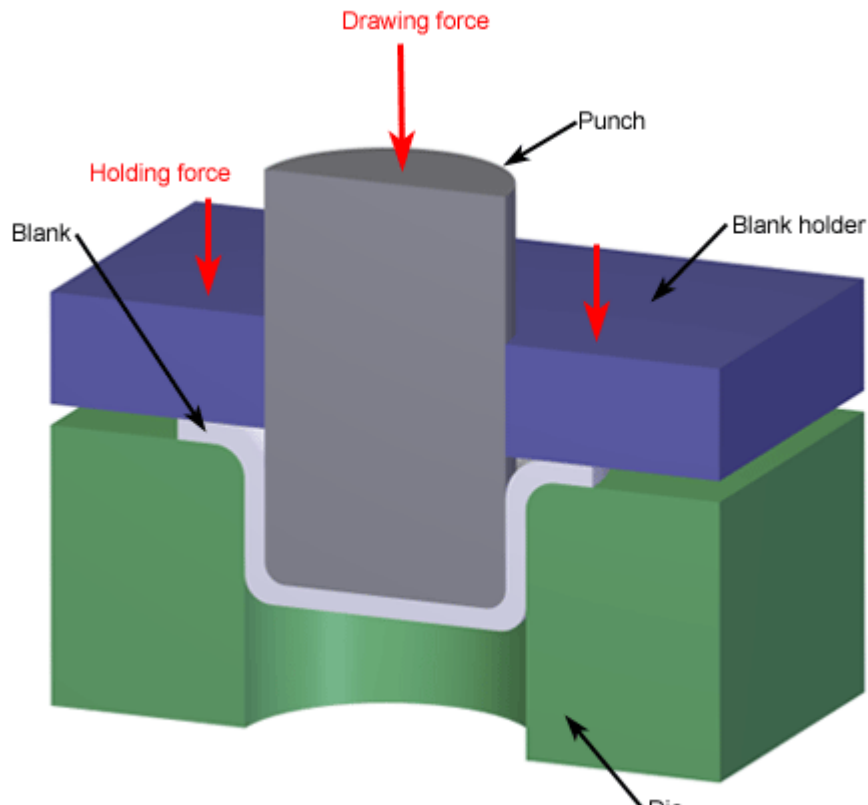


## קצר על - כבישה עמוקה – DEEP DRAWN STAMPING

תהליך ההטבעה העמוקה הוא תהליך מיוחד הדורש ניסיון הנדסי רב ומכשירים מיוחדים המצוידים כנדרש ( double & triple action ) ומאפשרים מהלכים יוצאי דופן. הידיעה איך חומרים יגיבו למשיכה עמוקה שבעזרתה נייצר מוצרים מדוייקים וחזרתיים משלבת בין אומנות למדע .



Copyright © 2009 CustomPartNet

### התהליך

כבישה עמוקה מיוחסת לתהליך עיצוב פח בתנאי לחץ ומתיחה לתוך חלל/מכתש ויצירת צילינדר ואו כיפה סימטריות או לגמרי לא סימטריות. קיים בלבול בין תהליך הכבישה העמוקה למתיחה . החומר מאולץ פלסטית כאשר הוא נמשך סביב הרדיוס של המבלט, אך בניגוד לתהליך המתיחה החומר נשאר כמעט בעוביו המקורי. התהליך נעשה בתנאים מחושבים ומבוקרים הכוללים : לחץ של מחזיק הפריסה, רדיוס המקב והמבלט, מהירות התהליך וכמובן סוג הלובריקציה.

## קצר על - כבישה עמוקה – DEEP DRAWN STAMPING

התוצאה הסופית יוצרת צורת כיפה בעלת עובי דופן כמעט שווה לפח ממנו התחיל התהליך. הקליפה היא בדרך כלל צילנדרית, אך יכולה להיות גם מצולעת, ישרת זווית או אפילו צורה חסרת סימטריה. מוצרים משוכים שכיחים מתצורות מאד רדודות הדורשות תהליך משיכה בודד עד לתצורות עמוקות מאד הדורשות מספר לא קטן של שלבי משיכה. חלקי משיכה עמוקה הם ורסטייליים ומשמשים במגוון תעשיות – מתעשיית האלקטרוניקה דרך תעשיות למוצרים שימושיים ועד לתעשיית הרכב והאיירוספייס. פריטי משיכה עמוקה אופייניים כוללים מארזים למיכשור חשמלי, פריטי מנוע לרכב ולמערכת הפליטה, מיכלי לחץ ומיכלים לתעשייה. חלקים לשימוש יותר יום יומי הן פחיות משקה, כיורים, ציוד רפואי, מטפים ואגנים לפילטרים.



### היתרונות

משיכה עמוקה אופטימלית למוצרים הדורשים אטימות למים או לאוויר, לחלק אין תפרים עם חוזק משמעותי ומשקל מינימלי. המשיכה העמוקה היא בדרך כלל הדרך האפקטיבית ביותר לעצב חלקים בעלי גיאומטריה מורכבת ולא קונבנציונלית. במונחים של לוגיקה ייצורית משיכה עמוקה מביאה לא מעט יתרונות :

- העלאת היצוריות, מהירות המשיכה מוגבלת אך ורק במהירות המגע הנדרשת ע"י החומר. במידה ונדרשת יותר ממשיכה אחת לייצור את הגיאומטריה ניתן לבצע את המשיכות הוספות סימולטנית באמצעות מערכות העברה או במבלט

## קצר על - כבישה עמוקה – DEEP DRAWN STAMPING

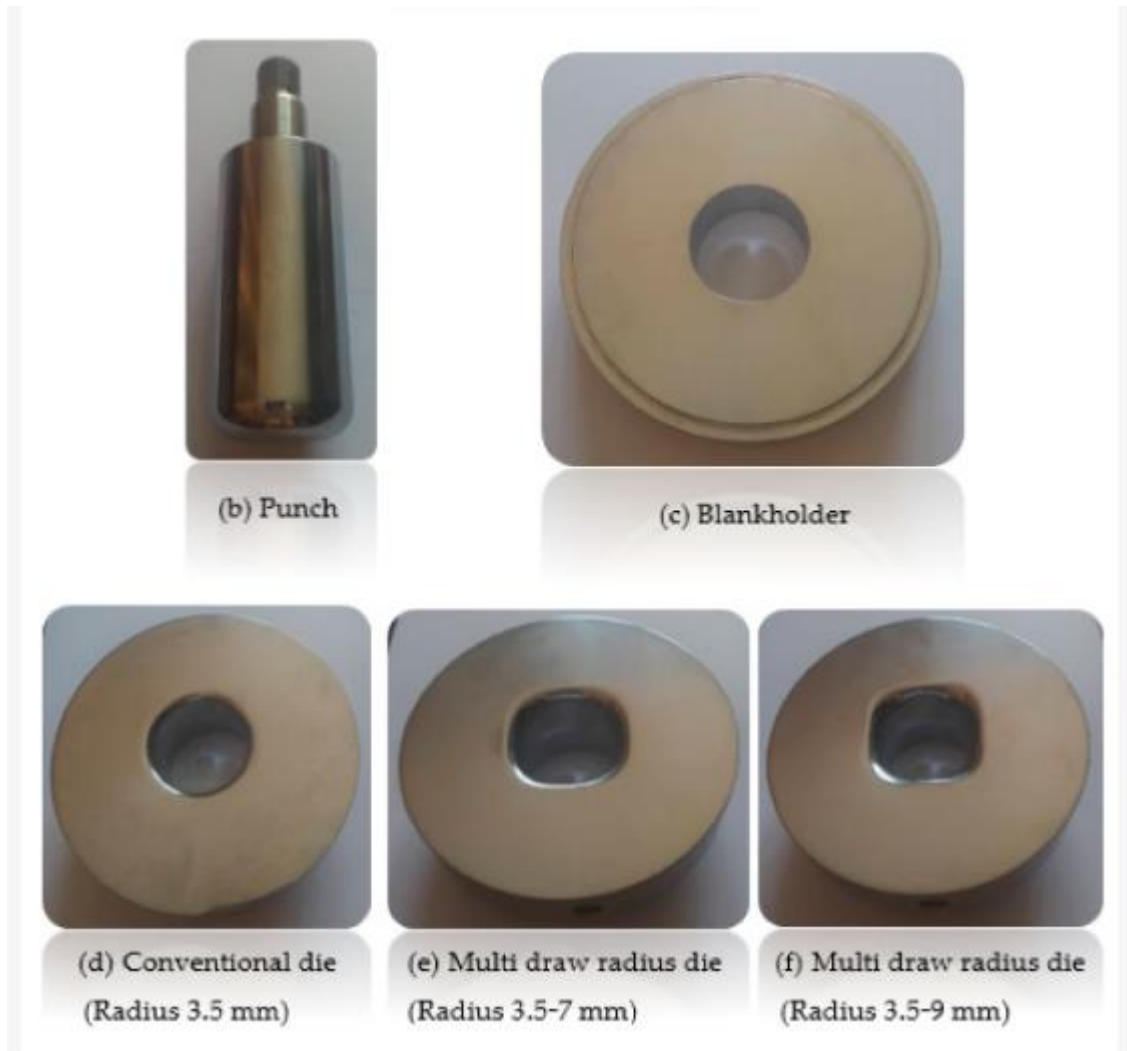
- פרוגרסיבי לאופטימיזציה של זמן. כך למעשה מקטינים עלויות כאשר כמויות הייצור המוניות.
- הקטנת עלויות, יחד עם שיפור ביצוריות, עלות כלי הכבישה הם פקטור משמעותי כאשר בדרך כלל לא ידרש יותר ממכלול של כלי אחד העשוי מחומרים מתאימים ועמידים.
  - טולרנס חזרתי, תהליך הכבישה העמוקה הוא חזרתי בצורה כמעט מושלמת ומרגע שבוצע הכיוון ניתן לייצר אלפי חלקים בטולרנסים מאד הדוקים.
  - חלקים יותר חזקים, בניגוד לחלקים יצוקים או משובבים למתכות משוכות שעוברות כבישה יש מבנה גרעיני מוארך ומלוכד בהתאם לטבעו של תהליך הכבישה העמוקה, הסטרקטורה זורמת ונוצרת לכל אורך הדרך ללא הפרעה שבסופו נקבל חלק מאד חזק. כתוספת התהליך של כבישה עמוקה מבצע עבודה קרה על המתכת שגורמת להקשיית מעוותים במתכת ולהעלאת הקושי וחוזק המתיחה מעבר לתכונות הבסיסיות בחו"ג.
  - מגוון המתכות, קיים מגוון גדול של מתכות שניתנות לכבישה עמוקה ומספקות מספר אופציות לייצור. בין המתכות השכיחות סוגים שונים של פלדות, אלומיניום, נחושת ופליז. כמו תמיד, חשוב לבחור את המתכת המתאימה ביותר לאפליקציה.

### אנטומיה של כבישה עמוקה

כאשר המקב נוגע בפריסה, קדמת המקב דוחפת תחילה את החומר לחלל מתחת למקב ומתקבלת צורה של כיפה. במצב זה מתרחשת מתיחה מסויימת ויוצרת מה שנקרא Shock line. זהו אזור היצרות מסביב לרדיוס בתחתית שמטפס גם בחלקו לחלק הישר של הכיפה. כתלות בצורה, בתחתית המקב החומר יהיה עדיין בקירוב חעובי המקורי יותר אם זו תחתית שטוחה ופחות כאשר התחתית כדורית. כאשר מושכים את הפריסה החומר בהיקף מתאסף בקצוות החיצוניים והמתכת מתעבה באזורים אלו. בהמשך המשיכה שאנחנו כמעט בקוטר הכיפה החומר בדופן מתעבה עד 10% מהעובי המקורי, זו הסיבה שחייב להיות מרווח מתוכנן בין המקב לחלל על מנת שהחומר לא יקרע. בנוסף המקב חייב להיות משופע ( Tapered ) מלמטה למעלה

## קצר על - כבישה עמוקה – DEEP DRAWN STAMPING

שניתן יהיה בסוף התהליך לשלוף את החלק. ניתן למזער זאת באמצעות תהליך Sizing עוקב, אך לא ניתן לבטל זאת לחלוטין.



היות ותהליך המשיכה תלוי בחוזק המתיחה של החומר, יש מגבלות לכמות משיכת החומר האפשרית. אם היחס בין הקוטר לעומק גדול, נדרשות מספר משיכות להגיע למטרה. חשוב לזכור שמשיכה יוצרת עבודה קרה נוספת על החומר. חומרים שונים מתקשים באופן שונה ובתזמון שונה, אי לכך לעיתים נדרש תהליך ריפוי או הרפייה בין השלבים על מנת להחזיר לחומר את תכונות המשיכות שמתאדה אם הקשיית המעוותים. כמובן שחומרים דקים יותר ביחס לגודל החלק, ידרשו שלבי משיכה עמוקה פחותים להשגת בקוטר הרצוי.

## קצר על - כבישה עמוקה – DEEP DRAWN STAMPING

הפריסה לייצור עשויה מפח או רצועות מגולגלות ( Rolled strip ) שמפחיתות את התארכות הגרעין בכיוון העירגול וגורמת למתחים בדופן הכיפה ( Shell ) במיוחד בקטרים גדולים. מאמצים לא שווים אלו גורמים לעיתים לעווליות. איגון חלק מהפריסה בצד העליון של הכיפה מקטינה את אותה עווליות, אך מקטינה את האוגן ויהיה פחות חוזק לשמור את הכיפה בתצורה המתאימה. קיימים מהלכים נוספים שמומחי משיכה עמוקה יכולים לנקוט בהם להקטנת מצב של Out of round כתלות בחומר וקונפיגורציית החלק.

### אפיון התהליך

היות והפריסה משתנה במהלך הכבישה העמוקה, עובי הדפנות אינו יכול להיות בקתגוריה של טולרנסי עובי סטנדרטיים. כתלות באפליקציה אפשר לזהות שלוש אפציות לאפיין את עובי חומר הכפה :

- עובי הפח או ה STRIP בשימוש – במקרה זה, עובי דופן של הצילינדר הסופי ינוע די טיפוסית כ  $(-)(+)$  10% כתלות בעוצמת הכבישה.
- עובי דופן מינימלי – במקרה זה, עובי הפח או ה STRIP יקבע ע"י חישוב או מעטפת התכנון.
- עובי דופן מקסימלי – כמו בעובי מינימלי, חישוב במהלך הפיתוח יקבע הפח לתחילת תהליך.

עובי החומר ניתן גם ל "ניחוש" מושכל ע"י מהנדס או מפעיל מנוסה בתהליך בנקודות שונות בדפנות המעוצבים.

נדרשת עבודת פיתוח בתהליך. היות והחומר מעוצב סביב מקב, הכיפות טיפוסית מדודות בקוטר הפנימי עם שיפוע מחושב מהתחתית לפסגה ( Bottom to top ). אלטרנטיבית ניתן למדוד את הכיפה בקוטר החיצוני במידה המקסימלית בפסגה או בקצה הפתוח ולחדד ולבצע tapering down לתחתית. הרדיוס בתחתית הכיפה ובמעברים בין הדפנות הורטיקליות לאוגן נשלט ע"י הרדיוס הנדרש בתהליך המשיכה העמוקה.

## קצר על - כבישה עמוקה – DEEP DRAWN STAMPING

הרדיוס בתחתית הכיפה ובמעבר בין דפנות הצד והאוגן נשלט ע"י התהליך במשיכה עמוקה. הרדיוס הזה ממולץ שיהיה 3-4 פעמים עובי החומר לפלדות שונות, אך מאד תלוי בהרכב וסוג החומר הספציפי. רדיוס הפלנג יהיה גדול יותר מהרדיוס בתחתית. הרדיוס ניתן להקטנה בפעולות ייצור נוספת ( SET BACK ) בדרך כלל לא יהיה קטן ברדיוס הפנימי מ  $\frac{1}{2}$  עד עובי החומר. כאשר אנחנו מושכים פריט דמוי צלינדר ללא אוגנים, כל הפריסה תעוצב רתוך המקב תוך יצירת צלינדר ללא אוגנים. ראוי לציין שבגלל מאמצים לא הומוגניים בחומר, קצה הצלינדר ( גובה ) יכול להתקבל לא שווה. במקרה של משיכה מאד רדודה חוסר השיוון יכול להתבטא בטולרנס של החלק. במשיכה מאד עמוקה גובה הקצה הפתוח יהיה מאד לא אחיד ויהיה צורך לבצע כרסום אחרי תהליך הכבישה לקבלת גובה אחיד.

את תחתית הצלינדר ניתן לנקב ולייצר חלק צינורי עם קצה פתוח חלקי בהתאם. על ידי משיכה ניתן להשיג קטרים מרובים, מדרגות בקוטר וצורות קוניות. במצבי קיצון כתלות בחו"ג ידרש יותר ממבלט אחד או מבלט פרורסיבי.



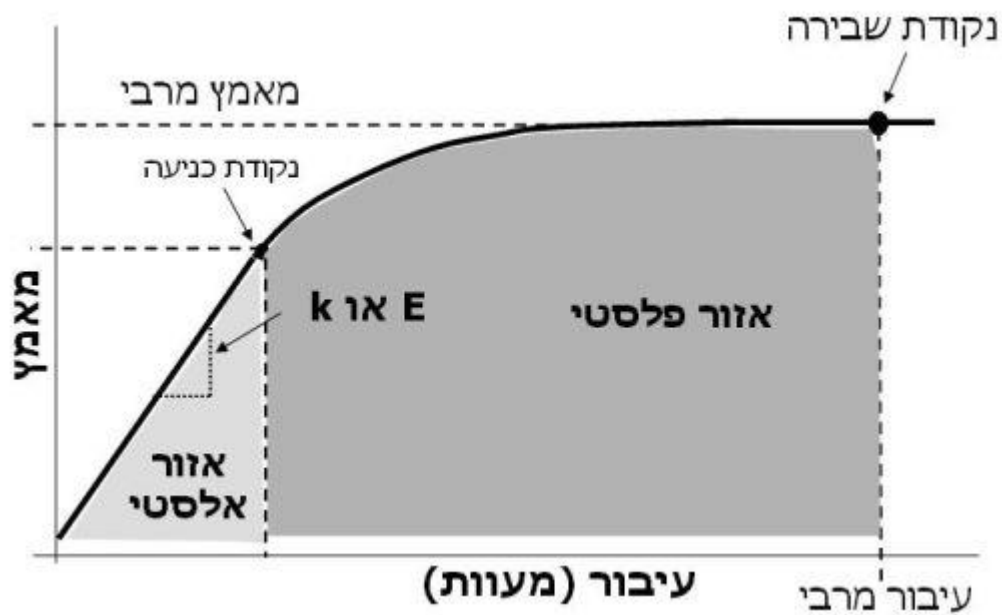
תהליך נעבישה העמוקה משמש גם לייצור גיאומטריות מצולעות מכל הסוגים. בחלקים רדודים כמו מלבן, ריבוע המתכת באזורים הישרים של החלק תזרום רתוך התבנית כמו בעיבוד קר בקו ישר. הרדיוסים בפינות הם סגמנט של החלק שנאסף ראדיאלית לצורה בכניסה לפינה. הקושי העיקרי הוא במעברים לפינה ששם נוצר עיוות אלכסוני. בגלל הצורה הלא אחידה החומר ברדיוס הפינתי של ריבוע או מלבן יהיה תחת לחץ משמעותי ( בעיקר בחלקים קטנים ) במהלך ההיווצרות והוא נוטה להיכשל במקומות

## קצר על - כבישה עמוקה – DEEP DRAWN STAMPING

אלו. הרדיוסים הללו חייבים להיות נדיבים מספיק כדי לאפשר לחומר להימשך לפינות ללא סדקים או קרע.

חומרים לכבישה

בגדול רב החומרים בתצורת פח או STRIP מעורגל ניתנים לכבישה עמוקה. ביניהם פלדות פחמן, פלדות אל חלד, נחושת, פליז, פלדות מסוגסגות ואלומיניום. חשוב לבחון את כושר המשיכה של החומרים והאפקט שמייצרת משיכה עמוקה על המבנה. חומרים שמגיבים טוב למשיכה עמוקה הם מהקבוצה עם חוזק כניעה נמוך יחסית לחוזק הקריעה שלהם, היות והמשיכה העמוקה מתבססת על התנגדות לכשל של החומר תוך משיכה לדפורמציה פלסטית.



נתכי פלדות ונחושת טובים יותר לעבודה במשיכה עמוקה. כללית מדובר בפלדות דלות פחמן עם אלמנטים מסגסגים המוספים לפלדה להגדיל את המשיכיות. חומרים המיועדים למשיכה עמוקה חייבים להיות ללא פגמים. יש הרבה סוגי פגמים המתחבאים תחת הקליפה שנוצרים במהלך הייצור של הפלדה או בתהליך הערגול המאוחר יותר. עיצוב קובנציונלי וכבישה לא עמוקה במיוחד לא יחשפו את הפגמים

## קצר על - כבישה עמוקה – DEEP DRAWN STAMPING

הללו, אבל נקעים, הפרדות וכדומיהם יתגלו במהלך הטרנספורמציה המתרחשת בכבישה עמוקה. פלדות כרום וכרום ניקל מותאמות לכבישה עמוקה, אך קשות יותר ובעייתיות יותר מאשר פלדות נמוכות פחמן. פלדות אל חלד יכולות להיות בחירה טובה לחלקים שדורשים נראות טובה, לא ממולץ להתחיל את התהליך בחומר מלוטש או מבריק היות והמשטח יאבד את תכונותיו במהלך הכבישה העמוקה. רצוי לבצע את תהליך הליטוש אחרי הכבישה.

היות ותהליך הכבישה "גורר" חומר זה עלול לפגוע בטיב השטח. במידה וקיימת חשיבות לטיב השטח בעיקר במשטחים הפנימיים הקרובים למקב שישה קשה ללטש אותם, רצוי לאפיין את החומר גלם "חומר אינו רגיש לפגיעה בטיב שטח" אך יש לעדכן את היצרן שינקוט צעדים מיוחדים עם החומר.

היות ובמהלך הכבישה מתרחשת הקשיית מעוותים רצוי שהחומר יהיה במצב רך מתחילת התהליך. יש חומרים שמתקשים במהירות יחסית לאחרים, כך שיש מגבלה כמה ניתן יהיה לכבוש ללא ביצוע תהליך הרפייה בין המשיכות. הוספת הרפייה תוסיף זמן לייצור ועלות נוספת. גם בחומרים שיעמדו בתהליך הכבישה ללא הרפייה דוגמאת – פליז, יכול להיווצר מצב של הקשיית מעוותים שיגרום לסדקים ימים אחרי סיום התהליך במידה ולא יבוצע תהליך הרפייה בגמר הכבישה. חשוב להבין שהחומר הוא מפתח לכלכליות הכבישה העמוקה.

כמה מילים לסכום

הטבעה במשיכה עמוקה היא תהליך שנבחן בזמן לייצור כלכלי של חלקים בנפחים גדולים. מומחיות קיימת בתעשייה לייצור מגוון של פריטים ממבחר גדול של מתכות. הבנה של התהליך היא המפתח לעיצוב מוצלח של חלק שיענה על הצרכים של הלקוח תוך ניצול מלא של החוזקות הגלומות בהטבעה בכבישה עמוקה. יצירת קשר/ שותפות בשלב התכן המוקדם של המוצר יכולים לקצר ולטייב את עקומת הלמידה ולהבטיח ייצור מוצלח של המוצר.