

תשובות לשאלות שעלו בעקבות ההרצאה האינטרנטית: "ברגים רבתי ברגים" בפורום מהנדסי מכונות מרכז בלשכת המהנדסים:

1. שאלה: מה זה בורג דרוך?
דריכת הבורג (PRELOAD) היא מתיחתו בעת ההרכבה (סגירת הבורג) לפני שהחלקים המחוברים עומדים בעומס העבודה המתוכננת (למשל: הידוק ראש מנוע לבלוק, לפני שמפעילים את המנוע).
2. שאלה: האם זה נכון ששייבה קפיץ לא באמת עדיפה על שייבה רגילה?
שייבה קפיצית, **לכל היותר, לא תזיק!** (ראה המאמר: כשל בבורג: 3 טעויות קריטיות בתכנון ברגים שעוללות להוביל לכשל מערכתי (ומה לעשות במקום) בקישור <https://www.moshe-kelman.co.il/screw-failure>)
3. שאלה: למה שבורג יתארך? עקב הידוק במומנט גדול מידי?
בורג מתנהג כמו קפיץ עם מקדם קפיציות גדול. כשמברגים אותו, מפעילים כוחות מתיחה, והבורג יתארך.
4. שאלה: יש כלל אצבע או נוסחה שמתארת את כוח חיכוך כפונקציה של הידוק?
כן-
 $0.2 \text{ [מקדם]} \times X \text{ כוח הדריכה הנחוץ [ניוטון]} \times X \text{ קוטר הבורג הנומינלי [יחידת אורך]} = \text{מומנט הדריכה (סגירה) של הבורג [ניוטון - יחידת האורך שהשתמשתם]}$
 $T = 0.2 F_i D$
5. שאלה: מהם הפתרונות הטובים ביותר למניעת כליבה? ציפויים? **Molibden sulfure? Black oxide?**
במקרה של בורג משולב בתבריק, אין כליבה (ראה המאמר על אפקט הכליבה: https://www.moshe-kelman.co.il/clamping_effect), יש "תפיסה" או "הידבקות" שמפריעים לפתיחה לאחר זמן ממושך. כדאי להשתמש בחומרים דומים, למניעת קורוזיה גלוונית, להגן מפני חדירת לחות, וכן, להשתמש במשחות מגן מתאימות.
6. שאלה: מתי כדאי להשתמש בברגי SS ומתי בברזל מצופה ניקל?
ברגים מצופים בניקל, זה ליופיו. לא להגנה מפני קורוזיה. ברגים מנירוסטה (יקרים) משתמשים כשהמחוברים הם מנירוסטה, או כשהסביבה היא קורוזיבית.
7. שאלה: לגבי חוזק כריכות באום או בהברזה. מה קורה אם הבורג בדרגה 10 אך נכנס להברזה בפלדה רכה?
הבורג (חוזק 10.9 למשל) יכול להכנס גם בתבריק אלומיניום. במקרה כזה יש לדאוג לתבריק משולב באורך 3 פעמים קוטר הבורג.
8. שאלה: מה עם סוג ראש הבורג? העניין רלוונטי גם לראש אלן? או לא עלינו, פיליפס?
חוזק הבורג הוא הקובע. סוג ראש הבורג יקבע רק את סוג המפתח. לצורך דריכת הבורג, אין זה משנה באיזה כלי מהדקים, ובלבד שלא יהיה כשל בין הכלי לראש הבורג.

9. שאלה: מה זה "סיגמא פרופ"?

Proof Strength. זה הכוח או המאמץ שהחלק (בורג) יכול לשאת מבלי "להיכנס" לתחום הפלסטי. זה ערך קרוב מאד לחוזק הכניעה אך תמיד קטן ממנו.

10. שאלה: דיברת על הערך "8.8". על פי מה אני בוחר את הערך הזה?

8.8 או 10.9 או 12.9 או 4.8, הם הסימון הסטנדרטי (ISO) לחוזק הבורג. אני בוחר את הבורג לפי העניין, כלומר החוזק הדרוש למתכנן. בד"כ 8.8. שזה אומר, בורג שה UTS שלו הוא **לפחות** 800 ניוטון לממ"ר, וחוזק הכניעה שלו הוא **לפחות** 0.8 מזה. כלומר חוזק כניעה, **לפחות** 640 ניוטון לממ"ר.

11. שאלה: מה לגבי שיטת הידוק לפי מהלך זווית נדרש בהידוק? (מוכר בתעשיית הרכב)

זו שיטת הידוק (מתיחה מוקדמת). יש ויכוח אם היא עדיפה על שימוש במד המומנט. כביכול ההידוק לפי זווית, מודד טוב יותר את הדריכה, כי הוא מודד התארכות (זווית הידוק = אורך הדריכה על פי הפסיעה) הבעיה היא (אי הוודאות שנכנסת לתהליך) ההתכווצות של המחוברים, לכן השיטה לא יכולה להתבסס על טבלאות אלא על ניסוי ותהייה של היצרן לכל בורג ובורג לפי המחוברים, לפני שהוא מפרסם את הנחיות ההידוק.

12. שאלה: האם צריך להתחשב במומנט הסגירה הראשוני בחישוב החוזק של הבורג למתיחה? כלומר לאחר הידוק הבורג האם יש להתייחס למאמץ המתיחה המתפתח בקנה הבורג עכב מומנט ההידוק ולהוסיף את מאמץ זה למאמץ המתפתח על ידי כוח חיצוני?

לא. בורג דרוך יכול לשאת מאמץ לפחות כמו מאמץ הדריכה המוקדמת. ([ראה המאמר: מתיחת הבורג בעת הרכבתו](https://www.moshe-kelman.co.il/screw-stretching) (<https://www.moshe-kelman.co.il/screw-stretching>)

13. שאלה: האם לבורג ארוך יש חישוב שונה להידוק מותר?

לא. אותו חישוב. אורך הקנה, או אורך הבורג אינו משפיע, ואינו נכנס לנוסחאות.

14. שאלה: מה לגבי שימוש בבורג כציר לגלגלת - כפיפה??

בורג בשום אופן (בתכנון הנדסי נכון) אינו ציר לגלגלת! (כי הקנה של הבורג עשוי בטורלנס גס, ושנית, אם הגלגלת צריכה להסתובב על הבורג כציר, אי אפשר להדק את הבורג) בתכנון נכון, גם במקרה שהבורג מחבר גלגל כל שהוא, הוא יראה רק מתיחה (תכנון נכון!) אם נגיע למצב שהבורג רואה כפיפה-החיבור נכשל!!

15. שאלה: האם לוק טייט יאפשר לפתוח את הבורג ולסגור אותו שוב?

יש סוגי "לוק טייט" (חוזק חלש וחוזק בינוני) המיועדים לפתיחה. במקרה של שימוש חוזר בבורג או בתברג, יש לנקות היטב את שרידי הדבק היבש.

16. שאלה: כיצד ניתן לשלב חישובי ברגים באנליזות אלמנטים סופיים?

אינני רואה את הקושי. מדוע בורג שונה מכל חלק אחר לצורך האנליזה? אישית, האנליזה הנומרית תשמש אותי רק כגיבוי לחישובים הידניים ורק במקרה שאני נזקק לחישוב מדויק וקפדני.

17. שאלה: איך אני מראה מקדם ביטחון על הבורג אם אני דורך אותו ל90 אחוז ממאמץ הכניעה?
כדי לקבל מקדם בטחון, למשל 2, תשתמש בבורג חזק פי שניים (שטח החתך גדול פי שניים, כדי לקבל מקדם 2) ותדורך אותו ל90% ממאמץ הכניעה. או שתשתמש בשני ברגים (כמובן דרוכים 90% ממאמץ הכניעה).

18. שאלה: מה דעתך על שימוש בהליקויל לעומת דבק אנארובי
הליקויל פשוט, משמש לחיבורים שמפרקים הרבה פעמים ויש חשש לשחיקת התברג (בגוף אלומיניום או סגסוגת אבץ למשל). קיימים הליקוילים "מיוחדים" שיש להם כריכות עם "עיוות" מובנה, לייצור התנגדות קפיצית להברגת הבורג. הם מועילים קצת כנגד התרופפות. אינם באותה דרגת ביטחון כמו דבק אנארובי (לוקטייט).

19. שאלה: מה דעתך על שימוש בהברגה עם פסיעה עדינה NF במקום NC לצורך אבטחת הבורג?
הברגות עדינות, אמורות להשתחרר פחות. בספר הלימוד של שיגלי, הוא מוכיח שההבדל בזווית המעלה, זניח. בפועל ראיתי חברות שמתייחסות להבדל זה בטבלאות.

20. שאלה: האם דיסקה קפיצית לא תאבטח ברגי זיווד קטנים (M2, M4) מפלדה רכה ?
התקן DIN או ISO מדברים על שימוש בדיסקה קפיצית רק עבור ברגים מדרגת חוזק 5.6 ומטה. אלו ברגים רכים, שמתכנני מכונות אינם משתמשים בהם. מעולם לא השתמשתי בבורג בחוזק נמוך מ8.8. מניסיוני, הדיסקה הופכת לשטוחה במומנט קטן מאד, הרבה לפני שאפילו בורג 4.8 יידרך. לכן אני סבור שגם לברגים רכים השייכות הקפיציות אינן מועילות כנגד אובדן הדריכה והתרופפות החיבור. אולי השייבה במקרה זה, תמנע מהאום, אחרי שהשתחררה מליפול.

21. שאלה: כאשר עושים חישוב מומנט הידוק של בורג המוברג לאלומיניום, האם לוקחים בחשבון נתוני חומר הבורג או האלומיניום?
כן. מייצרים תברג ארוך שיאפשר שילוב של הבורג בתברג באורך 2-3 פעמים הקוטר הנומינלי של הבורג. בפלדה, די ב 1.5-1 קוטר הבורג.

22. שאלה: כאשר ספק ברגים אומר "ברגים שחורים" למה הוא מתכוון?
בורג שחור הוא בורג שעבר פאסיביציה (שמייצרת תחמוצת ברזל יציבה על פני שטח המתכת ולא "חלודה") או פוספטציה. שני התהליכים מספקים הגנה מסוימת מפני קורוזיה.

23. שאלה: אנא התייחסותך להמלצה של מינימום 3 כריכות
מחקרים מראים ששלושת הכריכות הראשונות בתברג, מעבירות 80-90% של העומס. לכן הן כה חשובות. בסופו של דבר, כשכריכה נכנעת לעומס, ומתכופפת, הכריכה שלאחריה תצטרף ותחלוק אתה בעומס, וכן הלאה.

לשאלות נוספות אפשר לפנות בקבוצת הדיון: "[מחשבה והנדסה בע"מ - פתרונות בהנדסת מכונות](#)" בפייסבוק. או ישירות במייל למרצה: moshe525@gmail.com

[קישור למאמר שמסביר את פעולתו של הבורג הדרוך: מתיחת הבורג בעת הרכבתו, הכרחית לפעולתו של הבורג](#)

[למעבר להרצאה המלאה, ברגים רבתי ברגים, באתר לשכת המהנדסים, לחץ כאן](#)