



מהי יציקת מתכות ?

יציקת מתכת היא אחד מתהליכי הייצור היעילים והמגוונים ביותר כבר מימי בראשית. זהו בגדול תהליך של יציקת מתכת לתוך תבנית.

כבר משחר ההיסטוריה (כ- 6000 שנה) השכילו להשתמש ביציקות מתכת לייצור כלים שונים לשימוש יומי, חרבות, טבעות נישואין... ובסופו של דבר גם גלגלי שיניים וברגים. היום יציקת מתכת על סוגיה אפקטיבית במספר גדול של תעשיות ביניהם תעשיית האיירוספייס. היציקות שמיצרות היום נעות מידתית ומשקלית ממספר גרמים לאלפי קילוגרמים.

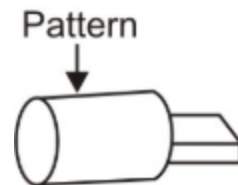
מה זה בכלל יציקת מתכת

זהו למעשה תהליך ייצור הכולל יציקת מתכת מותכת לתוך תבנית לייצור צורה תלת מימדית. אחרי שיצקנו והמתכת והתבנית התקררו, מחלצים את הפריט – מנקים אותו ושולחים אותו לתהליכי המשך במידת הצורך לקבלת המוצר הסופי. השימוש בתבניות מאפשר לייצור אין ספור אובייקטים מתכתיים במגוון צורות ומימדים.

תהליכי הבסיס המקובלים ביציקה

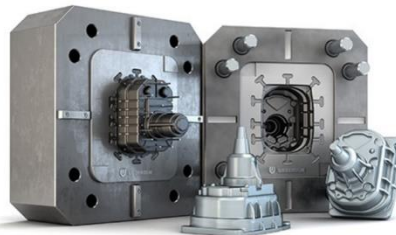
- יצירת דפוס (pattern)

תהליך היציקה מתחיל בהכנת דפוס שזהו מודל של המוצר הסופי. המודל בדרך כלל עשוי מעץ, מתכת או פלסטיק ומייצרים אותו בעיבוד מכני או היום בהדפסת תלת ממד.



- הכנת תבנית (Die Molding)

לאחר תכנון התבנית תוך שימוש במודל (דפוס) מייצרים תבניות שניתנות לשימוש חוזר או לשימוש חד פעמי.



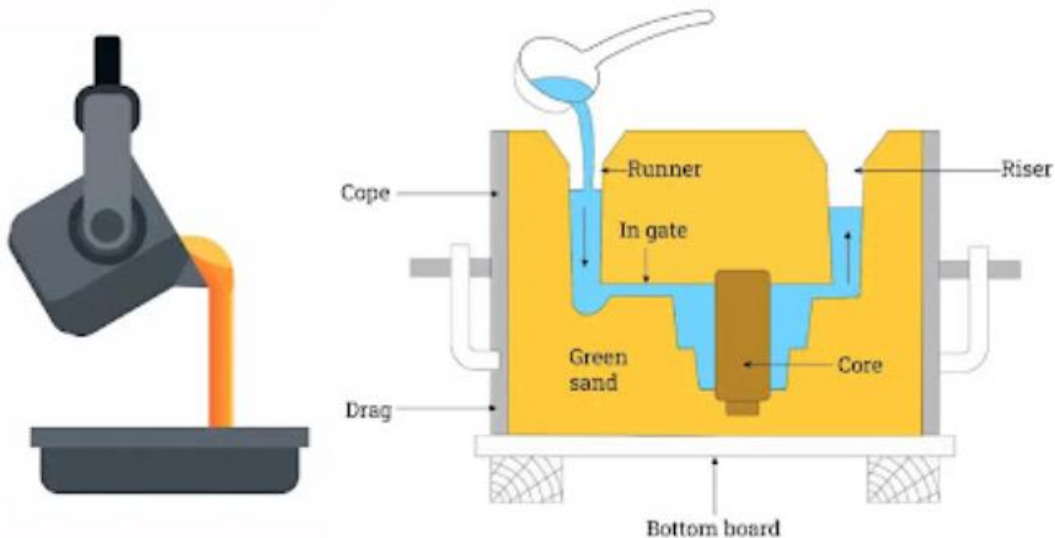


מהי יציקת מתכות ?

- התכה ויציקת המתכת

מחממים את המתכת עד לטמפרטורת ההתכה ויוצקין אותה לתבנית. המתכות הנפוצות ליציקה הן – ברזל, פלדות מסוגים שונים כולל אל חלד, אלומיניום על חלק מנתכיו, נחושת, מגנסיום, אבץ ואחרים.

What is Metal Casting?



- גימור

ברגע שהמתכת התקררה והתמצקה מסירים אותה מהתבנית כיציקה גמורה. השלב האחרון בתהליך הם תהליכי הגימור ההכרחיים כמו מילוי חללים, ניקוי, הברקה ועיבוד שבבי (כרסם חלקי וקידוח). בנוסף, על מנת לקבל יציקות חזקות, עמידות ובעלות התכונות המכאניות הרצויות, יש צורך בביצוע טיפולים טרמיים על היציקות.

הסיפור ההיסטורי

כיום יציקת מתכת משמשת לייצור חלקים מורכבים ולציוד חדיש. אפשר לומר הכל על התהליך למעט שהוא חדשני, למעשה תחילתו לפני 6000 שנה אי שם במספוטמיה.



מהי יציקת מתכות ?

הסוגים השונים של יציקות

יציקות מתכת צחולקות לשתי קבוצות : יציקות מתכת עם תבניות לשימוש חוזר ויציקות באמצעות תבניות מתכלות. תבניות לשימוש חוזר ותבניות מתכלות עשויות מחומרים שונים כל אחד מתאיים ליציקת מתכת מסוג אחר.

בהתעלם מהעובדה איזו יציקה טובה יותר לפרוייקט מסוים, יציקת מתכת היא תהליך תמידי של מזיגת מתכת מותכת לתוך תבנית, קירורה התקשורתה עד להתמצקותה והוצאתה מהתבנית. הסוגים העיקריים הידועים ביציקת מתכת הם :

- יציקות חול – Sand casting
- יציקות לתבנית בלחץ – Die casting
- יציקות שעווה נעלמה – Investment casting

יציקת חול

יציקת החול נחשבת לאחד מתהליכי היציקה היעילים והחסכוניים ונמצאת בשימוש נרחב בתעשיות השונות. היא גם השיטה הישנה ביותר. השם כבר מרמז שהתבנית למעשה עשויה מחול. בתהליך יציקת חול התבנית טבולה בתערובת חול (עם חומרים נוספים) התוך קופסא מיוחדת משני חלקים "הצננת" (FLASK). החול נדחס סביב כדי לייצור תבנית שכאשר מסירים את ה FLASK נוצר חלל (CAVITY) אליו יוצקים. (ראה פירוט בהמשך)

מאפייני החול ליציקה

אמנם ישנם סוגים רבים ושונים של חולות לבחירה, אך לא כולם מתאימים לתהליך היציקה. כל אחד מהם מציג תכונות מסוימות שעשויות להתיישר עם דרישות הפרוייקט או לא.

בהתאם לתהליך היציקה והמתכת, יש צורך בשילוב נכון של תכונות בחול היציקה. כדי לשפר את הלכידות, ניתן להוסיף תוספים ומקשרים מיוחדים לתערובת החול, החימר והמים הבסיסית.

זרזים (כורכים) אלה, שיכולים להיות אורגניים או אנאורגניים, כוללים בין היתר דגנים, זפת טחון, פחם ים, גילסוניט, מזוט, קמח עץ, קמח סיליקה, תחמוצת ברזל



מהי יציקת מתכות ?

ופרליט. לחלק מהם יש השפעות סותרות, אך לעתים קרובות נחוצים פשרות כדי לאזן את המאפיינים עבור יישומי יציקה ספציפיים.

ארבעת סוגי החול הנפוצים ביותר המשמשים ליציקה הם חול ירוק, חול יבש, סיליקט נתון וחול שרף:

חול ירוק נקרא כך מכיוון שהוא בעצם חול גולמי מעורבב במים. הוא מפגין תכונות דמויות חימר. חול ירוק מציע אפשרות זולה ליציקת חול עם שימוש חוזר טוב ותואם לקצבי ייצור גבוהים. עם זאת, הגמישות הנמוכה שלו עלולה לגרום לקריסתו במצבים מסוימים. יש לו גם נטייה ליצור פגמים על פני השטח.

חול יבש, לעומת זאת, הוא חול דפוס המשתמש בחימר ומכיל מעט מאוד מים המשמשים כחומר קושר. הוא מחזיק את צורתו די טוב לאחר שנדחף למקומו. היתרון של חול יבש הוא בכך שהוא יוצר מעט מאוד אדים בשלב המילוי, שבמקרה של חולות לחים יותר, עלולים להוביל לשבירת התבנית אם לא בודקים אותו.

סודיום סיליקט, הלא הוא זכוכית מים, הוא חול מיוחד המשתמש בחומר מקשר נתון סיליקט לשילוב החול. נתון סיליקט יכול ליצור צורות מורכבות או מורכבות יותר מאשר חול ירוק ויבש.

חול שרף, הלא הוא חול פוראן, (חומר הגלם של שיטה זו כולל חול, שרף פוראן, חומר מיצוק וחומר סיפוח). הוא חול פופולרי נוסף המשמש ליציקת חול. הוא משתמש בשרף אלכוהול פורפוריל כדי ליצור מסה קוהרנטית מהחול. לתרכובת החזקה והיציבה ביותר יש נטייה מועטה מאוד להתקלקל ומספקת דיוק מימדי וגימור משטח מעולה. עם זאת, הוא היקר מכל החולות. יש לו גם זמן אספקה ארוך במיוחד.

מהנדסי יציקה בוחרים את סוג החול על סמך מגבלות המתכת, הגיאומטריה של המוצר והסיבולות. אבל לא משנה המפרט, הם תמיד מסננים סוג חול עבור המאפיינים הבאים:

Refractoriness (חין)

חסינות היא תכונה של חומר המאפשרת לו לעמוד בפני זעזועים תרמיים ושריפה כאשר הוא נתון לטמפרטורות גבוהות. החול משמש כחומר חסין למתכת מותכת



Eli Yudkevich

מהי יציקת מתכות ?

ולכן צריך להיות בעל נקודת התכה גבוהה. בחירת החול ליציקה מושפעת במידה רבה מטמפרטורת התהליך. אם העמידות אינה מספקת, החול יימס ויתמזג ליציקה

עבור מתכות רבות, כמו אלומיניום, החול צריך לעמוד רק בטמפרטורה של 700 מעלות צלזיוס. עם זאת, חולות ליציקות פלדה צריכים לעמוד לפחות ב-1500 מעלות צלזיוס מכיוון שנקודת ההיתוך גבוהה יותר.

חדירות

החול חייב להוציא קיטור וגזים אחרים הנוצרים במהלך תהליך היציקה. כל יחידת מים בתבנית מייצרת 1600 יחידות קיטור.

אם הגזים והקיטור נלכדים, זה יכול לגרום לפגמים כמו **חורי נשיפה וחורי גז** במוצר הסופי. הסרתם חיונית כדי להשיג גימור באיכות טובה. לפיכך, חדירות היא תכונה מכרעת בחול להשגת מוצר מוגמר איכותי.

תכונותיו של חול הדפוס מושפעות מגודל הגרגרים ופיזורם: גרגרים קטנים מגבירים את **חוזק התבנית** אך מפחיתים את החדירות, בעוד **גרגרים גדולים** יותר משפרים את החדירות. גרגרים עדינים מניבים גימור משטח חלק על יציקות אך יש להם חדירות נמוכה, בעוד שגרגרים גסים מספקים חדירות גבוהה יותר אך גימור מחוספס יותר.

מוליכות תרמית גבוהה

מוליכות תרמית היא תכונה של חומר המאפשר זרימת חום דרכו. זרימת חום יעילה מובילה לקירור מהיר יותר של המתכת המותכת. חולות בעלי מוליכות תרמית גבוהה נדרשים להעברת החום מהמתכת המותכת לאטמוספירה.

התפשטות תרמית נמוכה

התפשטות תרמית היא עלייה או ירידה בנפח של חומר כאשר מוסיפים או מסירים חום, בהתאמה. לצורך תהליך יציקת החול יש צורך בחול עם התפשטות תרמית נמוכה מאוד. חול מסוג זה ישמור על צורתו בשלבים שונים של תהליך היציקה, לרבות יציקת מתכת נוזלית וקירור לאחר מכן.



מהי יציקת מתכות ?

יכולת זרימה

היכולת של חול לזרום לאזורים קטנים וצפופים יותר, כגון חללים, שקעים וערוצים עמוקים של התבנית, קובעת אם נוכל להשתמש בו **ליציקת צורות מורכבות**. חול עם יכולת זרימה גבוהה יותר ימלא את כל התכונות של תבנית מבלי להידרש ללחץ חיצוני.

חול בעל יכולת זרימה גבוהה אינו נחוץ עבור צורות פשוטות, כגון מכסה ביוב, אבל הוא עשוי להידרש עבור משהו מורכב יותר כמו פסל. לכן רמת הזרימה הדרושה עשויה להיקבע על בסיס כל מקרה לגופו.

בעייתיות ועלות

גם העלות יכולה להשתנות משמעותית מחול לחול. לחול סיליקה, למשל, יש זמינות גבוהה אך גם בעיות כמו חוסר יציבות מימדית והנטייה להישרף או אפילו להתפוצץ וליצור חלקיקים בגודל תת-מיקרון תחת הלם תרמי. סיליקוזיס היא גם בעיה מאוד מדאיגה עם עובדים הנחשפים לסיליקה לתקופות ארוכות. חול אוליבין וכרומיט, לעומת זאת, הם **יקרים יותר וזמינים פחות** אך אין להם את הבעיות שהוזכרו לעיל.

סרטון המחשה של יציקת חול

<https://youtu.be/NMBtpbhaQI0>

יצירת תבנית (MOLD)

התבנית נוצרת באמצעות דוגמה, שהיא העתק של המוצר הרצוי. התבנית עשויה להיות מחומר או תהליך אחר, כגון עיבוד שבבי או ייצור תוסף, אך יש לה אותם צורה וממדים כמו המוצר הסופי. ניתן ליצור תבניות מרובות באמצעות דוגמה אחת.

הדפוס מופרד לשני חלקים לאורך קו האמצע של הצורה. כל חצי מונח לאחר מכן בארגזי חול נפרדים, ותערובת החול נארזת סביבם כדי ליצור העתקים של הדוגמאות בחול.

לאחר הסרת הדוגמאות מהחול, שני ארגזי החול מונחים זה על גבי זה, מאבטחים אותם ליצירת התבנית השלמה. לחלל התבנית שנוצרת כך יש את הצורה הנגטיבית של המוצר. לדוגמה, בליטה על המוצר הסופי מופיעה כשקע בתבנית.



מהי יציקת מתכות ?

יצירת מערכת שערים (Gating System)

מערכת השער מספקת מסלול למתכת המותכת לזרום לתוך החלל. מערכת מתוכננת היטב יכולה להיות מכרעת לאיכות המוצר. מערכת שערים יעילה היא פשוטה, יעילה וממזערת מערבולות. זה גם לוכד כל גז או סיגים הנמצאים במתכת המותכת.

מרכיבי המפתח של מערכת השער הדורשים תכנון קפדני כוללים:

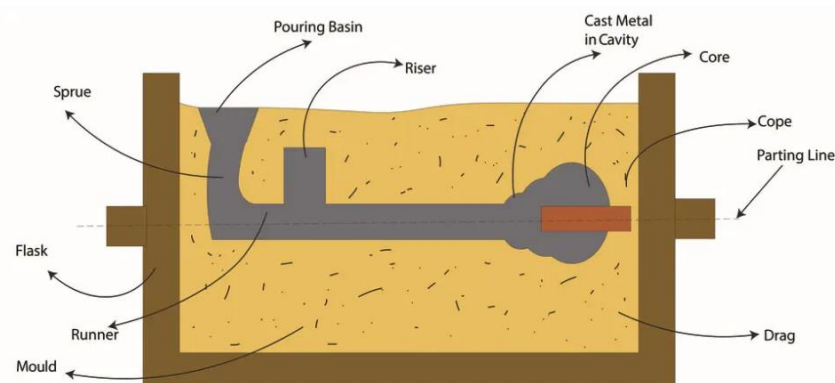
אגן מזיגה ומזלג - אגן המזיגה משמש כנקודת כניסה בצורת משפך למתכת המותכת. המתכת זורמת לתוך השפך מאגן המזיגה, נעה תחת כוח הכבידה לעבר החלל.

רצים (Runners) - רצים הם תעלות אופקיות עבור המתכת המותכת להגיע לחלל התבנית מהשפיץ.

שערים - שערים הם נקודות הכניסה של חלל התבנית, המבטיחות זרימה חלקה של המתכת המותכת לתוך חלל התבנית, שמירה על לחץ ומניעת הבהוב. הם גם עוזרים להגביל כל סיגים מלהיכנס לחלל התבנית.

צינור אנכי (Risers) - כדי למנוע הצטמקות כשהמתכת מתקררת, צינורות אנכיים משמשים כמאגרים במערכת השער, המאחסנים מתכת מותכת נוספת. כשהמתכת מתחילה להתכווץ, זרמים מספקים חומר נוסף לחלל, ומונעים מחסור במתכות.

ליבות (Cores) - כאשר מוצר דורש קטע חלול או חלל, הוספת חול מוצק הנקראת ליבה מונח בתוך התבנית כדי ליצור את החלל המיועד. המתכת המותכת מתמלאת סביב הליבה, ויוצרת את החלל ביציקה הסופית. קפלים מחזיקים את הליבה במקומה במהלך היציקה.





מהי יציקת מתכות ?

יציקת המתכת המותכת

המתכת המותכת מוזגת מלמעלה לתוך החלל. נפח המתכת בשימוש עולה במקצת על זה של המוצר כדי להבטיח שעודפי חומר מאוחסנים בצינורות האנכיים.

התמצקות היציקה

לאחר מילוי חלל התבנית, נותנים ליציקה להתקרר. ניתן ליישם קירור טבעי או מאולץ בהתאם למתכת ולתהליך. קירור נכון חיוני להשגת התכונות הרצויות ושמירה על דיוק ממדי במוצר הסופי.

ניעור ושחזור חול

ניעור הוא תהליך של הוצאת יציקות החול מהתבנית. החול מזועזע ומוזז כדי להפריד את היציקה המוצקה, אשר נשלחת לאחר מכן לפעולות גימור אחרונות, תוך תחילת התאוששות החול.

מכיוון שלא ניתן לשחזר את כל החול, חלק מהחול הישן מוחלף בחול טרי לצורך תהליכי יציקת חול עתידיים. כדי לשחזר את תכונות החול לשימוש חוזר, ניתן ליישם טיפולים מכניים, כימיים ותרמיים, יחד עם התאמות להרכבו על ידי פיצוי על אבדן לחות ותוספים.

היתרונות של יציקת חול

למרות התפתחותן של טכנולוגיות מתקדמות רבות בעשורים האחרונים, יציקת חול נותרה אחד מתהליכי ייצור המתכת הפופולריים ביותר. היתרונות הייחודיים שלו הופכים אותו להכרחי בנוף הייצור המודרני. כיום, יציקת חול היא לרוב אוטומטית, מה שמשפר את יכולת ההסתגלות והיעילות שלה כדי לעמוד בדרישות של סביבות ייצור עכשוויות. להלן כמה יתרונות מרכזיים שהופכים את יציקת החול לתהליך כה חשוב.



Eli Yudkevich

מהי יציקת מתכות ?

מתאים לכל סוגי הייצור

יציקת חול תואמת להגדרות ייצור שונות, ומאפשרת ייצור חלק, אצווה או המוני. שיטה זו נמצאת בשימוש נרחב בתעשיות כמו רכב, ביטחון, חקלאות, כרייה, בנייה, בריאות ואנרגיה מתחדשת.

בתעשיית הרכב, יציקת חול משמשת לפיתוח אבות טיפוס, בלוקי מנוע, ראשי צילינדר וחלקי מנוע IC שונים. היישום שלו התרחב גם לייצור EV, שבו יציקת חול משמשת לייצור רכיבים מבניים, בתי מנוע, מארזי סוללות ועוד.

אין כמעט הגבלה על הגודל גם כן. ניתן ליצוק מוצרים הנעים בין כמה גרמים לכמה טונות במסה בדיוק מתמטי.

חסכוני

אחד הגורמים העיקריים שמניעים מגזרים שונים לאמץ טכנולוגיית יציקת חול הוא העלות. יציקת חול היא חסכונית משמעותית בהשוואה לתהליכי יציקה אחרים. ניתן לעשות שימוש חוזר בחול ליציקות עתידיות בעיבוד מינימלי.

האוטומציה בייצור המוני גם מפחיתה את העלות ליחידה תוך הבטחת איכות עקבית ואמינה. גם יציקת חול כרוכה בעלויות נמוכות בהשוואה לשיטות יציקה אחרות.

מתאים לכל המתכות

יציקת חול יכולה לעבוד עם כמעט כל סגסוגת מתכת ברזלית או לא ברזלית. דוגמאות כוללות זהב, ברזל, עופרת וטיטניום. הדרישה היחידה היא שהוא יימס ויזרום כמתכת נוזלית לתוך התבנית. גמישות זו מאפשרת לבתי יציקה לעבוד עם מגוון רחב של מתכות ללא צורך בשינויים משמעותיים בתהליך או בצידוד.



מהי יציקת מתכות ?

תהליך מהיר

למרות שתהליכים כמו יציקה צנטריפוגלית יכולים להיות יעילים יותר עבור צורות ספציפיות, יציקת חול מציעה זמני אספקה מהירים הן עבור אב טיפוס והן עבור יישומים בקנה מידה גדול.

מגבלות של יציקת חול

כל תהליכי הייצור כוללים פשרות. במקרה של יציקת חול, פשרות אלו הן מינימליות בהשוואה ליתרונות. הבה נבחן כמה מהמגבלות הללו:

גימור משטח גרוע

איכות חול ירודה וסטיות תהליך עלולות לגרום לעיתים לגימור משטח ירוד ביציקות חול. כל התמוטטות בתבנית החול יכולה להוביל למשטח מחוספס. עבור מוצרים הזקוקים לגימור משטח איכותי ללא עיבוד מקיף, נדרש עיבוד שבבי נוסף או יציקת לחץ יציקה / שעווה שמועדפת לרוב, אך יציקת חול יכולה גם לייצר גימורים מעודנים עם החול והתהליכים הנכונים.

שימוש בחול איכותי ועדין יותר מספק גימור משטח טוב בהרבה, אך הוא מייקר את עלות התהליך. דחיפה או אריזה נכונה של חלקיקי חול גם עוזרת לשפר את גימור פני השטח. כדי לתקן פגמים משטחים כגון גימור מחוספס מדי, יציקות חול עוברות בדרך כלל פעולות עיבוד שבבי.

שליטה רופפת על קצבי הקירור

בעוד שניתן לשלוט בקצבי הקירור בצורה יעילה יותר בתהליכי ייצור מתכת רבים, לא ניתן לומר את אותו הדבר לגבי יציקת חול. חול, בהיותו מבודד, מחמיר את האתגרים הקשורים לשלב הקירור. שלב הקירור מתארך במידה ניכרת ביציקת חול, ומשפיע על זמני וקצבי הייצור.

וריאציה מסוימת באניזוטרופיות מיקרו-מבנה יכולה להתרחש עקב קצבי קירור משתנים. אניזוטרופיה מתייחסת לשינויים במאפיינים המכניים הנובעים משינויים בכיוון הגרגירים של החומר.



מהי יציקת מתכות ?

יצירת חללים פנימיים יכולה להיות קשה

שיטת יציקת החול מחייבת הנחת ליבות בחלל התבנית ליצירת חללים פנימיים. לדוגמה, בעת ייצור בלוק מנוע, יש ליצור חללים ריקים עבור צילינדרי המנוע במהלך תהליך היציקה.

יצירת תאים פנימיים, חורים או חללים בתוך חלל התבנית היא מאתגרת מכיוון שהם חייבים להיות ממוקמים בצורה נכונה ותומכים בצורה נאותה כדי לעמוד בתהליך היציקה. ככל שהחללים הללו מורכבים יותר, כך צריך להתגבר על יותר אתגרים.

נדרשת עבודה מיומנת אם התהליך אינו אוטומטי

תהליכים אוטומטיים יכולים לעלות ביוקר. עם זאת, ללא אוטומציה, התהליך מסתמך על מומחי יציקת חול מיומנים שיעצבו תבניות, ויפקח על התהליך כדי להבטיח מוצר באיכות גבוהה. ללא כוח אדם מיומן, התוצאות עלולות לרדת משמעותית מתחת לסטנדרטים המקובלים, וכתוצאה מכך לאובדן מוניטין וחומר.

סילוק חול יכול להיות אתגר

בתי היציקה ממחזרים חול יציקה ככל האפשר, אך לאחר מספר מסוים של מחזורים, הוא אינו מתאים יותר לשימוש חוזר. פסולת חול ממפעלי יציקה היא מזהם מזיק שעלול להוביל לבעיות סביבתיות.

הבנייה היא אחד המגזרים שבהם מופנה כעת פסולת חול יציקה לסילוק. הוא משמש כתחליף לצבר עדין (חול) בבטון. נוהג זה לא רק מתייחס לסוגיית סילוק החול אלא גם מוריד את העלות ואת פליטת הפחמן הקשורים לייצור בטון.

אבל מלבד זאת, רוב פסולת חול היציקה מגיעה למזבלה, וזה בהחלט לא אידיאלי. האפשרויות למיחזור יציקת חול מוגבלות.

מסקנה

למרות שיציקת חול מסורתית היא תהליך עתיק יומין, היא עברה שיפורים יוצאי דופן, מה שהופך אותה לרלוונטית ושימושית ביותר בנוף הייצור של ימינו. הפופולריות שלו מיוחסת בחלקה לרבגוניות שלו על פני סוגי מתכת וגדלי מוצרים שונים, ובחלקה ליעילות העלות בהשוואה לתהליכי יציקה אחרים.



Eli Yudkevich

מהי יציקת מתכות ?

חידושים מתמשכים במדעי החומרים ואוטומציה של תהליכים מרחיבים עוד יותר את המשמעות של יציקת חול בתעשיות החל ממכונות ועד בנייה. ככל שתעשיות מתפתחות, יציקת חול תתמיד בעיצוב הנוף התעשייתי, תוך שילוב מסורת וחדשנות בטכניקות עיבוד מתכת.

יציקה לתבנית בלחץ (Die Casting)

יציקה לתבנית היא תהליך המשמש לייצור חלקי מתכת על ידי הזרקת מתכת מותכת לתבנית. יציקת מתכת היא תהליך יציקת מתכת המופעל באופן נרחב לייצור המוני של חלקים איכותיים ועמידים. הוא ידוע ביכולתו לייצר רכיבים עם דיוק ממדי גבוה, מה שהופך אותו לאידיאלי עבור תעשיות הדורשות חלקים מדויקים ועקביים, כגון רכב, תעופה וחלל ואלקטרוניקה. בין אם אתם מחפשים לייצר צורות מורכבות או להשיג גימורי משטח חלקים, יציקה היא פתרון יעיל לייצור כמויות גדולות של חלקי מתכת תוך שמירה על סיבולת הדוקה וביצועים יוצאי דופן.



מה זה Die Casting?

זהו תהליך ייצור המאפשר ייצור של חלקי מתכת ברמת דיוק גבוהה. בתהליך יציקה זה מוזרקת מתכת מותכת לתבנית, שם היא מתקררת ומתקשה ליצירת הצורה הרצויה.



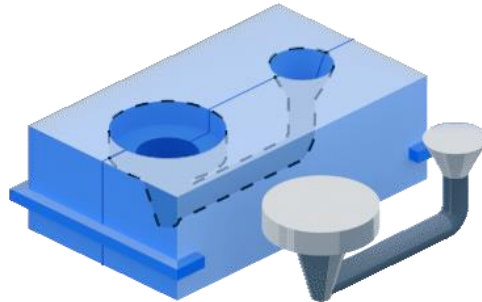
Eli Yudkevich

מהי יציקת מתכות ?

ניתן להשתמש בשיטה ליצירת חלקי מתכת שונים, החל מגלגלי שיניים ובלוקי מנוע ועד לידיעות דלתות ורכיבים חשמליים.

אנימציה של סמל התמצקות (icon animation)

יציקה זו זוכה להערכה בזכות יכולתה לייצר חלקים בעלי גימור משטח חלק ומידות מדויקות. בנוסף, תהליך זה מהיר יחסית וחסכוני, מה שהופך אותו לאופציה אטרקטיבית עבור יישומים רבים.



איך זה עובד ?

תהליך היציקה כולל מספר שלבים, כולל עיצוב תבניות, הכנת מתכת, הזרקה, יציקה וגימור.

שלב 1 – עיצוב תבנית

השלב הראשוני בתהליך יציקת התבנית הוא יצירת תבנית. תבנית זו עשויה בדרך כלל מפלדה או אלומיניום ומיועדת לעמוד בטמפרטורות ובלחצים הגבוהים של תהליך יציקת הלחץ.



Eli Yudkevich

מהי יציקת מתכות ?

תכנון התבנית מתחיל בפיתוח תכנון CAD של התבנית הנדרשת. תכנון זה משמש לאחר מכן ליצירת תבנית על ידי עיבוד CNC, המשמש בהמשך תהליך היציקה.

שלב 2 - הכנת מתכת

השלב הבא הוא הכנת המתכת להזרקה. מתכת זו היא בדרך כלל סגסוגת, כגון אלומיניום, מגנזיום או אבץ. את המתכת ממיסים בכבשן ואז יוצקים למצקת.

שלב 3 - תהליך הזרקה

ברגע שהמתכת במצב נוזלי, היא מוזרקת לתבנית **בלחץ גבוה**. המתכת המותכת ממלאת את חלל התבנית ומתקררת ליצירת הצורה הרצויה.

שלב 4 - תהליך ההתמצקות

לאחר שהמתכת התקררה והתקשה, פותחים את התבנית, והחלק נפלט. צריך לודא שהחלק התקרר לחלוטין לפני הטיפול כדי למנוע פציעות אפשריות.

שלב 5 - תהליך סיום

השלב האחרון בתהליך הוא לסיים את החלק. גימור פני השטח ממלא תפקיד חיוני ביציקת תבנית, מכיוון שהוא יכול להשפיע על העמידות והתפקוד של החלק. תהליכי גימור סטנדרטיים כוללים אילגון, ציפוי אבקה, ציפוי רטוב ועוד רבים.

סוגי יציקת לחץ

יציקה כוללת מספר תהליכים נפרדים, שכל אחד מהם נועד לענות על צרכי ייצור ספציפיים בהתבסס על גורמים כמו סוג החומר, מהירות הייצור ומורכבות החלקים. שיטות היציקה הנפוצות ביותר הן: **יציקה בתא חם וקר, אך ישנן וריאציות נוספות כגון ואקום, כוח משיכה, יציקת יציקה בלחץ גבוה ובלחץ נמוך.**



Eli Yudkevich

מהי יציקת מתכות ?

Type of Die Casting	Suitable Materials	Advantages	Disadvantages	Applications
Cold Chamber Die Casting	Aluminium, Magnesium, Copper Alloys	High-strength parts, suitable for high-melting point metals	Slower cycle times due to metal transfer	Automotive components (engine blocks, gear housings)
Gravity Die Casting	Aluminium, Zinc, Copper	Better mechanical properties than sand casting, low-cost tooling	Less precision compared to high-pressure casting	Medium complexity parts (valve bodies, pipes)
High-Pressure Die Casting	Aluminium, Zinc, Magnesium	Excellent surface finish, fast production, highly precise	Higher tooling cost, porosity issues	Automotive, electronics, appliances
Hot Chamber Die Casting	Zinc, Lead Alloys	Fast production, low melting point metals	Limited to lower melting point materials, potential for corrosion	Electrical components, consumer products
Low-Pressure Die Casting	Aluminium	Better structural integrity, good for large parts	Slower process, more suited to lower production volumes	Wheels, large structural components
Vacuum Die Casting	Aluminium, Magnesium, Zinc	Reduces porosity, improves mechanical properties	Higher cost, more complex process	Automotive parts requiring high strength and tight tolerances (engine parts)

להלן סקירה כללית של סוגי המפתח של יציקת לחץ, כולל החומרים המתאימים והיישומים האופייניים להם :



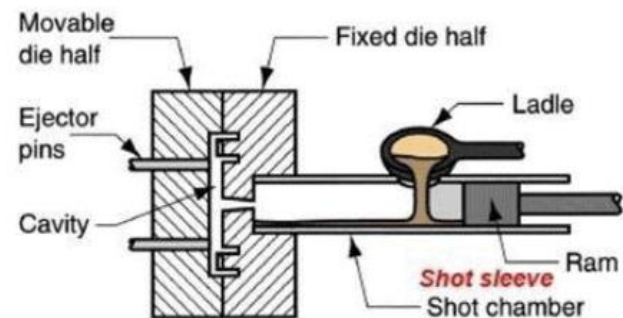
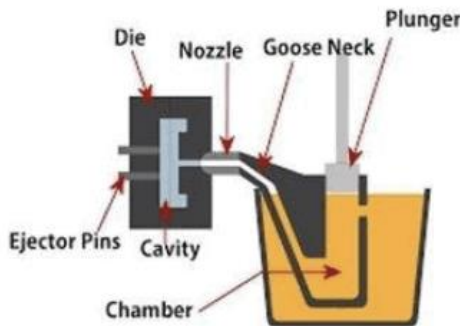
מהי יציקת מתכות ?

יציקת לחץ בתא קר (Cold Chamber Die Casting)

יציקת מתכת קרה היא תהליך שבו מתכת מותכת מוצקת ידנית לתוך תא הזרקה לא מחומם, ואז מוזרקת לתוך התבנית בלחץ גבוה באמצעות בוכנה הידראולית. תהליך התא הקר משמש בדרך כלל למתכות בעלות נקודות התכה גבוהות יותר, כגון אלומיניום, מגנזיום וסגסוגות נחושת, שכן מתכות אלו עלולות לפגוע במכונות המשמשות ליציקת תא חם.

יציקת לחץ בתא חם (Hot Chamber Die Casting)

ביציקת מתכת חמה, המכונה מכילה תנור מובנה הממיס את המתכת, אשר לאחר מכן מוזרקת ישירות מהכבשן לתוך התבנית. מנגנון צוואר אווז שקוע במתכת המותכת מתמלא בחומר ואז מזריק אותו לתבנית בלחץ. תהליך התא החם אידיאלי למתכות בעלות נקודות התכה נמוכות יותר, כגון אבץ, פח וסגסוגות עופרת, מכיוון שהמתכת המותכת מסופקת ברציפות למכונה.



HOT CHAMBER VS COLD CHAMBER

יציקת ואקום (Vacuum Die Casting)

יציקת תבנית בוואקום היא וריאציה של תהליך יציקת התבנית בלחץ גבוה שבו האוויר פונה מחלל התבנית לפני הזרקה המתכת המותכת. הוואקום מפחית או מבטל גזים כלואים ביציקה הסופית, מה שמוביל לצפיפות חלקים ותכונות מכניות

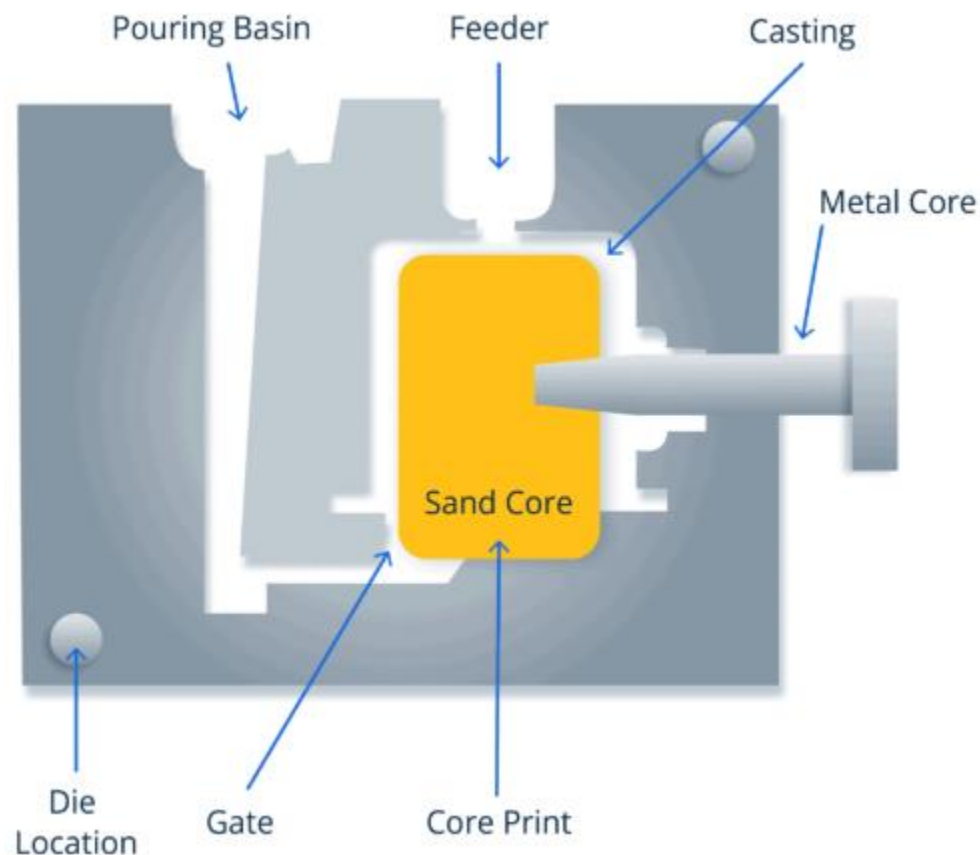


מהי יציקת מתכות ?

משופרות. תהליך הוואקום גם עוזר להפחית את הנקבוביות, מה שהופך אותו לבחירה אידיאלית עבור חלקים הנתונים ללחץ או לחץ גבוה.

יציקת כבידה (Gravity Die Casting)

יציקת מתכת כבידה, הידועה גם בשם יציקת תבנית קבועה, כוללת יציקת מתכת מותכת לתוך תבנית מתכת (או תבנית) תוך שימוש רק בכוח הכבידה. המתכת זורמת לתוך התבנית וממלאת את החלל לפני הקירור וההתמצקות. לא מופעל לחץ חיצוני, והמתכת זורמת לתוך התבנית אך ורק על ידי כוח הכבידה. תהליך זה משמש בדרך כלל לחלקים פשוטים יותר ומציע תכונות מכניות טובות יותר מיציקת חול.





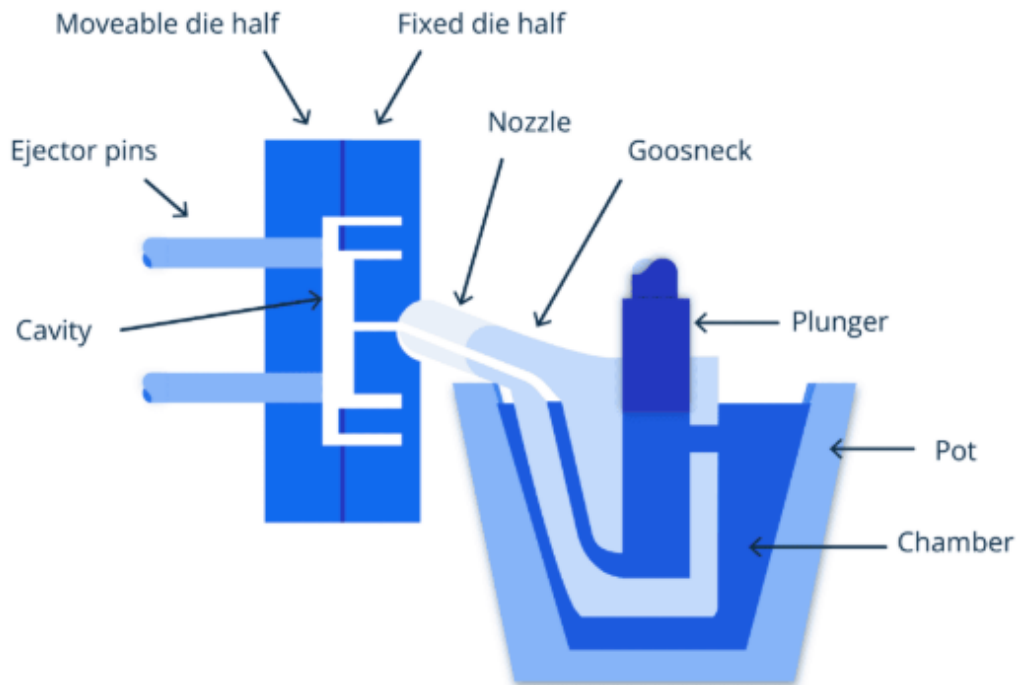
מהי יציקת מתכות ?

יציקה בלחץ גבוה (High-Pressure Die Casting)

יציקה בלחץ גבוה היא אחד מתהליכי יציקת הלחץ הנפוצים ביותר. בשיטה זו, מתכת מותכת מוזרקת לתבנית בלחץ גבוה מאוד (בדרך כלל 10-175 MPa) באמצעות בוכנה או טובלן. לחץ גבוה זה מבטיח שהמתכת המותכת ממלאת את כל אזורי התבנית, וכתוצאה מכך חלקים מדויקים ומפורטים ביותר עם גימורי משטח חלקים. התהליך מהיר, אוטומטי ביותר ומתאים למנות ייצור גדולות.

יציקה בלחץ נמוך (Low-Pressure Die Casting)

יציקת מתכת בלחץ נמוך היא תהליך שבו מתכת מותכת מאולצת לאט לתוך התבנית בלחץ נמוך (0.1 עד 1 MPa) מתנור הממוקם מתחת לתבנית. המתכת נדחפת לתוך התבנית דרך צינור הגבהה, מה שמבטיח מילוי חלק ומבוקר של החלל. תהליך זה ממזער מערבולות ולכידת גזים, וכתוצאה מכך חלקים באיכות גבוהה יותר עם פחות פגמים. יציקה בלחץ נמוך משמשת בדרך כלל עבור רכיבים גדולים כמו גלגלי אלומיניום, רכיבי מנוע וחלקי מבנה, כאשר השלמות המבנית ודיוק הממדים הם קריטיים.





מהי יציקת מתכות ?

חומרי יציקה מתאימים

כאשר מתחילים עם פרויקט יציקת הלחץ, אחת ההחלטות הקריטיות ביותר היא בחירת החומר הנכון. החומר חייב להיות מסוגל לעמוד בטמפרטורות ובלחצים הגבוהים הגלומים בתהליך יציקת הלחץ, ובמקביל לעמוד בדרישות הפונקציונליות והביצועים של היישום לשימוש הקצה של הפרוייקט. בנוסף, חיוני לבחור חומר התואם לשיטת יציקת הלחץ הספציפית שבה מתכננים להשתמש, מכיוון שתהליכים שונים עשויים להתאים יותר למתכות מסוימות.

בהתחשב במורכבותם של גורמים אלה, עבודה עם שותף מנוסה ליציקת יציקה יכולה לעזור להבטיח שתקבל את ההחלטה הטובה ביותר בהתבסס על הצרכים הייחודיים של הפרוייקט שלך. בין המגוון הרחב של החומרים הזמינים, אלומיניום, מגנזיום וסגסוגות אבץ הן הנפוצות ביותר בשימוש בשל חוזקן, תכונות קלות המשקל והרבגוניות שלהן.

להלן השוואה של חומרי יציקה נפוצים אלה, יחד עם מאפייני מפתח ויישומים נפוצים.

Die Casting Material	Alloy Examples	Key Characteristics	Applications
Aluminum Alloys	A380, A383, ADC12	Lightweight, corrosion-resistant, high strength, excellent machinability	Automotive parts, aerospace components, consumer electronics
Magnesium Alloys	AZ91D, AM60B, AS41B	Ultra-lightweight, good strength-to-weight ratio, moderate corrosion resistance	Lightweight automotive parts, electronics, aerospace
Zinc Alloys	Zamak 3, Zamak 5	Excellent casting properties, high precision, good electrical conductivity	Electrical components, small consumer products, automotive parts
Copper Alloys	Brass (C85700), Bronze	High corrosion resistance, excellent thermal and electrical conductivity	Plumbing fixtures, electrical connectors, industrial machinery
Lead Alloys	Lead, Tin-Lead Alloys	Dense, excellent shielding properties, easy to cast	Battery components, radiation shielding, small intricate parts



מהי יציקת מתכות ?

היתרונות של יציקת לחץ

כשמדובר בייצור המוני של חלקי מתכת, יציקת מתכת בלחץ היא אחת השיטות היעילות והחסכוניות ביותר. זהו תהליך שקיים כבר מאות שנים, אך הפופולריות שלו גדלה בשנים האחרונות כאשר יצרנים מחפשים דרכים להפחית את עלויות הייצור.

להלן כמה מהיתרונות של יציקה:

צורות מורכבות: יציקה היא תהליך שיכול לייצר צורות מורכבות עם סובלנות הדוקה

ורסטיליות: התהליך הוא רב תכליתי וניתן להשתמש בו ליציקת מגוון מתכות, כולל אלומיניום, אבץ ומגנזיום

קצב ייצור גבוה: זהו תהליך מהיר יחסית, שיכול להוות יתרון כאשר הזמן הוא המהות

חסכוני ואפקטיבי: התהליך גם זול יחסית, מה שהופך אותו לאופציה חסכונית עבור יישומים רבים

יכולת של חזרתיות: זה גם מאפשר רמה גבוהה של חזרה, כלומר ניתן לייצר חלקים לפי מפרטים מאד מדויקים.

יישומים של יציקה

היציקה משמשת במגוון תעשיות ויישומים. חלק מהשימושים הנפוצים ביותר ליציקת לחץ כוללים:

תעשיית הרכב: יציקת לחץ נמצאת בשימוש נרחב בתעשיית הרכב. היא משמשת לעתים קרובות ליצירת בלוקים של מנוע, ראשי צילינדר ותיבות הילוכים.

תעשיית החשמל: תעשיית החשמל מסתמכת גם על יציקת לחץ עבור מגוון יישומים. חלקים יצוקים משמשים לייצור רכיבים חשמליים כגון מיתוג, לוחות פאנלים ומפסקים.

תעשיית התעופה והחלל: תעשיית התעופה והחלל היא משתמש עיקרי של יציקת הלחץ. החלקים המיוצרים משמשים לייצור רכיבי מטוסים וחלליות



מהי יציקת מתכות ?

תעשיית מכשירי חשמל: המכשיר משתמש גם בתהליך זה לייצור חלקים יצוקים עבור מכשירי חשמל רבים

תעשיית הרהיטים: הוא משמש גם בתעשיית הרהיטים. הוא משמש לעתים קרובות ליצירת חומרת רהיטים כגון משיכות וידיות למגירות

תעשיות רבות אחרות משתמשות בתהליכי יציקה לתעשיות רפואיות, בנייה וצעצועים. זהו תהליך רב תכליתי שניתן להשתמש בו ליצירת חלקים ומוצרים שונים.

יציקת שעווה נעלמה (Investment Casting (Lost Wax Casting))

בכל הנוגע ליציקה שעווה של חלקי מתכת משפיעים גורמי ייצור כגון דרישות תכן, עלות וכדאיות לייצור מנתיבים איזה תהליך יציקה הכי מתאים לייצור מוצר. מאמר זה המתאר יציקת שעווה נועד לעזור לנו לקבל החלטות מושכלת.

ביציקת שעווה מייצרים רכיבים מדויקים תוך מזעור בזבז חומרים, אנרגיה ועיבוד שבבי. זה גם יכול להבטיח ייצור של חלקים מאוד מורכבים. זה הופך את תהליך יציקת השעווה לשימושי למדי אצל מהנדסי תכנון.

דוגמה ליציקת שעווה

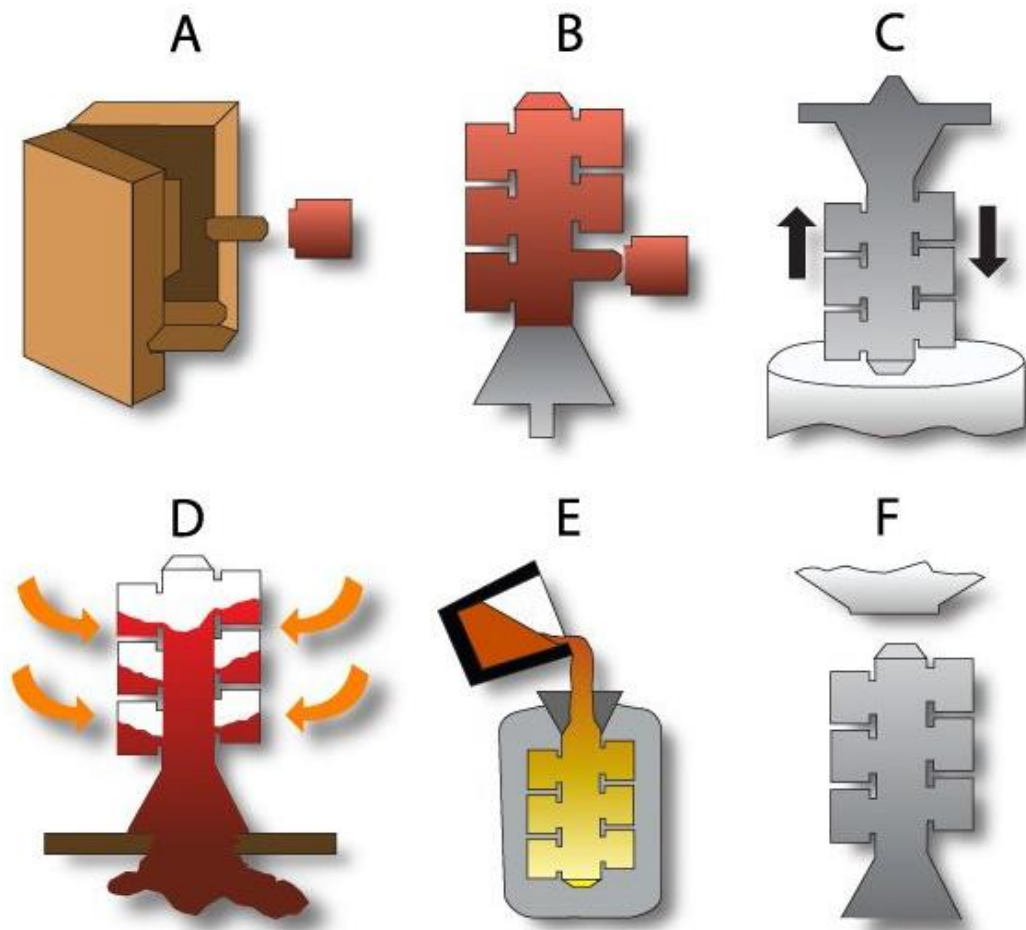
המטרה היא להבין מה הכוונה ביציקת השעווה. המונח "INVESTMENT" נושא היסטורית את המשמעות של "לבוש" או "מוקף". יציקת השעווה הנעלמה משתמשת במעטפת העשויה מקרמיקה, גבס או פלסטיק שנוצרת סביב **דוגמאת שעווה**. תבנית השעווה מומסת ומוסרת בכבשן ומתכת נוצקת לתוך הקליפה ליצירת היציקה.



Eli Yudkevich

מהי יציקת מתכות ?

תהליך יציקת השעווה





מהי יציקת מתכות ?

A. יצירת התבנית

הוא משתמש בתבנית עם אותם פרטים כמו החלק המוגמר, פרט לכך שיש תוספת להתכווצות תרמית (כלומר התכווצות).

דפוסים עשויים בדרך כלל משעווה באמצעות תבנית הזרקת מתכת.

B. הרכבת דפוסי השעווה ויצירת העץ

לאחר יצירת דפוס שעווה, הוא מורכב עם רכיבי שעווה אחרים כדי ליצור את מערכת אספקת המתכת של השער והראנר.

בהתאם לגודל והתצורה של רכיב הגימור הרצוי, ניתן לעבד דפוסי שעווה מרובים באמצעות עץ בודד.

C. יצירת מעטפת ה MOLD

כל מכלול דפוס השעווה טבול בתמיסת קרמיקה, מכוסה בטיח חול, המאפשרת להתייבש.

חוזרים על מחזורים של טבילה רטובה והטיח שלאחר מכן עד שנוצרת מעטפת בעובי הרצוי. העובי הזה מוכתב בחלקו על ידי גודל המוצר ותצורתו.

לאחר שמעטפת הקרמיקה התייבשה, היא הופכת חזקה מספיק כדי לשמור על המתכת המותכת במהלך היציקה.

D. הסרת שעווה

המכלול כולו ממוקם בחיטוי קיטור כדי להמיס את רוב השעווה.

כל שעווה שנותרה ספוגה במעטפת הקרמיקה נשרפת בכבשן. בשלב זה, **תבנית השעווה ריקה משארית חומר שהוסרו לחלוטין והתבנית הקרמית נותרה עם חלל בצורת החלק היצוק הרצוי.**

פעולה זו בטמפרטורה גבוהה גם מגבירה את החוזק והיציבות של החומר הקרמי. בנוסף, זה עוזר למזער את התגובה של הקליפה והמתכת במהלך המזיגה.

E. התכה ויציקה

התבנית מחוממת מראש לטמפרטורה מסוימת ומלאה במתכת מותכת, ויוצרת את יציקת המתכת.



Eli Yudkevich

מהי יציקת מתכות ?

ניתן לייצר כמעט כל סגסוגת באמצעות תהליך זה. ניתן להשתמש בהתכת אוויר או בהתכה בוואקום כפי שהוכתב על ידי הכימיה של הסגסוגת. התכת ואקום מנוצלת בעיקר כאשר קיימים יסודות תגובתיים בסגסוגת.

F. פעולות סופיות

לאחר שהיציקה התקררה מספיק, מעטפת התבנית נשברת מהיציקה בנוקאאוט. השערים והרצפים נחתכים מהיציקה, ובמידת הצורך מתבצעת התזת חול, שחיקה ועיבוד סופי לאחר עיבוד, לסיום היציקה למימד.

בדיקות לא הרסניות עשויות לכלול בדיקות נוזל חודר פלורסנטי, חלקיקים מגנטיים, רנטגן או בדיקות אחרות. בדיקות מימד סופיות, תוצאות בדיקת סגסוגת ו NDT- מאומתות לפני המשלוח.

היתרונות של תהליך יציקת השקעות

טווח מידות:

למרות שרוב יציקות השעווה קטנות, התהליך יכול לייצר יציקות במשקל של יותר מ-1,000 פאונד. יכולת זו מוגבלת למספר קטן יחסית של גלגלי השקעה ודורשת מומחיות מיוחדת בטיפול. **רוב החלקים היצוקים נופלים בין אונקיות בודדות לטווח של 20 פאונד.**

צורות ורסטיליות ומורכבות:

יציקת השעווה מספקת סיבולת מעולה עקבית וחזרתית על עצמה יחד עם מעברים וקווי מתאר מורכבים. הרבה מתצורות אלה בלתי אפשרי לייצר בצורה אחרת. לדוגמה, למקום שבו כלים או מכונות לא יכולים להגיע. השגת רכיבי יציקה בצורת נטו או כמעט בצורת נטו יכולה להפחית באופן דרמטי את עלויות העיבוד שלאחר היציקה.

יציקת השעווה היא אלטרנטיבה טובה לריתוכים או לייצור קונבנציונלי. ניתן לשלב רכיבים רבים ליציקה אחת. ככל שמשולבים יותר, כך יעילות הייצור טובה יותר.



מהי יציקת מתכות ?

המרת רכיבים מרובי חלקים ליציקת שעווה אחת מספקת בדרך כלל דיוק ממדי טוב ומורכבות חלקים מופחתת.

משטחים מדויקים וחלקים:

מעטפת הקרמיקה המשמשת בנויה סביב דפוסים חלקים המיוצרים על ידי הזרקת שעווה לתבנית אלומיניום מלוטשת. גימור 125 מיקרו אינץ' הוא סטנדרטי, וגם גימורים עדינים יותר אינם נדירים.

יציקות השעווה אינן מכילות קו הפרדה מכיוון שמשתמשים רק בתבנית אחת ולא בשתי חצאי תבניות (כמו במקרה של יציקת חול). תקנים לפגמי משטח ומוצרי קוסמטיקה נידונים ומוסכם עם הלקוח על סמך הפונקציה.

Below is a comparison of relative surface finishes that can be expected from various casting process:

Casting Process	RMS Range
Die	20 - 120
Investment	60 - 200
Shell Mold	120 - 300
Centrifugal - Standard tooling	400 - 500
Centrifugal - Permanent Mold	20 - 300
Static - Permanent Mold	200 - 420
Normal Non-Ferrous Sand	300 - 560
Normal Ferrous Green Sand	560 - 900



מהי יציקת מתכות ?

דיוק מידות:

בדרך כלל, טולרנס "סטנדרטי" של יציקת שעווה היא ± 0.010 " לאינץ' הראשון ו- ± 0.004 " לכל אינץ' עוקב.

העלות של כל חלק עולה ביחס לדיוק הדרישות הממדיות שלו. בין אם מדובר בחלקים מעובדים יציקות או ביצור. סקירת עיצוב מדוקדקת תאפשר שינויים בטולרנס, חתכים תחתונים, חורים עיוורים וכו' כדי לאפשר תפוקות ייצור גבוהות יותר ועלויות נמוכות יותר. אם יש צורך בסיבולת הדוקה יותר ממה שניתן לקבל מיציקה, העיבוד הנדרש ליציקת השעווה יהיה פחות מיציקות קונבנציונליות.

איכות ואינטגריטי:

שלמות ואינטגריטי של היציקה היא מאפיין חשוב בתהליך. ליציקת השעווה יש היסטוריה ארוכה של שירות למגזרים **תובעניים** כמו מנועי טורבינת גז, נפט, כימיקלים, הגנה ורפואה.

שיקולים בעת שימוש ביציקת השקעה

עלות כלי עבודה:

עבור דרישות כמויות נמוכות, זה עשוי להיות יקר יותר משיטות אחרות אם יש צורך בכלי קבוע. עבור יישומים אלה SLA, או דפוסים מודפסים עשויים להיות חלופה חסכונית (אפילו עבור כמות של אחד).

עלויות ראשוניות הן גורם מפתח נוסף בעת קביעה האם יציקת השעווה מביאה את הערך הגדול ביותר. כלי יציקת השעווה מורכבת בדרך כלל מחלקים מרובים המחברים זה לזה כדי לייצר את הרכיבים המורכבים. עלות זו אינה חסרת משמעות אך ניתן לקזז בקלות על ידי היעדר עיבוד ו/או ייצור שלאחר מכן.



Eli Yudkevich

מהי יציקת מתכות ?

מגבלות גודל:

אפשר ליצור יציקות שעווה במגוון גדלים. יש גבול עליון לטווח הזה, שהוא פחות מטכנולוגיות יציקה אחרות כמו יציקת חול.

מבנים קטנים מאוד:

יציקת השעווה היא בחירה מצוינת עבור יישומים בעלי דופן דקה, אך צורות פנימיות קטנות מאוד המשתמשות בליבות יכולות להוות אתגרים. חורים בדרך כלל אינם יכולים להיות קטנים מ-1/16 אינץ' (1.6 מ"מ) או עמוקים מפי 1.5 בקוטר.

תזמון:

תהליך יציקת השעווה הרב-שלבית גוזל זמן רב יותר מתהליכים אחרים. זמן העיבוד יכול להיות קצר יותר מחלופות אחרות.

מסקנה

כמו ברוב החלטות על החומרים והתכנון, דיון עם מומחה מתכות יכול לעזור להוביל להחלטה הטובה ביותר

בהצלחה

....

