

СРАВНЕНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ГОЛОВОК ВИНТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФОРМЫ ПАЗА

Кравченко Р. В.¹, Богдан Д. И.¹, Поваляев С. И.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Аннотация. Для ремонта автомобиля и других работ с резьбовым крепежом часто используется удобный инструмент – торцевые головки. В настоящей статье рассмотрена нагрузочная способность двух самых распространенных форм торцевых головок, а именно головки Torx и головки Hex.

Ключевые слова: торцевая головка, Torx, нагрузка, расчет, МКЭ, напряжения.

Введение

В настоящее время в автомобильной промышленности широко распространены торцевые головки. В процессе ремонта и наладки техники много времени занимает откручивание и закручивание различных крепежей, гаек и болтов. Как раз для этой работы используются торцевые головки, которые часто используются, если крепежные элементы находятся в труднодоступных местах.

Анализ публикаций

Существует множество видов крепежных элементов в зависимости от формы торцевой лунки [1, 2]. В последние годы в зарубежном автомобилестроении всё более широкое применение находят крепежные элементы с фасонной головкой типа «TORX» [3]. Данные головки могут иметь различную форму торцевой лунки, размеры и технические характеристики [4, 5]. В связи с этим был проведен ряд исследований, посвященных изучению механических свойств таких торцевых головок как в процессе их эксплуатации, так и при их производстве.

В работе [6] описана серия экспериментов с целью оценки влияния формы и размеров торцевой лунки на прочность болтов. Установлены условия разрушения болтов по резьбовому участку без разрушения головки.

Авторами работ [7-8] рассмотрены вопросы повышения эффективности изготовления болтов с фланцем холодной штамповкой путем совершенствования технологии и конструкций инструмента. Пути усовершенствования конструкции болтов с головкой типа «TORX» были описаны в работе [9].

Цель и постановка задачи

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа наиболее распространенной шестигранной торцевой головки и торцевой головки Torx, для оценки их эксплуатационных характеристик.

Для достижения поставленной задачи необходимо определить напряженно-деформированное состояние как рассматриваемых торцевых головок, так и соответствующего инструмента.

Обзор геометрии, а также виды и характеристики головок «Torx»

Торцевая головка представляет собой слесарно-монтажный инструмент который имеет насадку в виде шестиконечной звезды (рис. 1.), за счет которого можно достичь оптимального приложения крутящего момента к резьбовому соединению.

Обозначается как Т или ТХ.

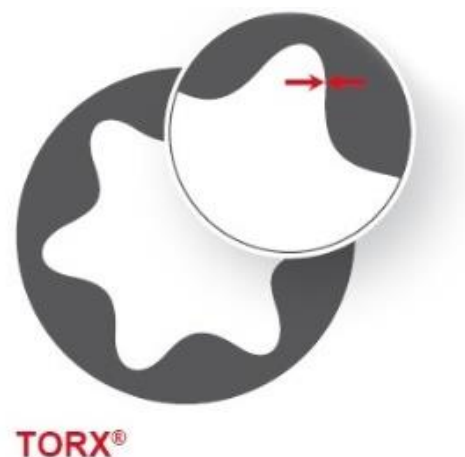


Рис. 1. Форма углубления Torx

Зарегистрирован товарный знак фирмой Textron Fastening Systems (ныне Acument Global Technologies). Официальное название, зафиксированное в стандарте ISO 10664 –

углубление звездообразное под ключ для болтов и винтов.

Шлиц разработан компанией Textron в 1967 году.

На данный момент изготавливаются различные крепежные изделия с углублением Torx, рис. 2 [6,7].

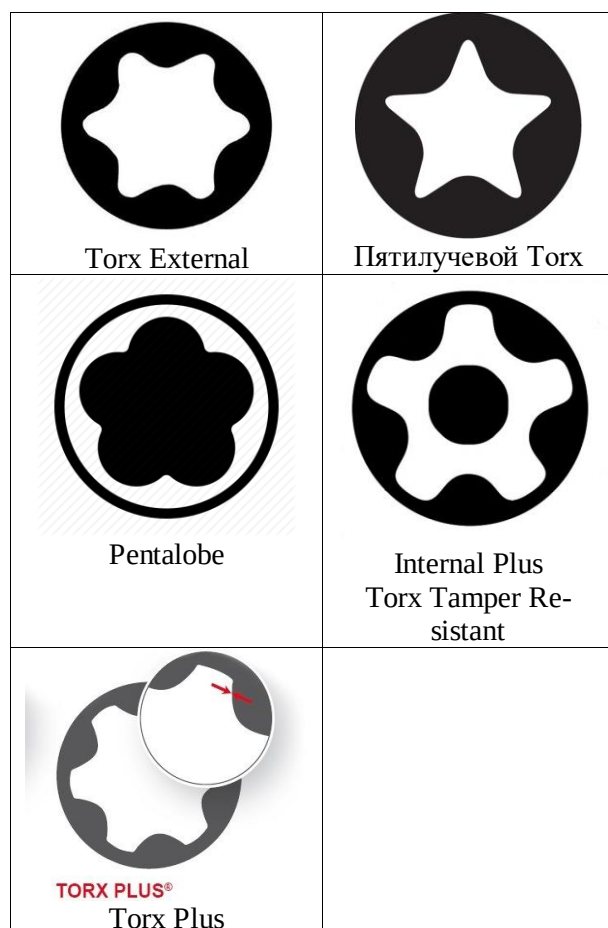


Рис. 2. Различные формы углублений Torx

Torx External обозначается как E. Представляет собой инвертированный Torx. Крепеж имеет головку в форме звезды, а инструмент имеет соответствующее углубление. Используется, как правило в автомобилях для уменьшения размера головки болта. Антивандальным не бывает.

Torx Tamper Resistant (антивандальный) обозначается как TR. В середине шлица имеется штырёк и соответствующее этому штырьку отверстие у отвёртки или ключа. Другие названия – Security Torx, pin-in Torx.

Пятилучевой Torx. Один из антивандальных вариантов. Отдельный шлиц в форме ромашки, используемый в электронике Apple.

Torx Plus. Улучшенный шлиц со срезанными концами звезды. Обозначается как IP (Internal Plus).

Torx Plus External – внешний вариант Torx Plus. Обозначается как EP (External Plus). Также имеет мини-варианты от H7EP до H2EP.

Антивандальная версия Torx Plus имеет пять лучей и штырек в центре углубления. В стандарте маркировка не указана, но может встречаться как TS или IPR.

Маркировка и размеры

Ключи и отвёртки имеют маркировку T или TX с номером шлица – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 27, 30, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100, таблица 1.

Таблица 1 – Приблизительные размеры и моменты затяжки [8-9]

Номер	Дюймы	мм	Момент затяжки, Н·М	E Torx
T1	0,031	0,81	0,02-0,03	
T2	0,036	0,93	0,07-0,09	
T3	0,046	1,1	0,14-0,18	
T4	0,050	1,28	0,22-0,28	
T5	0,055	1,42	0,43-0,51	
T5.5				
T6	0,066	1,7	0,75-0,90	
T7	0,078	1,99	1,4-1,7	
T8	0,090	2,31	2,2-2,6	
T9	0,098	2,5	2,8-3,4	
T10	0,107	2,74	3,7-4,5	
T15	0,128	3,27	6,4-7,7	
T20	0,151	3,86	10,5-12,7	E4
T25	0,173	4,43	15,9-19	E5
T27	0,195	4,99	22,5-26,9	
T30	0,216	5,52	31,1-37,4	E6
T35				
T40	0,260	6,65	54,1-65,1	E8
T45	0,306	7,82	89-103,2	
T47	GM-Style			
T50	0,346	8,83	132-158	E10
T55	0,440	11,22	218-256	E12
T60	0,519	13,25	379-445	E16
T70	0,610	15,51	630-700	E18
T80	0,690	17,54	943-1048	E20
T90	0,784	19,92	1334-1483	
T100	0,871	22,13	1843-2048	E24

Ключи и отвёртки со шлицем Torx Tamper Resistant после основной маркировки дополнительно обозначаются TR.

У ключей и отвёрток со шлицем Torx Plus сначала указывается номер шлица, а после – вместо T или TX обозначается буквами IP.

Ключи и отвёртки со шлицем Torx Plus Tamper Resistant после основной маркировки дополнительно обозначаются TS.

Размер определяется по окружности описанной по вершинам звездочки инструмента (для версии E – болта).

Обзор геометрии, а также виды и характеристики шестигранных головок

В отличие от головок Torx головка крепёжного изделия имеет цилиндрическую форму с шестигранным углублением, рис. 3.



Рис. 3. Форма головки с шестигранным профилем

Профиль обеспечивает наилучший охват крепежа (имеет большую площадь пятна контакта), полную и равномерную передачу усилия на него.

Для работы со шлицами данного вида используется шестигранный или же бита с соответствующим наконечником.

Номинальным размером шлица и ключа является расстояние между противоположными параллельными гранями шестигранника, которое выражается в миллиметрах (при этом, для ключа методику измерения и допуски см. ГОСТ 8560-78) или долях дюйма.

Однако позиционирование и использование такой головки затруднено в стесненных условиях — для перестановки воротка или иного приспособления нужно повернуть инструмент хотя бы на 60 градусов. Проблему решает инструмент с трещоткой, либо применение 12-гранных головок.

Проведем сравнительную характеристику шестигранной головки и головки Torx, таблица 2.

Таблица 2 – Основные недостатки торцевых головок

Вид шлица	Оставшиеся недостатки
1. Шестигранный	Шестигранный шлиц способен передавать высокий момент вращения на крепежный элемент только на протяжении недолгого времени, затем в нем появляются небольшие вмятины и увеличивается угол холостого хода инструмента.
2. Звездообразный (Torx)	Все еще не обеспечивает полного контакта рабочего наконечника инструмента с головкой крепежного элемента, но позволяет выполнять монтаж под небольшим углом к оси крепежного элемента без потери момента вращения.

Для корректного сравнения принимаем близкие размеры шлица Torx и Hex. Для расчета на прочность примем размер шлица Torx равен T40 (рис. 4), а размер шестигранника HEX равным 6 мм.

Для обеспечения совместимости предусмотрен зазор в соединениях равный 0,1 мм.

Для сравнительного анализа модели соединений нагружались одинаковым небольшим тестовым крутящим моментом. Такая постановка задачи позволяет гарантировано находится в зоне упругих

деформаций и адекватно сравнивать различную геометрию шлицев. Анализ нагрузочной способности шлица выполнен методом конечных элементов. Головка винта была зафиксирована, а к вставленной с зазором 0,1 мм бите прикладывался крутящий момент 1 Нм.

Распределение эквивалентного напряжения по телу головки болта и биты представлено на рис 5.

Такой же расчет был выполнен и для шлица с формой шестигранника.

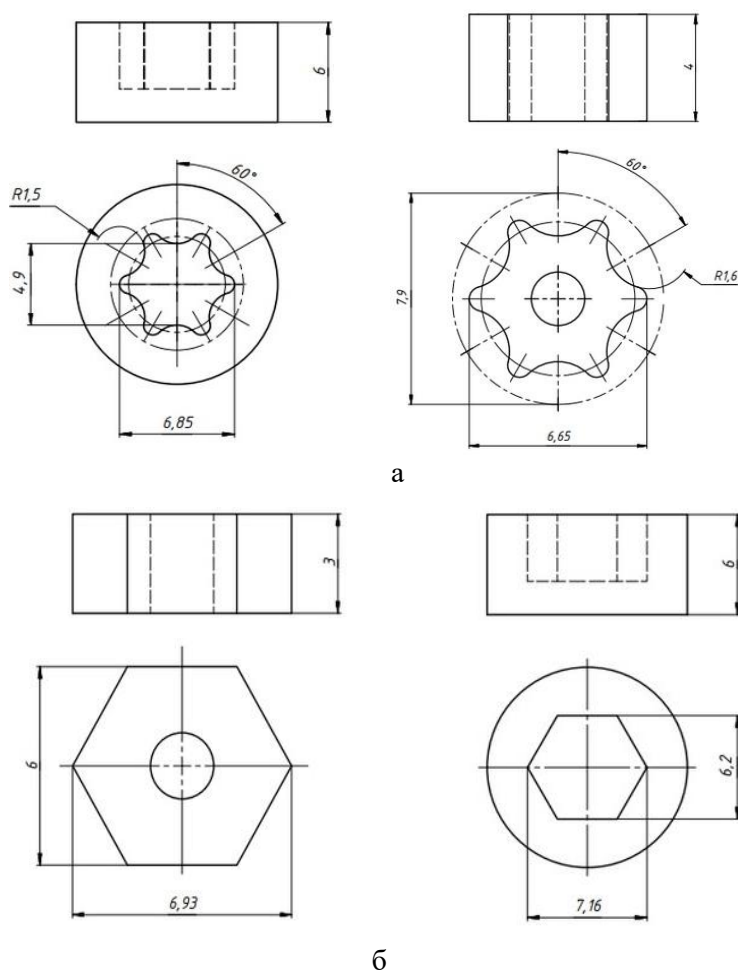


Рис. 4. Размеры головок и пазов: а – головка и паз типа Торгх; б – шестигранная головка и паз

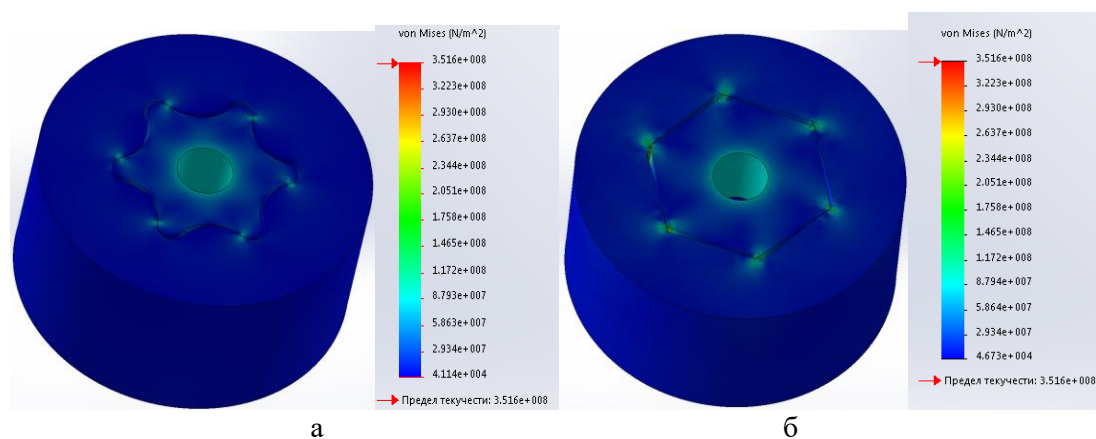


Рис. 5. Эквивалентные напряжения торцевых головок:
а – головка типа Торгх; б – шестигранная головка

Как видно из рисунка 5а, 5б, в головке типа Нех зона с эквивалентными напряжениями превышающими 20 МПа имеет большую площадь. При этом также для шестигранной головки присутствуют зоны концентрации напряжений на вершинах со значениями до 35 МПа. Такая ситуация обусловлена геометрией контакта биты и шлица. В случае с головкой Торгх имеет место контакт выпуклой и вогнутой поверхностей,

а в случае с головкой Нех в следствии наличия зазора имеет место контакт близкий к точечному, что обуславливает повышенную концентрацию напряжений.

Помимо повышенной нагрузочной способности головки типа Торгх, обладают следующими эксплуатационными функциональными преимуществами, таблица 3.

Таблица 3 – Перечень функциональных преимуществ Торх

Преимущества	Шестигранный	Торх
Минимизация риска выскальзывания инструмента	+	+
Пригодность для использования в автоматизированных процессах сборки	+	+
Угол приложения силы	60	15
Полнота контакта наконечника инструмента с головкой крепежного элемента	-	+
Отсутствие необходимости ограничения вращательного усилия инструмента на завершающем этапе	+	+
Высокая степень передачи момента вращения от инструмента на крепежный элемент	-	+
Наличие соответствующих рабочих наконечников для инструмента на рынке	+	+

Выводы

Смоделировав зацепление двух типов бит была проанализирована нагрузочная способность соединений типа Нех и Торх. Выявлены зоны локализации напряжений для готовок типа Нех и Торх. Определены причины концентрации повышенных напряжений для соединения типа Нех. Учитывая большую нагрузочную способность соединений Торх и прочие их эксплуатационные преимущества следует отметить хорошую перспективу использования этих соединений для крепежных изделий в автомобильной промышленности.

Литература

1. Шлиц крепежного изделия. URL: <https://trusty-tools.ru/article/shlic-krepezhnogo-izdeliya/> (дата звернення 14.11.2019).
2. Шлиц и его виды часть 2. URL: <https://gngroup.ru/article/shlic-i-ego-vidy-chast-2/> (дата звернення 14.11.2019).
3. Железков О. С., Титов А. В., Артюхин В. И., Закиров Д. М., Сабадаш А. В. Тенденции и проблемы производства крепежных изделий прогрессивной конструкции. *Труды пятого конгресса прокатчиков*. М.: Черметинформация, 2004. С. 414-417.
4. Торх. URL:

<https://www.turkaramamotoru.com/ru/Torx-131438.html> (дата звернення 14.11.2019).

5. Торх. URL: <https://wiki2.org/ru/Torx> (дата звернення 14.11.2019).
6. Железков О. С., Ширяев О. П., Малаканов С. А., Морозов Н. П., Колесников В. Д. Влияние торцевой лунки на прочность соединения головки со стержнем болта. *Качество в обработке материалов*. Магнитогорск, 2015. №2 (4). С. 48-50.
7. Кадошников В. И., Решетникова Е. С., Решетников Л. В., Кочуков С. В. Совершенствование инструментов и математическое моделирование процесса формирования головок фланцевых болтов. *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*, 2008. № 2. С. 52-56.
8. Железков О. С., Галиахметов Т. Ш., Стебляк В. Л. Определение энергосиловых параметров процесса штамповки головок болтов с торцевой лункой. *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*, 2017. № 15. С. 35-38.
9. Закиров Д. М., Сабадаш А. В. Усовершенствование конструкции болтов с головкой типа «TORX». *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*, 2003. №. 5. С. 34-37.

References

1. Шлиц крепежного изделия. [Slot of threaded part]. Retrived from: <https://trusty-tools.ru/article/shlic-krepezhnogo-izdeliya/> (accessed: 14.11.2019).
2. Шлиц и его виды часть 2. [Slot and its kinds part 2]. Retrived from: <https://gngroup.ru/article/shlic-i-ego-vidy-chast-2/> (accessed: 14.11.2019).
3. Zhelezkov O. S., Titov A. V., Artjuhina V. I., Zakirov D. M., Sabadash A. V. (2004) Tendencii i problemy proizvodstva krepezhnykh izdelij progressivnoy konstrukcii [Trends and problems of threaded parts of progressive design production]. *Trudy pjatogo kongressa prokatchikov*. M.: Chermetininformacija, 414-417 [in Russian].
4. Torx. Retrived from: <https://www.turkaramamotoru.com/ru/Torx-131438.html> (accessed: 14.11.2019).
5. Torx. Retrived from: <https://wiki2.org/ru/Torx> (accessed: 14.11.2019).
6. Zhelezkov O. S., Shirjaev O. P., Malakanov S. A., Morozov N. P., Kolesnikov V. D. (2015) Vlijanie torcevoj lunki na prochnost' soedinenija golovki so sterzhnem bolta [The effect of the end hole on the strength of the connection of the head with the bolt shaft]. *Kachestvo v obrabotke materialov*. Magnitogorsk, 2 (4), 48-50 [in Russian].
7. Kadosnikov V. I., Reshetnikova E. S., Reshetnikov L. V., Kochukov S. V. (2008) Sovershenstvovanie instrumentov i matematicheskoe modelirovanie processa formirovanija golovok flancevyh boltov [Improving tools and mathematical modeling of the process of forming

- the heads of flange bolts]. *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova*, 2, 52-56 [in Russian].
8. Zhelezkov O. S., Galiahetov T. Sh., Stebljanko V. L. (2017) *Opređenje jenergosilovih parametara procesa štampovki glavica bolta s torcevoj lunkoj* [Determination of energy-power parameters in the process of stamping the heads of bolts with an end hole]. *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova*, 15, 35-38 [in Russian].
 9. Zakirov D. M., Sabadash A. V. (2003) *Usovershenstvovanie konstrukcii bolta s glavkoj tipa «TORX»* [Improvement of the «TORX» head bolt design]. *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova*, 5, 34-37 [in Russian].

Кравченко Роман Владимирович¹, студент, тел. 380501541902, romankravchenko1996@gmail.com
Богдан Дмитрий Иванович¹, к.т.н., доцент кафедры деталей машин и теории механизмов и машин, тел. 0963103000, Phd.bogdan@gmail.com
Поваляев Сергей Иванович¹, к.т.н., доцент кафедры деталей машин и теории механизмов и машин, тел. 380971992331, Povalyaevsi@ukr.net
¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

Порівняння здатності до навантаження голівок гвинтів в залежності від форми пазу

Анотація. Вступ. Для ремонту автомобілів та інших робіт з різьбовими кріпленнями часто використовується зручний інструмент - торцеві головки. Широкого поширення набули різні форми шліців, торцевих головок та гвинтів. У статті описані основні геометричні розміри, номенклатура та застосування шліців Hex і Torx. Перелічено переваги та недоліки кожного. Наведено історію формування діючого стандарту для класифікації шліців. **Мета.** Метою даної роботи є проведення порівняльного аналізу найбільш використовуваної головки з шестигранним пазом та головки з пазом Torx для оцінки їх експлуатаційних характеристик. **Методика.** Розглядається контакт інструменту з торцевою головкою з точки зору контакту сполучених поверхонь, аналізується картина розподілу еквівалентних напружень в головці гвинта, що виникають під дією крутного моменту, прикладеного до інструменту. Наведено тривимірні діаграми еквівалентних напружень. Розглянуто декілька варіантів сполучень Torx. 1) Torx External - зовнішній Torx. Використовується для зменшення розміру головки болта. 2) Torx Tamper Resistant - антивандальна версія, позначається як TR. 3) П'ятипроміньовий Torx - це один із антивандальних варіантів. 4) Pentalobe - окремий ромашкоподібний шліц, який використовується в електроніці Apple. 5) Torx Plus - покращений шліц у вигляді зірки. Позначається як IP (Internal Plus). Інструмент Torx не може працювати з обладнанням Torx Plus. 6) Torx Plus External - зовнішня версія Torx Plus. Позначається як EP (Зовнішній плюс). Антивандальна версія Torx

Plus має п'ять промінів і штифт у центрі виймки. Також розглянуто шестигранний профіль. Це стандартні головки, які можуть бути використані лише для роботи із кріпленням, що має шестикутні головки. **Результати.** Кріплення головкою Torx більш надійне і довговічне і дозволяє досягти вражаючого крутного моменту.

Ключові слова: торцева головка, Torx, навантаження, розрахунок, МКЕ, напруження.

Кравченко Роман Владимирович¹, студент, т. 0501541902, romankravchenko1996@gmail.com
Богдан Дмитро Іванович¹, к.т.н., доцент кафедри деталей машин і теорії механізмів та машин, тел. 380963103000, Phd.bogdan@gmail.com

Поваляев Сергей Иванович¹, к.т.н., доцент кафедри деталей машин і теорії механізмів та машин, тел. 380971992331, Povalyaevsi@ukr.net
¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Comparison of the screw head loading capacity depending on the slot form

Abstract. Problem. For car repairs and other works with threaded fasteners, a convenient tool is often used – it is called end heads. Various types of splines, end heads, and screws have become widespread. The article describes the main geometrical dimensions, the nomenclature and applicability of the Hex and Torx slots and lists the advantages and disadvantages of each. The history of the formation of the current standard for specifying the slots is given. **Goal.** The aim of this work is to carry out a comparative analysis of the most used hexagonal socket head and Torx socket head, to assess their operational characteristics. **Methodology.** The connection of the bit with the screw head is considered in terms of the contact of the mating surfaces, the picture of the distribution of equivalent stresses in the screw head arising under the action of the torque applied to the tool is analyzed. Three-dimensional equivalent stress diagrams are given. The following variations of Torx spline options are considered: 1) Torx External - inverted Torx. It is used to reduce the size of the bolt head. 2) Torx Tamper Resistant is anti-vandal, denoted as TR. 3) Five-way Torx is one of the anti-vandal options. 4) Pentalobe is a separate chamomile-shaped slot, used in Apple electronics. 5) Torx Plus is an improved spline with star cut ends. It is denoted as IP (Internal Plus). Torx tool cannot work with Torx Plus hardware. 6) Torx Plus External is an external version of Torx Plus, denoted as EP (External Plus). The anti-vandal version of Torx Plus has five beams and a pin in the center of the recess. Also the hex profile is considered. These are standard heads, which can be used only for work with fasteners having hexagonal heads. **Results.** The fastener with this head is very reliable and durable and allows you to achieve impressive torque.

Key words: end head, Torx, load, calculation, FEM, stress.

Kravchenko Roman¹, student, tel. 0501541902,

romankravchenko1996@gmail.com

Bogdan Dmitry¹, Ph.D., Assoc. Prof. of Machine
Parts and Theory of Mechanisms and Machines De-
partment, tel. 0963103000, Phd.bogdan@gmail.com
PovalyaevSergey¹, Ph.D., Assoc. Prof. of Machine

Parts and Theory of Mechanisms and Machines De-
partment, tel. 0971992331, Povalyaevsi@ukr.net

¹Kharkov National Automobile and Highway Uni-
versity, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002,
Ukraine.