לא למכירה

המועצה הלאומית למחקר ופתוח
אגוד למחקר קרמי

ילקוט

האגוד למחקר קרמי

מס. 13

חיפה, קרית הטכניון - אוקטובר 1961

תוכן הענינים

המכפיל חיפה — טלפון 4645

דבר המערכת

אנו שמחים להוציא הפעם את ילקוט ה"בר-מצוה" של האגוד למחקר קרמי.

אנו מקוים שאחרי הילקוט מס' 13 יופיעו הילקוטים הבאים לעתים יותר קרובות.

בדעתנו לגון את הילקוטים הבאים נוסף על הפרסומים המדעיים בפרסום מאמרים גם בשטחי כלכלה, חנוך ואומנות אשר יש להם קשר ישיר עם פתוח התעשיה על כל ענפיה.

בילקוט זה עשינו התחלה בכוון זה ונשמח לקבל מקוראנו מאמרים שישקפו את בעיות המחקר ופתוח התעשיה הקרמית.

"מערכות ביוב" (תמצית המאמר האנגלי - ראה עמוד מס. 1).

הרברט גרונרוס (מומחה או"מ לקרמיקה)

המאמר פותח בסקירה היסטורית על בעיות הביוב שבהן קיימים יחסי גומלין בין שלשה גורמים: האדם, מי-השתיה ומי השופכין.

כלי-החרס שייכים למוצרים העתיקים ביותר הידועים לאנושות וכבר לפני ששת אלפים שנים השתמשו בתעלות בנויות מלבני חמר כדי להרחיק מי-שופכין מבתי-מגורים. ביון העתיקה, רומי ומצרים השתמשו בצנורות ביוב עשויים חרס. בימי-הבינים נשכחו הידיעות הטכניות שנרכשו בימי קדם והעדר מערכות ביוב גרם למגיפות תכופות שמקורן העקרי היה זיהום מי-השתיה. רק במאה ה-19 הוחל בבניה מקיפה של מערכות השקיה והרחקת מי-שופכין והמספרים הסטטיסטיים מוכיחים את הירידה המקבילה בתמותה ממחלות מדבקות שונות.

התכונות הנדרשות מצנורות ביוב הן:

1) אי-חדירות למי-שופכין.
2) עמידה בפני שנויי טמפרטורה בקרקע ובנוזלים הזורמים בצנורות.
3) התנגדות להתקפה כימית ע"י חומצות, מימות ומימן גפריתי.
4) חוזק מיכני גבוה - כדי לעמוד בעומס המשתנה של דרכים הנבנים מעל לצנורות.
5) דפנות פנימיים וחיצוניים חלקים וקשים, כדי להקטין את ההתנגדות לזרימה, למנוע הווצרות משקעים, ולהגדיל את ההתנגדות לשחיקה.

היות וצנורות בטון אינם ממלאים אחר כל התנאים האלה, ממליץ המחבר על השמוש בצנורות חרס מזוגגים שהנם בני-קיימא למאות רבות במקום עשרות שנים בלבד, ומשום כך גם זולים יותר מבחינת הכלכלה הלאומית.

צפויי אמייל על אלומיניום

ד"ר ראובן המר - אגוד למחקר קרמי

עם פיתוח האמיילים לטמפרטורות נמוכות עבור אלומיניום, נפתחו אפקים חדשים לתעשית האמייל. לאלומיניום יש יתרונות לגבי ברזל לשמושים רבים, בגלל עמידה טובה יותר בפני קורוזיה ומפני שהאלומיניום אינו יוצר חלודה צבעונית. לעומת זאת אין לאלומיניום החוזק של ברזל והוא ניתן לדפורמציה ביתר קלות.

לאלומיניום ונתכיו השונים המשמשים לאימול נקודות חתוך נמוכות בגבולות בין 630 ל-660 מעלות צלזיוס. נתכים אלה מכילים עד 5.0% נחשת, 7.5% סיליציום (בנתכי יציקה), 1.5% מנגן, 2.5% מגנזיום, 0.5% אבץ, 0.35% כרום, 2.0% ברזל ו-0.2% טיטניום.

להלן פרטים על כמה מנתכי-אלומיניום אלה: (המספור לפי השיטה הממשלתית, ארה"ב):

נתך מס. 1100: הרכבו - 99.0% אלומיניום (לפחות). זהו אלומיניום נקי (מסחרי). משמש למטרות שבהן חשובות קלות-העצוב ועמידה טובה בפני קורוזיה.

נתך מס. 2024: הרכבו הנומינלי - 4.5% נחשת, 1.5% מגנזיום, 0.6% מנגן (היתר-אלומיניום). משמש בעקר למבנים שונים בגלל חזקו המיכני הגבוה.

נתך מס' 3003: הרכבו הנומינלי - 1.2% מנגן (היתר-אלומיניום) משמש למטרות שבהן חשובים קלות-העצוב, עמידה טובה בפני קורוזיה וכשר-רתוך, וכאשר דרוש חזק מיכני יותר גבוה מאשר לאלומיניום נקי.

נתך מס' 43 : הרכבו הנומינלי - 5% סיליציום (היתר - אלומיניום). זהו נתך המשמש ליציקה בחול או בתבניות מתכת. יש לו עמידה טובה בפני קורוזיה וחוזק בינוני.

נתך מס' 356 : הרכבו הנומינלי - 7.0% סיליציום, 0.3% מגנזיום (היתר - אלומיניום). נתך זה גם הוא משמש ליציקה למטרות שבהן חשובים כשר-רתוך, אטימות ללחץ ועמידה טובה בפני קורוזיה.

נתכי האלומיניום מתחלקים לשתי קבוצות: א) הנתכים הרגילים, שמתקשים על-ידי עבוד קר. ב) הנתכים הניתנים לחסום על-ידי טפול בחום. נתכי הקבוצה הראשונה חוזרים למצב רך שלאחר הרפיה ע"י חמום מעל ל-260 מעלות צלזיוס, ועל כן הם מאבדים את ההקשיה (שקבלו בעבוד הקר) בתהליך האימול. לעומת זאת ניתנים נתכי הקבוצה השניה לחסום ע"י חמום לטמפרטורה בין 450 ל-540 מעלות צלזיוס וצנון מהיר, ומשום כך הם יכולים לרכוש חוזק נוסף ע"י תהליך האימול.

יש להזכיר כאן גם את לוחות הפלדה המצופים בשכבת אלומיניום שעביה כאלפית האינטש. לוחות אלה אפשר לצפות באמייל של אלומיניום בטמפרטורה נמוכה. יתרונם הוא שחזקם כחוזק הפלדה ועמידתם בפני קורוזיה כזו של האלומיניום.

שטחי המתכת העומדים להצטפות באמייל דורשים הכנה מיוחדת. השלב הראשון הוא פעולת הנקוי: א) מנקים את פני המתכת מחמרים שמנוניים בעזרת ממיס אורגני. ב) מסירים את שכבת תחמוצת האלומיניום ע"י השריה לרבע שעה בתמיסה מהולה של חומצה גפריתנית, ושטיפה במים. עבור מוצרים עשויים אלומיניום נקי מספיק טפול זה בתור הכנה לאימול. נתכי האלומיניום צריכים לעבור תהליך כימי נוסף כדי להיטיב את היאחזות האמייל במתכת. לשם כך משרים את המוצרים במשך 4 עד 7 דקות בתמיסה המכילה כ-20% כרומט האשלגן ו-4% מימת הנתרן במים, בטמפרטורה בין 40 ל-50 מעלות צלזיוס. אחרי שטיפה במים וייבוש, מחממים את המוצרים ל-370 מעלות צלזיוס לפני הצפוי באמייל. זוהי השטה המקובלת על-פי דיו-פונט, שחסרונה הוא בחמום ל-370 מעלות. כדי להמנע מחמום זה אפשר להקדים השרית המתכת באמבט כרום חומצי ב-82 מעלות צלזיוס ל-2 עד 4 דקות להשריה בתמיסת כרומט האשלגן-מימת הנתרן. אחרי שטיפה במים וייבוש, המתכת מוכנה לצפוי באמייל.

האמיילים לאלומיניום מסווגים בשלש קבוצות עקריות:
א) אמיילים מכילי-עופרת. ב) זכוכיות פוספטיות. ג) אמיילים מכילי-בריום.

עד כה נמצאו האמיילים מכילי-העופרת כמוצלחים ביותר, והוכנסו לשמוש בהרחבה במוצרי אדריכלות.

קבוצה טפוסית של אמיילים מכילי-עופרת מורכבת מהתחמצות הבאות בגבולות הנתונים (באחוזי משקל):

PbO	34.7 - 42.5
SiO_2	25.3 - 34.9
Li_2O	2.0 - 2.6
Na_2O	9.5 - 13.4
K_2O	2.2 - 8.3
TiO_2	8.1 - 10.7
Sb_2O_3	0.0 - 2.9
B_2O_3	0.0 - 4.3
ZrO_2	0.0 - 1.3
CdO	0.0 - 8.1

אמייל טפוסי מקבוצת הזכוכיות הפוספטיות הרכבו:

Na_2O	14.6
NaF	3.8
Li_2O	10.7
B_2O_3	7.3
Al_2O_3	21.6
P_2O_5	42.0

בעוד שאמייל טפוסי מכיל-בריום מורכב מ-:

SiO_2	18.0
Na_2O	5.8
K_2O	9.6
Li_2O	2.8
TiO_2	3.1
Al_2O_3	2.7
BaO	38.6
B_2O_3	17.7
ZrO_2	1.7

לאמייל עופרת בתחום ההרכב הנתון לעיל מקדם התפשטות תרמית של 17.5×10^{-6} למעלת צלזיוס ושריפתו (ההתכה על גבי המתכת) נעשית בטמפרטורה של 525 מעלות צלזיוס במשך 5 עד 7 דקות. אמיילי-עופרת אלה עומדים היטב בפני חומצות, תנאי אקלים קיצוניים ושחיקה. אמיילים פוספטיים עומדים בדרך כלל בפני חומצות, אבל נתקפים על-ידי תמיסות אלקליות. האמיילים המכילים בריום פחות מסוכנים בשעת הייצור מבחינת הרעלה, אבל אינם ניתכים בטמפרטורות נמוכות כשל אמיילי-העופרת.

חשוב לבדוק את היאחזות האמייל באלומיניום לאחר השריפה, כי זו קשורה במישרין עם כשר העמידה של האמייל בפני השפעות אקלימיות. כדי לערוך בדיקה זו, חושפים כחמשה-עשר סנטימטר לאורך שטח-המגע בין האמייל והמתכת ומשרים את הדגם בחמיסה בת 5% של כלוריד האמון למשך יממה אחת עד ארבע יממות. אם הוסר האמייל מהמתכת ברצועה רחבה משלושה מילימטר או ארוכה מ-12 מילימטר לאורך שטח-המגע, המוצר פסול לשמוש.

התכונות של אלומיניום מצופה-אמייל: היות וצפוי האמייל על אלומיניום נדרש רק בשכבה אחת דקה בת עשירית המילימטר (כחצי או חמישית העובי של שכבת האמייל על ברזל) מתקבלת שכבה הרבה יותר גמישה מאשר בצפוי על ברזל, ואפשר להתוך גליונות פח מאומלים כאלה על-ידי נסור ולקדוח בהם חורים, מבלי לפגוע בטיב הצפוי. ההתנגדות לשחיקה היא גבוהה יחסית - בערך פי עשר מזו של צפויים אורגניים. העמידה בפני השפעות אקלימיות בדרך כלל טובה מאד (אפשר לבדוק אותה גם על-ידי עמידה בפני התקפה של חמיסה רותחת של חומצת לימון ברכוז של 6%, או חמיסה של פירופוספט הנתרן ברכוז 5%). ניתן לחמם כלי-אלומיניום מצופי-אמייל עד 325 מעלות צלזיוס מבלי לגרום להם נזק. האמייל עצמו טוב כחומר בדוד חשמלי - שכבה בעובי אלפית האינטש עומדת בפני מתח של עד 500 וולט בטמפרטורת החדר.

השמוש באלומיניום מצופה אמייל מתרחב והולך משדה הבניה - בצפוי חיצוני ופנימי של בנינים צבוריים - לכלי בשול ולצפוי מכונות תעשיתיות ומכונות למשק הבית. שוק מבטיח לעתיד מצוי ללוחות-אלומיניום מצופי-אמייל בבנית כלי-שיט בגלל עמידתם הטובה בפני קורוזיה של מי-הים. מן הראוי שהאגוד למחקר קרמי והתעשיה הישראלית יתנו דעתם על ענף חדש זה והאפשרויות הטמונות בו.

ב י ב ל י ו ג ר פ י ה

1. A. I. ANDREWS, "Porcelain Enamels", Sec. Ed., 1960
2. Amer. Soc. Metals, "Metals Handbook", 1960
3. Lead Ind. Assn., "Aluminum Enamels", 1959

לבעית הכשרה מקצועית בקרמיקה

אפרים וישינסקי - אגוד למחקר קרמי

אחת הבעיות העומדות בפני התעשיה הקרמית ומחכות לפתרונן היא חוסר בעלי מקצוע בכל הענפים ובכל המחלקות של המפעלים הקרמיים. בעיה זו הולכת ומחריפה בד בבד עם התרחבותה של התעשיה הקרמית. המחסור בכוחות מקצועיים יכל להביא לא רק לזעזועים לתעשיה הקרמית אלא עלול גם לעכב את התפתחותה הנוספת.

מטרת מאמר זה היא לא רק להצביע על הערך של ההכשרה המקצועית בלבד אלא גם להבהיר ולסמן את הדרכים לפתרון בעיה כאובה זו; עלינו לדון היום רק על הכשרה מקצועית של נוער מתבגר אשר יש להכשירו כגרעין של עובדים מקצועיים וטכנאים בכל ענפי הקרמיקה ולא על חינוך גבוה של הנדסה קרמית. יש לקוות שגם בעיה זו תמצא את פתרונה עם התכניות של הטכניון על פתיחת פקולטה להנדסה קרמית.

העובדה שאין עדיין מקום מרכזי להכשרה והדרכה מקצועית בקרמיקה המתאימה לצרכיה של התעשיה הקרמית מחייבת תשומת לב מיוחדת, ומי שמתעלם מבעיה זו מתעלם גם מצרכיה החיוניים של התעשיה הקרמית שנהפכה כבר לגורם חשוב בכלכלת הארץ, ומגיעה למחזור שנתי של קרוב ל-14 מיליון ל"י.

אמנם נעשו בזמן האחרון נסיונות של הדרכה מקצועית צנועים במקומות שונים כגון: בית ספר "בצלאל" בירושלים; בית הספר "ויצו" בתל-אביב ובבית הספר המקצועי "אינטרנשיונל" בקרית חיים שאין לזלזל בכמה מהשגיהם אבל עדיין אינם עונים על שלשה דברים עקריים המבוססים על חנוך קרמי יסודי והם:

א) חכנון למודים לפי מתקונת מקובלת בבתי ספר מקצועיים לקרמיקה.

ב) ציוד משוכלל ללמודים מעשיים.

ג) חבר מורים ומדריכים המנוסים בטכנולוגיה הקרמית על כל ענפיה.

ההכשרה המקצועית לנוער חייבת להתבסס על ערכים טכנולוגיים חדישים ואומנותיים אשר יורו לו את הדרך להיות בעתיד טכנולוג-קרמי, בעל מחשבה עצמאית במפעל ובסדנה, המסוגל להתעמק ולהבין את כל הבעיות הקרמיות ולדעת לפותרן על הצד הטוב ביותר בכל מקרה ומקרה.

מטבע הדברים של המקצוע הקרמי הוא, שהיוצר הקרמי אינו קופא על שמריו, אלא שואף להגשים רעיונות נועזים וחדשים ולשפר באופן תמידי את ההשגים של אתמול; לפי כך יש להקנות לנוער המתבגר חנוך מצקועי קרמי רבגוני ועליו לרכוש ידיעות מקיפות בכל תהליכי היצור של מפעל מודרני. באם חלק מהחניכים מראה נטיה לאומנות יש לתת לו את כל האפשרויות לפתוח החוש האסטטי, בבניה ובקשוט מוצרים קרמיים, כך שיהיה מסוגל לעצב באופן עצמאי מוצרים המתאימים לרוח זמננו. (Industrial Designer)

עברו הזמנים שנוער קבל את הכשרתו המקצועית בתוך כתלי בתי החרושת בלי כל הכשרה מוקדמת. גם בחירת ענף מסוים בתוך המפעל (ספציאליזציה) הוכחה ע"י הנסיון ברוב המקרים כבלתי יעילה, בעיקר בשתי המחלקות במפעל הקרמי, והן: הגבס והקשוט. העובדה שהמכניזציה המודרנית לא הפסה בהן מקום נכבד כמו ביתר המחלקות ויש בהן עדיין הרבה עבודת ידיים, מחייבת את ראש המחלקה ועובדיו המקצועיים במחלקת הגבס לדעת לא רק כיצד לבנות מודלים ותבניות, אלא גם להתעמק בכל סגולות הגבס ואופן הטיפול בו בכל השלבים, להבין את הקשר בין תערובת קרמית ותבניות הגבס, ומעל לכל ידיעה במתימטיקה ושרטוט טכני. בקשוט המוצרים צריך החניך למצוא כר נרחב ללמודים על שיטות עתיקות וחדישות של צפוי וקשוט. הוא חייב לדעת את כל הטכניקות של קישוט מוצרים ועליו למצוא את הקשר הישיר בין החומרים הקרמיים, צורת המוצר, הסקלה של הגלזורות ותכונותיהן, הצבעים ושריפתם. כל האלמנטים האלה מהוים למעשה יחידה אחת שאינה ניתנת להפרדה במאומה, שרק לפיהם אפשר לפתח טכניקות של קישוט אופיניות למפעל זה או אחר.

מובן מאליו שתכנית הלמודים צריכה לכלול גם יתר השטחים, כגון: כל השיטות של עבוד חומרים קרמיים, עצוב המוצרים, הרכבי גלזורות וזגוג, יבוש ושריפה, אופן סדור המוצרים במתקנים, בתנורים שונים ועוד.

לפי הנחיות אלה יש לתכנן בשלב ראשון קורס דו-שנתי אינטנסיבי באחד מבתי הספר המקצועיים המצויד כהלכה, עם כחות מקצועיים רציניים ועם תוכנית שתקיף את הלמודים היסודיים בכל הטכנולוגיה הקרמית. על החנוך להשתלם בשנה השלישית באופן מעשי במפעלים קרמיים במגמה להרחיב את ידיעותיו הטכניות ולהמשיך בלמודים עיוניים בשעורי ערב.

באם הקורס הדו-שנתי ישא פרי, יש לעבור לשלב השני וליסד בית ספר מקצועי קרמי על כל אביזריו שתקופת הלמודים תמשך בו שלוש שנים.

באם מטרת הקורס הדו-שנתי היא, לחנך עובדים מקצועיים המסוגלים להיות בעתיד ראשי מחלקות, הרי מטרת בית הספר המקצועי הקרמי היא להגיע לדרגה שתכשיר טכנאים קרמיים המסוגלים להיות מנהלים טכניים ולמלאות פונקציות מינהליות בכל מפעל קרמי.

יתכן מאוד שיש מקום להצמיד בית ספר זה לאחד מבתי הספר של הטכניון או של "אורט". באם תפתח פקולטה להנדסה קרמית בטכניון יכולים להתקבל אליה תלמידים המצטיינים באופן מיוחד במתמטיקה לפי המתכונת של בית הספר המקצועי ע"י הטכניון.

אין להביא במסגרת מאמר זה תכנית למודים על כל פרטיה, אבל יש להצביע על 5 נקודות עיקריות שצריכות להוות את הקוים הכלליים של תכנית הלמודים המעשיים והתאורטיים:

א) היסודות של כימיה ופיזיקה.

ב) תורת החומרים הקרמיים, מוצאם, חיצובם, עבודם ושמושם.

ג) הטכנולוגיה של תהליכי היצור של כל ענף וענף בתוך כל מחלקה ומחלקה, הכוללת בקורת על כל התהליכים.

ד) פתוח הוש אסטטי בכוון עצוב וקשוט מוצרים קרמיים המתאימים לרוח זמננו.

ה) כל העבודות בגבס, מודלים ותבניות של כל ענף וענף בתעשיה הקרמית.

מגמת הלמודים האלה צריכה להיות השתלבות של החניכים בעיקר בענפי: קרמיקה סניטרית, כלי בית ואומנות וקרמיקה לבנין כוללת אריחי קיר.

כדי להפנות חלק של הנוער שלנו ללימוד המקצוע הקרמי (שעליו יש להם מושג קלוש) יש צורך בהסברה מקיפה בקרב בני הנוער בכתלי בתי הספר או במועדוניהם, על התעשיה הקרמית בעולם בכלל ובישראל בפרט ועל הסכויים הרבים של הנוער להקלט בתעשיה הקרמית. משימה זו מוטלת בראש וראשונה על המוסדות הממשלתיים. יש להמליץ לנטוש את הדצנטרליזציה של החינוך במקצוע הקרמי בין משרדים שונים ולרכז

את פעולות אלה בצנור אחד ולכוונן לפי הנחיות בדוקות של כל האספקטים של החינוך הקרמי בארץ.

יחכן מאוד שיש צורך לרתום גם את בעלי התעשיה בענף הקרמי לפתרון בעיה זו. בעיקר מדובר על מתן אפשרות מקסימלית להשתלמות באופן מעשי בשנה השלישית של הלימודים. ידוע לנו שחלק גדול מהתעשיה הקרמית שלם לא מעט "דמי למוד" ע"י מסירת עבודות מקצועיות לידים לא מנוסות (בעיקר בתקופה של "קוניונקטורה" זמנית), אבל יש יחד עם זה להכיר בעובדה שחלק כבר בא לידי הכרה שלא הציוד המשוכלל לבדו מרים תמיד את איכות המוצר ומוזיל את הוצאות היצור, אלא שמלאכה זו נעשית ע"י אנשים שקבלו הכשרה מקצועית מספיקה להפעיל את הציוד באופן היעיל ביותר.

החנוך הקרמי היסודי בא לסתום את הפירצה הנוצרת מחמת חוסר בעלי מקצוע בתעשיה הקרמית על כל מחלקותיה, ולהכשיר גרעין של סגל עובדים בעל רמה מקצועית שיקבלו חנוך על רקע טכני רחב ויצמחו באופן אורגני מגיל צעיר בתוך המקצוע הקרמי.

שמוש בתערובות תפוחות לייצור קרמיקה לבנין

אינג' י. פרנצוס

הנושא הועלה לראשונה לדיון בארץ ע"י הפרופ' קירקנדל מארה"ב בזמן שהותו בישראל כיועץ טכני מטעם משלחת הפעולות האמריקאית. יותר מאוחר הוא גם פרסם מאמר הדן בבעיה, באחד מילקוטי האגוד למחקר הקרמי.

הצטרפתי לדעתו של הפרופ' קירקנדל שראה בתעשית המוצרים התפוחים תעשיה בעלת סיכויים טובים להתפתחות בארץ בהתחשב עם אקלימה החם ולכן הצעתי באחת הישיבות של ועדת המחקר של האגוד למחקר קרמי לבחון את הסוגיה בחינה טכנולוגית.

כידוע התעשיה הקרמית בארץ התפתחה בקצב מהיר בשנות קיום המדינה. הוקמו מפעלים קרמיים מודרניים, בתי-חרושת קרמיים אחרים עברו תהליך של מודרניזציה. מספר המועסקים גדל פי $2\frac{1}{2}$, ערך הייצור עלה פי 6. רק ענף אחד של התעשיה הקרמית עבר תהליך של חסול כמעט מוחלט - הענף של הקרמיקה לבנין. המפעלים לקרמיקה לבנין נסגרו או הגבילו את ייצורם. ויש סבה לנסיגה זאת של הענף. לבנים שרופות שיצרו בישראל היו בעלות איכות ירודה ומחירם היה גבוה. מחיר הלבנה בישראל היה פי 2-3 גבוה יותר מהמחיר של לבנה שרופה מהסוג הגבוה ביותר בארה"ב. ברור שבתנאים הללו הלבנה השרופה לא היתה יכולה להתחרות עם לבנת חול או בלוק מלט. הסבה למחיר הגבוה של לבנה שרופה נעוצה בתפוקה נמוכה של הפועל, חוסר ציוד יעיל, שיטות ייצור מיושנות ואחוז גבוה של פסולת לאחר תהליך השריפה. כמובן שטיבם הירוד של חמרי הגלם לתעשית הקרמיקה לבנין מקשה על תהליך הייצור, אבל איננו מונע אפשרות ייצור של לבנה בעלת איכות טובה בארץ.

חמרי גלם לתעשית הקרמיקה לבנין המצויים בחלק הצפוני, מרכזי ודרומי של הארץ הם רובם בעלי תכולה גבוהה של CaO - תחמוצת הסידן, המזיקה ללבנה השרופה, גורמת לרכוכה בתהליך השריפה, מגדילה את הנקבוביות ומשפיעה על צבעה. את התכונות הבלתי רצויות בייצור לבנה שרופה המקובלת אפשר להפוך ליתרון אם נייצר אלמנטים לבניה העשויים מתערובות תפוחות. נוכחותו של הסידן בתוך החרסית הוא אחד התנאים לתפיחתה של החרסית בתהליך השריפה. תערובת קרמית תפוחה מורכבת מגרגריה של חרסית שרופה תפוחה הקשורים בחמר חרסיתי פלסטי. מעבר משטות המקובלות בקרמיקה לבנין לייצור אלמנטים לבנין עשויים מחמר חרסיתי תפוח מאפשרת:-

א. חסכון בהוצאות הייצור.
ב. חסכון בהנחת הבלוקים (אפשרות השמוש באלמנטים גדולים יותר).
ג. בדוד טוב יותר עקב המבנה הנקבובי של האלמנטים.

לאלמנטים העשויים מחמר תפוח יחרון על פני חמרים נקבוביים אחרים (איטונג). ספיגת המים שלהם היא אפסית, קיימת אפשרות לזגג אותם ולהשיג ע"י כך אפקטים דקורטיביים נאים.

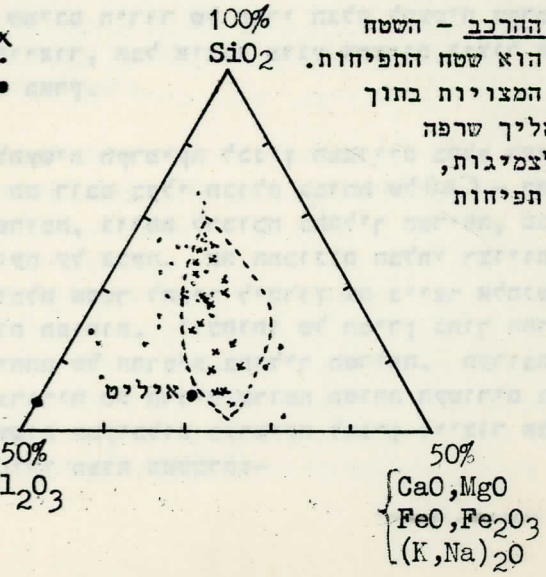
<u>דרכי הכנת המוצרים מחמר תפוח</u>

א. עקרונות לבחירת חמר גלם להכנת חמר תפוח.

בדרך כלל סבורים שכמעט כל החרסיות אפשר להתפיח בתנאים המתאימים. כנראה שהדבר נכון אם אנו מסוגלים לוסת לפי רצוננו את הטמפרטורה, לחץ ואוירה של התנור. אבל בתנאי ייצור תעשיתיים ויסות הפרמטרים אינו מעשי וקיימות דרישות מוגדרות לגבי איכות החמר התפוח. חושבים שגבול הטמפרטורה בתנאים של ייצור תעשיתי תקין הוא בערך $1300^{o}C$. לכן כאשר מדברים על חרסית הנתנה להתפחה מתכוונים לחמר שמראה התפשטות ברורה (משקל נפחי קטן מ-1.0) בטמפרטורה מתחת ל-$1300^{o}C$.

חוקרים רבים נסו למצוא עקרונות לבחירת חמר גלם להכנת חמר תפוח. השתדלו לקשר את כשר ההפיחות עם הרכבו החימי של החמר. נבדקו עשרות חרסיות בעלות הרכב שונה לכשר ההפיחות. את החמרים מקמו בדיאגרמה משולשת של הרכב החמר (ראה דיאגרמה מס' 1) והתברר

<u>דיאגרמת ההרכב</u> - השטח המקווקו הוא שטח התפיחות. החרסיות המצויות בתוך השטח בתהליך שרפה מגיעות לצמיגות, המבטיחה תפיחות טובה.



שכמעט כל החרסיות בעלות כשר תפיחות מעולה נמצאו בתוך שטח מסוים בתוך הדיאגרמה המשולשת. יחד עם זה בתוך "השטח של התפיחות" נמצאו חרסיות שאינן נתנות לתפיחה. כנראה שהאנליזה הכימית אינה התנאי היחידי לתפיחות החרסית, היא קובעת רק צמיגותה של החרסית בטמפרטורה מסוימת. התנאי השני שאותו חייבים למלא הוא שחרור פרודוקטים גזיים בשלבים הסופיים של שריפת החמר. החמר המותך חייב למלא את הנקבוביות כך שהגז המשתחרר יתפס בתוך החמר. החמר המותך חייב למלא את הנקבוביות כך שהגז המשתחרר יתפס בתוך החמר. החמר המותך חייב גם להיות בעל צמיגות מתאימה בכדי למנוע את בריחת בועות הגז דרכו. הגז משתחרר מחמרים שמתפרקים או מגיבים עם מרכיבים אחרים בטמפרטורה או קצת מעל לטמפרטורה של ההתוך. בדרך נסיונית הוכח שחמרי לווי כפיריט, המטיט, דולומיט, מספקים את המרכיבים הדרושים להוצאות הגז בטמפרטורה גבוהה מספיק, בכדי להביא לתפיחות החמר. ההמטיט גורם לתפיחות הודות לדיסוציאציה למגנטיט וחמצן. פיריט עובר לפירהוטיט וזה אח"כ מגיב עם הסיליקה ונוצר סיליקט הברזל (פיליט - Fayalite) ומשתחרר ה- SO_2 בטמפרטורות גבוהות. מניחים שדולומיט יוצר תרכובות ביניים קנקרינית* ופוטסיום קרבונט. סלעים וולקניים שמבחינת הרכבם הכימי מצויים בתוך "שטח התפיחות" הם בעלי צמיגות המתאימה לתפיחות החמר. המינרלים הם הורנבלנדה, ביוטיט, כלוריט. מהמינרלים הללו משתחררים הגזים ב-2 שלבים. בטמפרטורה של $900^{o}C$ בערך נוצר המימן, אבל ספק אם הוא יכול לגרום לתפיחות החמר. עם שחרור המימן נוצר ההמטיט וזה כנראה מתפרק בטמפרטורות גבוהות ויוצר את החמצן שגורם לתפיחות החמר.

המכניזם של תפיחת החמר נחקר גם מנקודת ראות של הרכבן החימי והמינרלוגי של החרסיות. התברר שתנאי השריפה הדרושים לקבלת חמר תפוח תלויים בסוג המינרל אשר יוצר את הגז המתפיח את החמר. במקרה וזה הוא קרבונט יש לשרוף את החמר מהר, כך שתוצר שכבה זכוכיתית על פני השטח של החרסית כדי למנוע את בריחת ה- CO_2 מתוך החלקים הפנימיים של הגרנולה. אם התנאי לא יתמלא, ה- CO_2 ישתחרר מהחמר בעל המבנה הנקבובי הפתוח. אם בתוך החמר מצויים מינרלים אחרים אשר מתפרקים ומשחררים את הגז בטמפרטורה 1100 עד 1300 מעלות צלזיוס, אפשר לשרוף את החמר במשטר שריפה איטי יותר כיון שהגז ילכד בקלות בתוך הנוזל הצמיג המקיף אותו.

*Cancrinite

דרכי הכנת אלמנטים העשויים מחמר תפוח

א. תהליך תפיחת החמר

את החמר החרסיתי טוחנים ומנפים. החמר הטחון עובר את תהליך העבוד בהתאם לתכונות החמר ושיטת השריפה שנבחרה. קימות כמה שיטת של הכנת החמר לשרפה.

1) אפשר להזין את התנור בגרגירים גסים של חרסית קשה, לאחר שהיא עברה את תהליך הטחינה והנפוי. החמר הדק העובר דרך הנפה משמש לייצור בתור החמר המקשר בתהליך עצוב המוצר.

2) לחרסית עם פחם או בלעדיו (בהתאם לשיטת השריפה שנבחרה) מוסיפים 15% - 25% מים ודוחסים את התערובת דרך פיות של מכונת דחיסה. קוטר העמודים היוצאים 10-12 מ"מ. העמודים נשברים או נחתכים לגלילים באורך של 12-25 מ"מ.

3) את החרסית הטחונה מרטיבים בתוך המערבל לערבוב חמרים יבשים. טיפות של מים המוזרמים לתוך המערבל משמשים כמרכזי הוצרות הגרנולות.

את חצי הפרודוקט אפשר לשרוף:-

א. בתנור סנטור מטיפוס של Dwight-Lloyd

ב. בתנור מסתובב.

ג. בתנור מאונך.

א. במקרה של שריפה בתנור מטיפוס של Dwight-Lloyd החמר יורד מתוך המזין על רשתות של התנור. גובה המטען על גבי הרשת "5 - "6. טמפרטורות השריפה 1200-1400°C. את החמר המסונטר טוחנים ומנפים ל-2 פרקציות, גסה ודקה. ידוע שהתנאים האופטימליים לסנטור החרסית כאחוז הפחם, גודל הגרנולות של החרסית, משיכה בתוך התנור, מהירות רשת התנור, גובה המטען על גבי הרשת תלויים בסוג החרסית בה משתמשים. ע"י בחירה מתאימה של החרסית ושמוש בטכניקת הסנטור המתאימה אפשר להכין מבחר רב של אגרגטים קלים.

ב. את חצי הפרודוקט יבש או רטוב (בהתאם לסוג החמר) אפשר לשרוף בתוך תנור מסתובב בעל אורך של 15-50 מ'. המצב בו מטעינים את חצי הפרודוקט לתוך התנור והפרמטרים של התנור תלויים בסוג החרסית בה משתמשים להכנת האגרגט.

ג. קיימת גם שיטת שריפת האגרגט בתוך תנורים מאונכים. מזינים את התנורים בגרנולות בעלות צורה טבלית או גליל דק. הגרנולות חייבות להיות בעלות מדות זהות בכדי שימנעו הפרשי מהירות "בנפילה חפשית" ע"י כך מיון שלהם והוצרות סתימות בתוך התנור.

ב. <u>תהליכי עצוב המוצר</u>

שתי הפרקציות של האגרגט הקל מערבבים עם 25% - 40% חרסית ועם מים. את החמרים מערבבים בתוך מערבל לחמרים יבשים. עצוב המוצר נעשה בעזרת מכבש הידראולי עם ויברציות המקובל בתעשית הבלוקים העשויים מלט. היחס בין המרכיבים קובע את תכונות העצוב של המוצר. הודות למבנה הנקבובי פתוח של המוצר ותכולה גבוהה של האגרגט, לא נתקלים בקשיים בשעת ייבוש המוצר. לפעמים אפשר לייבש מיד את המוצר המעוצב בטמפרטורה מעל ל-$100^{o}C$, מבלי שתורגש השפעה מזיקה כל שהיא על תכונות המוצר. התכווצות הייבוש היא כמעט אפסית.

את הבלוקים שורפים במשטר שריפה מזורז פחות מ-18 שעות, הודות לאחוז גבוה של האגרגט בתוך המוצר. רצוי לשרוף את המוצרים בתוך תנור מנהרה בגלל יעילותו וקלות הויסות. טמפרטורת השרפה היא $1100^{o}C$ - 1280, בהתאם לסוג המרכיבים. התכווצות השרפה 0.5% - 4.0% גם היא כלולה ברצפטורה. תכונות פיזיות של המוצרים המוגמרים: חוזק מכני ללחץ $70\ kg/cm^2$, ספיגות 15% - 30%, משקל הבלוק "8×8×16" - 8 - 11 ק"ג. הצבע של המוצר תלוי למעשה בצבע של החמר המקשר. קיימת אפשרות לשנות את צבע המוצר ע"י הוספת תרכובות לא אורגניות צבעוניות.

צפוי בגלזורה של הבלוק, העשוי מאגרגט הקל, איננו מהוה בעיה קשה בתנאי שמבנה פני השטח איננו מחוספס. כאשר פני השטח חלקים תדרש שכבת גלזורה לא עבה. העבודות שבוצעו מראות שאפשר לזגג את המוצרים הבלתי שפורים ולשרוף אותם עם הזגוג יחד. מובן שהבעיות המתעוררות בפתוח ייצור תעשיתי של בלוק מזוגג קל הן מרובות, אבל אין ספק - הן נתנות להבחן.

נעשו נסיונות לזגג בלוק עשוי מאגרגט קל ומלט. לפי האינפורמציה המצויה, אחד המפעלים האמריקאיים התחיל בקנה מדה חרושתי בייצורו של בלוק מזוגג ממלט. לפני זגוגו של הבלוק מצפים אותו בשכבת צפוי ביניים, קודם ע"י פזור אחר כך ע"י התזה. תפקידה של שכבת הביניים למלא את הנקבוביות בבלוק. את הבלוק המצופה שורפים בטמפ' של $650^{o}C$ בערך. לאחר השרפה הראשונה באה

שרפה שניה עם הזגוג בטמפ' זהה עם זאת המקובלת בשרפת שכבת הביניים. הבלוק מאבד במקצת את חוזקו המכני ללחץ, אבל עדיין עומד בדרישות של התקן האמריקאי לגבי מוצרים מסוג א'.

למוצר המוגמר, העשוי מתערובת תפוחה יתרונות רבים לעומת חמרי בניה אחרים:

א. משקל נמוך.
ב. עמידה בפני השפעות מזג האויר.
ג. צבע נאה במצבו הטבעי.
ד. אפשרות זגוג ושנוי הצבע ע"י הוספת כימיקליים.
ה. תכונות בדוד טרמי מעולות.
ו. תכונות בדוד אקוסטי מצוינות.
ז. עמידה בפני האש.

לפי הנתונים האמריקאים $1m^3$ של האגרגט עולה בערך 5 דולר בתוך המפעל. ההשקעה הדרושה להקמת מפעל המצויד במתקנים מודרניים עם בקרה אוטומטית תהיה 2000 דולר ל-1 ממ"ע/24 שעות.

בארצות הברית נעשו נסיונות לייצר אלמנטים סטרוקטורליים מתערובות תפוחות ע"י שרפה אחת בלבד. כיון שחמרים חרסיתיים במצבם הטבעי אינם בעלי הרכב אחיד, הכינו תערובות תפוחות סינטטיות בעלות תכונות רצויות וקבועות. התערובות מבוססות על מרכיבים כחרסית, סודה, דולומיט ומגנזיט. את התערובת טחנו, ערבבו עם מים וכבשו את המוצרים הרצויים. את המוצרים שרפו על גבי לוחות חסיני-אש.

ע"י התאמת ההרכב ותהליך בשרפה, אפשר לייצר מתערובות תפוחות אלמנטים בעלי צפיפות נמוכה, ספיגה נמוכה, חוזק מכני גבוה. נראה שאפשר בשיטה זאת לייצר מוצרים בעלי משקל נפחי 0.7 - 1.2, ספיגת מים קרובה ל-0, חוזק מכני ללחץ עד 140 ק"ג/סמ"ר. כמובן שייצור מוצרים מתערובות תפוחות דורש נסיונות מרובים לשם קביעת התהליך המתאים לעבוד החרסיות המצויות בארץ.

את העבודה צריך לבצע לדעתי האגוד למחקר הקרמי בחיפה, המצויד במתקנים הדרושים להשלמת המחקר. המעבדה של האגוד תוכל להסתיע במתקנים של מוסדות מחקר אחרים - כבטכניון העברי ואולי מכון התקנים הישראלי. לעבודה זאת חייבים לגשת שלבים שלבים, כמקובל בתכנון ייצורו של כל מוצר חדש. חייבים לבצע:

א. מחקר בשוקים.
ב. מחקר מעבדתי של חמרי הגלם המצויים בארץ.
ג. בנית מתקנים חצי-חרושתיים לקביעת שיטות ייצור.

רק לאחר בצוע שלשת השלבים אפשר יהיה לגשת לתכנון רציונלי של מפעל לייצור אלמנטים סטרוקטורליים קרמיים מתערובות הפוחות, המפעל שגם יוכל לספק אגרגט קל בלבד לצרכי תעשית האלמנטים הקלים לבניה, העשויים מלט.

ב י ב ל י ו ג ר פ י ה

1. C. RILEY - Relation of Chemical Properties to the Bloating of Clays. Journal of the Amer. Cer. Soc., - April, 1951
2. E. G. EHLERS - The Mechanism of Lightweight Aggregate Formation. The Amer. Cer. Soc. Bulletin - February, 1958.
3. W. C. BELT & D. M. McGinnis - The Development of Large Lightweight Structural Building Units. The Amer. Cer. Soc. Bulletin - October, 1951.
4. C. M. NICHOLSON & G. A. BOLE - Cellulated Ceramics for the Structural Clay Products. Journal of the Amer. Cer. Soc., - April, 1953
5. R. G. Hardy - Factors in Manufacturing Fired-Clay Light-Weight Aggregate. The British Clayworker - September 1954.

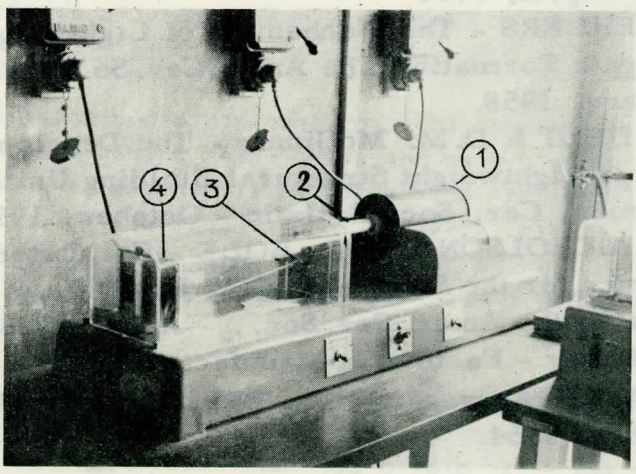
אנליזה דילטומטרית של חומרי גלם ומוצרים קרמיים

אינג'. י. קלטניק - אגוד למחקר קרמי

בעזרת הדילטומטר מקבלים עקומות התפשטות תרמית של חומרי גלם ומוצרים.

במעבדת האגוד משתמשים בדילטומטר טפוס "Chevenard" עם רישום מכני. החלקים היסודיים שלו הם: (ראה ציור מס' 1)

1. תנור חשמלי גלילי, מצויד במוסת שטמפרטורה.
2. צנור עשוי מצורנית מותכת, לתוכו אפשר להכניס את דגם הנסוי.
3. מנגנון הגדלה.
4. לוח הרישום



ציור מס' 1

דגמי הנסוי הנם מנסרות 65 × 5 × 5 מ"מ או גלילים של 65 מ"מ אורך ו-5 מ"מ קוטר.

סקלת הטמפרטורה של העקומה מתקבלת ע"י הכנסת דגם סטנדרטי בצנור הצורנית, סמוך לדגם הנסוי. הדגם הסטנדרטי עשוי מחומר "Pyros" - נתך של ניקל, כרום וטונגסטן. כיול סקלת הטמפרטורה נעשה באמצעות דגם פלדה המכיל 0.9% פחם. כיול סקלת ההגדלות נעשה גם ע"י ה- "Pyros".

המכשיר מאפשר שתי הגדלות: $K_1 = 150x$ $K_2 = 75x$

שעורי החמום הם 300^oC/שעה או 150^oC/שעה.

הכנת הדגמים:

א) <u>גופים קרמיים בלתי שרופים:</u> מנסרים את הדגם לגודל הנ"ל בעזרת משור ומלטשים אותו.
כאשר החומר בא בצורת אבקה מכינים בצק עם מים ומעצבים אותו בצורת גליל של 5 מ"מ קוטר, וקצת מעל ל-65 מ"מ אורך. אחרי היבוש מנסרים את הדגם לאורך המדויק.

ב) <u>מוצרים שרופים:</u> מנסרים את דגם המוצר בעזרת משור קרבורונדום או יהלום.

ג) <u>זיגוגים:</u> מכינים גוש של זיגוג ע"י הכנסת אבקה לתבנית עשויה מהגוף הקרמי אשר לו הזיגוג מיועד ושורפים בתנור לזיגוג. מנסרים את הגוש לגודל המתאים בעזרת משור יהלום.
במקום שיטה זאת אפשר גם להכין טבליות מהזיגוג ולשרוף אותן על פלטה עשויה מחומר קרמי בעל מקדם התפשטות מעל לזה של הזיגוג, כגון: אריח קיר בלתי מזוגג. כך נתקבלת פלטה של זיגוג מותך, אשר אפשר לנסרה במשור יהלום.

חישוב מקדם ההתפשטות בקו ישר:

$$\alpha_{t_1-t_2} = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)} \qquad (1)$$

$\alpha_{t_1 - t_2}$ = מקדם ההתפשטות הממוצע בין הטמפרטורות t_1 ו- t_2

l_1 = אורך הדגם בטמפרטורה t_1

l_2 = אורך הדגם בטמפרטורה t_2

מקדם ההתפשטות בטמפרטורה מסוימת t :

$$\alpha_t = \frac{dl}{l_o dt}$$

l_o = אורך הדגם בטמפרטורה 0^oC.

באם נציב ב-(1) את הערכים בתחום $25-325^{o}C$ אפשר לקבל את מקדם ההתפשטות ישר מהעקומה.

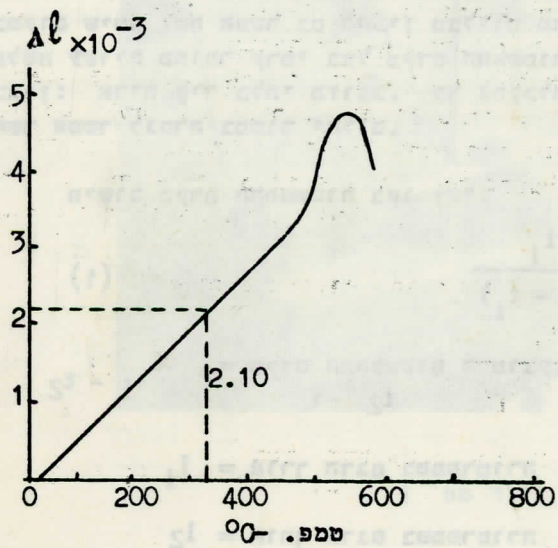
$$3\alpha_{25-325} = \frac{l_{325} - l_{25}}{l_{25}(325 - 25)} \qquad (2)$$

$$3\alpha_{25-325} = \frac{l_{325} - l_{25}}{l_{25} \times 100}$$

במציאות ההפשטות העקומה ניתנת באחוזים או באלפיות ו-3α = מקדם ההתפשטות הנפחי.

$$3\alpha_{25-325} = \frac{\Delta l_{325}}{100} \qquad (3)$$

לדוגמא: בעקומה המופיעה בציור מס' 2 נתקבל:



ציור מס. 2.

(הסקלה ניתנת באלפיות)

$$3\alpha_{25-325} = \frac{\Delta l_{325}}{100}$$

$$3\alpha_{25-325} = \frac{2.10}{1000 \times 100}$$

$$3\alpha_{25-325} = 2.10 \times 10^{-5}$$

$$3\alpha_{25-325} = 210 \times 10^{-7} \ \frac{cm^3}{cm^3 \cdot {}^{o}C}$$

ההאמת הזיגוג לגוף הקרמי מבחינת יצירת מאמצים

כאשר שורפים את המוצרים הקרמיים המזוגגים, פועלים תחילה כחות מתיחה או לחיצה בין שכבת הזיגוג שהתחילה להתקשות אחרי התכתה ובין הגוף הקרמי המצופה. כחות אלו מתחילים לפעול בשלב הקירור של המוצר המזוגג.

לזיגוגים חוזק גבוה בלחץ וחוזק נמוך יחסית במתיחה. במקרה האידיאלי, ההתכווצות ומהירות הקירור של הזיגוג ושל הגוף המצופה הן שוות. במקרה כזה לא יופיעו שום מאמצים והמסקנה היא שמקדם ההתפשטות של הזיגוג שווה לזה של הגוף הקרמי. למעשה רצוי שהתפשטות הזיגוג תהיה נמוכה במקצת, היות ויש לקחת בחשבון גם את מהירות הקירור. שכבת הזיגוג, שהיא דקה, מתקררת במהירות יותר גדולה מהגוף ובכדי למנוע יצירת מאמצים, מקדם ההתפשטות של הזיגוג צריך להיות יותר נמוך מזה של הגוף. אפשר להוכיח זאת באופן מתמטי:

	טמפרטורת הזגוג	טמפרטורת הגוף
זמן θ_1 (התחלת התקשות הזיגוג)	t_1	t'_1
זמן θ_2 (אחרי התקשות הזיגוג)	t_2	t'_2

באותו פרק זמן $\theta_2 - \theta_1$ הזיגוג מתקרר יותר מהר מהגוף, לכן:

$$t_1 - t_2 > t'_1 - t'_2 \qquad (1)$$

אם נקח בנפרד את ההתכווצויות של הזיגוג והגוף, נקבל:

$$\text{זיגוג:} \quad C = (t_1 - t_2)\alpha = \Delta t \alpha$$
$$\text{גוף:} \quad C' = (t'_1 - t'_2)\alpha' = \Delta t' \alpha' \qquad (2)$$

α ו- α' הם מקדמי ההתפשטות הממוצעים של הזיגוג והגוף בתחום הטמפרטורה שבין נקודת ההתרכחות של הזיגוג וטמפרטורת החדר. לפי האמור לעיל:

$$C \leq C' \qquad (3)$$

היות ולא רצוי שהזיגוג יהיה תחת מתיחה אלא, בלחץ או ללא מאמצים בכלל

$$(2),(3) \longrightarrow \Delta t\,\alpha \leq \Delta t'\alpha'$$

$$\Delta t' < \Delta t$$

$$\Delta t - \Delta t > 0 \qquad (4)$$

$$(2) \longrightarrow \quad t = \frac{C}{\alpha} \qquad t' = \frac{C'}{\alpha'} \qquad (5)$$

$$(4),(5) \longrightarrow \frac{C}{\alpha} > \frac{C'}{\alpha'} \qquad (6)$$

$$(3),(6) \longrightarrow \alpha < \alpha' \quad (7)$$

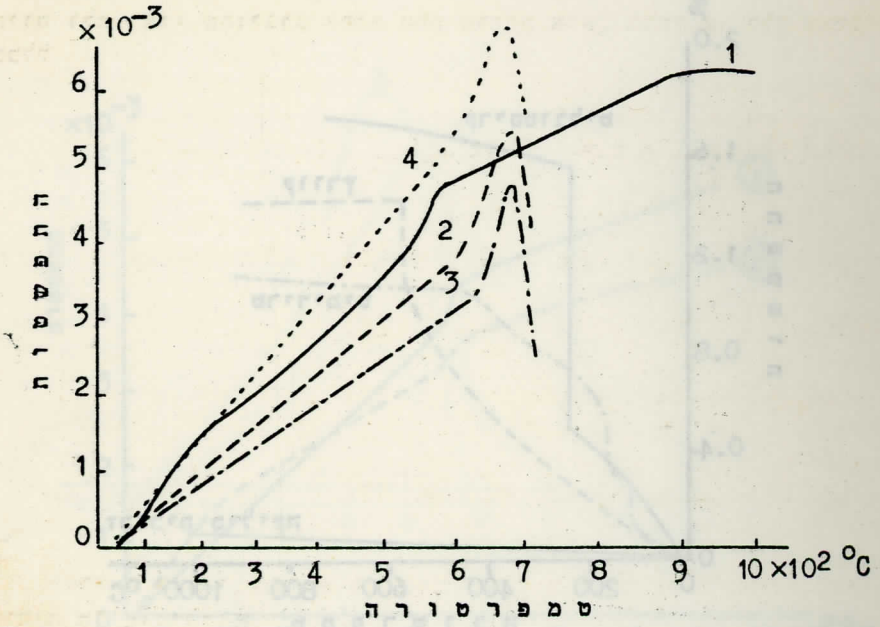
למעשה התנאי הזה לא מספיק, היות והקירור אינו אחיד. צריך שיהיה אי שוויון:

$$(t_1 - t_2)\,\alpha < (t'_1 - t'_2)\,\alpha'$$

$$\therefore \alpha < \left(\frac{t'_1 - t'_2}{t_1 - t_2}\right)\alpha'$$

המסקנה היא: ככל שזמני הקירור של הגוף והזיגוג משתנים יותר, מקדם ההתפשטות של הזיגוג צריך להיות באותה המדיה קטן יותר מזה של הגוף.

הציור מס' 3 מראה עקומות התפשטות של גוף קרמי וזיגוגים אשר נמצאים במצבים שונים לגבי המאמצים שפועלים עליהם.



ציור מס. 3

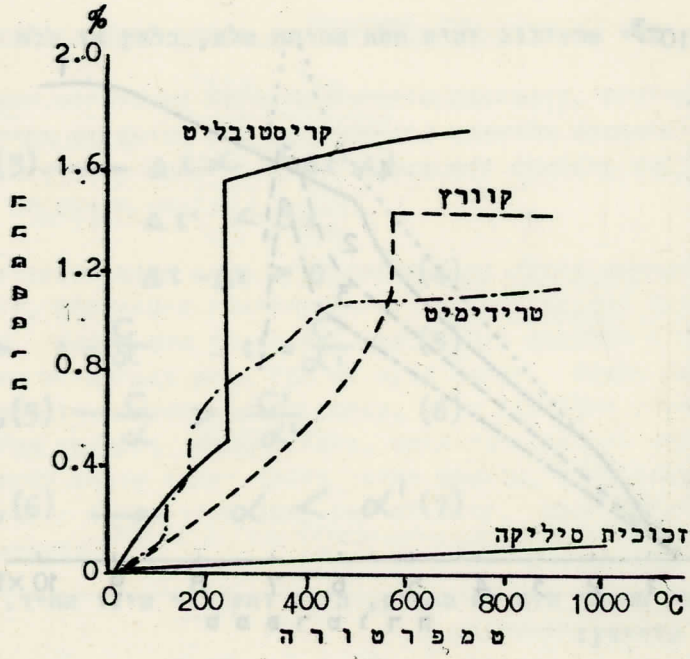
1 - גוף; 2 - זיגוג תחת לחץ נמוך (המקרה הטוב);
3 - זיגוג תחת לחץ גבוה; 4 - זיגוג תחת מתיחה.

כאשר הזיגוג נמצא תחת לחץ גבוה נגרם הפגם הידוע בשם shivering - המתבטא בפצוצים, בעיקר בקצוות הכלי.

במקרה שהזיגוג נמצא תחת מאמצי מתיחה נגרם הפגם הידוע בשם crazing - רשת נימית.

<u>עקומות התפשטות של מינרלים של צורנית</u> -

ציור מס' 4 מראה את עקומות התפשטות הטרמית של המינרלים העיקריים של צורנית: קוורץ, קריסטובליט וטרידימיט, כמו כן של זכוכית ה- SiO_2. היות וברוב הגופים הקרמיים נמצא באחת מהצורות הללו, יש לעקומות אלו ערך מעשי רב.

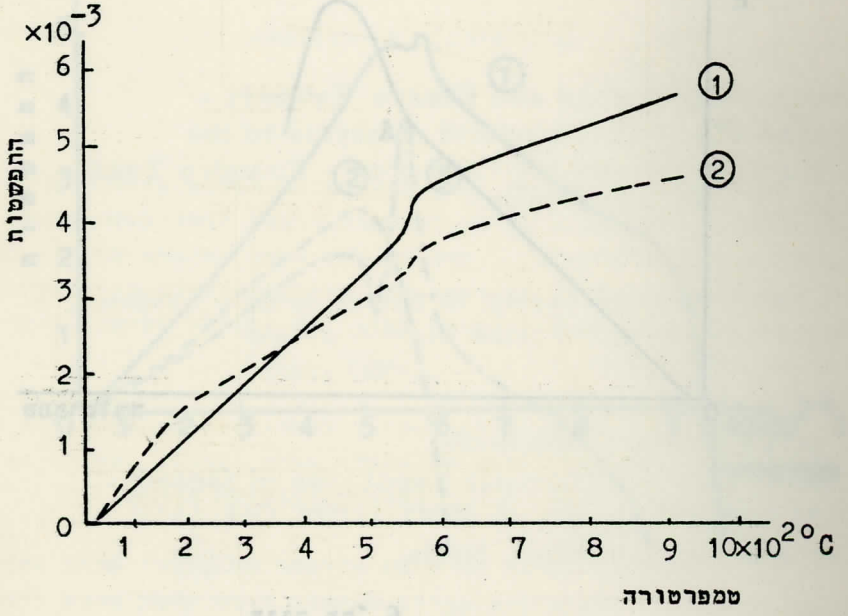


ציור מס.4

הערכת הקוורץ "החפשי" והקריסטובליט בגופים קרמיים.

הציור מס' 5 מראה עקומות התפשטות טרמית של שני גופים. לפי "קפיצת" העקומה בסביבת 573°C, שהנה טמפרטורת האינברסיה של הקוורץ α ל- β ניתן להעריך כמות הקוורץ בגוף. מצד שני, בסביבת 180-200 °C קוראת האינברסיה של הקריסטובליט α לקריסטובליט β.

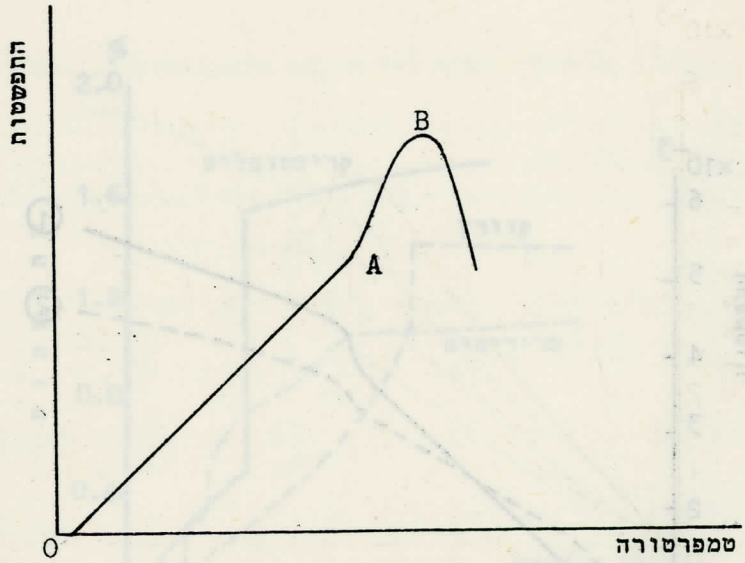
בציור, העקומה מס' 1 מראה נוכחות כמות ניכרת של קוורץ, ללא קריסטובליט. העקומה מס' 2 מראה נוכחות של הרבה קריסטובליט ומעט קוורץ.



ציור מס' 5

התפשטות של זיגוג, אמאיל וזכוכית.

באופן יסודי האמאילים והזיגוגים מהווים סוגים של זכוכית ועקומות ההתפשטות שלהם דומות זו לזו. ראה ציור מס' 6. בקטע OA ההתפשטות הנה בקו ישר.



ציור מס' 6

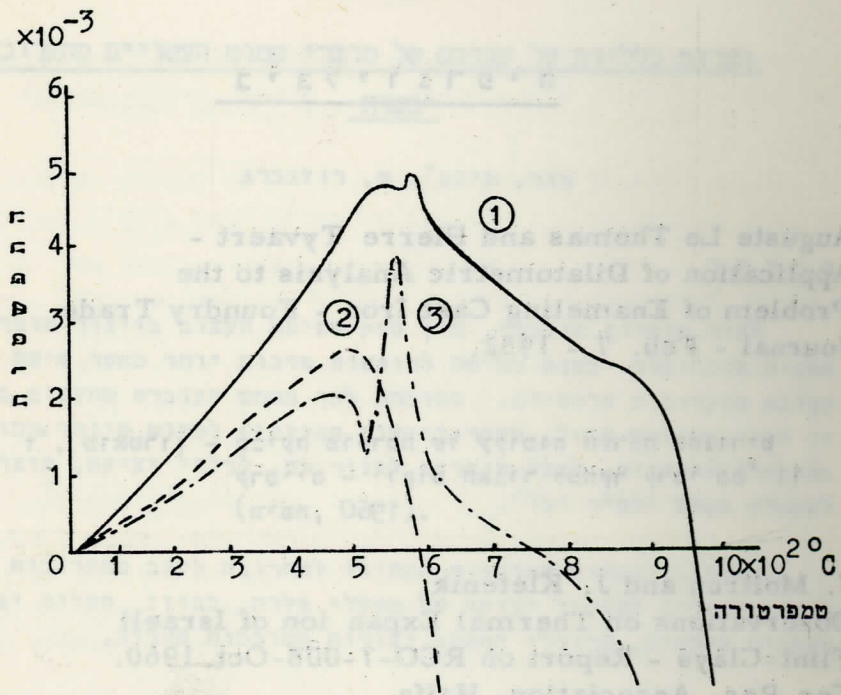
A - נקודת הטרנספורמציה. Transformation point

B - נקודת ההתרככות Softening point

ביקורת טיב החרסיות

עקומות ההתפשטות הטרמיות מאפשרות לקבוע בגבולות מסוימים את טיב החרסיות. רצוי לבדוק בדילטומטר את ההתפשטות במצב הגלמי וכ"כ אחרי שרפה בתנור בטמפרטורות בהן שורפים את המוצר.

הציור מס' 7 מראה שלוש עקומות של חרסיות מהנגב כאשר הדגמים הוכנסו בדילטומטר במצב גלמי.



ציור מס' 7

1. חרסית "53" - 64% SiO_2 - ראה ה"שיא" של הקוורץ ב- 573°C לערך.

2. חרסית "5-S" - 52% SiO_2.

3. חרסית "דמוית צור" עם 60% אלומינה - ראה ה"שיא" של ה"בומיט" ב-530°C לערך.

<u>קביעה מוקדמת של עקומות השרפה בתנורים קרמיים</u>

לשיטה זאת יש חשיבות גדולה מאד בתכנון תנורים קרמיים והיא נתאפשרה הודות לדילטומטר.

ראה מס' (2) ב"מראה מקום".

ב י ב ל י ו ג ר פ י ה

1) Auguste Le Thomas and Pierre Tyvaert - Application of Dilatometric Analysis to the Problem of Enameling Cast Iron - Foundry Trade Journal - Feb. 7 - 1952.

2) ז׳. מואטרון - קביעה מוקדמת של עקומות השרפה בתנורים קרמיים - ילקוט האגוד למחקר קרמי מס׳ 11 (חיפה, 1960).

3) J. Moitron and J. Kletenik Observations on Thermal Expan ion of Israeli Flint-Clays - Report on RCO-7-008-Oct. 1960. Cer. Res. Association, Haifa.

4) פגמים בזגוגיות - פ׳. שריינר - ילקוט האגוד למחקר קרמי מס׳ 6.

הערות כלליות על עצובם של מוצרי שמוט העשויים מתערובות יבשות

מגר. אינג'. ש. רוזנברג

הקדמה

לאור הנסיון הנוכחי, אין ספק ששיטת העצוב בייצור מוצרי השמוט מתערובות יבשות מביאה לתוצאות טובות יותר מאשר שיטת עצובם מתערובות פלסטיות. כהוכחה לכך תשמש העובדה שהעצוב בשיטה זו הולך בהתמדה וגדל, בעקר בייצור המוצרים לשמוש מיוחד המותקנים במקומות אחראיים, למשל מוצרים לתנור רם, לדליי יציקה, מוצרים לתעשית המלט והסיד וכו'.

בארה"ב ובברית המועצות התחילו לאחרונה לעצב מתערובות יבשות מוצרים לאולמי יציקה של מפעלי פלדה, כגון: תעלות יציקה, משפכים מסתמים, שרוולי המסתם וצורות מסובכות אחרות.

על אף היתרון הברור של שיטת הייצור של מוצרי שמוט מתערובות יבשות, התפתחותה היא איטית מכיון שהעצוב דורש שיטה אחרת ויחד עם זאת מתקנים אחרים מאשר בייצור מוצרי שמוט מתערובות פלסטיות. הבדל זה הוא תוצאה מתכונות פיסיות שונות של התערובות היבשות והפלסטיות הקובעות את כושר עצובן.

מטרתו של מאמר זה, היא לדון בקוים כלליים בתכונות אלה, השפעתם של גורמים טכנולוגיים על הווצרותן ונסיון למצוא את המסקנות הנובעות מהתכונות כדי להשתמש בהן למטרות מעשיות.

1) תכונות העצוב של התערובות היבשות והפלסטיות

בתערובות פלסטיות בעלות מקדם חיכוך פנימי נמוך, הלחץ מתפשט במדה שווה בכל הכוונים בהתאם לחוק פסקל. הפסדי לחץ הנגרמים ע"י החיכוך בין חלקיקי התערובת ובין התערובת והתבנית הם לא נכרים, ולכן הלחץ של התבנית הכובשת מועבר במלואו על כל חלקיקי התערובת, ונוצרת אפשרות לעצב מתערובות פלסטיות מוצרים בעלי מבנה מסובך ובעלי עובי נכר, אפילו אם הלחץ הכובש אינו גדול.

בתמונה שונה לחלוטין נתקל במקרה של תערובות יבשות שבהן, כתוצאה מהחיכוך הגדול בין חלקיקי התערובת לבין עצמם ובינם לבין

דפנות התבנית, לחץ הכבישה קטן במדה נכרת בגלל החיכוך ולכן יש הכרח להשתמש בלחצים גבוהים. את הדברים הנ"ל אפשר לבטא במשוואה הבאה:

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

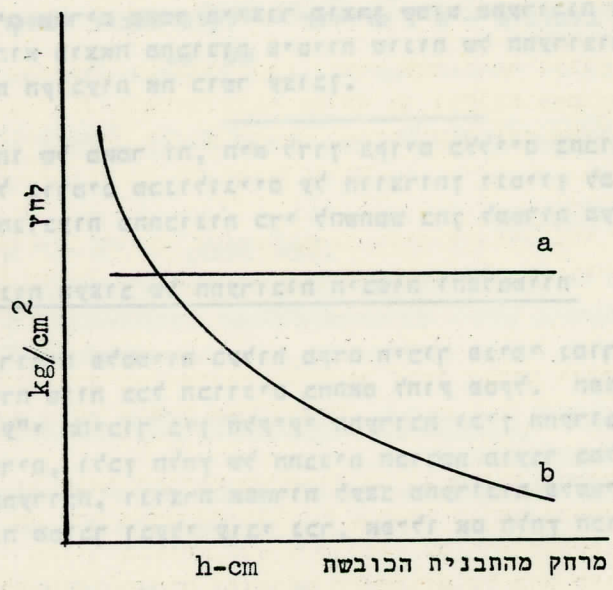
P - לחץ הכבישה (לחץ התבנית הכובשת)

P_1 - הלחץ המנוצל הדרוש להדוק התערובת ולהתגברות על החיכוך הפנימי.

P_2 - הפסדי הלחץ הכרוכים בהתגברות על החכוך בין התערובת ובין דפנות התבנית (חיכוך חיצוני).

P_3 - הפסדים הכרוכים בהתגברות הלחץ המקומי (לחץ יתר).

כתוצאה מההפסדים הללו ההולכים וגוברים עם הגדלת המרחק מהתבנית הכובשת, הלחץ המנוצל של הכבישה קטן עם המרחק. כתוצאה מכך נוצר הידוק בלתי אחיד של התערובת והבדלי תכונות בגבהים שונים של המוצר המעוצב. חלוקת הלחץ בתבנית בשעת כבישת התערובת היבשה והפלסטית נתנת בגרף מס. 1.



גרף מס' 1

חלוקת לחץ העיצוב בתלות ממרחק מהתבנית הכובשת

a - תערובת פלסטית; b - תערובת יבשה.

עקומת הלחץ בתערובת יבשה בהתאם למרחק של התבנית הכובשת היא בעלת צורה של פונקציה לוגריטמית שאותה מבטא בלנדין בנוסחה -

$$P_h = P_o . e^{-\frac{khn}{F}}$$

P_h - הלחץ במרחק h מהתבנית הכובשת.

P_o - לחץ ע"י התבנית הכובשת.

k - המקדם המאפין את החיכוך החיצוני בין התערובת והתבנית f וזוית שפיכתה של התערובת, ז.א. החיכוך הפנימי φ,

$$k = f . tg^2(45^o - \varphi/2)$$

e - הבסיס של הלוגריטמים הנטורליים.

R - הרדיום ההידראולי $R = F/n$

F - הוא שטחו של המוצר המעוצב המאונך לכוון הפעלתו של הכח.

n - היקפו של השטח (פרימטר).

מאנליזת משואת בלנדין - $P_h = P_o . e^{-\frac{khn}{F}}$

נובעת המסקנה, כי מתערובות יבשות קשה יותר לכבוש צורות בעלות עובי נכר h ובעלות היקף מפותח n ובעלות שטח קטן F. עם זאת יש לציין שעל כבישת המוצר משפיע בעקר יחס העובי לשטח המוצר h/F ולא עוביו של המוצר בלבד.

את עוביו של המוצר המעוצב אפשר תמיד להגדיל בלי שהדבר ישפיע באופן שלילי על כבישתו, אם יחד עם הגדלת העובי יוגדל גם שטח העצוב.

לשם השגת הכבישה האחידה משתמשים עכשו לעתים יותר קרובות במכבשים שבהם הלחץ מופעל מ-2 צדדים.

במקרה זה תנאי הכבישה משתפרים מכיון שעובי הכבישה יהיה רק h/2. את ערך מקדם החיכוך k, שכפי שנראה מהמשואה גם לו יש השפעה על תהליך הכבישה, אפשר להקטין על ידי זה שמוסיפים לתערובות פלאסטיפיקטורים וחומרים המשפיעים על מתח הפנים, או על ידי העלאת רטיבותה של התערובת עד לגבולות מסוימים.

2) <u>השפעת גורמים טכנולוגיים על עיצוב מוצרי שמוט מתערובות יבשות.</u>

<u>א. רטיבות התערובת</u>

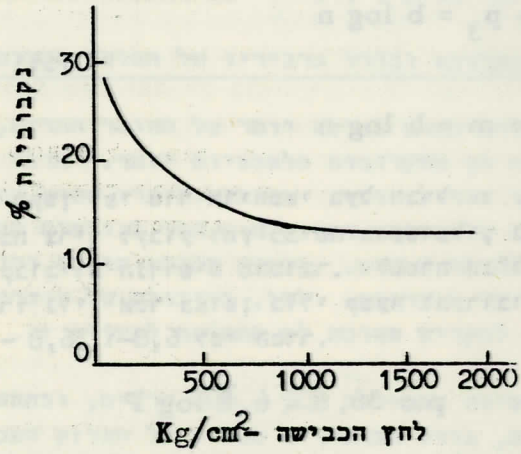
תערובות יבשות שמוטיות מכילות 10% - 4% מים. תערובות בעלות תכולת מים זאת הן במצב של אבקה והן ניתנות להידוק בשעת כבישה. אחוז המים בתוך התערובת נקבע בעיקר על ידי 2 גורמים: על ידי לחץ העיצוב ועל ידי היחס שבין החומר המרזה והחומר הפלאסטי. למעשה בתערובות שמוטיות יבשות, הרטיבות הגבולית תלויה בפלאסטיות של החרסיות המקשרות. במקרה שמקטינים את תכולת החרסית בתוך התערובת או במקרה שמשתמשים בחרסיות לא-פלאסטיות, קטנה גם רטיבותה של התערובת. תערובות שמוטיות מחומרי גלם ישראליים בעלות תכולה של 50% - 40% של החומר המרזה, מעצבים בדרך כלל עם רטיבות של 7% - 5% ומשתמשים בלחץ כבישה גבוה. לכל תערובת, בהתאם לתכונותיה, כגון דרגת ההרזיה וגורמים אחרים, קיימת רטיבות אופטימלית שבה המוצר המוגמר למחצה הוא בעל משקל נפחי מקסימלי. המים שבתוך התערובות יוצרים בשעת עיבודה וכבישתה עטיפות דקות מסביב לגרגירי השמוט והחרסית, ועל ידי כך מקטינים את החיכוך בין החלקיקים, ומקילים על הידוק המוצר המוגמר למחצה בעת הכבוש. לכן רטיבות התערובת היא בעלת השפעה ברורה על התפשטות לחץ הכבישה עליה. במידה שמגדילים את הרטיבות יקטנו הבדלי ההידוק של שכבות התערובת במרחקים שונים מהתבנית הכובשת.

כפי שהזכרתי כבר, בכל מקרה קיימת רטיבות אופטימלית של התערובת, שאותה אין לעבור. את הרטיבות קובעים בדרך נסיונית. עדף של מים מפריע בשעת העיצוב בהתקרבות חלקיקי התערובת, ולאחר איודם בשעת הייבוש גורם להעלאת נקבוביותו של המוצר המוגמר למחצה. מלבד זאת, עודף של מים בתוך התערובת משווה לה בשעת העיצוב תכונות אלאסטיות, אשר מסיעות להווצרות הסתדקויות בתוך המוצר לאחר הפסקתו של הלחץ המעצב.

<u>ב. לחץ הכבישה</u>

גובה הלחץ בשעת עיצובן של התערובות היבשות משפיע במידה נכרת על התכונות הפיזיות של מוצרי שמוט מוכנים. עם העלאת לחץ העיצוב קטנה נקבוביותם של המוצרים, עולה חוזקם המכני, והתנגדותם להשפעת גורמים אירוזיים.

את תלות נקבוביותם של המוצרים בגודל לחץ הכבישה אפשר לתאר כפונקציה לוגריטמית. (גרף מס. 2).



הלות נקבוביותם של מוצרי שמוט בלחץ כבישתם

כפי שמסתבר משרטוט מס' 2, העלאת לחץ הכבישה משפיעה באופן חיובי רק עד גבול מסוים. המשך העלאת הלחץ איננו מוצדק מבחינה משקית, מכיון שהוא גורם רק להקטנה מבוטלת של הנקבוביות. את הדבר אפשר להוכיח באופן מתמטי. עקומת תלות הנקבוביות בלחץ העיצוב לפי בירז'נוי, מתבטאת במשוואה: $p = a - b\log P$

-b, a מקדמים המבטאים "פריחות" התערובת השפוכה לתוך התבנית -a וכושר התערובת להתהדק - b .

P - לחץ הכבישה.

p - הנקבוביות הממוצעת.

נניח, שנגדיל את לחץ הכבישה בטור גיאומטרי, בעל מכפלה - n.

$$p_1 = a - b \log P$$
$$p_2 = a - b \log nP$$
$$p_3 = a - b \log n^2P$$
$$p_q = a - b \log P_n^{q-1}$$

אז הנקבוביות

$$p_1 - p_2 = b \log n$$

$$p_2 - p_3 = b \log n$$

וכך הלאה, ולכן -

$$\Delta p = m = b \log n$$

הנקבוביות תקטן לפי טור אריתמטי בעל הבדל n . מכאן המסקנה, שלכל תערובת צריך לקבוע לחץ כבישה אופטימלי, בו נגיע לחוזק המכני והנקבוביות הנדרשים מהמוצר. למטרה הנ"ל אפשר להשתמש בנוסחת בירז'נוי, אשר באופן כללי קבעה לתערובות שמוט ערך המקדמים a ו- b - 36,8 ו-6,8 לפי הסדר.

$$p = 36,8 - 6,8 \log P$$

לכל תערובת מסוימת אפשר לקבוע את המקדמים בדרך נסיונית, על ידי כבישת התערובת בשני לחצים שונים P_1 ו- P_2 וקביעת נקבוביות של הדגמים המעוצבים p_1 ו- p_2 . אז נקבל 2 משוואות, עם 2 נעלמים:

$$p_1 = a - b \log P_1$$

$$p_2 = a - b \log P_2$$

מהן אפשר לחשב את ערך המקדמים.

באופן מעשי בודקים את דרגת הכבישה על ידי קביעת משקל נפחי של המוצרים המוגמרים למחצה, תיכף לאחר כבישתם. במקדם זה אפשר להשתמש בעקיפין לקביעת לחץ הכבישה האופטימלי, כיון, שקיימת תלות ליניארית בין המשקל הנפחי של המוצר המוגמר למחצה, ולבין הנקבוביות של המוצר המוגמר. לחץ הכבישה המקסימלי לכל תערובת מוגבל בגודל, שמעליו נוצרים בתוך המוצרים הכבושים סדקים המאונכים לכוון הכבישה. הסדקים הללו מופיעים במוצרים המוגמרים למחצה ובמוצרים מוכנים לאחר שריפתם.

מלבד גודל לחץ הכבישה נועדת למהירות עליית הלחץ השפעה נכרת על הידוק התערובת בשעת העיצוב. בשעת עלייה מהירה של הלחץ (דבר שקורה במכבשים מכניים), ההידוק הוא קטן, מאשר במקרה עיצוב המוצר במכבשים הידרוליים שהלחץ עולה בהם באופן הדרגתי. להידוק טוב של

המוצרים ניתן להגיע במכבשים פריקציוניים, הפועלים ע"י מכה, בהם השפעה נוספת על הידוק נודעת לזעזוע, אשר קורה, כאשר מעצבים את המוצר בעזרת מכבשים מטיפוס זה. הזמן האופטימלי של המשך לחץ העיצוב צריך להיות לפי ממיקין 4-3 שניות.

3) דרגת הרזיית התערובת וגודל גרגיריו של החומר המרזה

התערובות המכילות כמות גדולה יותר של החומר המרזה, הן פחות מתאימות לכבישה מן התערובות פלאסטיות יותר. הדבר נובע בעיקר, ממקדם החיכוך הגדול יותר. בייצור מוצרי שמוט מתערובות יבשות, גודל גרגיריו של החומר המרזה הוא אחד הגורמים העיקריים המשפיעים על הידוק המוצר הכבוש. השפעת הגורם הולכת ועולה עם הגדלת דרגת הרזייתה של התערובת. לכן, בייצורם של מוצרים מתערובות יבשות, יש להקדיש תשומת לב מתאימה לבעייה זו.

בתערובות פלאסטיות המכילות 50% - 40% חרסית, ובהתאם לכך 60% - 50% חומר מרזה, גודל הגרגירים משפיע על החוזק המכני, העמידה בפני זעזועים טרמיים, התנגדות להשפעות איזוריות, ובמידה פחותה גם על נקבוביות. נקבוביותן של תערובות כאלה תלויה יותר בגבול העליון של גודל הגרגירים, מאשר בתכולה של הפראקציות הבודדות.

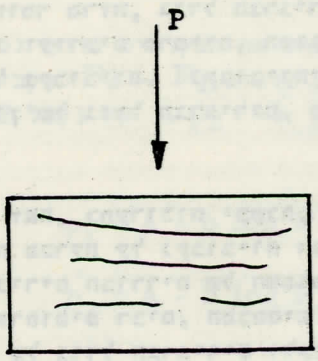
לעומת זאת, בתערובות יבשות, לגודל הגרגירים של החומר המרזה נודעת השפעה מכרעת על נקבוביות המוצרים, מכיון שהנקבוביות תלויה בהידוק הגרגירים הבודדים של השמוט. על גודל הגרגירים של התערובות היבשות יש פרסומים רבים, המבססים באופן תיאורטי את החלוקה האופטימלית של גודל הגרגירים ולכן לא אדון בבעיה זו כאן.

מהעבודות שנכתבו על הנושא הזה מסתבר, שיש להשתמש בהרכב כזה של גודל הגרגירים של החומר המרזה כך, שכל פראקציה הבאה לפי הסדר, תהיה הרבה יותר דקה מזו, שבאה לפניה. למשל, לתערובות המורכבות מ-2 פראקציות של גודל הגרגירים ביחד, ההפרש בין קוטר הגרגירים צריך להיות 1:10 - 1:20. על כן אנו שאופים לכך, שבתערובות שמוטיות על ידי הפראקציה של 2-1 מ"מ תהיה גם פראקציה בעלת גרגירים קטנים יותר מאשר 0,1 מ"מ.

יש להוסיף שסדור מתאים מהודק של הגרגירים מביא לא רק להידוק מכני של התערובת, אלא גם משפיע באופן חיובי על תהליכים פיסיוכימיים המתרחשים בשעת שריפתם של המוצרים.

4) <u>החסרונות בעצוב המוצרים מתערובות יבשות</u>

ליצורם של מוצרי שמוט מתערובות יבשות יש גם צד שלילי מסוים בהשואה לשיטת ייצורם מתערובות פלסטיות. בראש וראשונה יש לציין שתחום השמוש הוא עדין מוגבל. יש צורך להשתמש במתקנים כבדים ויקרים יותר ביחוד במכבשים וגם בלאי התבניות הוא גדול יותר. לצדדים שליליים אלה יש פיצוי באיכות המוצר ובהוצאות הקטנות יותר של הייצור. חסרון מסוג אחר בעיצוב המוצרים מתערובות יבשות הם הפגמים האפיניים לשיטת עיצוב זאת שבהם אין אנו נתקלים בשעת עיצוב המוצר מתערובות פלסטיות. הפגם האפיני ביותר הם הסדקים הנוצרים במוצרים במישור העיצור (שרטוט מס' 3). הפגם הזה יכול להופיע במוצר המוגמר למחצה תיכף לאחר עיצובו או רק לאחר שריפת המוצרים.



שרטוט מס' 3 - מבנה השכבות בתוך המוצר הנוצר כתוצאה מלחץ יתר.

הסדקים האלה, הקרויים גם שכבות, נגרמים גם על ידי כבישה יתר של התערובת, הבאה מתוך כך שעולים על הלחץ הקריטי המותר בתנאי הכבישה הנתונים. אחד הגורמים להורדת הלחץ הקריטי בעיצוב המוצר יכול להיות גם הרכבם של הגרגרים והרטיבות הבלתי אחידה של התערובת הגורמת להקטנת החוזק המכני, לקריעה של המוצר הכבוש.

המכניזם של הווצרות השכבות מבוסס על כך שבתוך התערובת בעלת התכונות האלסטיות, פועלים כוחות פנימיים בעקר בכוון נגדי ללחץ העיצוב.

לאחר הפסקת הלחץ הכוחות הללו גורמים להתפשטותו של המוצר המוגמר למחצה. כאשר ההתפשטות אינה אחידה או החוזק המכני אינו מספיק נגרמים סדקים בתוך המוצר.

התכונות האלסטיות של התערובת עולות כשהתערובת מכילה עודף של מים או פרקציות אבקיות דקיקות ביותר. גם הבלאי של התבניות ביחוד של הפלטות הצדדיות והחזיתיות מסיע להוצרות השכבות, מכיון שבמקרה זה המוצר בשעת חילוצו מהתבנית נלחץ על ידי חתך קטן יותר של חלק התבנית שאינו משופשף.

גורם נוסף המסיע להוצרות השכבות הוא לכידת האויר בתוך התערובת (לפי דעתם של מחברים אחדים זאת היא הסבה העקרית). האויר שנלכד גורם לקריעת המוצר בעקר בכוון נגדי ללחץ העיצוב.

פגם אחר שבו נתקלים לעתים קרובות בשעת עיצוב המוצר מתערובות יבשות, הוא הכבישה הבלתי אחידה של המוצר המתבטאת בשבירותן של הצלעות והפנות. הגורם לפגמים מסוג זה יכול להיות לחץ עיצוב בלתי מספיק, ערבוב לקוי של התערובת, או שפיכה בלתי שווה של התערובת להוך התבנית. על כבישת התערובת משפיעה באופן נכר שיטת הכנתה.

השיטה המבוססת על הרטבה מוקדמת של החומר המרזה וערבובו של החומר המורטב עם חרסית טובה יותר מן השיטה המבוססת על ערבוב משותף של כל מרכיבי התערובת במצב יבש עם הרטבה לאחר מכן. מצד שני הרטבה בעזרת עיסה נותנת תוצאות טובות יותר מן ההרטבה במים. רצוי להוסיף את העיסה במצב מפוזר.

ב י ב ל י ו ג ר פ י ה

1) פ.פ. בלנדין - "אוגניאופורי" - 1938 מס. 3, דף 1081-1084.

2) א.מ. בירז'נוי - "אוגניאופורי" - 1947 מס. 3, דף 124-130.

3) ממיקין - סטרילוב - "טכנולוגיה אוגיאופורב" 1959, דף 234.

4) ה. סלמנג.

5) Die physikalischen und chemischen Grundlagen der Keramik. Berlin, 1954 - דף 221

THE DRY PRESSING OF FIRECLAY PRODUCTS.

by Magr. Ing. S. Rosenberg

(Abstract)

The advantages of dry-pressing versus plastic forming are reviewed.

A mathematical expression is given for the pressure in a dry-pressed mixture as a function of the distance from the die surface and the external and internal friction coefficients.

The following factors affecting dry-pressing are detailed:

(a) degree of moisture,

(b) forming pressure,

(c) amount and size of grog in the mix.

Some disadvantages of dry-pressing are mentioned.

DILATOMETRIC ANALYSIS OF CERAMIC RAW MATERIALS AND PRODUCTS

Ing. J. Kletenik, Ceramics Research Association, Haifa

(Abstract)

The operation of a Chevenard mechanically registering dilatometer is explained, as well as the preparation of test specimens of raw and pre-fired ceramic masses and glazes.

A detailed discussion of the glaze-fit problem is presented, arriving to the conclusion that the larger the difference between the cooling periods of body and glaze, the smaller the expansion coefficient of the glaze has to be.

A photograph of the Chevenard dilatometer is shown (fig. 1) as well as some typical thermal expansion curves of raw and fired ceramic bodies, glazes, glasses, enamels, clays and silica minerals.

The application of dilatometric analysis in the predetermination of firing curves of ceramic products is also commented on.

Four references are given.

BLOATED AGGREGATES FOR STRUCTURAL CLAY PRODUCTS

by Ing. Y. Franzus.

(Abstract)

Local clays available for structural products are usually lime-bearing and thus suitable for the manufacture of bloated aggregates.

Building units made of bloated aggregate have the following advantages over common fired clay bricks:

They are (a) less expensive to produce,

(b) cheaper in actual construction (larger units may be used),

(c) better in heat-insulating properties due to their cellular structure.

An explanation is given for the bloating mechanism in bloated clays.

The production of bloated aggregates and fired structural units made of these aggregates is described.

The author recommends a research program on bloated clays to be carried out by the laboratory of the Ceramics Research Association of Israel.

THE ENAMELING OF ALUMINUM

by Dr. R. Hammer, Ceramics Research Assoc., Haifa

(Abstract)

The enameling of aluminum and its alloys is briefly reviewed. Nominal compositions are given for wrought aluminum and cast aluminum alloys, suitable for enameling. Typical enamels are divided into three groups:

(a) lead-bearing,
(b) phosphate glasses, and
(c) barium type.

Among the advantages of enameled aluminum are light weight, flexibility (in sheet form) and good resistance to weathering (including salt-water corrosion).

VOCATIONAL EDUCATION IN CERAMICS

by E. Wishinski, Ceramics Research Assoc., Haifa

(Abstract)

The growth and development of the ceramic industry in Israel has created a shortage of ceramic technicians and skilled workers.

Three basic requirements for an adequate educational program in ceramics are:

(a) A study program following the general curriculum of ceramic vocational schools in Europe,
(b) Up-to-date equipment for practical training,
(c) A teaching staff well-versed in all branches of ceramic technology.

An outline is given for a two-year intensive program for the training of ceramic technicians.

Gloeckler A: (Untersuchungen ueber Sielhauteinfluesse
(auf Technik und Hygiene
Gloeckler P: ("Der Bau und die Bauindustrie"Nr.15/1955.
Wenten: Kanalisations-Handbuch. 1958. Koeln.
Forbes: Studies in ancient Technology.Leiden 1955.
Cohn: Americ. J. Public Health, 46(1956), 601.
McBrown: Americ. J. Public Health, 39(1949), 6.
Winslow: The cost of sickness and the price of health. -"WHO-Mongraph-Series" Nr. 7, 1952, Geneva.
Heyd: Die besondere Bedeutung von Steinzeugroehren fuer Staedteabwaesserungsanlagen. "Gesundheits-Ingenieur" Nr. 43/1924.
Schuen: Die Herstellung der Steinzeugroehren. 1952. Halle.
Harkort: Steinzeugrohre-ihre Herstellung und ihre Eigenschaften. -"Deutscher Baumarkt" Bd. 53. Nr. 44/1954, 1326 - 1390.
Niebling: Die Klinker fuer technische Verwendungszwecke, 1952. Halle.
Singer: Materials for Sewerage Pipes. -"Transactions of the British Ceramic Society", April 1939.
Koschare: Die Bedeutung des pH-Wertes fuer Ab-und Grundwasser. -"Kommunalwirtschaft" Nr. 2-3/1955.
DIN 1230: Rohre, Formstuecke, Sohlschalen und Platten aus Steinzeug.
DIN 4033: Betonrohre. Leitsaetze fuer die Ausfuehrung von Betonrohrleitungen.
DIN 18306: Teil C. Abwasserkanalarbeiten.

Only under very definite conditions may cement pipes be used to replace high-grade stoneware pipes, i.e., that no large quantities of acid wastes are discharged into the pipes - that sulphuretted hydrogen gas of high concentration is avoided - and that the ground is not containing ground-water highly impregnated with carbon dioxide or sulphuretted hydrogen - further that chemical aggression does not take place later on through changing of the existing sewage conditions.

But these definite conditions are only fulfilled in very exceptional cases and nobody can give a real forecast as local existing conditions may be different in the future through natural and industrial developments.

Only stoneware pipes are suitable for the present and possible changed conditions centuries hence, with the exception of hydrofluoric acid, as well known to manufacturers.

BIBLIOGRAPHY

Loeschner: Oeffentliche Gesundheitspflege und die Kanalisations-Keramik. 1956.

Glehn: Steinzeug-Kanalisation schuetzt vor Seuchen.- Desinfektion und Gesundheitswesen/ Februar 1955.

Wenten: Zur Frage der Bestaendigkeit von Kanalisationsleitungen. "Das Baugewerbe" Nr. 21/1957.

Wenten: Vermeidung von Fehlern beim Einbau von Kanalisationsleitungen. "Das Baugewerbe" Nr. 24/1958.

Wenten: Rauhigkeitswert bei Verwendung von Steinzeugrohren. -"Das Baugewerbe"Nr.7/1959.

Helm: Abflussgeschwindigkeit in Kanalleitungen. "Staedtehygiene" Nr. 3 und 5/1957.

Gloeckler A: Beitraege zur Frage der Materialwahl in der Kanalisationstechnik.-"Das Baugewerbe" Nr. 14/1958.

for cement pipes.

31. Asbestos is an acid -resisting material but in the form of asbestos spun pipes this material is combined with Portland cement or alumina cement. Both cements are soluble in acid which is a fact proved many times. Therefore asbestos spun pipes slowly but surely must break down if they are attacked by acids as the cement will be dissolved and washed out in spite of the acid-resistant properties of the asbestos. Today it is difficult to evaluate the lifetime of asbestos spun pipes in comparison with stoneware pipes. Under excellent conditions, and should no chemical aggression occur against the asbestos spun pipes, both types of pipes may resist for many centuries. Stoneware pipes are preferred as there is always the risk of what would happen with the cement- or asbestos pipes if a chemical aggression should take place or start now or after ten years.

IV. CONCLUSIONS

To summarize, concrete pipes should only be used if there is a lasting guarantee that neither corrosion nor damage to the pipes by abrasion can take place. In cases where it is impossible to say if the sewage conditions will be altered or not, only stoneware should be used as the material for drain pipes. There are many examples from the practice abroad about the harm caused by the use of concrete pipes. Literature describing the decomposition of concrete pipes in Germany, Austria, England, France, Australia, Scandinavia and many other countries is available and will be discussed in a later report.

Finally, at the present time it may be possible to say that the use of even high-class concrete pipes for household and industrial connections would not be in the best economic interest of the community and, therefore, the whole question is of a national economic significance.

ates, chlorides, and so on, in order to mention some.

27. Salt-glazed stoneware pipes show a low water absorption and even unglazed, are practically water-tight. Further,they should withstand 1.5 kg/cm^2 internal hydraulic test pressure on the barrels of the pipes without showing signs of injury or leakage. The water absorption is varying from 2.5% to 4% generally,in an one hour boiling water test.

28. The wearing effect of sand on the stoneware pipes is practically nil which particularly proves the hardness and smoothness of the stoneware surface. In many towns, thousands of tons of sand may pass through the sewer system annually. (It is stated that concrete pipes are badly injured by a speed of over 1.3 meters per sec. of the discharge as well as damaged by the abrasive effect of sand).

29. The glossy surface of stoneware prevents the increase of bacterial flora and does not allow residues to settle in the chinks, moreover, loss by friction is very small and guarantees the best utilisation of the gradient. (By reason of the roughness of cement all kinds of residues can be settled in the chinks of the surface making an excellent breeding ground for all sorts of bacteria. Hereby H_2S is produced developing sulphuric and other acids. It is stated that certain micro-organisms can change, in a short time, the surrounding fluid pH values from 7 to 4 and therefore the cement is immediately dissolved through the action of such bacteria).

30. The strength of stoneware pipes is superior to the mechanical strength of concrete pipes. Stoneware pipes have a tensile strength of about 100 kg/cm^2 generally compared with about 50 kg/cm^2 for cement pipes. Especially with regard to the compressive strength the difference is obvious, as stoneware pipes have about 15-1700 kg/cm^2 against about 4-500 kg/cm^2 in average

ates, chlorides, and so on, in order to mention some.

27. Salt-glazed stoneware pipes show a low water absorption and even unglazed, are practically water-tight. Further, they should withstand 1.5 kg/cm^2 internal hydraulic test pressure on the barrels of the pipes without showing signs of injury or leakage. The water absorption is varying from 2.5% to 4% generally, in an one hour boiling water test.

28. The wearing effect of sand on the stoneware pipes is practically nil which particularly proves the hardness and smoothness of the stoneware surface. In many towns, thousands of tons of sand may pass through the sewer system annually. (It is stated that concrete pipes are badly injured by a speed of over 1.3 meters per sec. of the discharge as well as damaged by the abrasive effect of sand).

29. The glossy surface of stoneware prevents the increase of bacterial flora and does not allow residues to settle in the chinks, moreover, loss by friction is very small and guarantees the best utilisation of the gradient. (By reason of the roughness of cement all kinds of residues can be settled in the chinks of the surface making an excellent breeding ground for all sorts of bacteria. Hereby H_2S is produced developing sulphuric and other acids. It is stated that certain micro-organisms can change, in a short time, the surrounding fluid pH values from 7 to 4 and therefore the cement is immediately dissolved through the action of such bacteria).

30. The strength of stoneware pipes is superior to the mechanical strength of concrete pipes. Stoneware pipes have a tensile strength of about 100 kg/cm^2 generally compared with about 50 kg/cm^2 for cement pipes. Especially with regard to the compressive strength the difference is obvious, as stoneware pipes have about 15-1700 kg/cm^2 against about 4-500 kg/cm^2 in average

condition. Stoneware pipes of Babylon made 6400 years ago are still in excellent condition.

23. Stoneware differs from white-burning earthenware in that the body is thoroughly vitrified. As stoneware does not depend upon colour as porcelain-products, it is possible to use such raw materials which allow lower vitrifying temperatures and ensure exactness and stability during firing as well as high mechanical strength. Through the right choice of material and preparation, stoneware pipes are cheap to produce and salt-glazed they are very durable and expected to last for centuries. Stoneware pipes are to-day produced up to 30 in. mechanically, finished, dried, fired and salt-glazed in a tunnel-kiln, all in one flow. It is possible to produce even bigger diameters, but as stoneware pipes are easy to lay, it is often preferable to use several smaller diameters, which has a certain advantage for repairs.

24. Stoneware plates are an excellent material for the lining of concrete pipes.

25. The stoneware pipe has a special resistance to corrosion by reason of the body which is poor in calcium and alkalis as well as alkaline earths in general and, therefore, attacks cannot occur through the dissolving out of the above-mentioned metal oxides. Further, the attack by fluids is very small as the salt-glazed surface is smooth and tight as well as the body itself is homogeneous and vitrified to tightness. Practically, stoneware pipes of good quality are not attacked by any of the usual fluids with the only exception of hydrofluoric acid.

26. Stoneware pipes are proof to: Sulphuric acid, nitric acid, formic acid, oxalic acid, hydro-chloric acid, sulphurous acid, sulphur dioxide gas, boric acid, chlorine gas, bromine, ammonia gas and solution, sodium hypochlorite, potassium hypochlorite, chlorates, potassium permanganate, chlorates, perchlor-

But the non-resistance of cement is not dependent upon the free lime alone and corrosion proof concrete may not be attained through its chemical binding. Even by increasing the iron oxide content in favour of the chemically bound lime content, this cannot be reached and thereto the development of the cement bacillus will be limited, but in this way naturally, the progress of corrosion will be slower. Sea-water proof cement achieved by the addition of iron oxide and pozzuolana-like material is more resistant than without additions, but it is by no means corrosion-proof.

20. Alumina cement consisting mainly of calcium aluminate is a little more resistant to acid fluids and sulphate solutions than Portland cement and other silicate cements, but it is in no way acid-resistant by reason of its high content of bases. Although alumina cement is more resistant than Portland - and blast furnace cement against many salt solutions, as for example magnesium sulphate a. s. o., it is by no means resistant against all aggressive liquids and particularly not against alkali salt solutions.

21. There are certain water-proof coatings or impregnations for temporary protection against corrosion as for example silico fluorides ($MgSiF_6$, $ZnSiF_6$) which unite with the cement lime in a resistant coating but this thin skin is by no means acid-proof. Further water-proof paints and materials (resins, varnishes, asphalt, bituminous mastics, etc.) give a better protection than silico-fluorides but they are gradually emulsified by the soapy substances and oils etc. and must therefore be renewed every few years which is a matter of great difficulty.

22. Stoneware is without doubt much more resistant to chemical attacks of all kinds than cement. There exist primitively made clay drain pipes of ancient Rome and Greece, Egypt and China which are to-day in good

14. Glucose, molasses, sugar solution and syrup are all attacking the cement pipes probably through the salt-like saccharates.

15. Salt solutions occur in all industrial and domestic waste water and especially alkali salts, calcium and magnesium are playing a decisive part in sewage. The salts may react with the cement constituents developing additional products of different kinds and even blowing and actual corrosion may take place under the influence of salts.

16. Calcium sulphate, magnesium sulphate and sodium sulphate have an injurious effect and cause blowing when they are cumulative. Blast furnace cement poor in lime is already attacked by a 0.08% sulphate solution.

17. The above mentioned, concerning concrete, is also applying to centrifuged cement as the centrifugal force is influencing a lime concentrate on the inner wall of the pipe resulting this to be particularly sensitive to acid attacks.

18. Finally it is officially ascertained that pure spring water containing only a very small amount of rock-salt has destoyed concrete pipes of best quality although the salt content was considered as harmless. Pure water may be in a certain way "salt-hungry" and therefore the resistance of concrete itself to pure water may be considered as low if subjected to its influence for long.

19. In order to get a good protection of cement against corrosion many experiments have been made. For example the admixture of pozzuolana from the Ardennes with Portland cement is suggested as the large quantity or reactive silica in the pozzuolana is binding a part of the lime in the cement. Other additions have a similar influence as trass, kieselgur, santorinic earth.

concrete. Following is an incomplete list of acid substances which are injurious to cement: Carbonic acid - creosote - cresol - carbolineum - fruit juices - lactic acids - mineral acids - phenol-sulphite waste liquor - tannic acids - lysol - a. s. o.

8. Free sulphuric acid reacts strongly with cement forming with free lime hydrated gypsum with a volume increasing at the same time. Through plaster-blowing, the cement is weakened and further the gypsum is dissolved, resulting in a still more loosened cement constitution. Even a small acid concentration has a harmful effect during very long periods.

9. Hydrochloric acid and nitric acid disintegrate the cement quickly, but they do not have a "blow" - effect.

10. Extraction residues and press cakes and vinegars affect the cement by reason of their acid content.

11. Carbonic acid is also very aggressive and particularly the cement is attacked when the content of lime in the water is low. Carbonic acid water with 0,01% concentration may destroy concrete pipes produced of Portland cement or blast furnace cement. Further it is shown that damp air containing carbon dioxide is attacking cement pipes and the mechanical strength may be greatly decreased by only an apparently slight effect of carbon dioxide.

12. CO_2-Water covers the cement with a carbonate film but not completely in order to protect the cement pipes against further corrosion by carbon dioxide.

13. Fats and fatty oils must be particularly mentioned as having a destructive effect which is due to their saponification by the lime contained in the cement.

3. Sulphates in solution may be reduced to hydrogen sulphide by bacterial action at higher temperatures and this in turn, when oxidised, forms free sulphuric acid. This formation of sulphuric acid takes place in the space occupied by gas above the water level on the upper part of the pipe walls and therefore not carried away by the water. It is observed that cement pipes are destroyed by acids at first in the upper portion of the pipe.

4. High concentration of hydrogen ions, is reckoned as a factor particularly in the tropics, and under certain conditions the active or salt concentration is often increased to a high extent by the fact that the solution rises into the capillaries of the material - followed by evaporation of water - whereupon further liquid rises a. s. o.

5. Countries with moist climate have mostly soils - in which the pipes are embedded - reacting definitely acid. The plants' metabolic processes give rise to acids, as humic and lactic acids or carbonic and nitric acids. From the soil, bases are washed out by rains - harvests take alkalies - calcium and magnesium, leaving behind acid residue as well as the plants use the ammonia from ammonium sulphate leaving sulphuric acid residue remaining in the soil.

6. Cultivated lands have mostly acid and in some cases very acid soils according to examination of agricultural scientific literature, and the soils tested have in Denmark 84% - Finland 99% - Japan 95% - Java 14% - Sweden 74% - England 93% - an acid reaction.

7. Set cement contains free calcium hydroxide and in addition calcium silicate and aluminate and calcium ferrite - the calcium hydroxide reacts with acids with the result that the binding medium is withdrawn from the concrete. Even silicates and aluminates and ferrites are displaced by the acids in the long run, leaving finally a sandy residue together with the gravel contained in the

gas. Further, the formation of the coating skin is dangerous for the material itself when CO_2 occurs in the waste water and the sewer air. In combination with water and calcium from the concrete, calcium sulphide and calcium hydrosulphide are formed and through oxidation converted to gypsum destroying the pipe totally little by little. Thereto other disagreeable chemical combinations are formed as for example calciumsulfoaluminate (cement-bacillus) with still more destroying influences. It is observed that the slimy coating skin is easily formed when the pipe surface is porous and therefore it is very important to clean and brush the concrete pipes often and thoroughly in order to take away the feared coating. Therefore it is also understandable through the study of the ceramic sewer pipe structure and hard glazy surface that organic life has not much possibility to exist under such conditions.

From a building-hygienic point of view only such sewer pipes should come into use for drainage of waste as fill the above mentioned quality demands. In the contrary it is false saving of money and time as after a certain number of years the pipe line must be reconstructed or renewed. The first condition should be in every case to produce such a sewer pipe which can fill the demands of modern medical science which is a matter nobody has a right to neglect, no matter how expensive it may be.

III. Some Notes of Importance about Sewer Pipes

1. Acids and salts make the hardest demands on the pipe material. Acids are mostly coming from industrial wastes in spite of laws existing to the effect that industrial waste should be neutralized.

2. Free sulphuric acid is formed in large quantities through the oxidation of the hydrogen sulphide gas from the putrefaction of organic matter, as far as household sewage is concerned, and is nearly impossible to prevent.

tion. It is ascertained that in household waste water lines free sulphuric acid can be formed above the normal waste water level through the process of putrefaction free sulphurated hydrogen (H_2S) unites with oxygen from the air and sweating water from the walls. As is well known, air containing only 0.3 - 0.5 ‰ H_2S-gas inhaled in one hour is deadly for men. Many accidents have occurred by reason of the existence of this gas when laborers have cleaned sewer canals.

3. The material must have an extremely good chemical resistance as all waste water is more or less acid or alkaline. From the inner side it must be resistant against aggressive industrial water - oxidation of sulphurated hydrogen to sulphuric acid through the influence of colonies of bacteria - and against household waste water containing today a lot of new chemical materials for cleaning and washing, and so on. From the outside it must be resistant to the influence of pit water - humus-marsh gas - and other strange liquids of acid- or alkaline character.

4. The material must have a high mechanical strength in order to resist the varying loads from streets and roads which also provides that the material must have a certain flexibility.

5. The inner and outer wall of the sewer pipe must absolutely have a glossy surface and especially not be porous. Moreover, the glossy surface must be hard (Moh's scale 8 - 9) and remain so through many years of service in order to fill the building-hygienic demands. In the contrary case the undesirable formation of coating skin (Sielhautbildung) will occur as a slimy sediment on the pipe wall. This coating skin is very undesirable from a hygienic point of view as this skin is a sustenance, in connection with inorganic combinations for parasites - fungus, mould, algae, grub and so on. The skin, as bearer of albuminous substances, forms the feared H_2S -

Taking also into consideration the risk of infection from so-called infection-spreading rats and other animals the canalization systems should only be built of the most suitable materials neglecting the cost,as gold is of no value compared to the health of a human. The demands of modern medical science should absolutely be fulfilled accompanied by modern ceramic engineering. Already the ancient technology gave us the first instructions about the choice of the most suitable material. Canalization should be built for centuries - not for years.

II. The Demands of a Sewer System

According to modern industrial techniques it is possible to produce vitrified and glazed ceramic pipes with diameters up to 1200 mms and lengths of 1500 mms. Where bigger dimensions are necessary, oval canals are used and lined with so-called egg-profile plates of ceramic or clinker plates of suitable dimensions. As the sewer system should be resistant to the most different waste products from industries, households, humans and animals, the pipe-and lining material should have following properties:

1. The material must be absolutely dense so that the waste water cannot penetrate the wall with the risk of infection of drinking water. It is an indisputable fact that all waste water or part of it derived from human origin is infectious. Thus only materials with a throughout high density should be used as thin so-called acid-and alkali proof coatings are worn away after some years in service. According to investigations, about 45 to 50% of all typhus epidemics are derived from decomposed or porous sewer pipes infecting the drinking water.

2. The material must have an extremely good thermal shock resistance, i.e., in this case against frost and warm and hot waste water. Especially hot waste water may be dangerous when it is of certain chemical composi-

important role in this work and later on even cement products. (Unfortunately cement sewer pipes were also taken into use for waste water lines which was a mistake of false saving as they are porous and neither acid nor alkali resistant and therefore in a way the focus of infections).

In bigger towns and centres of colonization new canalization systems were constructed or old systems reconstructed. The mortality statistics from different places are of the utmost interest in connection with this sewage work. Thus in order to mention some examples:

Berlin: Mortality of Abdominal-Typhus/10000 inhabitants

1859	1864	1869	1874	1879	1884	1889	1894	1897	1902
10.0	7.8	8.6	9.6	4.3	3.7	1.5	0.8	0.5	0.3

and further the mortality of typhus/100,000 inhabitants from 1860 to 1885

	before re-construction	after re-construction
in Berlin	50	25
Bruxelles	105	30
Danzig	99	13
Bristol	100	60
Cardiff	80	42
Munich	210	17
Frankfurt/M	89	29
Paris	135	75

and so on. Naturally the picture is quite a different one today. Through the USA statistics it is possible to establish the importance of a correct waste canalization system as it has been ascertained that the spreading of Poliomyelitis is per 100,000 inhabitants in places

with water-and waste water lines	26,6 cases
without water-and without waste water lines	39.7 cases
with water-and without waste water lines	83.6 cases

streets and the people's resolution in Athens 320 B. C. about impurity and dirt are written down and well known examples, ratifications from ancient times.

After the decay of the Roman Empire came little by little the so-called dark Middle-Ages with degeneration and dirt. Waste products from humans and animals were thrown out on the streets and as more towns were enlarged, more people died of frequently occurring epidemics. An example from this death-marked time is the town Strassbourg with 16000 mortal cases in 1349, and about 18000 anno 1360 by reason of epidemic deseases. It is proved that it was a question of infectious drinking water as the Jewish inhabitants in the town were spared from the epidemics because they followed their doctor's instructions to drink only boiled water. Dry latrines were in common use and big centers of infections in the houses and streets before they were transported away and at first as late as 1775 the English watchmaker Cummings patented his water-closet. Canalization was again an actual problem and since it was impossible at that time to produce clay-pipes of big diameters in a technically correct way, the waste water lines mostly were brickwalled or made of sandstone. Thus it took a long time before the Middle-Ages people understood the importance of purification and made use of the experiences of the ancient people and certainly the epidemic ravages of typhus, cholera and plague would have been much less malignant, if the ancient knowledge of canalization had been accepted in time.

During the 18th century the problems of canalization attained the dimensions of disaster all over Europe in a short time, following the enlargement of old towns and growing up of new towns. Starting with the 19th century, which is characterized by a remarkable industrial development and beginning medical science successes, it was possible to build up well-adapted irrigation and waste water systems. Ceramic products played a very

The Roman Empire conquered most of Europe (as known at that time) and in such a way the practical Romans brought the technique of canalization to France, Germany and Spain. Although it is today impossible to clarify by figures how often epidemics and diseases occurred at that time it is in every case possible to assume that the erection of ceramic sewer pipe systems in towns and fortifications was of the utmost significance for cleanliness and thus an important means to prevent the spreading of epidemics.

Still today the bathing establishments in the town Trier are imposing and in Pompeji nearly every house had a latrine with an "amphora" - also a suitable cistern of fired clay.

Famous is also the irrigation and waste water system of the resident of Pergamon (about 170 B. C.). From the well-spring the water was flowing through natural inclination in ceramic water pipes (about 185 mms diameter) about 60 kms to a filling-well and then pumped up to the castle on high ground. For the waste water, clay pipes were used in dimensions of about 55 to 65 cms length and 13 to 20 cms diameter. Of interest is even the about 1800 years old Caesaria water pipe line. The water was flowing about 2 to 3 kms in quadrangular clay-pipes to the castle. The pipes are of good quality and still in quite good condition. The line is easy to find as it crosses the main road Haifa - Tel Aviv.

It is obvious when studying the ancient building-hygienic art that the ancient rulers had an instinctive feeling for the importance of purification in towns, fortifications and castles, as they understood that their power was depending upon a sound and healthy people. Although they had no modern knowledge about the danger of infections and epidemics, it was in every case clear for them that waste products from humans and animals were the focus of infections and therefore dangerous. Emperor Justinian's penalties concerning defiling of

materials it was possible to make them dense enough against water. Most imposing of all ruins is perhaps the about 30 x 55 m. swimming pool brickwalled in that manner and it shows that already 6-5000 years ago ceramic products were of the biggest significance for the colonization and development of our culture.

Excavations in Mesopotamia have brough to light well-linings of fired clay-rings of about 50 cms diameter produced approximately 6000 years ago. The Grecian locations in Knossos, Melos and Olympia have brought to light drain pipes made of clay-rings with diameters up to about 80 cms. From the ancient pre-Semitic people formerly occupying the lower part of Babylonia - the so-called Sumerian time about 3750 B. C. - derive the excavated fired brickwalled cesspools (cloaca) in the tower Dur-Sarrukin. Further, the ruler's palace in the tower shows the existence of lavatories with water flushing and soil-pipe leading directly to the main-cloaca. Egyptian descriptions from about 2000 B. C. are telling of similar hygienic installations.

Already at that time ancient Alexandria had a real sewer pipe system with regular distances between the purification wells. The Grecian and the Roman could make good use of the experiences of the older ancient peoples and during the coming Grecian and Roman period the technique of canalization was developed to a very high level taking into consideration the technical possibilities at that time. Akropolis and the surrounding houses in Athens had a well-adapted waste water system consisting of big elliptic or quadrangular shaped clay-pipes. Ancient Rome as well is famous for its irrigation and waste water system where mostly ceramic materials were used in form of bricks and clay-pipes (tubuli). The Roman builder Vitruvius (about 24 B. C.) tells in his work about "Art of Building" that he prefers clay-pipes for the water-supply as they are better from the point of view of health than lead pipes.

SEWER SYSTEMS

by Herbert Gronroos, United Nations Expert in the Field of Ceramics.

I. Health and Ceramic Engineering

It may be said that the problem of drainage starts as an endless chain of triangulation in which the human, drinkable water and waste water are the main components in the circuit.

Historic

The use of clay products is extremely old, probably because clay is one of the most common minerals in the world, and as it is relatively easy to shape and make hard and dense, the ancient people could find use of these properties already thousands of years ago. From the beginning of simple shaped articles in general use the technique was developed little by little and already 4-3000 years B. C. fired clay products were in use for irrigation and waste water systems. In ancient times the first condition for a stationary colonization was "sufficient quantities of drinkable water" and if so was the case, at the same time the problem of irrigation and waste water had to be solved. The builders of that time were fully conscious of the significance of well-made systems for irrigation and waste water which is proved through the excavations at the big colonization sites of Mohenjo-daro in Indus-Valley where not alone the palaces but also general houses were built of fired clay bricks. Even the wells were walled up of fired bricks as well as the waste water pipes from the houses directed to special brick-walled sink wells placed in the street and furthermore the ruins show the existence of brick-walled lavatories with their decked conduits and sink wells. At that time - 4 - 3000 years B. C. - the bricks were fired at a relatively low temperature - about 600°C - and therefore they were quite light and porous, but through treatment with sand and bituminous

CONTENTS

"Hamakhpil", Haifa - Telephone 4645

NOT FOR SALE

National Council for Research and Development

Ceramics Research Association

BULLETIN

of the Ceramics Research Association

No. 13

HAIFA, TECHNION CITY – OCTOBER 1961