

# עידן המגנזיום המתכתי – העתיד כבר קל

ניר מוסקוביץ' ואורן ברייזוסף

## מבוא

המגנזיום, שסימנו הכימי הוא Mg, הינו היסוד השמיני בתפוצתו בין כל היסודות הכימיים על פני כדור הארץ (כ־2.0% משקלי). בעומק כדור הארץ הוא היסוד הנפוץ ביותר אחרי החמצן (במספר האטומים; במסתו הוא היסוד הרביעי). הוא אינו מופיע בטבע כמתכת אלא כיון  $Mg^{2+}$  בעיקר בתרכובות עם חמצן ועם יסודות כימיים נוספים. המגנזיום הוכר כיסוד ב־1755 ובודד לראשונה בידי סר המפרי דיווי (Davy) בשנת 1808. הוא היסוד השנים עשר בטבלה המחזורית והשני בטור של המתכות האלקליות העפרוריות.

המגנזיום המתכתי הוא בעל ברק דמוי כסף והוא המתכת המבנית הקלה ביותר. משקלו הסגולי, 1.7 גרם לסמ"ק בלבד, קל פי 4.5 יותר מן הברזל (7.8 גרם לסמ"ק) וקטן בשליש ממשקלו של האלומיניום (2.7 גרם לסמ"ק). זהו סוד קסמו של המגנזיום: היחס בין **חוזקו** (ראו מלבן הגדרות) למשקלו טוב יותר מזה של פלדה ואלומיניום. תכונה זו עושה אותו אטרקטיבי במיוחד לשימושים ולמוצרים שבהם יש חשיבות גבוהה להפחתת המשקל, כגון בתעשיות התעופה והרכב. יתרונות נוספים הם יכולתו לספוג אנרגיה ולפזרה. תכונה זו מקבלת משנה תוקף כאשר מדובר במוצרים בעלי אופי בטיחותי שתפקידם לספוג את האנרגיה (בתאונה, למשל) ולהציל חיים. למגנזיום תכונות **יציקות** טובות הבאות לידי ביטוי בקיצור זמן המחזור ליצירת מוצר ובהארכת חיי תבניות

\* ניר מוסקוביץ' הוא מנהל מחקר ופיתוח בחברת מגנזיום ים המלח בע"מ. אורן ברייזוסף הוא מהנדס חומרים במחלקה לפיתוח מוצרים במכון למחקר מגנזיום של חברת מגנזיום ים המלח בע"מ.

היציקה (כ־30% יותר מתבניות אלומיניום). כמו כן קיימות טכנולוגיות מחזור יעילות שחלקן פותח בארץ.

תעשיית הרכב מובילה כיום בפיתוח יישומים שונים למגנזיום ולסגסוגותיו. המודעות הגוברת לאיכות הסביבה הביאה לדרישה לחיסכון בצריכת דלק. חברות הרכב המובילות בעולם רואות כמטרה צריכה של שלושה ליטרים ל־100 קילומטר. הפחתת משקל הרכב היא גורם חשוב מאוד בחסכון בדלק ובגזי הפליטה. לדוגמה, הפחתת משקל הרכב בכ־100 קילוגרם תוביל לירידה של 5% בצריכת הדלק. לכן שימוש בחומרי מבנה קלים, ובראשם המגנזיום, הוא אמצעי מוביל להשגת יעד זה. כיום משקלו של רכב ממוצע הוא 1,200 קילוגרם. השאיפה היא להוריד משקל זה לכ־850 קילוגרם, כאשר החוזק והבטיחות נותרים ללא פשרות. מעבר זה ייעשה על ידי הפחתת כמות הפלדה והחלפתה בחלקי אלומיניום, מגנזיום ופלסטיק.

כאמור, המגנזיום אינו מופיע בטבע בצורתו המתכתית (דרגת חמצון 0) אלא במצב מחומצן (דרגת חמצון 2). המתכת מופקת באמצעות חיזור או על ידי תגובה כימית עם מחזורים חזקים או על ידי אספקת אלקטרונים ישירה **באלקטרוליזה**.

בעולם מקובלות שיטות כימיות להפקת מגנזיום. ביניהן בולטת שיטת החיזור התרמי – תחמוצות מגנזיום שמקורן במחצבים של מינרלים עתירי מגנזיום מחוזרות, למשל בתגובה עם צורן (סיליקון):



תחמוצת צורן + מגנזיום מתכתי  $\rightarrow$  צורן + תחמוצת מגנזיום במינרל

בארץ מופק המגנזיום על ידי חברת מגנזיום ים המלח באמצעות אלקטרוליזה, תהליך עתיר אנרגיה. לכן נרקמות כיום תכניות להסבת מתקני החברה לצריכת גז במקום מזוט, על מנת להקטין את עלויות האנרגיה הגבוהות. היתרון היחסי הבולט בייצור מגנזיום בים המלח הוא זמינותו. בעוד ריכוז המגנזיום במי הים הוא כ־1.3 גרם לליטר, מגיע ריכוזו במי ים המלח ל־46 גרם לליטר (כ־3.5% משקלי). נוסף על כך מנוצלת אנרגיית השמש לאידוי מי הים ולהשקעת קרנליטי ( $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), המשמש חומר מוצא לייצור אשלג ( $\text{KCl}$ ) ומגנזיום.

בהתאם לפרסומים המעודכנים לשנת 2004 הצריכה העולמית היא כ־400,000 טון בשנה, ומתחלקת בעיקרה לתעשיית האלומיניום ולייצור מוצרים ביציקות

**לחץ** (איור 1). נתח השוק של חברת המגנזיום הוא כ-30,000 טון בשנה, שהם 7.5% מסך הצריכה העולמית.

### הגדרות

**אלקטרוליזה** (Electrolysis) – פירוק של אלקטרוליט (חומר מוליך חשמל המכיל יונים) באמצעות זרם חשמלי. במקרה של מגנזיום כלורי, יוני המגנזיום נעים אל האלקטרודה (מוט מוליך חשמל) השלילית, שם הם מקבלים אלקטרונים והופכים למגנזיום מתכתי. יוני הכלור נעים אל האלקטרודה החיובית, מוסרים אלקטרונים והופכים לכלור גזי ( $Cl_2$ ).

**התארכות** (Elongation) – תכונה המציינת את אחוז המעוות (דפורמציה של גוף כתוצאה ממאמץ המופעל עליו) שאליו יכולות מתכת או סגסוגת להגיע בזמן הפעלת מאמץ מקסימלי עד לשבר.

**זחילה** (Creep) – תכונה המציינת דפורמציה פלסטית בטמפרטורות קרובות למחצית טמפרטורת ההיתוך, תחת עומס קבוע ולאורך זמן.

**חוזק** (Ultimate stress) – תכונה המציינת את המאמץ המקסימלי שמתכת או סגסוגת יכולות לעמוד בו לפני כישלון (שבר).

**חיסול** (Forging) – עיצוב גוש מגנזיום על ידי כבישתו במכש המורכב משני חצאי תבנית צורתית, במטרה ליצור חלק הקרוב במידת האפשר לצורה הסופית המבוקשת.

**טרוד** (שיחול, אקסטרוזיה, Extrusion) – תהליך שבו גוש מגנזיום יצוק גדול מחומם לטמפרטורות גבוהות (כדי מחצית טמפרטורת ההתכה) ומוזרק בכוח רב דרך נחיר צורתי ליצירת צינור או פרופיל ארוך רצוי.

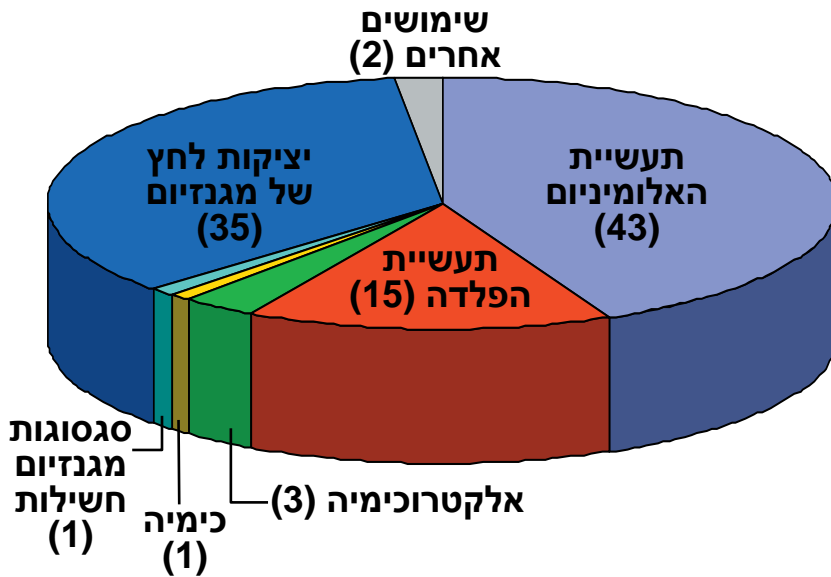
**יציקות** – תכונה המתארת באופן כולל את הזרימות של הסגסוגת במהלך היציקה, היווצרות פגמים ביצוק וכדומה.

**יציקות גרוויטציה** – יציקות לתבניות בצורה חופשית ללא מקורות לחץ חיצוניים. התבניות יכולות להיות מפלדה, דפוסי חול וכדומה.

**יציקות לחץ** – יציקות במכונות בעלות מקור לחץ המזריקות את המתכת לתוך תבנית ומפעילות לחץ במהלך תהליך היציקה על מנת להקטין את הנקבוביות (פורוזיות) במוצר הסופי.

**כניעה** (Yield stress) – תכונה שמציינת את הנקודה שבה עלייה במאמץ המופעל על מתכת או סגסוגת מביאה למעוות (דפורמציה) פלסטי שירי בלתי הפיך (שאינו נעלם עם הסרת המאמץ).

**ערגול** (Rolling) – תהליך ליצירת פחים שבו נלחץ גוש מגנזיום חם בין גלילי פלדה סובבים.



איור 1: חלוקת הצריכה העולמית של מגנזיום השימושים העיקריים הם סגסוג אלומיניום ויציקות לחץ של מגנזיום וסגסוגותיו. סגסוגות חשילות של מגנזיום מהוות רק 1% מהתצרוכת. בתעשיית הפלדה משמש המגנזיום להוצאת גופרית בייצור פלדה (דסולפוריזציה) ובייצור ברזל ספרואידי (סוג מיוחד של ברזל יציקה). בתעשייה הכימית משמש המגנזיום בעיקר לאלקטרוכימיה ולייצור מגוון של תרכובות כימיות.

### מגנזיום ים המלח

בדצמבר 1996 יצקו את מטיל המגנזיום הראשון במפעל המגנזיום שבסדום (איור 2). כך נפתח עידן חדש בתעשייה הישראלית, שבו החלו לייצר בישראל מתכת. תהליך התכנון של המפעל החל בשנת 1992. הוא התבסס על ידע שנרכש ברוסיה ושודרג באמצעות מהנדסים רוסים וישראלים במהלך התכנון והבנייה. מראשית התכנון ודרך תהליך ההקמה ורכישת הציוד, התאים המפעל את תפיסתו לדרישות האיכות של לקוחות פוטנציאליים בארצות הברית ובמערב אירופה, תוך שימת דגש על דרישות תעשיית הרכב והתאמתם לתקנים בין-לאומיים. בארץ קיימות פעילויות שונות בנושא פיתוח מוצרי מגנזיום במסגרת איגוד משתמשי המגנזיום הפועל כיום והקונסורציום לפיתוח טכנולוגיות מגנזיום,

שפעל בשנים 1997-2002 במטרה להטמיע ולקדם את נושא המגנזיום לשימוש בתעשיות השונות בארץ (פירוט נוסף ניתן למצוא באתר האינטרנט של האיגוד: [magnesium.org.il](http://magnesium.org.il)).

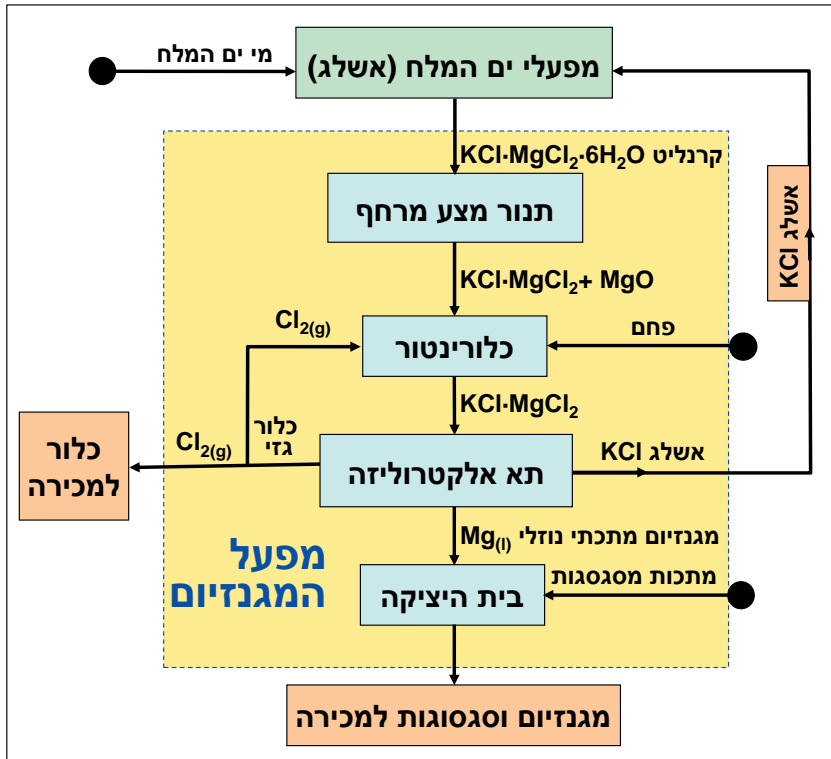
### תהליך ההפקה

תהליך הפקת המגנזיום בחברת מגנזיום ים המלח מתבסס על ייצור מקרנליט (איור 3). בשלב הראשון מופק הקרנליט מברכות האידוי בים המלח. בשלב השני עובר החומר ניקוי, ניפוי וייבוש מ-95% מתכולת המים שבו באמצעות חימומו בגזי שרפה חמים בתנורי מצע מרחף. השלב השלישי מתבצע בכלורינטור – דוד גדול שבו מותך הקרנליט בטמפרטורה של  $700^{\circ}\text{C}$ .



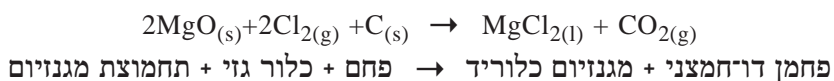
איור 2: מפעל המגנזיום בסדום

המבנים המקורים כוללים את הכלורינטורים, את תאי האלקטרוליזה ואת בית היציקה. החלק הלא מקורה (בקדמת התצלום) כולל את אתר הקליטה והטיפול בחומר הגלם ותנורי ייבוש הקרנליט. ברקע נראות ברכות האידוי בסדום שבהן מופק הקרנליט – חומר המוצא לייצור המגנזיום במפעל המגנזיום ים המלח והאשגל במפעלי ים המלח.



איור 3: תרשים זרימה של תהליך ייצור המגנזיום חומרי הגלם הדרושים (עיגולים שחורים באיור) הם מי ים המלח שמהם מופק הקרנליט, שהוא חומר המוצא לתהליך הפקת המגנזיום, הפחם והמתכות הדרושות ליצירת סגסוגות. הקרנליט מיובש וזיהומים של מגנזיום חמצני (MgO) מגיבים בכלורינטור עם כלור ופחם ליצירת מגנזיום כלורי. בתא האלקטרוליזה מופרד המגנזיום הכלורי למגנזיום מתכתי ולכלור גזי. המגנזיום מועבר לבית היציקה לייצור סגסוגות של מגנזיום. הכלור משמש בחלקו בתהליך הכלורינציה. החלק האחר נמכר, בעיקר למפעל הברום.

בעבוע של כלור דרך הנתך ותוספת פחם הופכים את תחמוצת המגנזיום (MgO) הנוכחת בקרנליט כזיהום למגנזיום כלוריד:





איור 4: א. מפעל האלקטרוליזה בתצלום נראים תאי האלקטרוליזה. באזור הקרוב אלינו אפשר לראות את הדלי השואב את המגנזיום מהתאים ומעביר אותם אל בית היציקה. ב. מפעל בית היציקה עובד מוציא לוח מגנזיום לאחר יציקתו ומעביר אותו לאזור השילוח. בתחתית התצלום, בצד שמאל, נראות הגלגליות שעליהן מניחים את לוחות המגנזיום.

הקרנליט המותך מועבר אל תאי האלקטרוליזה (איור 4א), שם הוא מפורק למגנזיום מתכתי ולכלור גזי בעזרת זרם חשמלי במתח מתאים. בתהליך זה ייצור של כל טון מגנזיום מלווה בייצור של כשני טונות של כלור ומותר שארית של סילבניט המכילה כ-70% אשלג (KCl). מרבית הכלור המיוצר נמכר לחברת הברום ומשמש לייצור ברום. השאר משמש לתהליך הכלורניציה (ראו למעלה) ולייצור אלומיניום כלוריד. הסילבניט מועבר לאחר קירור חזרה למפעלי ים המלח לייצור אשלג. המגנזיום המתכתי מועבר לבית היציקה.

מפעל המגנזיום משתלב באופן סינרגטי מושלם עם המפעלים האחרים של חברת כימיקלים לישראל הפועלים באזור ים המלח. הקרנליט, חומר הגלם לייצור אשלג ומגנזיום מיוצר על ידי מפעלי ים המלח כחלק מתהליך ייצור

האשלג; עודפי הכלור מתהליך ייצור המגנזיום מועברים למפעל הברום הסמוך והסילבניט מוחזר למפעל האשלג במפעלי ים המלח. הקשר הכלכלי ההדוק והקרבה בין המפעלים מאפשרים ניצול מקסימלי של חומרי הגלם.

### מוצרי מגנזיום ראשוניים

בבית היציקה (איור 4ב) עובר המגנזיום זיכוך מזהמים אל-מתכתיים (בעיקר MgO) ונוצק כמגנזיום טהור או כסגסוגות מגנזיום. המוצרים מותאמים בצורתם להמשך תהליך הייצור שלו הם מיועדים (איור 5).

1. **מטילי מגנזיום** בתבניות של שמונה עד 23 קילוגרם. מטילי סגסוגות מגנזיום משמשים בעיקר ל**יציקת לחץ** (HPDC). בתהליך זה מתיכים את מטילי המגנזיום והחומר הנוזלי מוזרק בלחץ גבוה אל תבנית בצורת החלק הרצוי. מטילי מגנזיום טהור משמשים בעיקר לסגסוג האלומיניום.
2. **בולי מגנזיום עגולים** (Billets) בקטרים של 230 מ"מ ו-380 מ"מ ואורך של עד שמונה מטרים, המשמשים בעיקר ל**טרוד** (Extrusion) – תהליך לייצור פרופילים ארוכים. במהלך ה**טרוד** בול של סגסוגת מגנזיום מחומם ונדחס במצב מוצק לתוך תיבה המקנה לו את צורת הפרופיל הרצויה. תהליך נוסף שבו משתמשים בבולי מגנזיום הוא תהליך ה**חישול**. זהו תהליך שבו הבול



איור 5: ממוצרי מפעל מגנזיום ים המלח מימין מטילי מגנזיום ארוזים למשלוח, משמאל לוחות בצורת T

עובר הטבעה לצורה הרצויה. לדוגמה, חישוקי מגנזיום לגלגלי רכב מיוצרים בשיטה זו.

3. **לוחות מגנזיום מלבניים** (Slabs) במידות 850x220x5000 מ"מ משמשים **לערגול** (Rolling) – תהליך לייצור פחים. במהלך הערגול נלחצים לוחות של סגסוגת מגנזיום בין שני גילי מתכת ומרודדים לפחים. התהליך נעשה במספר שלבים; בכל שלב מצטמצם עובי הלוח מעובי של 220 מ"מ ועד למספר מילימטרים ספורים.

4. **לוחות בצורת T** (T-bars). לוחות של מגנזיום טהור, במשקל של עד 4,500 קילוגרם משמשים בעיקר לסגסוג בתעשיית האלומיניום.

## המכון למחקר מגנזיום

חברת מגנזיום ים המלח דוגלת במחקר ופיתוח ככלי לתמיכה מקיפה בלקוחותיה. פעילות המחקר והפיתוח מתבצעת הן באגף המחקר של החברה והן במכון למחקר מגנזיום MRI (Magnesium Research Institute), שהוקם בשיתוף פעולה בין חברת המגנזיום, חברת פולקסווגן ואוניברסיטת בן-גוריון. השילוב בין יצרן חומר גלם, צרכן עולמי מוביל ומוסד אקדמי מאפשר מתן מענה מקיף הכולל פיתוח סגסוגות, תהליכים ומוצרים במקביל לשירותי תמיכה מטלורגית ותהליכית.

פעילות המחקר של המכון מובילה פיתוח מוצרים חדשים ופתיחה של שווקים חדשים. החברה מפתחת סגסוגות מגנזיום ליישומים בתעשיות השונות, עם דגש על תעשיית הרכב. סגסוגות אלה הן בעלות תכונות משופרות, המאפשרות את יישומן במכלולי רכב העובדים בטמפרטורות גבוהות. במקביל שוקדים במכון למחקר מגנזיום על פיתוח תהליכי מחזור לנתכים החדשים במטרה לשלב את החומר הממוחזר בתהליכי ייצור המוצרים, ובכך להפחית את עלותם ולהתחרות במוצרים דומים מאלומיניום.

נדבך חשוב בפעילות המכון למחקר מגנזיום מוקדש למתן תמיכה טכנית מקיפה ללקוחות חברת המגנזיום וללימוד התהליכים הטכנולוגיים העיקריים המשרתים אותם, תוך דגש על תהליך יציקת הלחץ. כך מספק המכון מענה מקיף לדרישת הלקוחות ומוביל את תהליך ההטמעה של הסגסוגות החדשות.

## מוצרי מגנזיום

השימוש המסיבי במגנזיום החל בתחילת המאה העשרים. עיקר השימושים היו מוצרים יצוקי לחץ לתעשיית הרכב המתפתחת ולתעשיית התעופה. הגדילה לעשות חברת פולקסווגן, ששילבה ביחפושתית הקלסית כ־25 קילוגרם מגנזיום. הסגסוגות הנפוצות באותה התקופה היו: AM60B, AM50A ו־AZ91D (טבלה 1). AZ91D היא סגסוגת המגלה שילוב של **חוזק ויציקות** מעולים; סגסוגות AM הן סגסוגות המיועדות למוצרים הדורשים ספיגת אנרגיה משופרת. אולם הסגסוגות המסחריות שהיו מקובלות בשוק לא עמדו בטמפרטורות גבוהות וסבלו הן מקורוזיה והן **מזחילה**.

שנות השישים והשבעים של המאה העשרים הביאו פריחה בענף המגנזיום בעקבות פיתוח סגסוגות אלומיניום המכילות מגנזיום, ופיתוח סגסוגות מגנזיום העמידות בטמפרטורות גבוהות (עד לטמפ' של 150°C). סגסוגות אלה מכילות מסגסגים כאלומיניום (Al), סיליקון (Si) ועופרות נדירות (RE). חסרונותיהן היו מחירן הגבוה והקשיים ביציקתן.

בסוף שנות השבעים ולקראת שנות השמונים דעך השימוש העולמי במגנזיום, בעיקר בגלל התחמצנותו ועמידותו הנמוכה בתנאי סביבה. לקראת סוף המאה החלה המתכת לזכות בהכרה מחדש. פיתוח סגסוגות מגנזיום חדשות, המכילות כמויות שונות של אלומיניום (Al), סיליקון (Si), מנגן (Mn), אבץ (Zn) וזירקוניום (Zr) הביאו לשיפור ה**יציקות**, העמידות בטמפרטורות גבוהות והעמידות לתנאי סביבה. סגסוגות אלה מצאו את מקומן במגוון שימושים ותהליכים טכנולוגיים בתעשיות הרכב, התעופה, האלקטרוניקה ועוד.

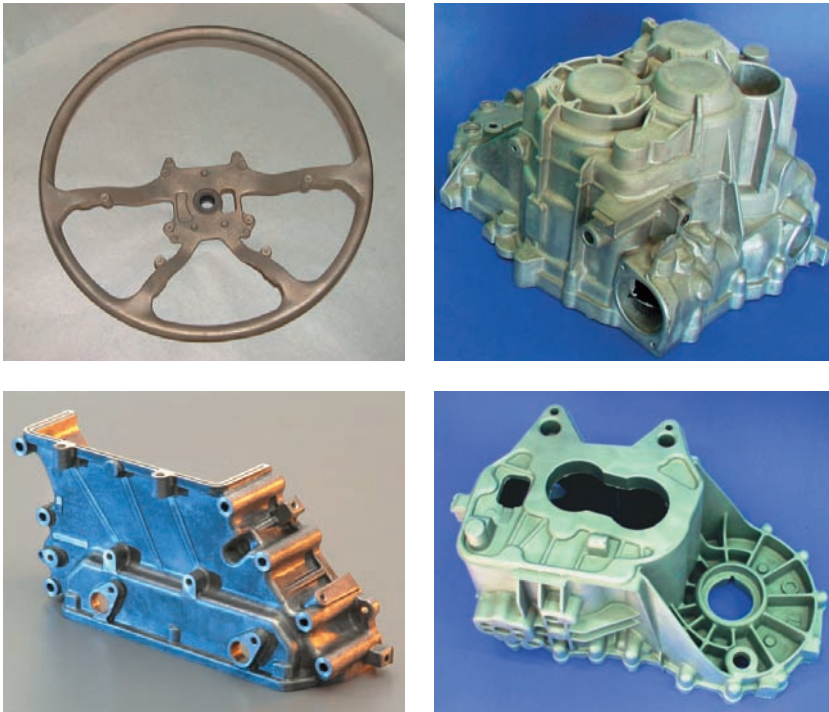
גם כיום מובילה תעשיית הרכב את השימוש ב**יציקות לחץ** ממגנזיום. חלקי רכב רבים מיוצרים או ניתנים לייצור ממגנזיום בתהליכי יציקה שונים, לדוגמה: בלוק המנוע, המכסה הקדמי של המנוע, מכסה השסתומים, אגן השמן, משאבת השמן, מארז תיבת ההילוכים, תומכי הפגושים וכן חלקים נוספים ברכב, כמו מבנה מראות הצד, לוח המכוונים, מנגנון נעילת ציר ההגה, חלקים מבניים במושב ועוד (איור 6). החלפת הפלדה המשמשת בייצור חלקים אלה במגנזיום תביא להפחתה משמעותית במשקל הרכב.

טבלה 1. ההרכב הכימי והתכונות המכניות העיקריות של המגנזיום וסגסוגותיו

תכונות מכניות			הרכב כימי					
התארכות	חוזק	כניעה	RE	Si	Mn	Zn	Al	
6-2	90	21	מתכת טהורה					מגנזיום יצוק
<b>סגסוגות</b>								
6	260	160			0.3	0.9	9	AZ91
19	260	120			0.4		5	AM50
16	270	130			0.4		6	AM60
12	240	130		1		0.2	2	AS31
12	230	135	2				4	AE42
6	250	170						MRI153M
5	245	180						MRI230D

**הכניעה והחוזק** (ראו מלבן הגדרות) נתונים במגה־פסקל (MPa) בטמפרטורת החדר (1 MPa = 10 bar = 9.869 atmospheres). עבור הסגסוגות מפרטת הטבלה את האחוז המשקלי של המסגסים המוספים למגנזיום, המהווה את עיקר הסגסוגת ומשלים את האנליזה ל-100%. Al-אלומיניום, Zn-אבץ, Mn-מנגן, Si-צורן (סיליקון), RE-מתכות נדירות (קבוצה של מתכות, מלנתן ועד לוטציום, שהן נדירות בטבע ובעלות תכונות כימיות דומות).

אחת הבעיות העיקריות בפיתוח מוצרי מגנזיום לאזור המנוע ברכב היא בעיית **הזחילה**. העומסים והטמפרטורה הגבוהה המופעלים על המתכת מביאים לתנועה ולעיוות שלה, מה שעלול לגרום להתרופפות של ברגים ובעיות נוספות. בשנים האחרונות פותחו סגסוגות מגנזיום המיועדות לתעשיית הרכב והעונות בעיקר על דרישת העמידות ב**זחילה** בטמפרטורות גבוהות. הסגסוגות החדשות הן גם בעלות **יציקות** מעולה כך שמחיר המוצר הסופי תחרותי בהשוואה למוצרי

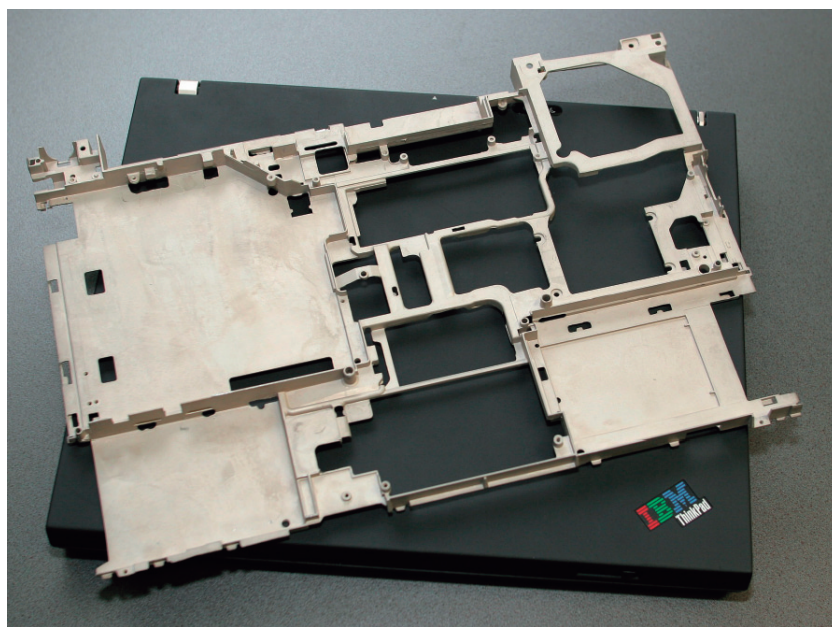


איור 6: דוגמאות של חלקי רכב היצוקים בלחץ מסגסוגות מגנזיום שונות

אלומיניום. סגסוגות המכילות מעל 90% מגנזיום, בתוספת אלומיניום, סטרונציום (Sr), קלציום (Ca) או עופרות נדירות (RE) עומדות בטמפרטורות של עד  $200^{\circ}\text{C}$  ובעומסים גבוהים של עד  $100\text{MPa}$ .

גם במכון למחקר מגנזיום בארץ פותחו בשנים האחרונות סגסוגות המיועדות לשימושים בטמפרטורות גבוהות. MRI153M ו־MRI230D הן סגסוגות בעלות יציקות טובה מאוד ומשמשות לייצור חלקי רכב שונים עבור חברות רכב מובילות כמו פולקסווגן, הונדה, DCX, BMW ומרצדס. סגסוגות אלה יועדו לסביבת עבודה של עד  $190^{\circ}\text{C}$  ולכן אפשר לשלבן בחלקי רכב הסמוכים למנוע, כמו למשל אגן שמן או תיבת ההילוכים. עמידותן בטמפרטורות גבוהות מציבה אותן כתחליף תחרותי לסגסוגות אלומיניום.

נוסף על אלה פותחו במכון סגסוגות מגנזיום ליציקות גרוויטציה, לדוגמה: MRI202S, MRI201S, המתאימות לתהליכי ייצור של מוצרים גדולים בעיקר בתעשיית הרכב והתעופה. סגסוגות אלה עמידות בטמפרטורת עבודה של עד  $300-250^{\circ}\text{C}$  ומאפשרות קבלת ביצועים משופרים. בין השימושים המקובלים – מנועים ובתי תמסורת ברכבים, מסוקים וכו'. בשנים האחרונות זכה המגנזיום לפופולריות רבה גם בתעשיית האלקטרוניקה, במוצרים כמו מחשבים נישאים, מצלמות, טלפונים סלולריים וכולי (איור 7). בתחומים אלה משתמשים במארזי מגנזיום הנותנים הגנה טובה, ספיגת אנרגיה משופרת, הפחתת משקל ויכולות סיכוך משופרות. בשימושים רבים בתעשיית האלקטרוניקה השימוש במגנזיום מסמל מיתוג ויוקרה. נוסף על פיתוח הסגסוגות והמוצרים לתהליכי היציקה השונים, מפותחות כיום סגסוגות מגנזיום לתהליכי עיבוד פלסטי. בתהליכים אלה החלק מיוצר בתהליכים שבהם הסגסוגת אינה מותכת אלא **מטורדת** במצב מוצק (אקסטרוזיה)



איור 7: מארז למחשב נייד עשוי מסגסוגת מגנזיום (באדיבות © Lenovo)

בטמפרטורה גבוהה יחסית של  $300^{\circ}\text{C}$ – $400^{\circ}\text{C}$  או עוברת **חישול וערגול**. בתהליכים אלה מקבלים שילוב תכונות משופר של **חוזק** ומשיכות ומתאפשר פיתוח וייצור של מוצרים מתקדמים נוספים, כמו למשל פרופילי אלומיניום, צינורות ולוחות מגנזיום דקי דופן.

## סיכום

חברת המגנזיום מציגה קשת של מוצרים, החל במגנזיום טהור המיועד לסגסוג אלומיניום במגוון מידות וגדלים וברמות ניקיון שונות, וכלה בסגסוגות מגנזיום מסחריות והרכבים חדשים המיוצרים בהתאם לדרישת הלקוחות והתהליכים הטכנולוגיים הרלוונטיים.

סביב גרעין חברת המגנזיום התפתחה בארץ בעשור האחרון תעשיית מגנזיום מקיפה. חברות כאורטל (**יציקות לחץ**), אלובין (אקסטרוזיה), פלב"ם עין-חרוד ורותם תעשיות (תהליכי עיבוד פלסטי) ואלקטרוטרם (מחזור), יחד עם חוקרים באקדמיה (בטכניון ובאוניברסיטת בן-גוריון), פיתחו יכולות מדעיות ותהליכיות לפיתוח ולייצור מוצרי מגנזיום מתקדמים. מדינת ישראל נחשבת כיום למקור ידע וטכנולוגיה מוביל בתעשיית המגנזיום העולמית. אין ספק שלחברת המגנזיום יש תפקיד חשוב במישוב המעמד המוביל של תעשיית המגנזיום המתפתחת בארץ והיא משמשת חוד החנית בפיתוח סגסוגות, תהליכים ומוצרים מתקדמים.