

בטיחות וגיהות גם באמצעות רשימות תיוג חום קור וטמפרטורה

מאת מהנדס שלמה איציקובסקי

הטמפרטורה הנמדדת של עצמים שונים משקפת את אנרגיית החום הקיימת בתוכם. הסיבה לרוב הפגיעות והפציעות, מחשיפה לטמפרטורות גבוהות ונמוכות, היא חוסר שליטה על זרימת אנרגיית החום בין עצמים שיש ביניהם הפרשי טמפרטורה גדולים

ה חוק ה-2 של התרמודינמיקה קובע שאנרגיית חום תזרום מאזור חם אל מקום קר יותר. אנרגיית החום יכולה לזרום ב-3 דרכים שונות: קרינה, הסעה (הובלה) והולכה (מוליכות), או בשילוב ביניהן.

קרינת חום:

כל גוף מעביר חום ממקום אחד אל מקום חם פחות. כאשר אין מגע בין הגופים - המעבר מתרחש באמצעות פליטה של אנרגיית חום, כגלים אלקטרומגנטיים בתהליך מהיר מאוד. אנרגיית הקרינה תלויה בטמפרטורה (מעלות קלווין), בשטח (המקרין את החום) ובתכונות ההקרנה של הגוף המקרין. לדוגמה: קרינת השמש.

הסעה תרמית (הובלה):

פעולה של העברת מולקולות ממקום אחד בחומר למקום אחר. בדרך כלל, תנועת זרם החום בהסעה היא בגז או בנוזל והתהליך מהיר יחסית. הסעה "טבעית" נוצרת עקב הפרשים בצפיפות החומרים. לדוגמה: בחימום מים בסיר (מקור החום מתחת לסיר) המים החמים עולים כלפי מעלה. התנועה שיוצרים מאוררים, משאבות, וציוד דומה היא הסעה מאולצת.

הולכה תרמית (מוליכות):

העברה של אנרגיה תרמית (בתוך החומר) ע"י העברת התנודות של מולקולות לאורך קו ההולכה. התהליך איטי יחסית ומתרחש, בד"כ, בחומרים מוצקים. החום מועבר ממקום אחד של החומר לאחר. לדוגמה: כאשר מחממים קצה של מוט מתכת ניתן - כעבור זמן מה - להרגיש בחום גם בקצהו השני.

מבנה העור

לעור תפקידים רבים: הגנה מפני השפעות סביבתיות שונות (זיהומים, טמפרטורות גבוהות); ויסות חום הגוף (מנגנון הזיעה); העברת תחושות שונות (מגע, כאב, שינויי טמפרטורה ועוד). העור הוא ה"איבר" הגדול ביותר בגוף. העור מכסה שטח של כ-1.75 מ"ר ועוביו נע בין 0.5 מ"מ על העפעפיים ל-3 מ"מ בכפות הידיים. משקל העור כ-15% ממשקל הגוף. העור בנוי מ-2 שכבות עיקריות: אפידרמיס ודרמיס.

אפידרמיס: השיכבה החיצונית של העור (קרטיין, Stratum Corneum) עשויה מתאים מתים ויבשים אשר נדחפים כלפי מעלה ע"י תאים חדשים הנוצרים בשכבות התחתונות. התאים בשכבות התחתונות של האפידרמיס מתחלקים ויוצרים תאים חדשים. בשכבות האלה נמצאים גם המלנוציטים המייצרים את פיגמנט המלנין, אשר אחראי לגוון (פיגמנטציה) של העור. הקרטיין היא שיכבת המגן העיקרית של הגוף. כאשר היא נפגעת נחשפות שכבות התאים המייצרים את תאי העור החדשים והתאים עלולים להיפגע. הפגיעה עלולה לגרום לנזק עורי, מחלות עור ואף להשפעות מערכתיות עקב חדירת זיהומים כימיים וביולוגיים.

דרמיס: שיכבת עור עבה יותר מהאפידרמיס. היא בנויה מסיבי קולאגן ואלסטין. בדרמיס מצויות בלוטות הזיעה, בלוטות השומן, זקיקי השערות, כלי דם, קצות עצבים ותאי חישה.

כוויות

כוויה היא פגיעה באברי הגוף כתוצאה מטמפרטורה גבוהה או חומר מאכל (משתך, קורוזיבי). כוויות בעור מדורגות ב-3 רמות: **כוויה מדרגה ראשונה:** פגיעה הגורמת לאדמומיות בעור. נפגעת שיכבת האפידרמיס.

כוויה מדרגה שניה: גורמת להיווצרות בועות על פני העור. לעתים נאגר נוזל מתחת לעור. במקרה כזה נפגע גם הדרמיס. הסבל מכוויה בדרגה שניה גדול מאוד, מכיוון שקצוות העצבים נחשפים והם מעבירים תחושות כאב חזקות מאוד. **כוויה מדרגה שלישית:** פגיעה חמורה מאוד. היא מאופיינת בהרס תאי העור, כולל נזק תת-עורי, פגיעה בכדוריות הדם האדומות ובנימי הדם ולעיתים גם בשרירים. הפגיעה היא בכל השכבות, מצב הפוגם ביעילות ההגנה של העור מפני השפעות חיצוניות. נוצרת אפשרות לחדירת חיידקים וזיהומים כימיים, אשר עלולים לגרום לנזקים נוספים ולמחלות. בכוויות מדרגה שלישית קצות העצבים נשרפים ונאטמים ולכן כמעט ולא חשים בכאב. אך הרס נימי הדם באזור הפגוע עלול להוביל לנמק (זרימת הדם לאזורים הפגועים נפסקת), על כל המשתמע מכך. שטח הכוויה של העור משפיע גם על חילוף החומרים של הגוף מה שעלול לגרום לנזקי גוף נוספים. הטבלה הבאה מציגה את רמת הפגיעה בעור במגע עם מיטטחים בטמפ' שונות:

טמפרטורה	תחושה או השפעה
100°C	כוויה מדרגה שניה - במגע מעל 15 שניות
80°C	כוויה מדרגה שניה - במגע מעל 30 שניות
70°C	כוויה מדרגה שניה - במגע מעל 60 שניות
60°C	כאב, נזק לרקמות
50°C	כאב, תחושת שריפה
30±2°C	חום, תחושה טבעית, ("0" פיזיולוגי)
10°C	קר (cool)
3°C	קור ("cool heat")
0°C	כאב
< 0°C	כאב, נזק לרקמות (קפיאה)

הכותב הוא מנהל יחידת הנדסת בטיחות במוסד לבטיחות ולגיהות

המאמר נערך עפ"י: Product Safety Management and Engineering, by Willie Hammer, Prentice Hall, 1980

השפעות קור וטמפרטורות נמוכות

טמפרטורות נמוכות משפיעות על הגוף 3- צורות:

- **אבעבועות קור:** פגיעה מתונה בעור;
- **תסמונת טבילה:** ירידה בטמפרטורה הכללית של הגוף מטבילה ממושכת במים בטמפ' מתחת ל-0°C;
- **מכת קור:** כיווץ כלי הדם (במקרה המתון), קפיאה של הרקמות (במקרה חד יותר), ולאחר מכן, ברוב המקרים, התפתחות נמק. כאשר מעורבים בתנאי הקור גם משבי

רוח - גובר איבוד החום מחלקי העור החשופים ומתחיל תהליך קירור כללי של הדם ואברי הגוף. השפעות עיונות נוספות הנובעות מטמפרטורה נמוכה הן קפיאת מים במערכות ופיצוץ צנרת מים ו/או מיכלים סגורים אחרים, כתוצאה מהגדלת נפח המים בקפיאה. קרח ונוזלים קפואים אחרים עלולים להפריע לתנועתם החופשית של רכיבים וחלקים המתוכננים לנוע, או לקבע אותם למקומם. משקלו של הקרח המצטבר על הגנות עלול לגרום לקריסת מבנים.

השפעות נוספות של טמפרטורות גבוהות

עבודה בטמפרטורה סביבתית גבוהה ("סביבה חמה") עלולה לפגוע בתהליכים

סיכוני קור וטמפרטורה נמוכה

גורמים לירידת הטמפרטורה

- תהליכי קירור או הקפאה
- התקררות כתוצאה מקרינה, הובלה או הולכה בסביבה עם טמפ' נמוכות
- תנאי אקלים או מזג אוויר קר
- תגובות כימיות אנדותרמיות (קולטות חום)
- התנדפות מהירה
- טבילה בנוזל קר
- חשיפה ל"נפילת" חום
- התפשטות גז; אפקט ג'אול-תומסון (התקררות גז בגלל התפשטות נפחית). **אזהרה:** גז מימן מתנהג בדיוק להיפך ועלול להגיע לנקודת ההצתה בגלל דליפה.

השפעות אפשריות על האדם והציוד

- כוויות במגע עם חומרים מקפיאים או מכות קור
- מעטה קרח מעל ציוד פעיל
- קפיאת נוזלים
- עיבוי של טיפות, לחות ואדים (עליית הלחות היחסית)
- הגדלת צמיגות נוזלים
- קרישת שמנים וחומרי סיכה
- הקטנת מהירות התגובה
- הגדלת הגבישיות של חומרים
- הקטנת הגמישות של חומרים פלסטיים ואורגניים
- השפעות של התכווצות, במיוחד התפתחות סדקים בחומרים
- בלימה או שחרור של פריטים נעים עקב התכווצות
- עיכוב הצתה בכבשנים ובתאי בעירה
- שינוי איפיונים אלקטרוניים.

סיכונים בשינויי טמפרטורה מחזוריים

גורמים לשינויי הטמפרטורה

- עצירה והתנעה של מנועי חום ושל ציוד ממונע אחר
- חימום וקירור יומיומיים
- הוספה או איבוד חום כתוצאה משינוי במהלך קרינה, הובלה או הולכה.

השפעות אפשריות על האדם והציוד

- השתנות המימדים, במיוחד במתכות
- התעייפות במתכות בגלל מחזורי טמפרטורה
- שינויים בלחצים בתחום הגזים והנוזלים
- תנודות בעומסים הכלליים המופעלים על ציוד.

סיכוני חום וטמפרטורה גבוהה

גורמים לעליית הטמפרטורה

- פליטת חום עקב פעולת מנוע
- אש או פיצוץ
- תגובות כימיות אקזותרמיות (פולטות חום)
- חימום באמצעות חשמל
- חימום מקרינת שמש
- חיכוך בין חלקים נעים
- חיכוך כתוצאה מתנועת גזים או נוזלים
- חיכוך פנימי כתוצאה מתנועה חוזרת (כיפוף, הכאה על חומר וכו')
- עליית לחץ גז
- תהליכים ביולוגיים או פיזיולוגיים
- ריתוך, הלחמה, ציפוי או חיתוך מתכת
- סביבה חמה או אקלים חם
- תהליכי ריקבון אורגני
- תגובה גרעינית
- טבילה בנוזל חם
- חוסר בבידוד תרמי בקירבת מקורות חום
- פיזור לא יעיל של חום או כשל בקירור
- נקודות חמות בציוד מקורר, עקב חסימת תנועת נוזל הקירור.

השפעות אפשריות על האדם והציוד

- כוויות לרקמות הגוף
- הפחתה ביעילות העבודה וריבוי שגיאות של עובד
- התכווצויות, מכת חום, אפיסת כוחות
- ירידת הלחות היחסית בסביבה החמה
- הצתת חומרים דליקים
- חריכה של חומרים אורגניים
- החלשת חוזק מתכות וחומרים אחרים
- ריכוך עד להתנזלות מתכות או חומרים תרמופלסטיים
- עיוות ופיתול של חלקים
- החלשת נקודות הלחמה
- קילוף ציפויים והיווצרות בועות בצבע
- התפשטות חלקים, הגרמת להקשיה או להתרופפות הקשר ביניהם
- הפחתה בצמיגות של חומרי סיכה מסוימים
- הגברת אידוי ודליפות נוזלים (דלק, חומרי סיכה, נוזלים רעילים)
- הגברת דליפות של גזים
- הגברה והאצה של תגובות כימיות שונות
- פירוק מרכיבים בתערובות כימיות
- הפעלה מוקדמת של תהליכים תרמיים
- עליית ההתנגדות החשמלית
- פתיחה או סגירה של מחברים אלקטרוניים כתוצאה מהתפשטות שינויים באיפיונים אלקטרוניים שונים.

המטבוליים (חילוף חומרים) של גוף האדם, אשר גם הם מייצרים חום (לצרכיו הפנימיים של הגוף). הגוף יכול להיפטר מעודפי חום בדרכים הידועות להעברת החום (קרינה, הסעה והולכה) וגם, ובעיקר, באמצעות מנגנון הקירור הפנימי שלו – הפרשת זיעה ואידוי הזיעה מעל פני העור (לאידוי הזיעה, לדוגמה, נדרשות כ-540 קלוריות לכל 1 גרם של נוזל מתנדף). אך, כאשר האמצעים הללו

לקירור הגוף אינם מספיקים – האדם עלול לפתח תופעות שונות כגון התכווצויות, התעייפות מוגברת, איבוד התמצאות ואף מכת חום, בעיקר עקב איבוד חלק ניכר מנוזלי הגוף. טמפרטורות גבוהות מעל לתחום הנוחות של הגוף, במיוחד באקלים או בסביבה לחה מאוד, עלולות לגרום לפגיעה ביעילות העבודה – בביצוע תפקידים קוגניטיביים (שבהם נדרשת חשיבה הגיונית) ולהחלטות

שגויות. עוצמת הפגיעה תלויה בעוצמות החום, רמת הלחות, משך החשיפה, סוג הפעילות המבוצעת, התנאים הפיזיים והנפשיים של העובד, מיומנותו וניסיונו הקודם, כושר ההסתגלות של הגוף לתנאים וכו'.

טמפרטורות גבוהות עלולות לגרום להתפרצות אש, או ליצירת תנאים שבהם חומרים שונים יוצתו באקראי. האנרגיות הדרושות להבאת חומרים כימיים שונים אל סף ההצתה העצמית ידועות וקבועות. כאשר בסביבה שוררת טמפרטורה גבוהה נדרשת כמות נמוכה יותר של אנרגיה להצתה.

כמות האנרגיה הנוספת הנדרשת יכולה להיות קטנה בהרבה מזו הנדרשת בתנאים רגילים.

שפך של נוזלי דלק, מסוכן בהרבה בסביבה חמה מאשר בסביבה קרה: הטמפרטורות הגבוהות גורמות לאידוי מהיר יותר של הנוזל, והקשר בין התערובת דלק-אוויר עם מקורות הצתה מזדמנים יוצר שילוב מסוכן.

טמפרטורות גבוהות שמקורן בקרינת חום ("קרינה תרמית") מפני שטח חמים, מתכות מותכות או להבה פתוחה – עלול לגרום לחריכה של חומרים אורגניים ואף להצתתם. לדוגמה: חומרי עץ, נייר, אריגים וכו'.

חומרים אורגניים עלולים לאבד את תכולת הנוזלים שלהם ולהיחרך בהשפעת מגע במערכות שונות השרויות בטמפרטורות גבוהות (קווי קיטור, צנרת להעברת חומר בתהליך וכד'), בציד אלקטרוני או במיסבים שהתחממו יתר על המידה. חומרים נדיפים עלולים להתלקח בעקבות מגע כזה.

קצב של ריאקציות כימיות מתגבר עם עליית הטמפרטורה. לכן, תערובת של חומרים בטמפרטורות גבוהות עלולה "להתפוצץ" בזמן התהליך (ולא להתנהג בצורה הצפויה של תהליך המתבצע בטמפרטורת החדר). חומרים, שבדרך כלל אינם מגיבים, עלולים להגיב בטמפרטורות גבוהות. גם תהליכים כימיים יציבים בין חומרים שונים ונפוצים עלולים, כאמור, לצאת משליטה בסביבה שבה שוררת טמפרטורה גבוהה. ככל שהטמפרטורה עולה – מתגברים קצב הקורוזיה של מתכות (החלדה) והסיכון להיווצרות תגובות כימיות שונות. לחץ של גז נפח של נוזלים עולים עם עליית הטמפרטורה – כך שמיכלים עלולים להתבקע; או שהתכולה תפרוץ דרך צנרת "עודפים" (במקומות שקיימת); או שהלחץ יפעיל את שסתומי פריקת הלחץ. טמפרטורות גבוהות משפיעות גם על אמינותו של ציוד אלקטרוני ועל חוזק החומרים – באופן כללי, חוזקם של חומרים פוחת עם עליית הטמפרטורה (המתקרבת מדי לנקודת האלסטיות/פלסטיות של החומר ו/או לנקודת ההתכה). ■

רשימת תיוג - חום וטמפרטורה

- האם קיים במוצר מקור חום פנימי, בעוצמה גבוהה מספיק, אשר עשוי לגרום להצתתו?
- האם קיים מקור חום, בעוצמה גבוהה מספיק, אשר עלול לגרום לאדם לכוויה בעקבות מגע בשוגג?
- אם המוצר חייב להיות מובל ביד, האם הטמפ' שלו מתאימה לצורך מגע רצוף?
- האם קיים בקירבת מקור החום חומר אשר עלול להיות מותך, להיקרע, לאבד חוזק או להידלק כתוצאה מהטמפ' הגבוהה של המקור?
- האם טמפ' העבודה עלולה לגרום נזק לצבע או לגימור אחר?
- אם במוצר קיימים חלקי מתכת קרים מאוד, אשר מגע בהם עלול לגרום להידבקות העור למתכת ולקפיאתו? האם פני השטח מוגנים מפני מגע אקראי?
- האם קיים במוצר חומר אשר עלול להגיע לפריכות או להישבר בקלות כאשר המוצר נחשף לטמפ' נמוכה?
- האם שינויים בטמפ' עלולים לגרום לשחרור חיבורים או לכיפוף פריטים בצורה לא מתוכננת?
- האם יש צורך בהשגחה על דלק/מי קירור/חומרי סיכה לצורך פעילות תקינה של הציוד בתנאים קיצוניים, של טמפ', גבוהה או נמוכה?
- האם יש צורך להתקין דסקיות פריצה ו/או אמצעי בטיחות אחרים, למניעת נזקים במערכות המכילות מים, בעקבות קפיאה?
- האם יש צורך בשסתום פליטה כדי לאפשר פריקת לחץ של נוזל, העולה בהשפעת הטמפ'?
- האם תכונותיהם של השסתום והדיסקיות עונות לצרכים הקיצוניים האפשריים באותה מערכת?
- האם שסתומי פליטה מכוונים כך שזרימת חום או קור מהם לא תיפגע בעובדים ו/או בציוד רגיש?
- האם אפשר להוריד ו/או לקבע את טמפ' הרכיבים האלקטרוניים (לצורך מיזעור שגיאות תפעוליות)?
- האם קיים במוצר חומר אורגני אשר עלול להיחרך בקירבה לטמפ' גבוהות?
- האם מיכלי גז או גלילים המכילים גזים המצויים בלחץ, או נוזלים עם לחץ אדים גבוה, מוצבים רחוק ממקורות חום?
- האם מיכלים כנ"ל מוצבים במקום מוצל, מוגן מקרינת שמש ישירה?
- האם על גבי מיכלים קטנים הנתונים בלחץ, קיים סימון אזהרה, האוסר את השלכתם לתוך אש, גם כשהם ריקים?
- האם עובדים, החייבים לעבוד בחללים סגורים, מוגנים היטב כנגד טמפ' סביבה חריגות? האם הם עובדים בהתאם לדרישות החוק וכללי הזהירות הנדרשים בעבודות כאלה?
- האם מפעילי ציוד חם אינם צריכים לחשוש בזמן העבודה מאפשרות של נגיעה אקראית במישטחים חמים?
- האם עובדים אשר חייבים להפעיל כלים ניידים מחוץ למבנים, מוגנים מפני משבי רוח במזג אוויר קר?
- האם בכלים בעלי מנועי שריפה פנימית (כלי רכב וציוד נייד) מותקנת מערכת לניטור ולבקרת חום העבודה של המנוע?
- האם משולבת במערכת שיטת בקרה יעילה על הטמפרטורות?