



כיצד מסייעת הדפסת תלת-ממד לענף יציקות המתכת

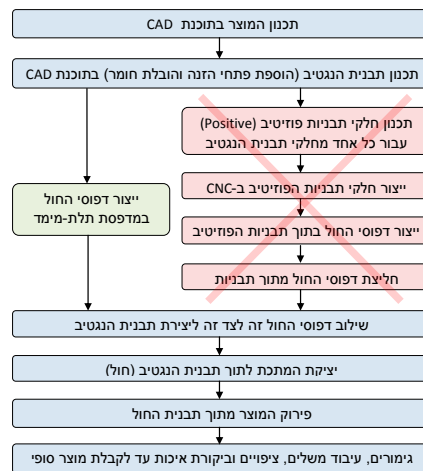


מדפסת תלת-ממד (באדיבות חברת Voxeljet AG)

הדפסת תלת-ממד, חשוב להבין את התהליך המסורתי המתבצע לקראת יציקת מתכת בתבנית חול. ישנם שני סוגי תבניות, באחת החול "ארוז" בארגז מתכת (Flask), ובשנייה החול הינו חול מוקשה שאינו דורש ארגז. כל תבנית היא "נגטיב" של המוצר והיא עשויה משני חלקים או יותר, הנקראים "דפוסי חול" (ללא קשר להדפסת תלת-ממד). שני הדפוסים הראשיים הם הבסיס התחתון (Drag) והבסיס העליון (Cope). בתבניות רבות משולבים דפוסי חול נוספים, הנקראים "גרעינים" (Cores). בעזרת הגרעינים מיישמים חללים פנימיים במוצר, למשל מעברי צנרת מובנים בגוף מנוע. כמו כן הגרעינים מאפשרים לייצר גופים עם חללים נסתרים (Under Cuts), אותם לא ניתן ליישם בגלל מגבלות חליצה הנובעות מאופן ייצור הגרעינים.

כל אחד מהגרעינים מיוצר על ידי מילוי חול המעורבב עם חומר מאיץ (Activator) ועם קשרן (Binder) לתוך תבנית ייחודית משלו (Positive), אותה יש לתכנן בנפרד, והיא עשויה

לקבלת מוצר סופי (עיבוד משלים, צבע וציפויים, ביקורת איכות). חומרי יציקה נפוצים בשימוש הם ברזל, פלדות אל-חלד, מתכות-על, מגנזיום, אלומיניום, פליז וברונזה. לפני שדנים על השינוי המתרחש בענף היציקות עקב שילוב טכנולוגיות



זיו רז*

בשני העשורים האחרונים, נסגרו בישראל מפעלי יציקות מתכת רבים שלא עמדו בתחרות הקשה מול כלכלות המזרח עתירות כוח-האדם הזול. מפעלי היציקה אשר חצו את המשבר, הם אלו אשר השכילו להכניס שיטות ייצור חדשניות שאפשרו להם לעמוד בשורה אחת עם טובי היצרנים בעולם ולספק מוצרי יציקה ברמות האיכות הגבוהות ביותר. טכנולוגיית הדפסת תלת-ממד מביאה בשורה מרעננת ומובילה שינוי מגמה בענף יציקות האיכות.

יציקה בגרביטציה

טכנולוגיית יציקות מתכת הינה בת אלפי שנים ויתרונותיה רבים. יציקות מתכת משמשות ליצירת חלקים לתעשיות התעופה והחלל, לתעשיות הרכב והרכבות, לתעשיות הבטחוניות, לייצור חלקי מבנים אדריכליים, ובשלב שלווה הנפש גם ליצירת פסלים. תהליך היציקה הוותיק ביותר הינו יציקה בגרביטציה (שפיכה חופשית של מתכת במצב צבירה נוזלי לתוך תבנית נגטיב). שני תהליכי יציקות הגרביטציה הנפוצים הם יציקות בתבנית חול ויציקות בשיטת השעווה הנעלמת. בסקירה זו נתמקד בטכניקת יציקות חול, ובמהפך המתחולל בענף יציקות המתכת עקב שילוב טכנולוגיות הדפסת תלת-ממד בתהליכי היציקה. בתהליך יציקת החול מייצרים תבנית לשימוש חד-פעמי (תבנית נגטיב), העשויה מחול מוקשה. תבנית זו הינה הנגיב של המוצר הסופי. לתוך תבנית זו יוצקים את המתכת כאשר היא במצב נוזלי בטמפרטורה גבוהה בסדרי גודל של בין 700°C ל-1700°C. אחרי שהמתכת מתקררת ומתקשה, שוברים את תבנית הנגיב החד-פעמית, חולצים את המוצר מתוכה ומבצעים פעולות משלימות

*B.Sc בהנדסת מכונות, מנכ"ל חברת Meimad3

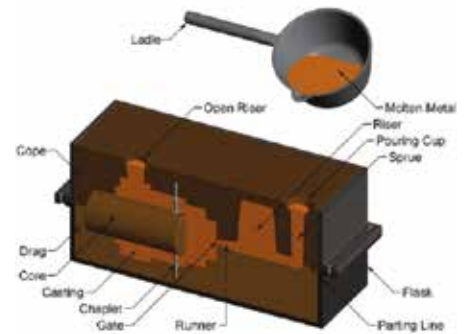


מאכל, חומרים ביולוגיים לשימוש רפואי ועד לבטון. יתרונות עיקריים של הדפסת תלת-ממד על פני ייצור קונבנציונלי: 1. ביטול מוחלט של מגבלות התכנון הגאומטרי (למשל, ניתן לייצר חלקים שלובים זה בזה באותה הדפסה כדוגמת שרשרת חוליות), 2. קיצור זמני ייצור והפחתת עלויות של אבי-טיפוס, 3. אין צורך בזוויות חליצה – תורם להפחתת נפח ומשקל 4. בייצור סדרות קטנות ניתן להימנע מייצור תבניות יציקה או תבניות הרקה (בחלקי פלסטיק). לעומת זאת, המגבלה הבולטת כיום של ייצור בהדפסת תלת-ממד באה לידי ביטוי בייצור סדרתי (מהירות הייצור ועלות הייצור). בשל כך, השימוש העיקרי בהדפסה תלת-ממד עד לפני מספר שנים, היה בעיקר לייצור דגמים ואבי טיפוס. בעשור האחרון חותרות היצרניות המובילות לפתח מערכות הדפסה שייטנו מענה לייצור שוטף במהירויות גבוהות. האתגרים רבים, אבל מידי שנה ניתן לראות חידושים רבים בתחום, ולחזות בתעשיות חובקות-עולם המאמצות טכנולוגיות הדפסת תלת-ממד כחלק אינטגרלי מתהליכי הפיתוח והייצור השוטף שלהן.

הפוזיטיב (עם זוויות חליצה וללא under-cuts). אילוץ זה מגביל את הגאומטריה של המוצר הסופי, ולעיתים רבות מחייב פתרונות מסובכים המייקרים את המוצר הסופי.

הדפסה בתלת-ממד

לפני כשלושה עשורים החלו 2 חברות (קוביטל הישראלית ו-3D Systems האמריקאית), כל אחת בנפרד, בפיתוח רעיון, שאז נחשב למהפכני ושובר מוסכמות. בניגוד לעיבוד שבבי, שיטת ייצור המתבססת על חיסור חומר (Subtractive Manufacturing), הן החליטו לייצר ע"י בנייה בשכבות, כלומר הוספת חומר (Additive Manufacturing). מכיוון שבסופו של דבר מודפסת שכבה על גבי קודמתה, נודע התהליך בשמו הנפוץ כיום – הדפסה תלת-ממדית. הרעיון הבשיל לאורך השנים, וכיום קיימות טכנולוגיות רבות. ניתן למנות ביניהן תהליכים מבוססי לייזר, הזרקת דיו, היתוך ע"י קרן אלקטרונים, יישום היתך חם, הקשייה באולטרא סגול ועוד ועוד. מגוון החומרים שבשימוש גם הוא עצום, החל מפלסטיק למינהו, דרך מתכות, נייר, שעווה, חול, גבס, חומרים קרמיים, חומרי



תיאור תהליך יציקת גרביטיביה של מתכת בתבנית חול (Negative Mold)

מחומר קשיח ומיוצרת ב-CNC. לאחר שהגרעין מתקשה בתבנית הפוזיטיב, חולצים אותו ממנה ומרכיבים אותו לצד דפוסים נוספים, כך שמתקבלת תבנית נגיטיב שלמה. בסיום הרכבת תבנית הנגיטיב ניתן לצקת את המתכת לתוכה דרך פתח מייגה (Pouring cup). אחד האילוצים נובע מהעובדה שכל אחד מהגרעינים חייב להיות מתוכנן כך שיהיה ניתן לחליצה מתבנית

גיל גימורים בע"מ

ציפויים, צבע והרכבות מכניות

פעילויות מיוחדות:

- תהליך L.R.V (ציפוי בולע אור).
- תהליכי צריכה יחודיים.

- צביעה רטובה, אפוקסי, פוליאוריטנית וסינטיטית.
- אימפרגנציה, איטום בוואקום.
- טיפולי תמורה (אלודיין 1 ו-3) + עמידה בתקן ROHS.
- ציפוי אנודי רגיל (גופריתיני), כרומי ואנודי קשה לפי תקן MIL STD
- ציפוי חלקים עד אורך 2000 מ"מ
- באיטום מים/טפלון/דיכרומט. בגוונים: שחור, טבעי, אדום, כחול, ירוק.
- ריסוס אלומינה (בשתי דרגות ציפיות), זכוכית ומדיה פלסטית.
- פסיביציות לפלבים ומסגי נחושת.
- ציפוי אלקטרו-לס-ניקל (מדיום מוספור והיי מוספור).
- הרכבת קשיחים.
- סימון/ כיתוב בהזרקת כדוריות דיו.
- תנור לטיפול תרמי עד: 600°C.
- תא ערפל מלח לבדיקת עמידה בשיתוך.

במקום קיימת מעבדה תיקנית. אנו עומדים בתקן ROHS לפעילויות הרלוונטיות. לחברה הסמכה בתקן: AS 9100 Rev C + ISO 9001/2008 מוסמכים כספקים של חב' אל אופ, אלביט, HP, רפאל, אופיר אופטרוניקס, לומינס, אורידיון, משהבט, ת.א.ת, חיל האוויר הישראלי ועוד.

רחוב דרך גד פיינשטיין 13, רחובות. **טל:** 08-9472855 **פקס:** 08-9472926

דואל: gil-2005@bezeqint.net | gilgimurim@gmail.com



בחזרה לעולם יציקות המתכת

זוכרים איך מייצרים דפוס חול? אז זהו, שכאן יש חדש... אפשר לשכוח מייצור תבניות פוזיטיב וניתן לאפסן את מכונת ה-CNC במחסן האחורי (טוב חכו, עוד לא לגמרי...). מערכות הדפסת תלת-ממד המתבססות על חול, מאפשרות קבלת דפוס חול ממש בלחיצת כפתור. המשמעות המיידית של הדפסת החלקים במדפסת, מעבר לחסכון הכספי הנובע מביטול הצורך בייצור הפוזיטיב, הינה היכולת לקבל דפוסים תוך יום-יומיים, וכך לקבל יציקה מושלמת תוך ימים ספורים, וזאת לעומת סדרי גודל של שבועות בשיטות המסורתיות.



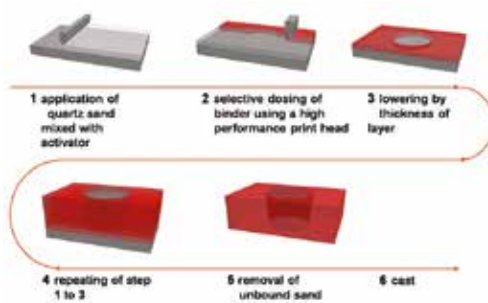
דפוס חול שהודפס במדפסת תלת-ממד (באדיבות "תירוש דוד יציקות איכות")

חלקי חול בלחיצת כפתור

איך עובדת מדפסת תלת ממד המייצרת מוצרי חול? התהליך מתחיל בקבלת קובץ ממוחשב של החלק להדפסה. לכל מערכת הדפסת תלת-ממד קיים נפח הדפסה ידוע, המוגדר ע"י גודל ארגז העבודה המותקן במכונה. ארגז העבודה הינו קופסת מתכת ובתחתיתה ריצפה נעה המסוגלת לתנועה בציר הגובה (מעלה/מטה). הקובץ המיועד לייצור יודפס ביחד עם קבצים נוספים, ואלו ישוכפלו לפי הכמות הנדרשת. החלקים מסודרים זה לצד זה וכן זה מעל זה (בקומות)

בתהליך הנקרא Nesting, ובסיומו החלקים מסודרים באופן וירטואלי בחלל ההדפסה. מכיוון שהמכונה מדפיסה שכבה אחר שכבה, מבצע מחשב המכונה פעולה הנקראת "פריסה לשכבות" (Slicing) ומכאן הקובץ נשלח אל מערכת ההדפסה. חומרי הגלם הבסיסיים בטכנולוגייה זו הם חול, מאיץ (Activator) וקשרן (Binder). החול הינו חול סיליקטי מסונן והוא מוזן ממיכל חימוני ע"י מזין אוטומטי לתוך המכונה. שם הוא מפוזר על משטח ההדפסה בעובי מדויק (0.2-0.3 מ"מ) ובאופן אחיד

(#1 בתרשים). אחרי פיזור החול נכנס לפעולה מערך ראשי הזרקת דיו (Ink-jet array) הנע מעל החול ומתיז טיפות מדודות של נוזל הקשרן (Binder) במיקומים ספציפיים בתהליך הנקרא Drop-On-Demand (#2 בתרשים). כך מתקשה החול ונקשר לגרגירים הסמוכים רק באזור שבא במגע עם הקשרן. לאחר יישום הקשרן על שכבת החול, מונמכת ריצפת ארגז העבודה במידה השווה לעובי השכבה (#3 בתרשים) ומכאן חוזר התהליך על עצמו, שכבה אחר שכבה עד לסיום העבודה. בסיום, לאחר מספר שעות, מוציאים את ארגז העבודה מהמכונה ומחלצים את החלקים מתוך החול החופשי שלא בא במגע עם הקשרן. מערכת הדפסת החול המסחרית הגדולה ביותר הנמכרת כיום מכילה ארגז עבודה בגודל עצום של 4x2x1 מטר (8 קוב), ובה ניתן להדפיס אלפי חלקים ביממה, או לחלופין חלקים בגודל עצום, הניתנים להדפסה ב"חתיכה אחת". במאמר מוסגר נציין כי קיים פתרון דומה גם לטכניקת היציקה בתבניות שעווה נעלמת (העשויות מחומר קרמי או מגבס), אולם מכיוון שמדובר בטכניקה שונה של בניית תבנית הנגיב (בעזרת פוזיטיב שעווה), כך מיושם פתרון שונה במדפסת תלת ממד המיישמת תהליך דומה בחומרי גלם אחרים.



תרשים 2. תהליך הדפסת חלקי חול במדפסת תלת-ממד (באדיבות Voxeljet AG)

ומה קורה בשוק המקומי?

לקראת סוף שנת 2014 הותקנה בישראל מערכת ראשונה במפעל היציקה "תירוש דוד יציקות איכות", המספק שרותי יציקה הן עבור השוק הישראלי והן עבור לקוחות רבים ברחבי העולם. אנשי החברה ביצעו סקר טכנולוגיות מעמיק ומקיף במשך כשנתיים, ולבסוף הצטיידו במערכת הדפסת חלקי חול של חברת Voxeljet AG, המתמחה בפיתוח מערכות הדפסה עבור ענף יציקות המתכת. אנשי תירוש מעידים כי המערכת הביאה למחלקת הפיתוח יכולות ביצוע שלא היו קיימות קודם לכן, ובנוסף על כך, פישטה תהליכי ייצור מורכבים שדרשו קודם לכן מאמצים רבים ומיומנויות עובדים גבוהות. החלקים מתקבלים ברמת דיוק גבוהה ובאיכות פני שטח משביעת רצון. ענף יציקות המתכת התבסס בעבר הלא רחוק על עובדים בעלי מיומנויות מקצוע גבוהות ביותר. בוני התבניות נקראו "מייסטרס" (Meister), והיו אומני מקצוע בעלי יכולות חשיבה וביצוע גבוהות ביותר. במציאות בה כוח אדם מיומן הינו זן הולך ונעלם, הפתרונות נמצאים בייצור מונחה מחשב. מדפסות התלת-ממד בכלל, ובענף היציקות בפרט, הולכות ותופסות מקום חשוב ככלי מרכזי עבור יצרני ענף המתכת. ■

מנגבי מסלולים ומגינים גמישים

- פסים סטנדרטים ליצור עצמי של מנגבי מסלולים
- מנגבי מסלולים לפי הזמנה
- מגיני גומי גמישים לפי הזמנה
- מגיני גומי גמישים סטנדרטים



ירון אמיר ציוד ומכונות בע"מ yaronamir@bezeqint.net

הסדנא 5 קרית אריה פ"ת ת.ד. 3209 פ"ת 49130
טל: 03-9244898 פקס: 03-9222319 ני"ד: 050-5304497



www.yaronamir.co.il