

Б.В. Галкин; О.С. Кошелев; Е.Н. Хохлов
(Нижегородский государственный технический университет)

Оценка технологичности высадки стержневых крепежных изделий с наружным волнистым профилем головки типа "TORX"

Проведено сравнение технологичности высадки крепежных стержневых изделий с шестигранным наружным профилем и наружным волнистым профилем головки типа "TORX". Оценка проведена по средним показателям деформации и значениям эквивалентных деформаций, полученных с применением комплекса DEFORM (МКЭ). Показана эффективность применения математического моделирования при оценке местных деформаций технологических переходов высадки.

The article brings the comparison of upset fabricability of the bar hardware parts with hexahedral outward profile and wavy bolthead profile "TORX". The estimation has been made by the mean indexes of deformations and equivalent deformations with use of DEFORM bundled software.

Тенденцией развития высадочного производства является уменьшение металлоемкости и повышение надежности крепежных изделий (КИ). Одним из перспективных направлений является внедрение прогрессивных конструкций, в частности болтов фланцевых и винтов с особой формой головки, известной под товарным знаком "TORX". В указанных конструкциях элемент передачи крутящего момента на головке болта выполнен в форме расположенных по окружности и попеременно чередующихся криволинейных выступов и впадин [1] (см. рис. 5).

В настоящее время на российском рынке "TORX" начинает вытеснять стандартные болты с шестигранным профилем, которые обладают существенным недостатком: при максимальной силе затяжки каждый выступ на головке КИ работает на срез, сминается и выкрашивается.

Исходя из сказанного выше, очевидна актуальность оценки технологичности высадки перспективных КИ с головкой типа "TORX" в сравнении с болтами со стандартной многогранной головкой. Критерием оценки может являться значение параметров деформированного состояния материала как в целом по всему процессу высадки, так и по переходам.

Как правило, деформацию оценивают двумя методами. По первому рассчитывают средние параметры деформированного состояния в двух взаимно-перпендикулярных направлениях высаживаемого объема; к ним относятся: степень осадки, поперечная деформация (уширение), а также их значения в логарифмической форме (истинные деформации). По второму методу проводят косвенную оценку местных деформаций через изменение упругости материала путем замера его твердости в меридиональных сечениях шлифов высаженных заготовок.

Значительная трудоемкость указанных процедур и отсутствие возможности непрерывного анализа не позволяет объективно и быстро провести оценку и, по необходимости, корректировку технологического расчета процесса. Появление программных продуктов, обеспечивающих проведение трехмерного моделирования процессов объемной штамповки, упростило данную процедуру.

Целью данной работы является сравнение технологичности двух эквивалентных по эксплуатационным характеристикам болтов с фланцем: М8-6g с наружным шестигранным профилем и волнистым типа "TORX" на основе оценки деформированного состояния на переходах с помощью математического моделирования. В качестве программного продукта применен комплекс DEFORM, основанный на методе конечных элементов (МКЭ).

Для рассматриваемого класса болтов с фланцем независимо от формы профиля головки в настоящее время применяют четырехпереходный процесс высадки (рис. 1 и 2), включающий набор головки с редуцированием стержня, осадку, формовку с получением профиля головки, формовку с получением фланца. По результатам математического моделирования переходов высадки получены картины эквивалентных деформаций, которые приведены на рис. 3 и 4 (см. 3-ю полосу обложки). Значения деформаций вместе со средними параметрами деформированного состояния приведены в таблице. Они позволяют проследить динамику изменения деформированного состояния металла на переходах высадки.

На первых двух переходах высадки динамика изменения деформированного состояния металла одинакова. На операции набора головки максимальная деформация $\varepsilon_{\text{ЭКВ}}^{\text{MAX}}$ имеет место в центральной части выса-

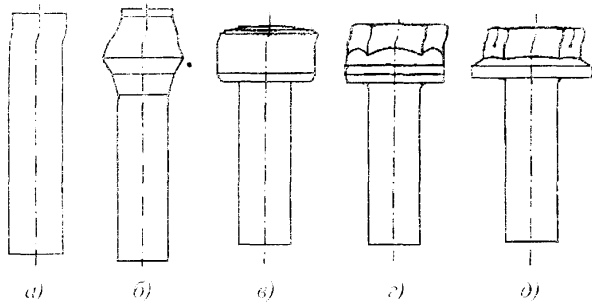


Рис. 1. Переходы высадки фланцевого болта с шестигранной головкой:

a – калибровка металла и отрезка заготовки втулочным ножом; *b* – высалка конуса и редуцирование стержня заготовки; *в* – высалка головки заготовки; *г* – редуцирование шестигранной головки заготовки; *д* – осадка головки и высалка фланца заготовки

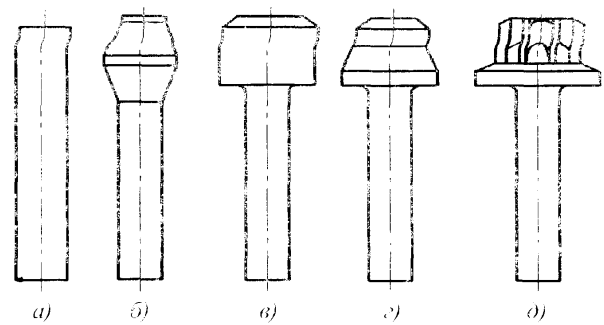


Рис. 2. Переходы высадки фланцевого болта с головкой типа "TORX":

a – калибровка металла и отрезка заготовки втулочным ножом; *b* – высалка конуса и редуцирование стержня заготовки; *в* – высалка головки заготовки; *г* – редуцирование головки заготовки; *д* – высалка головки и фланца заготовки

Значения параметров деформированного состояния и эквивалентных деформаций заготовки в ходе высадки

№ перехода. Тип операции	Профиль формы головки	Средние параметры деформированного состояния			Значения эквивалентных $\epsilon_{\text{экв}}$ деформаций и их содержание в деформируемом объеме (по данным гистограмм), %			
		ϵ	ϕ	q	$\epsilon_{\text{экв}}^{\text{max}}$	$\epsilon_{\text{экв}}^{\text{min}}$	$\epsilon_{\text{экв}}^{\text{ср}}$	$\epsilon_{\text{экв}}$ преобладающая
I переход. Набор головки	"TORX"	0,295	0,35	0,41	1,4	0	0,4	0,5...0,9 40%
	Шестигранник	0,365	0,46	0,62	1,5	0	0,5	0,5...0,9 50%
II переход. Осадка	"TORX"	0,413	0,53	0,25	2,7...1,3 14 %	0,5 6 %	0,9	0,5...1,3 80 %
	Шестигранник	0,547	0,79	0,29	4,1...1,3 15 %	0,3...0,5 5 %	0,9	0,5...1,3 80 %
III переход. Формовка предварительная	"TORX"	0,9	0,09	0,55	2,4...0,9 46 %	0,5...0,9 54 %	1,0	0,5...0,9 54 %
	Шестигранник	0,6	0,06	0,53	4,2...2,4 8 %	0,4...0,5 47 %	1,3	1,3...2,4 45 %
IV переход. Формовка окончательная	"TORX"	0,77	0,07	0,36	3,8...2,5 4 %	0,5...1,2 48 %	1,3	1,2...2,5 48 %
	Шестигранник	0,96	0,11	0,28	3,4...2,6 2 %	0,5...1,7 58 %	1,7	1,7...2,6 40 %

Примечание. ϵ – средняя деформация в направлении осадки, $\epsilon = \frac{L-h}{L} \cdot 100\%$, где L и h – соответственно длина осаживаемой части и высота высаживаемой части заготовки; ϕ – логарифмическая (истинная) деформация в направлении осадки, $\phi = \ln \frac{L}{h}$; q – средняя деформация в поперечном направлении, $q = \frac{D^2 - d^2}{D^2} \cdot 100\%$, где d и D – соответственно диаметр высаживаемой заготовки и наибольший диаметр высаживаемой детали после деформирования.

живаемой головки. Для обоих технологических процессов значение $\epsilon_{\text{экв}}^{\text{max}}$, а также значение преобладающей деформации $\epsilon_{\text{экв}}$ практически одинаковы и составляют: $\epsilon_{\text{экв}}^{\text{max}} = 1,4...1,5$; $\epsilon_{\text{экв}} = 0,5...0,9$ с (40...50)%-м содержанием в деформируемом объеме. В то же время

значение поперечной деформации q неодинаково: при наборе головки шестигранного профиля оно больше соответствующего значения набора головки типа "TORX" в 1,5 раза.

На втором переходе область максимальной интенсивности деформации по ходу операции смещается от

центра высаживаемой головки в зону перехода ее в стержень. В обоих случаях значения преобладающей деформации $\varepsilon_{\text{экв}} = 0,5 \dots 1,3$ и их процентное содержание ($\approx 80\%$) в деформируемом объеме одинаковы. Отличие состоит в значениях $\varepsilon_{\text{экв}}^{\text{max}}$: для КИ с шестигранным профилем $\varepsilon_{\text{экв}}^{\text{max}} = 4,1$, что больше соответствующего значения для КИ с головкой типа "TORX" в 1,5 раза. Такое же изменение показали значения средней ε и логарифмической ϕ деформаций в направлении осадки.

На третьем переходе высадки КИ с шестигранной головкой и четвертом переходе КИ с головкой типа "TORX" проводят формовку наружного профиля. Отличие состоит в том, что для шестигранного профиля формовку совмещают с получением осадкой фланца, в то время как для КИ с головкой типа "TORX" к четвертому переходу фланец уже практически подготовлен на предыдущем переходе предварительной формовки.

Деформированное состояние отличается значениями $\varepsilon_{\text{экв}}^{\text{max}}$: для шестигранного профиля $\varepsilon_{\text{экв}}^{\text{max}} = 4,2$, для профиля типа "TORX" $\varepsilon_{\text{экв}}^{\text{max}} = 3,8$. Величины преобладающей деформации $\varepsilon_{\text{экв}}$ и их процентное содержание, а также средняя деформация $\varepsilon_{\text{экв}}^{\text{ср}}$ чуть меньше в случае формовки головки типа "TORX". Из средних параметров деформированного состояния на указанных выше переходах формовки профиля головки такое же соотношение значений имеет логарифмическая деформация в направлении осадки ϕ .

По результатам математического моделирования можно сделать заключение о лучшей технологичности изготовления КИ с головкой типа "TORX" по сравнению с шестигранным профилем за счет меньших значений $\varepsilon_{\text{экв}}^{\text{max}}$, $\varepsilon_{\text{экв}}^{\text{ср}}$ и $\varepsilon_{\text{экв}}$ на всех переходах высадки. Дополнительно надо отметить, что сравнение значений эквивалентных деформаций со средними показателями в некоторых случаях показало явное несоответствие, как по величине, так и преобладающей оценке. При анализе причин, за счет которых была получена лучшая технологичность высадки КИ с головкой типа "TORX", надо отметить следующее. На переходах набора головки и осадки преимущество достигнуто за счет снижения степени деформации, которое в свою очередь получено за счет уменьшения размеров КИ путем оптимизации его конструкции. На операции формовки волнистого профиля облегчение течения металла в профильное отверстие инструмента получено за счет оптимизации конструкции КИ, которая выразилась в подборе оптимальных величин переходного угла от цилиндрического участка 2 к волнистому контуру 1 и относительной высоты наружного профиля $\frac{k}{D}$ (рис. 5).

Полученные результаты полностью совпали с основными выводами экспериментальной работы по оптимизации конструкции головки КИ с наружным волнистым профилем [2], которые включают в себя:

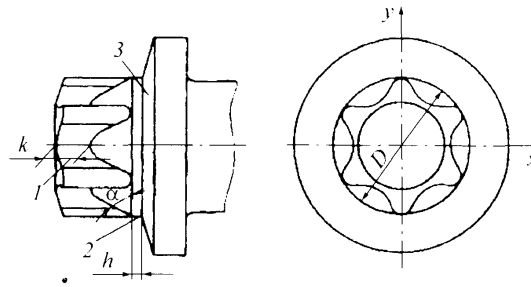


Рис. 5. Элементы профилей зацепления головки крепежного стержневого изделия с наружным профилем типа "TORX": 1 – шестирадиусный контур зацепления; 2 – цилиндрический участок; 3 – фланец; h – высота цилиндрического участка; k – высота наружного шестирадиусного контура зацепления; D – диаметр описанной окружности профиля элемента зацепления

– уменьшение объема головки, при котором высадку проводят из соотношения длины заготовки к диаметру в пределах 2,2...2,8;

– выполнение переходного угла от цилиндрического участка 2 к фигурному шестирадиусному контуру зацепления 1 $\alpha \approx 60^\circ$;

– выполнение высоты наружного шестигранного профиля головки болта k равной 0,32...036 от диаметра D описанной окружности.

Выводы

Крепежные изделия с головкой, имеющей на боковой поверхности волнистый профиль типа "TORX", более технологичны, чем КИ со стандартным шестигранным профилем, что подтверждено уменьшением значений максимальной, средней и преобладающей деформаций как в целом по процессу, так и по всем переходам высадки.

Оценка деформированного состояния по значению эквивалентных деформаций, полученных с помощью математического моделирования методом конечных элементов по сравнению со средними показателями, которые характеризуют наружные размеры деформируемого объема, более объективна и позволяет оценивать местные деформации, когда происходит неравномерное перемещение металла как вдоль оси высадки, так и в поперечном направлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2160396 РФ, МКИ F 16 В 23/60. Устройство для передачи крутящего момента.
2. Хохлов Е.Н., Макаров В.А., Галкин В.В. Прогрессивные конструкции головок крепежных деталей и технологии их изготовления холодной объемной штамповкой // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2003. № 2. С. 33–36.

Владимир Викторович Галкин, канд. техн. наук;
Олег Сергеевич Кошелев, д-р техн. наук;
Евгений Николаевич Хохлов, инженер

Рисунки к статье В.В. Галкина, О.С. Кошелева, Е.Н. Хохлова

"ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ВЫСАДКИ СТЕРЖНЕВЫХ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ С НАРУЖНЫМ ВОЛНИСТЫМ ПРОФИЛЕМ ГОЛОВКИ ТИПА "TORX"

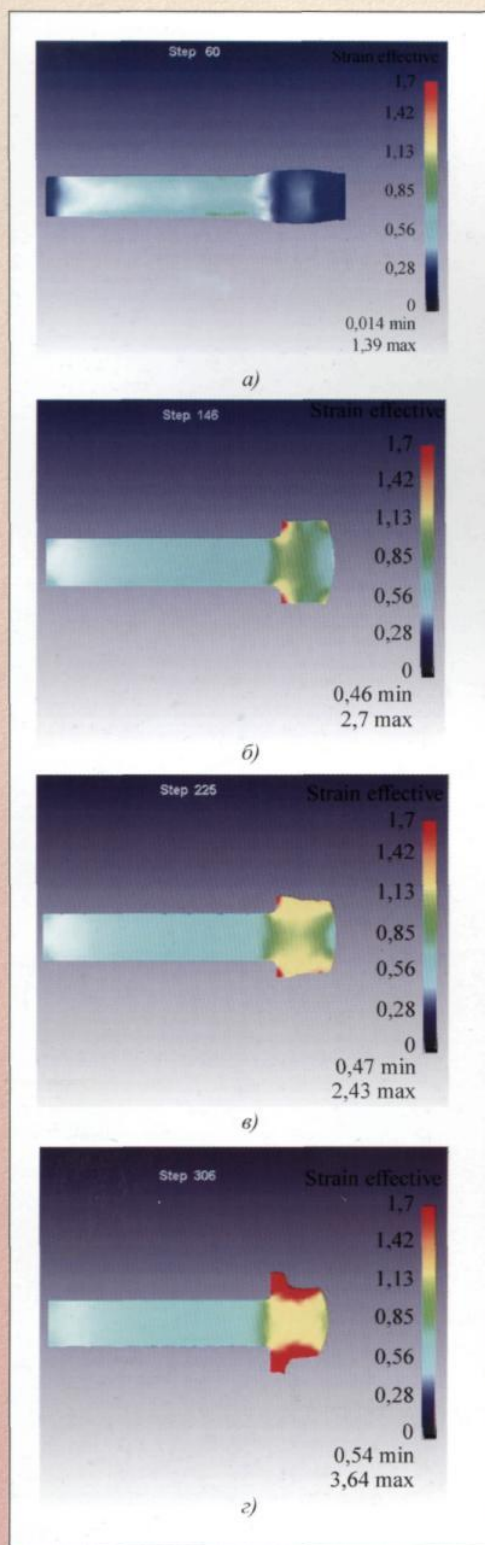


Рис. 3. Эквивалентные деформации на переходах высадки профиля головки типа "TORX":

a – первый переход; *б* – второй; *в* – третий; *г* – четвертый

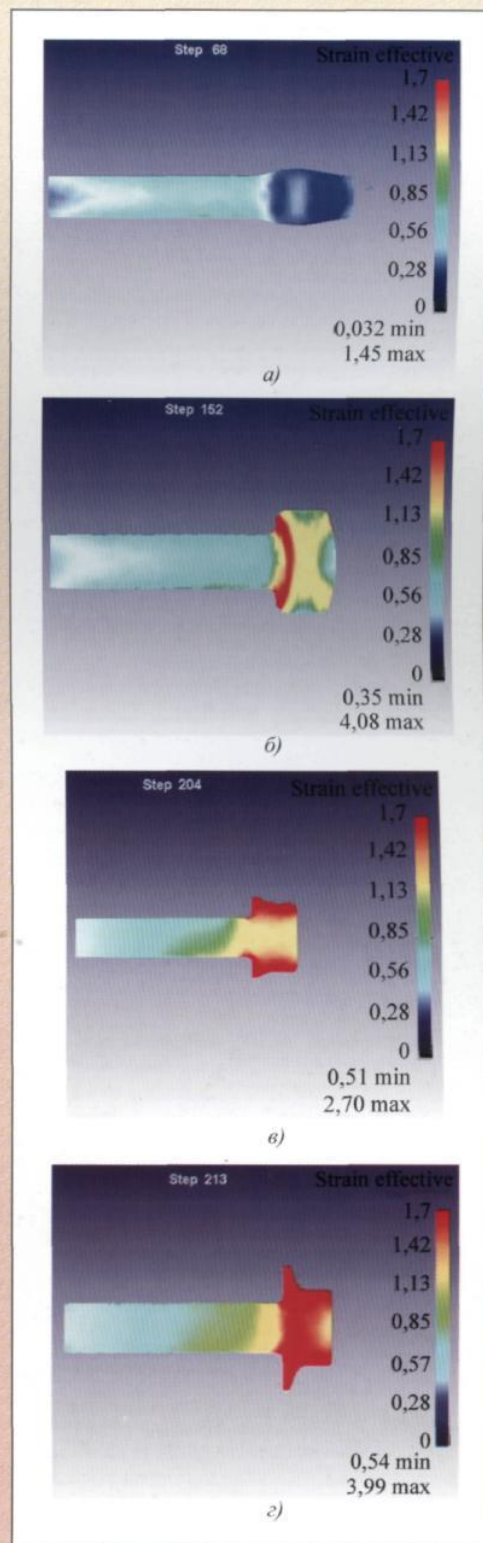


Рис. 4. Эквивалентные деформации на переходах высадки головки с шестигранным профилем:

a – первый переход; *б* – второй; *в* – третий; *г* – четвертый