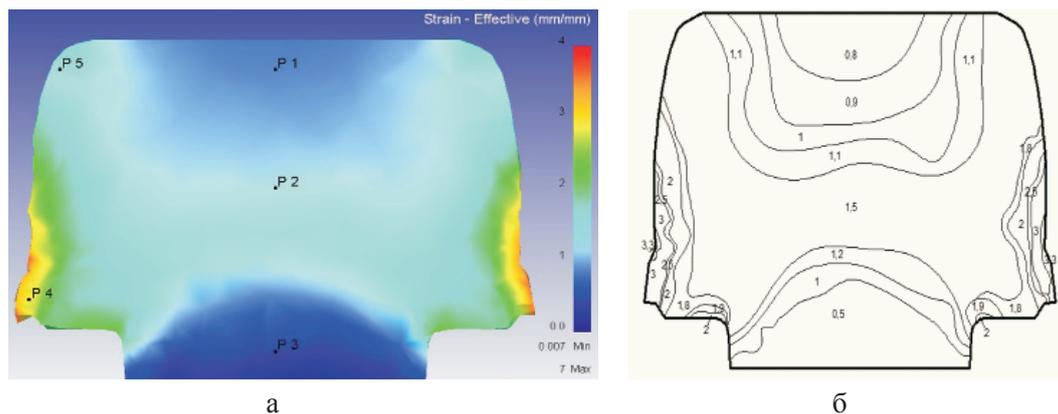


Рис. 3. Деформированное состояние металла головки формованного фланцевого болта М10: а – картина математического моделирования; б – обозначение зон с одинаковой степенью деформации (цифры – значение степени деформации)

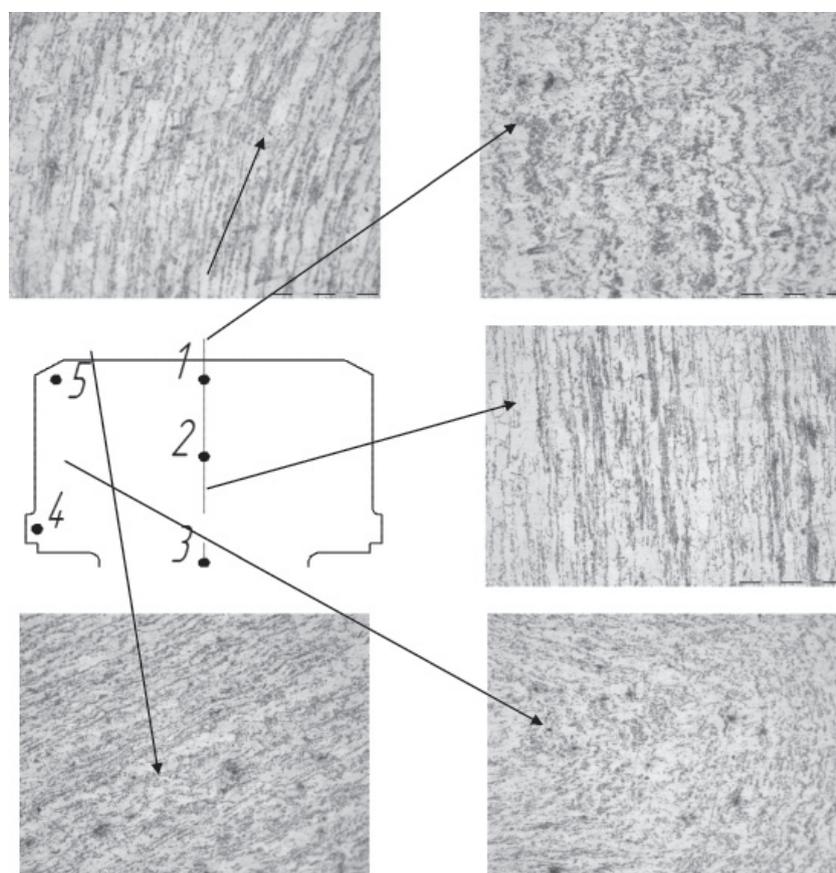


Рис. 4. Микроструктура головки формованного фланцевого болта М10 из стали 20Г2Р ($\times 200$)

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

Результаты экспериментов и их обсуждение

Анализ деформированного состояния металла высаженных изделий показал зна-

чительную его неоднородность в различных зонах высадки.

Для гайки М18 (рис. 1) наибольшая степень деформации $e_i = 2,5-3,3$ соответствует опорной поверхности изделия и зоне пробитого отверстия. Боковые грани изделия претерпевают минимальную степень деформации $e_i = 0,5-1,0$. Большая часть объема изделия имеет степень деформации $\sim 1,5-2,0$.

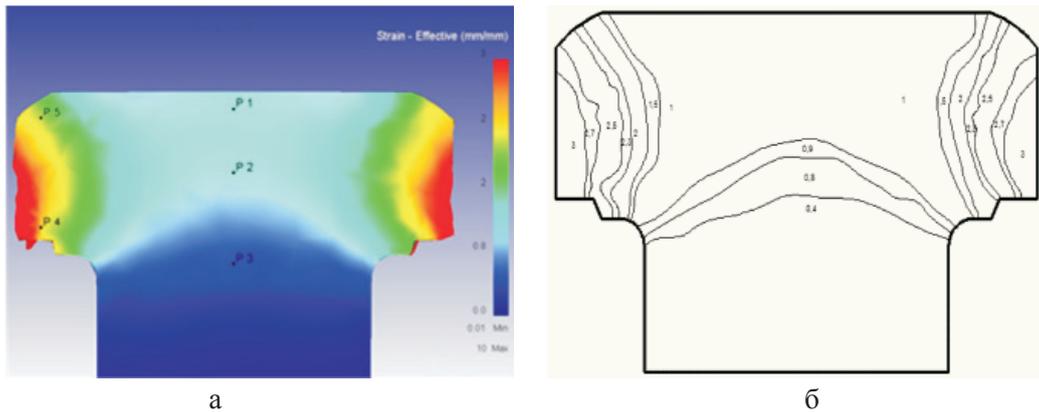


Рис. 5. Деформированное состояние металла головки обрезного болта M10: а – картина математического моделирования; б – обозначение зон с одинаковой степенью деформации (цифры – значение степени деформации)

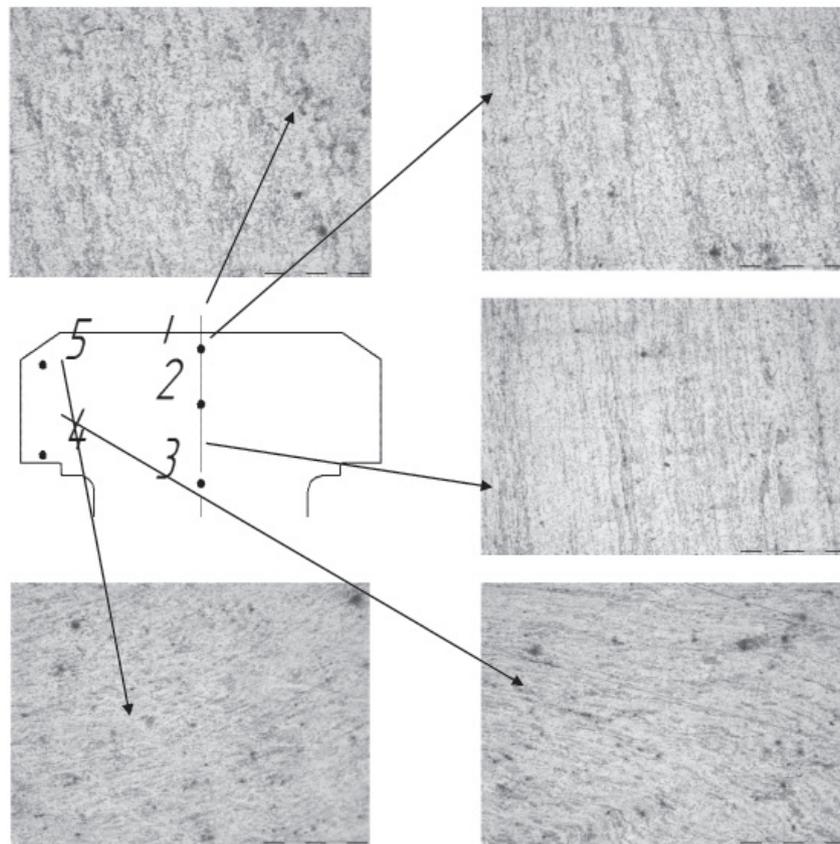


Рис. 6. Микроструктура головки обрезного болта M10 из стали 10 ($\times 200$)

Во фланцевом формованном болте M10 (рис. 3) 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 $e_i = 0,5$.

Для обрезного болта M10 наибольшая степень деформации $e_i = 2,5-3,3$ соответ-

ствует боковым граням, а минимальная, $e_i = 0,4-0,9$, – переходной зоне головки в стержень. Большая часть объема высаженной головки, включая центральную ее часть, имеет степень деформации $e_i = 1,0$.

При анализе ресурса упрочнения металла изделий, и как следствие повышения их класса прочности, в зависимости от их деформированного состояния и используемых марок материала, можно сделать следующие заключения.

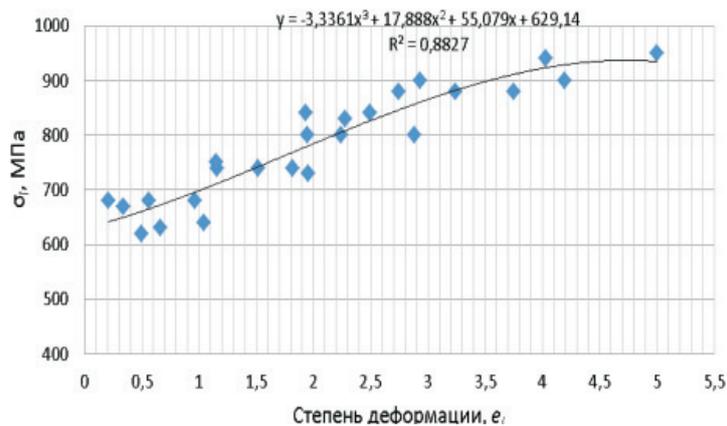


Рис. 7. Обобщенная кривая упрочнения $\sigma_i - e_i$ стали 20 (формула на поле кривой – ее математическое выражение; R – достоверность ее аппроксимации)

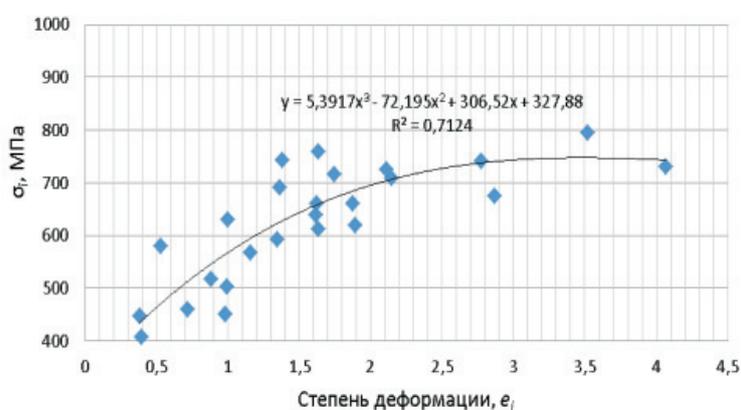


Рис. 8. Обобщенная кривая упрочнения $\sigma_i - e_i$ стали 10 (формула на поле кривой – ее математическое выражение; R – достоверность ее аппроксимации)

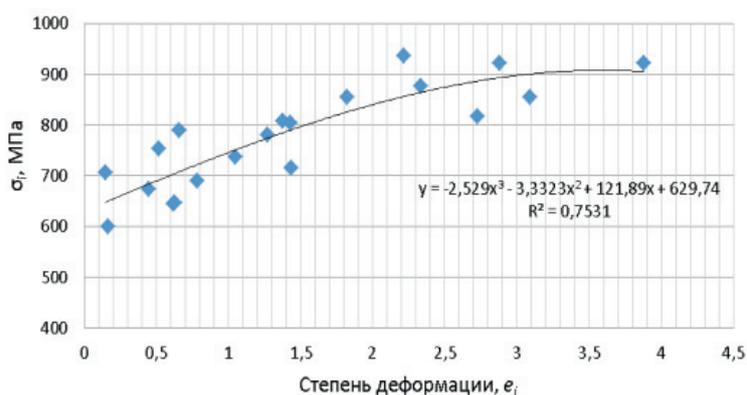


Рис. 9. Обобщенная кривая упрочнения $\sigma_i - e_i$ стали 20Г2Р (формула на поле кривой – ее математическое выражение; R – достоверность ее аппроксимации)

Для гайки М18 при изготовлении ее из стали 20 в зонах опорной поверхности и пробитого отверстия упрочнение металла имеет максимальное значение $\sigma_i = 900-920$ МПа, которое незначительно превышает значение порога упрочнения. Минимальное упрочнение соответствует боковым граням, $\sigma_i = 600-650$ МПа. Большая часть выс-

женного объема изделия имеет упрочнение $\sigma_i = 750-800$ МПа, что ниже порога упрочнения примерно на 10–12%. 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.

Для формованного фланцевого болта М10, изготовленного из стали 20Г2Р, центральная зона деформирования 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.

Для обрезного болта М10, изготовленного из стали 10, основное упрочнение соответствует поверхностям обрезанных граней шестигранника. Его значение максимально и составляет $\sigma_i = 750$ МПа. Основной объем головки имеет упрочнение $\sigma_i = 600-650$ МПа.

Неоднородность деформированного состояния высаженных изделий подтверждается микроструктурным анализом, в частности, изменением текстуры исходной заготовки – проволоки, полученной волочением.

Для гайки основное упрочнение соответствует зоне отверстия, которое металл получает на операции пробивки, зоны 2 и 3 на рис. 2. При анализе их структур можно отметить отличие. Это объясняется различными фазами операции пробивки: упругой, пластической и сколом. Структура боковых поверхностей изделия незначительно отличается от структуры исходной заготовки.

Для формованного фланцевого болта 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.

Для обрезного болта изменение текстуры исходной заготовки соответствует боковым граням, имеющим наибольшую степень деформации. По оси изделия она имеет малое отличие.

В целом полученные результаты свидетельствуют о возможности оценки и прогнозирования упрочнения металла изделий, полученных многооперационными процессами холодного деформирования, основанной на применении обобщенных кривых упрочнения металлических материалов совместно с определением деформированного состояния изделий.

Выводы

1. Предложено структурно-деформационное направление оценки и прогнозирования прочностных характеристик металла изделий, изготовленных многооперационными процессами холодного деформирования, основанное на применении обобщенных кривых упрочнения используемых материалов совместно с определением деформированного состояния изделий.

2. Дана оценка упрочнения холодно высаженных крепежных изделий: гайки М18, обрезного болта М10 и фланцевого формо-

ванного болта М10, изготовленных из сталей 10, 20 и 20Г2Р соответственно. Определен ресурс возможного его повышения в зависимости от марки используемого материала и особенностей технологического процесса изготовления.

Список литературы

1. Галкин В.В., Кудрявцев С.А., Терещенко Е.Г. Развитие микроструктурного метода исследования конечных пластических деформаций // Заготовительные производства в машиностроении. – 2010. – № 2. – С. 22–24.
2. Галкин В.В., Кудрявцев С.А., Терещенко Е.Г., Дербенев А.А. К вопросу построения экспериментальных зависимостей интенсивности напряжений металла от степени деформации // Заготовительные производства в машиностроении. – 2013. – № 11. – 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 с.
4. Смирнов-Аляев Г. А. Сопротивление металлов пластическому деформированию. – Л.: Машиностроение, 1978. – 386 с., ил.
5. Дель Г.Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твердости. – М.: Машиностроение, 1971.
6. Ильюшин А.А., Ленский В.С. Сопротивление материалов. – М.: Физматгиз. 1959. – 371 с.
7. Галкин В.В., Кудрявцев С.А., Терещенко Е.Г., Дербенев А.А. Методика расчета конечных пластических деформаций металлоизделий, изготовленных много переходными процессами холодной объемной штамповки // Заготовительные производства в машиностроении. – 2012. – № 9. – С. 23–27.

References

1. Galkin V.V., Kudryavtsev S.A., Tereshchenko E.G. Microstructural development research method of finite plastic deformation // Provision of industrial manufacture. 2010. Number 2. pp. 22–24.
2. Galkin V.V., Kudryavtsev S.A., Tereshchenko E.G., Dербенев А.А. On the construction of the experimental curves of stress intensity on the degree of deformation of the metal // Provision of industrial manufacture. 2013. Number 1. pp. 23–27.
3. Filinov M.V. Increasing the accuracy of quantitative estimates of surface defects and structures of metals from their digital images in an optical non-destructive testing. Author's abstract on scientific degree competition dtn / M.V. Filinov. SRI Introscopy MSIA «Spectrum», 2007. 56 p.
4. Smirnov-Alyayev G.A. Resistance to plastic deformation of metals. L.: Mechanical Engineering, 1978. 386 p., Silt.
5. Del G.D. Determination of the stresses in the plastic region on the distribution of hardness. M.: Mechanical Engineering, 1971.
6. Ilyushin A.A., Lensky V.S. Strength of materials. Fizmatgiz. 1959. 371 p.
7. Galkin V.V., Kudryavtsev S.A., Tereshchenko E.G., Dербенев А.А. Methods of calculating the final plastic deformation of metal, made a lot of transient cold forging // Provision of industrial manufacture. 2012. Number 9. pp. 23–27.

Рецензенты:

Гаврилов Г.Н., д.т.н., профессор, Общественно-научный институт физико-химических технологий и материаловедения (ОНИ ФХТиМ), Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород;

Панов А.Ю., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Теоретическая и прикладная механика», Институт промышленных технологий машиностроения (ИПТМ), Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.

Работа поступила в редакцию 15.01.2014.