

תקציר בנושא

הפעלה בטוחה של מכונות CNC

מאת: מהנדס אריה אמיצי



ראשי פרקים עיקריים:

- מחזור הפעולות העיקריות במכונות CNC
- תחיקה ותקינה בארץ
- תחיקה ותקינה בקהילייה האירופאית
- סיכונים אופייניים
- תאונות אופייניות המתרחשות במכונות CNC
- יעדי בטיחות בייצור, התקנה ותפעול מחרסת CNC
- אמצעי בטיחות נדרשים לצורות פעולה רגילה ולפעולות מיוחדות
- דוגמאות לבטיחות מובנית בתוכנת הפעלה של מכונות CNC
- בטיחות בהפעלה
- תהליך זיהוי סיכונים ומתן פתרונות בטיחותיים
- שיטות ואמצעים למניעת תאונות
- בטיחות בעבודות תחזוקה של מכונות CNC
- הפעלת אמצעי בטיחות במפעל

מיועד: למפעילי מכונות CNC, צוותי תחזוקה ל-CNC, מתכנני עבודות CNC, ממונים על הבטיחות.

המוסד לבטיחות ולגיהות  מחלקת הוצאה לאור, תשנ"ט-1999

© כל הזכויות שמורות

למוסד לבטיחות ולגיהות - מחלקת הוצאה לאור

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם, לאחסן
במאגר מידע, לשדר או לקלוט בכל דרך או אמצעי
אלקטרוני, אופטי או מכני או אחר - כל חלק שהוא מהחומר
שבספר זה אלא בדשות מפורשת בכתב מהמו"ל

הפעלה בטוחה של מכונות CNC

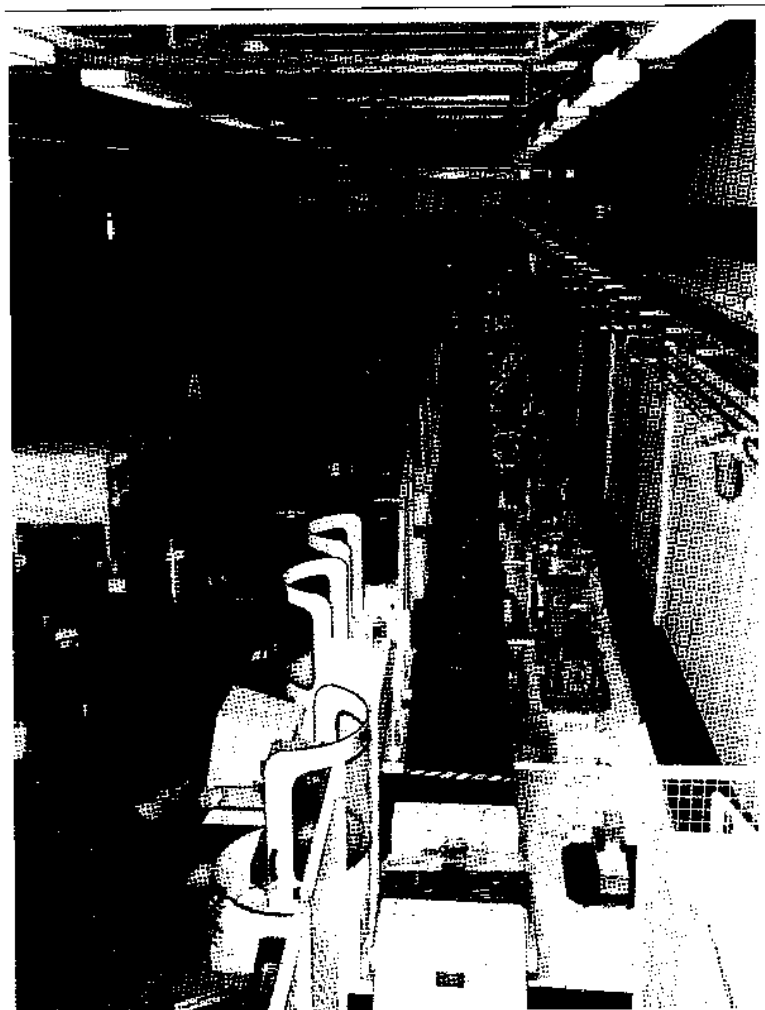
מאת מהנדס אריה אמיצי
נבדק ע"י מהנדס מאיר גוטסמן
ערך ואישר פרופ' אלכסנדר דונגי

תוכן העניינים

עמוד	שם הפרק
5	מבוא
8	מחזור הפעולות העיקריות במכונות CNC
8	תחיקה ותקינה בארץ
9	תחיקה ותקינה בקהילייה האירופאית
9	סיכונים אופייניים
10	תאונות אופייניות המתרחשות במכונות CNC
11	יעדי בטיחות בייצור, התקנה ותפעול מכונות CNC
12	אמצעי בטיחות נדרשים לצורות הפעלה רגילה ולפעולות מיוחדות
14	דוגמאות לבטיחות מובנית בתוכנת הפעלה של מכונות CNC
15	בטיחות בהפעלה
	תהליך זיהוי סיכונים ומתן פתרונות בטיחותיים בשלב התכנון/ההתקנה
17	במפעל ובשלב שינויים / שיפורים
17	שיטות ואמצעים למניעת תאונות
20	בטיחות בעבודות תחזוקה של מכונות CNC
21	הפעלת אמצעי בטיחות במפעל
23	סיכום
24	מושגים עיקריים בלועזית
25	מקורות

מבוא

מכונות CNC (Computer Numerical Control) הן מכונות לעיבוד שבבי וליישומים נוספים המבוקרות ע"י מחשב. המכונות הללו הביאו למהפך בתעשייה הודות לדיוק, למהירות ולגמישות ההפעלה. גמישות ההפעלה מושגת באמצעות מערכת הנקראת FMS (Flexible Manufacture System). כלומר - מערך ייצור גמיש, הכולל מספר מכונות CNC, עם יכולות עיבוד שבבי מגוון הכולל חריטה, קידוח, כרסום וכו' (ראה תמונות 1, 2).



תמונה 1

תא ייצור גמיש (flexible manufacture system) מסלול שינוע חומר הגלם בין תחנות העיבוד מוגן ע"י גדר. תחנות פריקה וטעינה (work station cell) מוגנות באמצעות מגן משולב עם חלון שקוף הגורם להפסקת פעולת המסוע במצב פתוח, ומאפשר דפינת חומר הגלם בצורה נוחה במתקן הדפינה



תמונות 1, 2

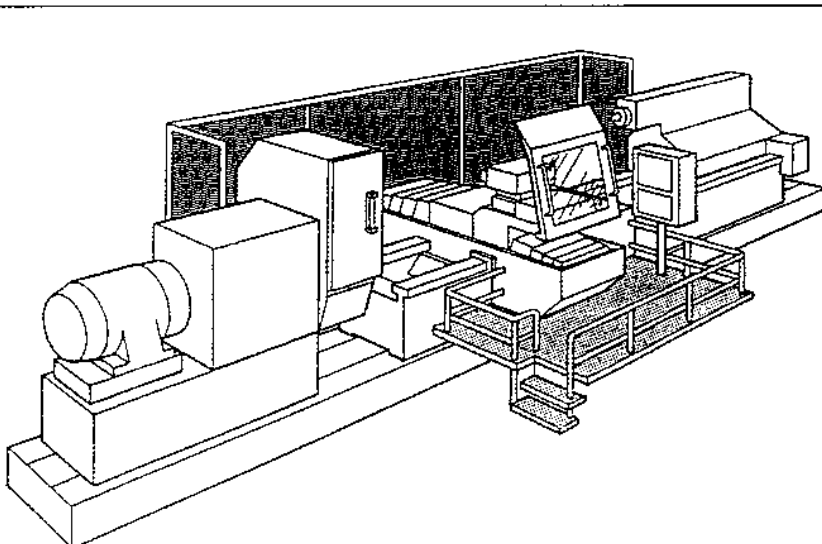


תמונה 2

עמדת שליטה ובקרה של תא ייצור גמיש. משני צידי העמדה ממוקמים 2 מפסקי חירום, המאפשרים עצירה מיידית מעמדות טעינת חומר הגלם. הוצאת המפתח לא מאפשרת הפעלה או תיכנות. אור אדום מהווה חיזוי על תקלה במערכת או באחת ממכונות הייצור. אור צהוב מהווה חיזוי על מכונה עומדת - ריקה או בהמתנה לפעולה הבאה

השימוש במכונות CNC וברובוטים תעשייתיים, עם תכנות של זמני עריכה (set up) קצרים יחסית, מאפשר אימוץ שיטת ייצור הנקראת JIT (Just In Time) שמשמעותה: ייצור בזמן אמת, בהתאם לצרכים המשתנים. שיטה זו מוזילה את עלויות הייצור והאכסון, אך יוצרת לחץ על המתכנתים, המפעילים והמתחזקים של מכונות ה-CNC.

בעקרון, נוהגים לחלק את מכונות ה-CNC לקטנות וגדולות וכן - אופקיות (horizontal) ואנכיות (vertical), (ראה איורים 3, 4, 5).



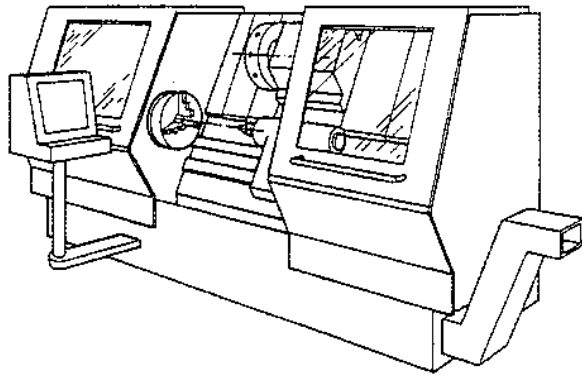
איור 3

מכונת חריטה CNC אופקית גדולה. המפעיל פועל מבמת הפעלה מוגבהת בעלת מעקה כשהוא מוגן מפני אזור העיבוד הפעיל, באמצעות מסך שקוף. הצד האחורי של המכונה מגודר לבטח

על אף התדמית שנוצרה למכונות ה-CNC כמכונות בעלות רמת בטיחות גבוהה - הרי לאמיתו של דבר גורמות מכונות אלה לתאונות, חלקן חמורות, עם הרוגים ופצועים. הסיכונים העיקריים במכונות ה-CNC:

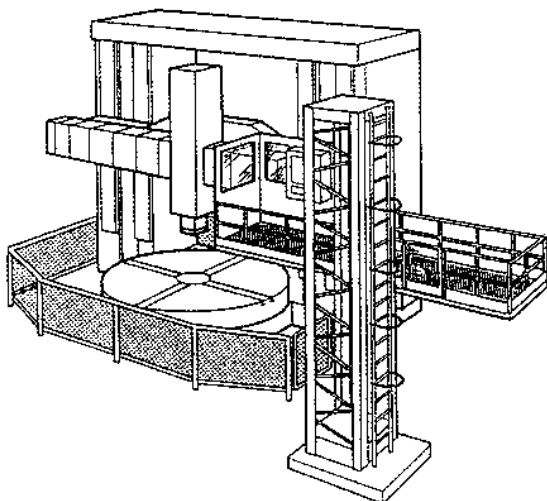
- המכונות מבצעות מדי פעם תנועות מכניות בלתי צפויות ולא מתוכננות;
- המכונות מבצעות פעולות מסוכנות עקב שגיאות בתיכנות;
- המכונות יוצאות מכלל שליטה עקב תקלות במערכות הבקרה, התקשורת וההנעה שלהן, או עקב הפרעות קרינה אלקטרומגנטית (EMI, RFI interference).

מכונות CNC שונות ממכונות כלים ידניות רגילות, המשמשות לעיבוד שבבי. ההבדל העיקרי בין שני סוגי המכונות הוא הבקרה הממוחשבת של מכונות ה-CNC, והאפשרות לבצע, בחלק מהמכונות, מספר רב של פעולות עיבוד. לדוגמה: קידוח, כרסום, חריטה, חיתוך ועוד. פעולות אלה מבוצעות באמצעות מערכות שינוע, הצבה ומדידה פנימיות, הכוללות גם מערכות הזנת כלים, מערכות הזנת חומרי גלם ומערכות להוצאת השבבים והמוצרים.



איור 4

מכונת חריטה CNC קטנה. העיבוד השבבי מבוצע כאשר המכסים השקופים, בעלי המגנים המשולבים סגורים



איור 5

מכונת חריטה CNC אנכית גדולה, הכוללת במת הפעלה מוגבהת בעלת מעקה. המפעיל מוגן מאזור העיבוד הפעיל באמצעות משטחים, הכוללים חלונות לפיקוח על פעולת המכונה. האיזור המסוכן מגודר לבטח

מחזור הפעולות העיקריות במכונות CNC

מחזור הפעולות האופייני במכונות CNC כולל את השלבים הבאים:

- תכנות - programming;
- דפינת החלק והכנת הכלים - setting;
- הרצה + ניסיונות לבדיקת התוכנית - proving;
- עריכה סופית של התוכנית - editing;
- הפעלה - operating.

3 שלבים אלה מבוצעים במצב של set up ('עריכה')

בהשוואה למכונות כלים ידניות כלולים כאן 3 שלבים נוספים: תכנות, הרצה ניסיונית ועריכה סופית. שלבים אלה מקבילים לשלבי התרגול (התרגול המעשי והרענון, המקובלים במכונות כלים ידניות). בכל אחד מהשלבים האלה טמון מרחב גדול של תקריות פוטנציאליות וסיכון לתאונות. ניסיון העבר מלמד שכל תקופת 'הרצה' וקליטת טכנולוגיות חדשות, כרוכה תמיד בגידול מספר התאונות. קושי גדול הכרוך בהפעלת מכונות CNC הוא מספרן הגדול יחסית של תקלות בשלבי הקליטה, הלימוד וההפעלה. לקושי זה יש 2 סיבות עיקריות:

1. מכונות CNC מאופיינות ע"י מחזורי פיתוח טכנולוגיים מהירים, ולכן מתיישנות תוך תקופה קצרה. כתוצאה מכך חייבים מפעילים מנוסים לחזור, וללמוד בכל פעם מחדש. לכן אין ניסיון יתרון משמעותי ביחס למפעילים צעירים לא מנוסים.

2. טכנולוגיית המחשבים היא טכנולוגיה מתקדמת ומורכבת מאוד. מורכבותן של פעולות המכונה, ותנאי הגבול לפעולת, הכוללים מרחב פרמטרים גדול, יוצר קושי למפעיל, לחזות מראש את הסיכונים האפשריים. נוצרת כאן אפשרות ל"תאונה לוגית" - מצב בו, בתנאים מסוימים, עלולה להתרחש תאונה קטלנית.

תחיקה ותקינה בארץ

הפעלת מכונות CNC צריכה להתבצע בהתאם לאמור **בפקודת הבטיחות בעבודה (נוסח חדש)**, **התש"ל-1970, פרק ג' סימן א'**: "מכונות בדרך כלל" וסימן ב': "מבנה של מכונות ומסחר בהן" אשר קובעת בין היתר:

- חלקים הטעונים גידור;
- גישה למכונות כשאינן מגודרות;
- התקני בטיחות אוטומאטיים;
- הסדרי בטיחות בקשר למימסרות;
- מבנה הגידורים וקיומם;
- מבנה של מכונות ומסחר בהן;
- אדם כשיר.

מערכת החשמל על כל מרכיביה, הארקות ואמצעי הגנה בפני חשמול, וכן הטיפול במערכות החשמל יהיה עפ"י חוק החשמל התשי"ד-1954 ותקנותיו.

השימוש בציוד אישי יהיה עפ"י תקנות הבטיחות בעבודה (ציוד מגן אישי), התשנ"ז-1997. בתהליכי זרימת חומרי הגלם, משולבים לעתים רובוטים תעשייתיים עם מכונות CNC. נושא המיגון של רובוטים תעשייתיים מופיע במפמ"כ ישראלי 395, משנת 1993.

תחיקה ותקינה בקהילה האירופאית

הנחיות הבטיחות במכונות CNC בקהילייה האירופאית עוסקות הן במסחר והן בהפעלה, עפ"י: EEC machinery directive - 89/392/EEC, תקנה שנכנסה לתוקף בתאריך 1 לינואר 1993.

סיכונים אופייניים

מערך הגנת המפעילים במכונות CNC מתבסס על 3 שלבים עיקריים:

- בטיחות בתהליך תכנון ובניית המכונה, כולל שינויים ושיפורים;
- התקנת מכונת ה-CNC ושילובה בתהליכי הייצור של במפעל;
- מינון העובדים המפעילים את מכונת ה-CNC מפני סיכונים הנובעים מהתפעול ותחזוקת המכונה.

כל המנגנונים ומגיני הבטיחות חייבים לפעול בעת הפעלת מכונות ה-CNC ובייצור השוטף, ולהיות מותקנים באופן מלא.

בכל 3 השלבים יש חשיבות רבה לביצוע הערכת סיכונים, שתכלול זיהוי הסיכונים ומתן פתרונות קבילים.

להלן רשימת סיכונים אופייניים למכונות CNC:

- מחיצה - בין גופים נעים לגופים קבועים;
- גזירה - בין מישטחים נעים למישטחים עומדים;
- חיתוך - ע"י פגיעה של גופים חדים;
- תפיסה - היתפסות של בגדים וכו' במערכות נעות ומסתובבות;
- משיכה פנימה - למשל, ע"י מערכת השינוע של המוצרים המעובדים;
- חבטה - ע"י גופים נעים;
- ניקוב - ע"י גופים חדים;
- חיכוך, קילוף - פגיעה בעור, ע"י חיכוך בלחץ עם מגופים בעלי מישטחים מחוספסים;
- הזרקה או התזת נוזלים בלחץ גבוה - ע"י התזת נוזל קירור או נוזל הידראולי בלחץ גבוה;
- זריקת חלק מהמכונה או העובד - במהלך עיבוד שבבי, לדוגמה: העפת כלי עיבוד;
- סיכוני חשמל - מכת חשמל כתוצאה משימוש בעוצמות וזרמים גבוהים. רוב המכונות ניזונות בד"כ ממתח 380 וולט, 3 פאזות;
- השפעות תרמיות - כויות כתוצאה ממגע עם חלקים חמים;
- סיכוני רעש - רעשי מכונה מעל 85dB(A);
- סיכוני רעידות - העברת הרעידות לאזורים חיצוניים;
- סיכוני שריפה - שריפת חשמל או הצתה של הנוזלים ההידראוליים;
- סיכוני קרינה - פגיעה בעיניים מקרן לייזר, המשמשת כחלק ממנגנוני אבטחת אזור העבודה;
- סיכוני חומרים מסוכנים - פגיעה כתוצאה מהתזה של נוזלי סיכה, נוזלים הידראוליים, או נוזלי ניקוי;
- הפרעות ארגונומיות - תכנון ארגונומי לקוי של מימשקי אדם-מכונה.

כל סיכון ספציפי או שילוב של מספר סיכונים מחייב בשלב ראשון: זיהוי מלא ובשלב שני: מתן פתרון בטיחותי הולם.

תאונות אופייניות המתרחשות במכונות CNC

סיבות לתאונות אופייניות בעבודה עם מכונות CNC:

- תהליך עצירת חירום באמצעות מפסק החירום ולא ע"י מפסק כוח החשמל הראשי, יכול לגרום לשבירה של כלי עיבוד יקרים וכמוכן לפגיעה בחלק המעובד. ההבדל המשמעותי בין עצירת חירום לבין ניתוק אספקת החשמל הוא בכך שניתוק החשמל מביא לעצירת הספקת החשמל, אך לא בהכרח לביטול כל מקורות האנרגיה האצורים בתוכה (אינרציה, לחצי שמן, אוויר וכו'). גרוע מכך, הפסקת אספקת החשמל עלולה לגרום לביטול מנגנוני בלימת המכונה המשולבים בתכונה. לכן, ניתוק החשמל במצבי חירום עלול לגרום לתאונה קטלנית. לפיכך - במקרה כזה חובה להשתמש אך ורק במפסק עצירת החירום, הנמצא על לוח בקרת המכונה.
 - מיגון בטיחותי נועד למנוע חדירה בשוגג של איברים כגון גפיים וראש לאזורים מסוכנים בעת פעולת המכונה. בחלק מהמקרים המיגון איננו מספיק בכדי למנוע העפת חלקי מתכת או שבבים מאזור המכונה (אזור מסופן) לאזורים חיצוניים. רוב התאונות קורות בשלב העריכה, כאשר המיגון פתוח והמפעיל, הנמצא בתוך התחום המסוכן, חשוף לפגיעות מכניות ממכונת העיבוד ולפגיעות כימיות מנוזל הקירור.
 - תופעת התנגשות בין כלים לחלקים, לדוגמה, כתוצאה מטעות. הזנה שגויה של החלק המעובד עלולה להסתיים בניפוץ שמשות המגן, והעפת חלקי מתכת או שבבי מתכת מחוץ לאזור המכונה.
 - התעייפות המפעיל כתוצאה מפעולות מונוטוניות, פוגעת ביכולת הבקרה והפיקוח על עבודת המכונה. העייפות גורמת גם לירידת העירנות בעת ביצוע פעולות שונות בתוך אזורים מסוכנים.
 - עיבוד ממוחשב מתוכנן להתבצע ללא מגע יד אדם, אולם תקלות בלתי צפויות דורשות את התערבות המפעיל גם באזורים מסוכנים, ופעולה במצבים בלתי צפויים.
 - בחלק מהמקרים, מנטרלים המפעילים חלק ממנגנוני הבטיחות, כדי לקצר את תהליכי נעילת החלק המעובד בתוך התפסנית ושחרורו לאחר העיבוד. פעולה זו מגדילה בצורה ניכרת את הסיכוי לתאונה קטלנית. ברוב מכונות ה-CNC קיים מספר רב של מצבי פעולה שונים, כולל מצבים ייחודיים לתהליכי הנעילה וההצבה.
 - יש לבחור את מצב ההפעלה האופטימלי לצורך הפעולה הנדרשת, או לבצע שינוי במצבי ההפעלה בתיאום עם יצרן המכונה.
- מכונות CNC אמורות, באופן תיאורטי, להיות בטוחות יותר ממכונות ידניות, אולם - פיזור הסמכויות בין הגורמים השונים הקשורים לתפעול מכונות ה-CNC, יוצר אפשרויות חדשות לסיכונים וטעויות. מעורבות הגורם האנושי בתפעול השוטף של מכונות CNC כוללת את הפעולות הבאות:
- כתיבה ועדכון תוכנות;
 - הכנה וכיוונונים מכניים;
 - פיקוח על הפעולות ועל תפקוד המכונה בעת ביצוע העבודה;
 - גילוי ותיקון תקלות;
 - מתן שירות תחזוקה.
- טכנולוגיית מכונות ה-CNC מורכבת, מסובכת, וחשופה לשגיאות, בכל אחת מהחוליות של שרשרת הפעולות האנושיות הנדרשות להפעלתן.