

УДК 621. 735.32 : 621.882

В.В. Галкин, С.А. Кудрявцев, Е.Г. Терещенко, А.А. Дербенев

МЕТОД РАСЧЕТА ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ХОЛОДНОЙ ВЫСАДКОЙ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева

Предложен метод расчета деформированного состояния металла крепежных изделий в многопереходных процессах холодной высадки на примере изготовления двенадцатигранной гайки с фланцем из стали 30ХГ1Ф. Значение конечных пластических деформаций выделенных зон крепежного изделия определено как арифметическая сумма интенсивностей деформаций в соответствующих зонах заготовки на переходах высадки. Расчет интенсивностей деформаций проводился микроструктурным методом Г.А.Смирнова-Аляева, а прослеживание перемещения выделенных зон крепежных изделий в высаживаемой заготовке – с применением программного комплекса DEFORM. Оценка достоверности полученных результатов проводилась сравнением с данными, полученными методом замера микротвердости материала в выделенных зонах заготовки на переходах высадки на шлифах.

Ключевые слова: расчет деформированного состояния, интенсивность деформаций, выделенные зоны заготовки на переходах высадки.

В настоящее время прогрессивный крепеж отличается сложной формой и высокой точностью. Для его изготовления, а также с учетом обеспечения стойкости инструмента, технологические процессы высадки выполняются за несколько переходов, число которых достигает шести. Холодная объемная штамповка характеризуется упрочнением (наклепом) металла в процессе деформации, что для холодновысадочного производства имеет двойственное значение:

- к положительному можно отнести возможность повышения прочностных характеристик материала, в частности, при производстве гаечных изделий получение десятого класса прочности без последующей термической обработки;
- к отрицательному относится снижение стойкости инструмента.

Одним из основных факторов, влияющих на упрочнение материала в процессе обработки давлением, является степень деформации. Как правило, на практике оценка деформированного состояния материала крепежных изделий, полученных холодной высадкой, проводится по усредненным коэффициентам, в частности, по степени деформации по высоте, что не отражает истинную картину изменения их прочностных характеристик в объеме изделия. Очевидно, оптимальным критерием может служить значение степени деформации в характерных зонах высаживаемого изделия, которые отвечают за его эксплуатационные характеристики.

Математический расчет конечных пластических деформаций материальной точки в общем виде был предложен в 1958 г. А.А. Илюшиным, которое в формулировке Г.А. Смирнова-Аляева выглядит следующим образом: "степень деформации рассматриваемой материальной частицы называется арифметическая сумма интенсивностей последовательных малых деформаций, на которые можно было разделить весь процесс конечного формоизменения этой частицы, в случае монотонного протекания процесса деформации степень деформации равна интенсивности главных логарифмических деформации"[1]. Очевиден вопрос о правомерности данного положения для многопереходных процессов, в частности, технологии холодной высадки.

До настоящего времени при оценке конечных пластических деформаций в реальном объеме материала изделия наиболее перспективным является микроструктурный метод Г.А. Смирнова-Аляева, основанный на замере линейных размеров зерен недеформированной и деформированной структур, по результатам которых рассчитываются компоненты дефор-

мированного состояния [1]. На практике метод включает изготовление микрошлифов путем реза штампованных заготовок в установленных зонах, их фотографирование и обработка. На фотографиях микрошлифов для каждой исследуемой точки, как из центра окружности, проводятся отрезки через постоянное число градусов (рис. 1).

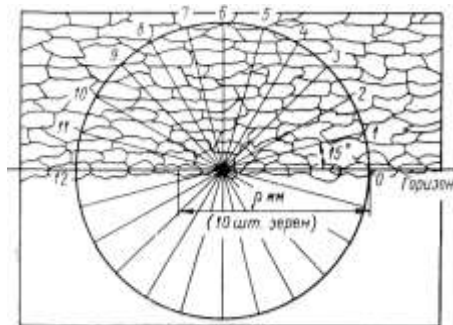


Рис. 1. Сетка-транспарант разметки замеров искаженной деформацией микроструктуры [1]

В базу измерений входят значения длин отрезков ρ , пересекающих установленное число деформированных зерен. Полученные значения ρ сравниваются с длиной отрезка ρ_0 , пересекающего установленное число зерен недеформированной структуры, на основании чего рассчитываются главные компоненты деформации $\varepsilon_a, \varepsilon_b, \varepsilon_N$ с простановкой их индексации, характеристика вида деформированного состояния v_ε (коэффициент В. Лоде) и величина его интенсивности ε_i по выражениям

$$\varepsilon_a = -0,5 \ln \left(\frac{\rho_0^2}{\rho_i^2} \right)_{\min}; \quad \varepsilon_b = -0,5 \ln \left(\frac{\rho_0^2}{\rho_i^2} \right)_{\max}; \quad \varepsilon_N = -(\varepsilon_a + \varepsilon_b);$$

$$v_\varepsilon = \frac{2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}; \quad \varepsilon_i = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{1}{2}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + \frac{1}{2}(\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + \frac{1}{2}(\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}.$$

Анализ данных научно-технической литературы позволяет предположить, что для многопереходных процессов холодной высадки метод расчета конечной степени деформации выделенной зоны крепежного изделия отсутствует, что свидетельствует об актуальности исследования данного вопроса. При этом, с учетом сложной траектории перемещения исследуемой материальной точки заготовки по переходам высадки, надо отметить отсутствие технологических приемов ее прослеживания. В практике оценки деформированного состояния в реальном материале заготовки одним из основных методов является замер его твердости, так как между деформированным состоянием и прочностными характеристиками, в частности, временным сопротивлением при растяжении и твердостью материала, наблюдается корреляция согласно положениям Г.Д. Деля [2]:

$$\sigma_b = (0,33 \dots 0,36) HV.$$

Целью данной работы стала разработка метода расчета деформированного состояния металла крепежных изделий в многопереходных процессах холодной высадки на примере изготовления двенадцатигранной гайки с фланцем из стали 30X1P, имеющей наибольшее число переходов (пять).

Для достижения поставленной цели было обозначено решение следующих задач:

- выбор технологических приемов для прослеживания перемещения выделенных зон крепежных изделий по переходам холодной высадки заготовки с целью определения их координат на поверхности шлифа для микроструктурного анализа;
- определение компонентов деформированного состояния материала в выделенных зонах высаженных заготовок на переходах высадки с использованием микроструктурного метода Г.А. Смирнова-Аляева;

- оценка достоверности расчета деформированного состояния материала путем его сравнения с данными, полученными методом замера микротвердости в выделенных зонах крепежных изделий по переходам высадки на шлифах.

В качестве технологического приема прослеживания перемещения выделенных зон высаживаемой заготовки по переходам использовалось программное обеспечение комплекса DEFORM, основанного на методе конечных элементов (МКЭ) [3]. В высаженной заготовке двенадцатигранной гайки (рис. 2, *е*) были выбраны характерные зоны: зона под накатку резьбы (1, 4), зона опорной поверхности (2, 3), и зона внешней поверхности, контактирующей с инструментом (5, 6). Их перемещение по переходам высадки заготовки приведено на рис. 2, *а - д*.

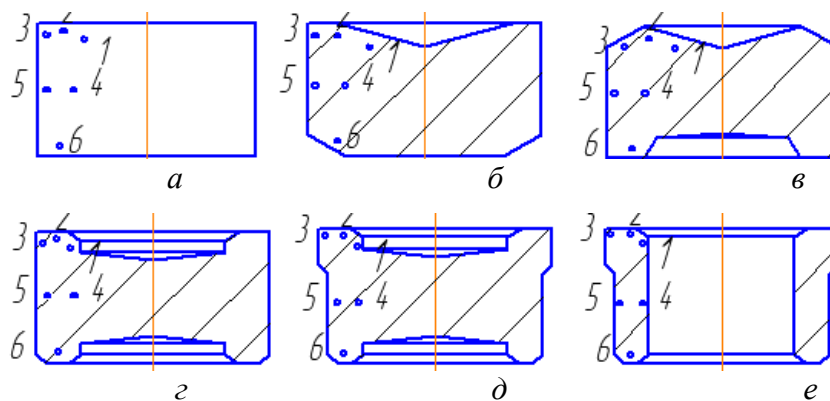


Рис. 2. Положение исследуемых зон двенадцатигранной гайки на переходах высадки:
а – исходная заготовка; *б* – первая осадка; *в* – вторая осадка; *г* – третья осадка; *д* – формовка наружного двенадцатигранного профиля и бурта; *е* – пробивка отверстия;
 1-6 – исследуемые зоны высаженной заготовки гайки

Компоненты деформированного состояния в выделенных зонах заготовки на переходах высадки определялись с по методу Г.А. Смирнова-Аляева с использованием его развития [3]. Оно включило применение программных продуктов, основанных на оптических замерах, что позволило автоматизировать процедуру измерения линейных размеров структурных составляющих металла и расчета компонентов деформированного состояния. В частности, в настоящей работе использовано программное обеспечение NI Vision и среда разработки LabVIEW фирмы National Instruments (рис. 3).

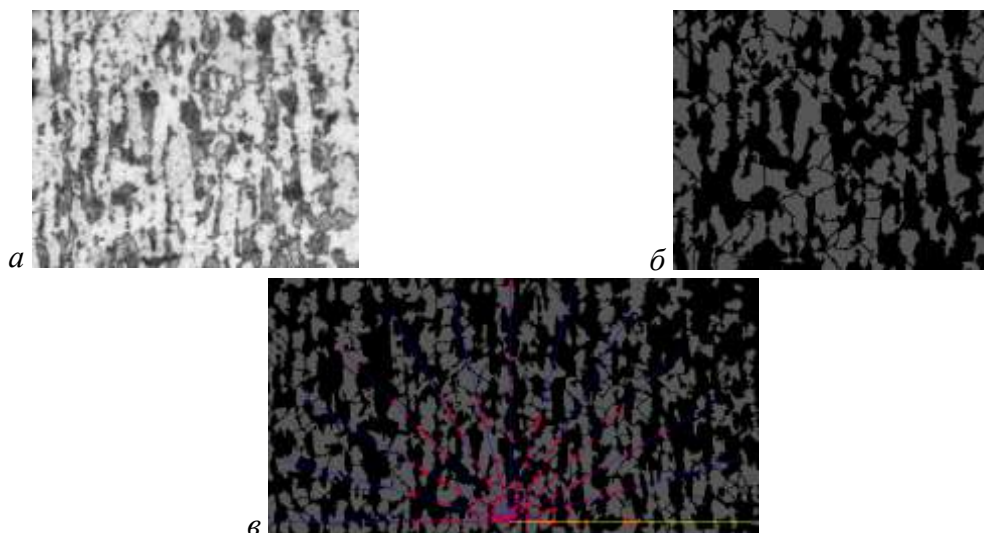


Рис. 3. Результаты автоматизированной обработки данных:
а – фотография микроструктуры x340; *б* - бинаризованная фотография микроструктуры x340; *в* - сетка-транспарант, построенная с угловым шагом 15⁰

При обachte исходное изображение микроструктуры, полученное с микроскопа, например, точки 2 (рис. 3, а), подвергается бинаризации (рис. 3, б), в результате которой элементы изображения разделяются на объекты – зерна и фон. Далее производится дополнительная сегментация изображения с целью разделения частично перекрывающихся объектов – зерен. Для этого используется встроенная функция пакета NI Vision, основанная на многократном применении операции эрозии к объектам изображения, в ходе которого узкие перешейки, соединяющие отдельные зерна, исчезают. При построении сетки по методу Г.А.Смирнова-Аляева указывается точка на изображении, для которой выполняется анализ. Разработанная программа автоматически строит из указанной точки-центра серию радиус-векторов с заданным угловым шагом (рис. 3, в) и находит заданное количество k точек пересечения этих векторов с границами зерен. Угловой шаг при измерениях может быть достаточно малым, что позволяет повысить точность расчетов метода по сравнению с ручными вычислениями, когда число секторов задается не более пятнадцати.

Значения рассчитанных компонентов деформированного состояния материала выделенных зон по переходам высадки приведены в табл. 1, по переходам результатам построены зависимости итоговой суммарной деформации по данным (рис. 4).

Таблица 1

Расчет компонентов деформированного состояния материала выделенных зон по переходам высадки

Переход	Точка	ε_a	ε_b	ε_N	ε_i	ν_ε
1-й переход	1	0,369	0,548	-0,917	0,922	0,756
	2	-0,183	-0,353	0,536	0,544	-0,618
	3	0,588	0,391	-0,979	0,985	0,749
	4	0,555	0,466	-1,021	1,022	0,887
	5	0,586	0,586	-1,172	1,172	1,000
	6	0,295	0,480	-0,775	0,782	0,705
2-й переход	1	-0,257	0,127	0,130	0,257	0,984
	2	0,077	0,340	-0,417	0,443	0,305
	3	0,284	-0,157	-0,127	0,284	-0,864
	4	-0,415	-0,114	0,529	0,556	-0,362
	5	-0,312	0,012	0,300	0,353	0,059
	6	0,138	-0,396	0,258	0,402	0,633
3-й переход	1	0,275	0,023	-0,298	0,331	0,120
	2	0,167	-0,348	0,181	0,348	0,947
	3	0,272	0,416	-0,688	0,693	0,739
	4	0,397	0,422	-0,452	0,493	0,194
	5	0,266	0,327	-0,688	0,693	0,719
	6	0,284	-0,222	-0,611	0,611	0,908
4-й переход	1	-0,425	0,312	0,647	0,657	-0,621
	2	0,239	-0,034	-0,542	0,544	0,808
	3	0,206	0,182	-0,172	0,220	-0,270
	4	-0,355	0,317	0,173	0,355	0,966
	5	0,418	-0,020	-0,735	0,737	0,825
	6	0,318	0,474	-0,298	0,356	-0,097
5-й переход	1	0,145	0,277	-0,619	0,647	0,398
	2	-0,082	-0,060	-0,195	0,284	-0,521
	3	-0,280	0,327	0,340	0,362	-0,290
	4	0,323	-0,415	-0,650	0,650	0,992
	5	0,318	0,168	0,097	0,434	0,397
	6	-0,461	0,157	0,293	0,466	0,668

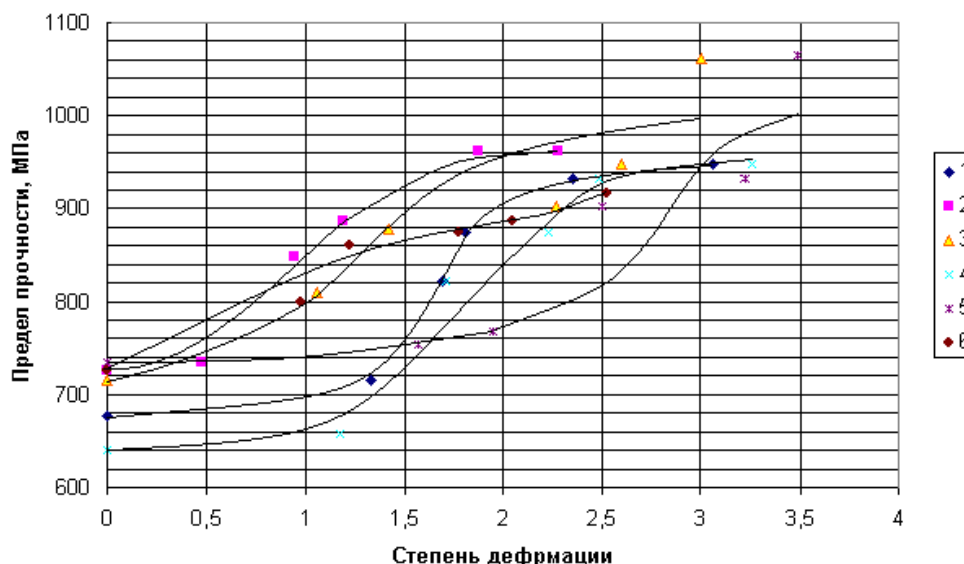


Рис. 4. Зависимости упрочнения материала от степени деформации в исследуемых зонах высаживаемой заготовки:
цифры: 1, 2, 3, 4, 5, 6 – номера исследуемых зон (рис. 2)

Результаты замеров твердости металла в исследуемых зонах на шлифах по переходам высадки приведены в табл. 2. В каждой зоне проводилось по пять замеров, по которым рассчитывалось среднее значение. Измерения проводились с использованием микротвердомера ПМТЗ с нагрузкой 100 г и увеличением х 300 (для отпечатков 76..125 мкм). Для перевода значений длин диагоналей отпечатков использовалась таблица переводов согласно ГОСТ 9450-76.

Таблица 2

Результаты замеров микротвердости в исследуемых зонах заготовки на переходах высадки

номер зоны \ переход	1	2	3	4	5	6
1	206	221	254	274	297	297
	206	221	254	274	274	322
	221	221	254	254	297	274
	206	221	254	274	297	297
	206	221	254	274	274	274
Среднее значение	209	221	254	270	288	293
2	221	236	274	274	297	297
	236	221	254	274	297	297
	221	221	274	274	297	297
	221	236	254	274	297	297
	221	221	254	274	297	297
Среднее значение	224	227	262	274	297	297
3	221	236	254	274	322	322
	221	254	297	297	297	351
	221	254	254	274	297	322
	221	254	274	274	274	322
	221	254	274	274	274	322
Среднее значение	221	250	271	279	293	328

Окончание табл. 2

номер зоны \ переход	1	2	3	4	5	6
Среднее значение	221	250	271	279	293	328
4	193	206	254	254	297	297
	193	193	254	274	274	297
	206	206	254	274	274	274
	193	206	254	274	297	274
	206	206	254	274	297	322
Среднее значение	198	203	254	270	288	293
5	221	236	236	297	297	351
	236	236	236	274	297	297
	221	221	254	274	297	322
	221	236	236	274	274	351
	236	236	221	274	274	322
Среднее значение	227	233	237	279	288	329
6	221	236	254	254	274	274
	236	254	274	274	274	297
	221	236	254	274	274	297
	221	254	274	274	274	274
	221	254	274	274	274	274
Среднее значение	224	247	266	270	274	283

Выводы

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

Значения твердости материала во всех исследуемых зонах высаживаемой заготовки на переходах посадки постоянно увеличиваются, что свидетельствует о монотонном повышении деформированного состояния материала. Как следствие, можно предположить, что итоговое значение деформированного состояния исследуемых зон высаживаемого изделия по переходам посадки определяется арифметическим суммированием значений интенсивностей деформаций на каждом из переходов в соответствии с формулировкой Г.А. Смирнова-Аляева, предложенной для оценки степени деформации материальной частицы в случае монотонности протекания процесса.

Различие величины упрочнения, полученного в исследуемых зонах при одной и той же интенсивности деформации на различных переходах, может быть объяснено различием в видах деформации, о чем свидетельствуют значения коэффициента В. Лоде.

Библиографический список

1. Смирнов-Аляев, Г. А. Сопротивление металлов пластическому деформированию / Г.А. Смирнов-Аляев. – Л.: Машиностроение, 1978. – 386 с.

2. Дель, Г.Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твердости / Г.Д. Дель. – М.: Машиностроение, 1971. – 200 с.
3. 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.

*Дата поступления
в редакцию 24.06.2010*

V.V.Galkin, S.A.Kudryavtsev, E.G. Tereshchenko, A.A. Derbenev

A METHOD FOR CALCULATING THE STRAIN STATE OF THE METAL FASTENERS IN MULTISTAGE COLD UPSETTING PROCESS

A method for calculating the strain state of the metal fasteners in multistage cold upsetting process is proposed for the fabrication of the nut with flange. The final value of the plastic deformation for selected area is defined as the arithmetic sum of intensities of deformation in that area at all stages. Calculation the intensity of microstructure deformation is carried out by the Smirnov-Alyaeв method. Tracking the movement of the areas in workpiece is made using software DEFORM. Evaluation of the reliability of the results is made by comparison with data obtained by measuring the microhardness of the material in selected areas of the workpiece at different stages

Key words: the calculation of the strain state, the intensity of microstructure deformation, selected areas of the workpiece at different stages.