

יעדי בטיחות בייצור, התקנה ותפעול מכונות CNC

כללי

ככלל, מכונות ה-CNC חייבות להיות מוגנות מסיכונים חיצוניים או מכישלון רכיבים פנימיים. דרישה זו ניתנת לביצוע רק אם מנגנוני הבטיחות יהיו פשוטים ככל האפשר, ומופרדים משאר הבקרים. כמו כן, רמת האמינות של מכלולים ותת-מכלולים של מנגנוני הבטיחות חייבת להיות גבוהה מאוד (fail-safe). תכנון המכונה חייב לכלול גם התייחסות לאספקטים בטיחותיים בפעולות מיוחדות. ברוב המקרים תידרש מערכת בקרה מיוחדת, לעתים נפרדת, עבור פעולות מיוחדות. המערכת תבקר את פעולות המכונה הנדרשות ותמנע פעולות שאינן נדרשות, או פעולות בלתי צפויות היוצרות סיכונים.

פעולה רגילה

דרישות מיפרכי הבטיחות לא צריכות לעצור את התקדמות הטכנולוגיה. השימוש במכונות CNC מחייב ניתוח סיכונים, הערכת רמות הסיכונים ובניית תפיסת בטיחות כוללת. להלן מספר יעדי בטיחות ופתרונות אפשריים:

יעד בטיחות

מניעת כניסה פיסית מלאה או חלקית של המפעיל לאזורים מסוכנים בזמן הייצור.

פתרונות אפשריים:

- גידור ומיגון פיסי למניעת כניסה פיסית, מלאה או חלקית, של המפעיל;
- שילוב מנגנוני בטיחות העוצרים את פעולת המכונה בעת כניסה לאזור מסוכן, כגון: מחסומי אור, רגשי לחץ וכי;
- מחיצת מיגון הכוללת מגן משולב (interlocked) לעצירת המכונה, המאפשרת כניסה לאזור מסוכן אך ורק לאחר שהמכונה נמצאת במצב בטוח. (ראה תמונה 6).



תמונה 6

מכסה מגן משולב במכונת CNC סגורה. המגן בעל חלונות שקופים פתוח. למטה ניתן לראות את שני מפסקי הגבול



תמונה 6

יעד בטיחות

מניעת האפשרות לתאונה כתוצאה משחרור אנרגיה כגון: זריקת עצמים, התפרצות שמנים הידראוליים או נוזלי קירור וכו'.

פתרונות אפשריים

- שימוש במפסק לעצירת חירום מיידית;
- שחרור לחצים הידראוליים לפני טיפול במערכת וכו'.

אמצעי בטיחות נדרשים לצורות הפעלה רגילה ולפעולות מיוחדות

צורת הפעלה רגילה

שטח העבודה יהיה מגודר בגדר בטיחות כך שלא תתאפשר כל כניסה של גוף המפעיל או אבריו, לא בכוונה ולא בשוגג, לאזורים המסוכנים הבאים:

- אזור תנועות אוטומטיות של המכונה.
- מחסנית ומעריך הצבת כלי העיבוד.
- מחסנית ומעריך שינוע חומרי הגלם.
- השבבים ומעריך השינוע שלהם יהיו מגודרים בגדר בטיחות.
- מעריך ההנעה, כולל המימסרות, יהיה מגודר בגדר בטיחות.
- המפעילים יהיו מוגנים מחלקים העלולים להיזרק מהמכונה. הסיבות האפשריות לכך הן:
 - הידוק רופף של חלק מהמכונה או כלי עיבוד או חומר גלם;
 - כוח שיבוב חזק מדי;
 - מהירות שיבוב גבוהה מדי;
 - התנגשות בין כלי עבודה לבין חומר גלם או בין חלקי מכונה;
 - שבירת כלי שיבוב;
 - פגם בחומר הגלם;
 - שבבים.

צורת הפעלה מיוחדת

- החלפת חומר גלם תבצע באופן שלא יצור סיכוני לכידה או מעיכה של חלק מגוף המפעיל ע"י מנגנון נעילת חומר הגלם;
- תימנע אפשרות של הנעת חלק כלשהו כגון: טפסנית, כוש וכדומה, כתוצאה מפקודה מוטעית או פגומה כל עוד גוף המפעיל נימצא באזור מסוכן;
- כיוון חומר הגלם בטפסנית יתבצע בצורה ידנית או בעזרת כלי ייעודי, ללא יצירת סיכון למפעיל;
- החלפת כלי העיבוד בצריח המכונה לא תיצור סיכון כתוצאה מתנועה בלתי צפויה של המכונה או עקב מילוי פקודה לא רלוונטית;
- תימנע אפשרות תנועה של מחסנית כלי העיבוד בזמן החלפת כלים;
- תימנע אפשרות גישה מתחנת טעינת הכלים לאזורים אחרים, בהם קיימת אפשרות לתנועות מסוכנות של חלקי המכונה;
- פקודת הנעה של מחסנית או צריח הכלים, כאשר מנגנוני הבטיחות הרגילים אינם מופעלים - תבצע רק את התנועה הנדרשת בזמן הנדרש, לאחר בדיקה שהתנועה המסוימת הזאת איננה יוצרת שום סיכון.

בדיקת מידות של החלק המעובד

- כניסה לאזור מסוכן תהיה רק לאחר עצירה מוחלטת של המכונה;
- תימנע אפשרות הפעלת המכונה בשוגג.

עריכה

- אם מנגנוני הבטיחות הרגילים אינם מופעלים כאשר המכונה מבצעת תנועות - נדרשים מנגנוני בטיחות ייעודיים לתנועות הללו;
- תימנע כל אפשרות להפעלת תנועות מכונה בשוגג.

תיכנות

- תימנע כל אפשרות להפעלה בשוגג, המסכנות את המפעיל.

תקלות בייצור

- תימנע כל אפשרות להפעלת המכונה בשוגג;
- תימנע כל אפשרות למצבים או לתנועות מסוכנות בעת הוצאת חומר הגלם או פסולת;
- כאשר נדרש לבצע תנועות במכונה, ומנגנוני הבטיחות הרגילים אינם מופעלים - פקודת ההנעה תבצע רק את התנועה הנדרשת בזמן הנדרש, לאחר בדיקה שתנועה זו לא יוצרת שום סיכון.

איתור תקלות

- תימנע כל אפשרות כניסה לאזורים מסוכנים בעת ביצוע פעולות אוטומטיות;
- תימנע כל אפשרות לביצוע תנועות בשוגג;
- תימנע כל אפשרות לתפעול רכיבים לא תקינים של המכונה;
- תימנע כל אפשרות לזריקה או לנפילת חלק מהמכונה;
- כאשר נדרש לבצע תנועות במכונה בזמן איתור תקלות, ומנגנוני הבטיחות הרגילים אינם מופעלים - פקודת ההנעה תבצע רק את התנועה הנדרשת בזמן הנדרש, לאחר בדיקה שתנועה זו לא יוצרת שום סיכון.

תיקון תקלות

- לא תתאפשר הפעלת המכונה ללא נעילה וסימון מתאימים;
- יתאפשר ביצוע תנועות מכונה ללא סיכונים, הן בהפעלה ידנית והן בעזרת כלים ייעודיים;
- יימנע מגע עם חלקים שיש בהם סיכון להתחשמלות;
- יימנעו סיכוני נוזלים או גזים הנובעים מהמכונה.

דוגמאות לבטיחות מובנית בתוכנת הפעלה של מכונות CNC

שילוב מנגנוני בטיחות במחרטת CNC ע"י היצרן
נתונים כלליים:

- הספק: כ-10-25 כ"ס;
- מהירות סיבוב - 25,000 סל"ד;
- מהירות תנועות סרק - עד 33 מטר לדקה.
- מנגנוני הבטיחות המובנים, הכלולים בתוכנת ההפעלה של המכונה (protection function), הם:
- emergency Stop: מנגנון לעצירת חירום, מיידית ומוחלטת, של כל תנועות המחרטה;
- axis interlock: נעילת צירי X, Z, משמש לבדיקה גרפית בטוחה, לדוגמה: בדיקת החלפת כלים;
- over travel: הגנה מפני חריגת המכונה אל מחוץ לתחום העבודה המוגדר שלה;
- cutting start point interlock: פקודת מיקום תחילת השיבוב (למניעת טעויות בכניסה לפעולת השיבוב);
- stored stroke limit: תחום תנועות העבודה, במרחב הפעולה האצור בזיכרון של תוכנת ההפעלה;
- chuck barrier: יצירת מעטפת מגן למניעת פגיעה בתפסנית (מנגנון מתוכנת חשוב למניעת תאונות קטלניות);
- tailstock barrier: יצירת מעטפת הגנה בתוכנה על העוקץ.

שילוב מנגנוני בטיחות בכרסומת CNC ע"י היצרן
נתונים כלליים:

- הספק: כ-20-30 כ"ס;
- מהירות סיבוב: 7,000 סל"ד;
- מהירות תנועות סרק: עד 60 מטר לדקה.
- מנגנוני הבטיחות המובנים, אותם ניתן לכלול בתוכנת ההפעלה של המכונה (protection function), הם:
- emergency stop: מנגנון לעצירת חירום מיידית ומוחלטת של כל תנועות הכרסומת;
- axis interlock: נעילת ציר מסוים, או כל 3 הצירים, משמש לבדיקה גרפית בטוחה, לבדיקת החלפת כלים, לדוגמה;
- machine lock: נעילת כל מנועי היסרווי לצורך בדיקת תת מערכות שונות;
- data protect key: נעילת שינויי תוכנה, למניעת הכנסת נתונים ופקודות בשוגג;
- miscellaneous function lock: שורת התניות בשרשרת פעולות של עיבוד שבבי, המונעת כניסה לפעולה הבאה לפני השלמה מלאה של הפעולה הקודמת.
- stored stroke lock: מבטיח את חזרת שולחן העבודה למקומו המדויק.

בנוסף, קיימים ברוב מכונות ה-CNC:

- תוכנה אשר בה קיימות הגדרות של תנאים מגבילים, שימנעו קבלת פקודות לא חוקיות העלולות ליצור, בשוגג, מצבים מסוכנים;
- בקרת עומס אופטימלי של מומנט הסיבוב או של הכוח בתנועה הקווית, שיגדירו את רמת העומס המותר - בהתאם לקצב התקדמות השיבוב (עובי השבב), ובהתאם לקשיות החומר של המוצר המעובד;
- מניעת טעינת כלי שיבוב לא נכונים בעמדת העבודה.

בטיחות בהפעלה

במכונות ה-CNC קיים מצב הנקרא 'מצב עריכה' (program and program edit). לצורך התיכנות מותקן בתוך לוח הבקרה של המכונה מפתח ייעודי, שהוצאתו תימנע כל אפשרות של תיכנות. ככלל, פעולת העריכה תבוצע ע"י מפעיל שהוכשר לתפקיד זה, והעונה על הדרישות של 'אדם כשיר' בפקודת הבטיחות בעבודה (נוסח חדש), התשי"ל-1970, סעיף 38.

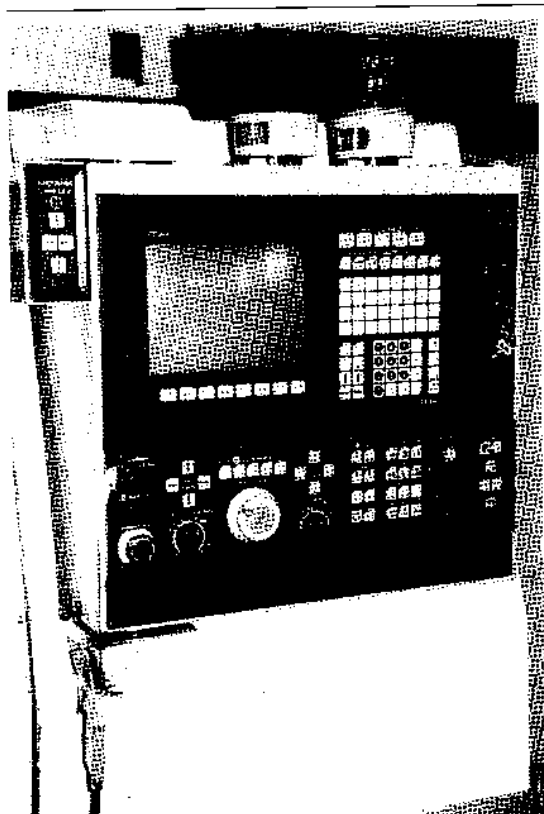
לצורך הפעלת המכונה קיימים 3 מצבים אפשריים:

1. מצב ידני - ניתן לתת פקודות ידניות כאשר דלתות המיגון פתוחות;
2. מצב פקודות חד-פעמיות - כל פקודה תפעיל צעד בודד בלבד;
3. מצב אוטומטי - המכונה תבצע מחזורי פעולות שלמים עפ"י התכנות. פתיחת דלתות המיגון תגרום לעצירת המכונה באופן מיידי.

למפתח ההפעלה 2 מצבים:

1. אדום - שמשמעותו היא: הכוש נעול;
 2. ירוק - שמשמעותו היא: המכונה ניתנת להפעלת צעד בודד וניתן לסובב את הכוש.
- הערה: קיימים שינויים במצבי ההפעלה בין היצרנים השונים. כמו כן, לוגיקת ההפעלה משתנה, כמו שאר השינויים וההתפתחות הטכנולוגית.

בתמונה 7 נראה 'פנלי שליטה של מכונת CNC:



תמונה 7

פנל שליטה על מכונת CNC הכולל כפתור אדום לעצירת חירום ומפתח לנעילת המכונה מפני הפעלה בשוגג או ביצוע תיכנות. הכפתור הירוק משמש להפעלת מחזור רגיל. הכפתור האדום מתחתיו משמש לעצירה רגילה. אור צהוב הוא חיווי לקריאה למפעיל. אור אדום הוא חיווי למכונה תקולה או חוסר בשמן, מי קירור וכו'.



תמונה 7

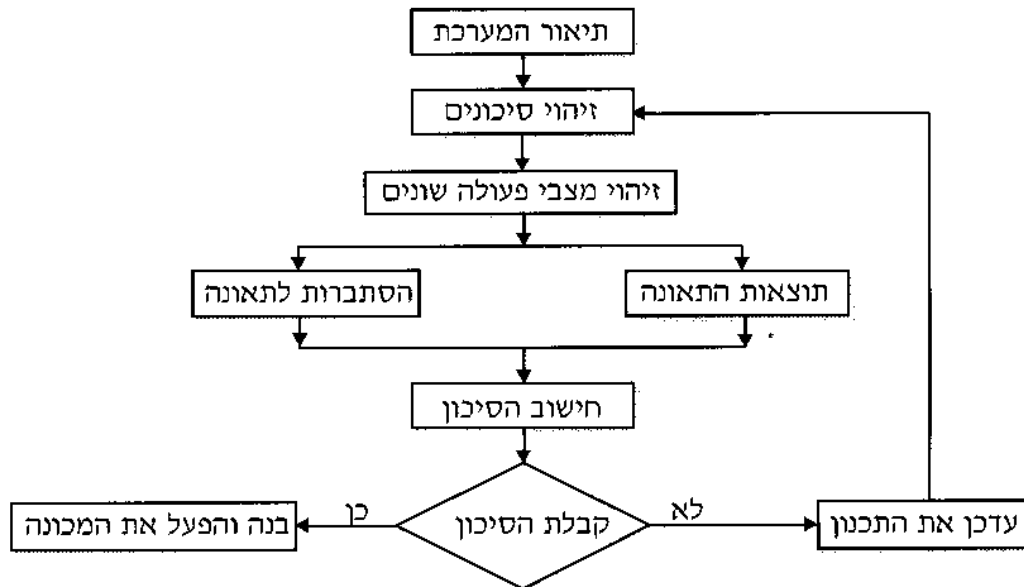
ככלל, מערכות המגינים צריכות למנוע את כניסת המפעילים לאזורים מסוכנים של מכונת ה-CNC. זה כולל גם כניסת אברים, כגון גפיים וראש, לתחום הסכנה. רובוטים תעשייתיים שונים מצוידים בחיישנים, האמורים להפסיק באופן אוטומטי את פעולת המכונה, כאשר חודר גוף או איבר לתוך אזור מסוכן. הסרת דלת מיגון, לדוגמה, צריכה לגרום לעצירת המכונה באופן אוטומטי, באמצעות מפסק משולב (interlocked). בחלק ממכונות ה-CNC, תימנע את הפעלת המכונה תפסנית (chuck) פתוחה, ללא חומר גלם. לכל מכונה יש מספר רב של מצבי הפעלה, כאשר בכל מצב הפעלה מופעלים מנגנוני בטיחות שונים. קיים גם מיגון רחב של אמצעי חישה לגילוי חדירת אדם לאזורים מסוכנים, כמו: תאים פוטוראלקטריים; רגשילחץ; דיודות לייזר ועוד. חיישנים אלה יגרמו להפסקת פעולות המכונה באופן מיידי, כאשר יחושו בחדירה לאזורים מסוכנים.

חיישנים נוספים, כגון חיישני רעש/רעידות, בשילוב עם תוכנת ההפעלה, צריכים לזהות תקלות בפעולה השוטפת ולגרום לעצירת המכונה ולהודעה על תקלה. במעבר למצב 'עריכה', נדרש בד"כ מפתח מיוחד, למניעת מעברי מצב בשוגג.

התזה של שמני קירור על אזורי עור חשופים, עלולה לגרום למחלת עור (dermatitis); שילוב שמני קירור עם שאריות מתכת עלול לגרום לדלקות וזיהומים שונים בעור; חשיפת העור לחלק משמני הקירור עלולה לגרום בטווח הארוך להתפתחות גידולים סרטניים. ברוב מכונות ה-CNC קיים מגן שקוף המונע התזה שמני סיכה. שמני הסיכה עוברים מחזורי ניקוי פנימיים (הפרדת מתכות ומוזהמים אחרים) בתוך מיתחם המכונה, ואינם אמורים לדלוף אל מחוץ לתחום מכונת ה-CNC. המפעיל חייב לעבור הדרכה יסודית, שתכלול זיהוי כל הסיכונים והכרת אמצעי הבטיחות השונים הקיימים במכונה המסוימת.

מחקר יסודי של תאונות במכונות CNC מצביע על כך שתאונות קשות במכונות CNC נובעות, בחלק גדול מן המקרים, משילוב של שגיאות מפעיל עם טעות בתכנון סביבת העבודה. הדרישות למיגון אישי, כגון: משקפי מגן, אוזניות להגנה מפני רעש, ביגוד מתאים, נעלי בטיחות, וכו', ייקבעו בהתאם לסביבת ההפעלה, בכל מקרה בנפרד.

תהליך זיהוי סיכונים ומתן פתרונות בטיחותיים בשלב התכנון/ההתקנה במפעל ובשלב שינויים/שיפורים



שיטות ואמצעים למניעת תאונות

צורות הפעלה

בהפעלת מכונות CNC קיימת הפרדה בין הפעלה רגילה (normal operation), בה מבצעת מכונת ה-CNC את תהליכי העיבוד כפי שנקבעו בתהליכי העריכה והתיכנות ובין הפעלה מיוחדת (special operation) שבה מבוצעות פעולות מיוחדות, כגון: תיכנות; קליטה והרצה; עריכה; הרצות ניסיוניות; בדיקה; איתור תקלות; תחזוקה.

מניתוח סטטיסטי עולה שמרבית התאונות מתרחשות במצבי 'הפעלה מיוחדת'.

הפעלה רגילה

בהפעלה רגילה מבצעת המכונה את הפעולות הבאות:

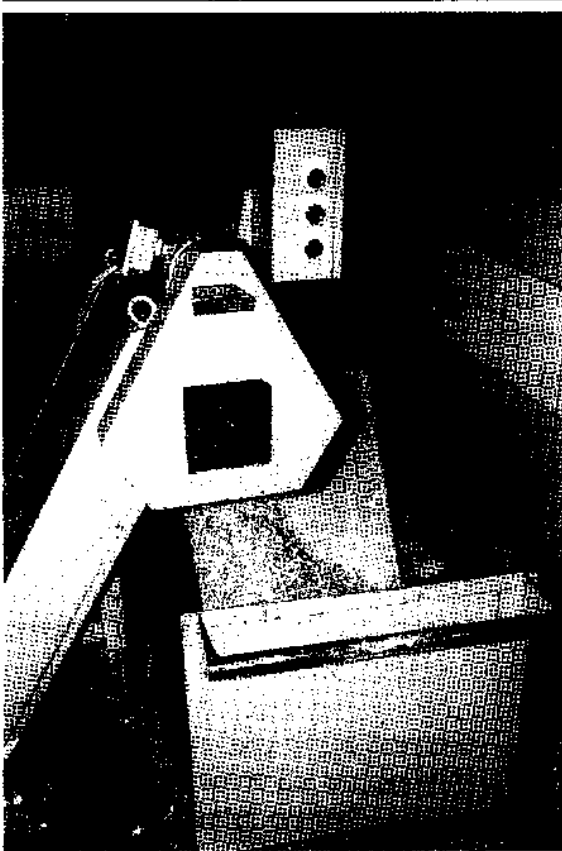
1. סידרת תנועות ופעולות עפ"י תוכנת הביצוע;
2. ביצוע עיבוד שבבי של החלק המעובד עד הגעתו לצורה הנדרשת, תוך יצירת שבבים. כל פעולת עיבוד הדורשת התערבות ידנית של המפעיל, הופכת פעולה זו לפעולה מיוחדת.

הפעלה מיוחדת

לפני כל הפעלה רגילה של תהליך הייצור, נדרשת הפעלה מיוחדת. פעולות ההפעלה המיוחדת כוללות החלפת כלי עיבוד; החלפת חומרי גלם לעיבוד (עובד); תיקון תקלות; תיכנות; הרצות ניסיוניות; ניקוי ותחזוקה ופעולות נוספות. כל התערבות ידנית של המפעיל בפעולות המיוחדות חייבת להיות מאובטחת, באמצעות אמצעי בטיחות מובנים או בנהלי עבודה מתאימים.

מפעילים

אמצעי הבטיחות חייבים להתאים למפעילים השונים של מכונות ה-CNC השונות (מפעילים; מתכנתים; מתחזקים וכו'), ולעובדים נוספים כגון: מנהלי ייצור, מפקחים ומשנעי חומרים, העשויים להימצא בסביבת המכונה.



תמונה 8

סילוק שבבים באמצעות מסוע ומיכל ייעודי. המסוע יופעל באופן אוטומטי עם הפעלת מכונת ה-CNC. למסוע מערכת הפעלה נוספת לעצירת חירום או הפעלה עצמאית

דרישות בטיחות עבור אביזרים נלווים למכונה

קיימים אביזרים שונים המאפשרים תפעול בטוח של המכונה בזמן מחזורי הייצור הממוחשבים, ללא צורך בכניסה לאזורים מסוכנים. אביזרים אלה מחולקים ל-3 קבוצות:
הקבוצה הראשונה של האביזרים כוללת:
● כלים ייעודיים לסילוק בטוח של השבבים (ראה תמונה 8).



תמונה 8, 9, 10

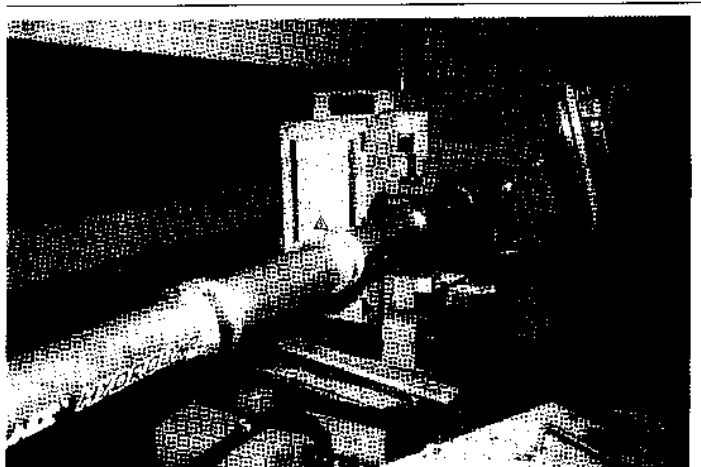
● מערכות להזנת חומרי גלם לעיבוד, בעלות תפס מתאים, המאפשרות את הזנת חומר הגלם (ראה תמונה 9) ומערכת לקבלת המוצרים המעובדים.

הקבוצה השניה של האביזרים מטפלת בהפעלות מיוחדות:

תיקוני תקלות וביצוע תחזוקה במכונות CNC, מחייבים כניסה לאזורים מסוכנים. לצורך פעולות אלה קיים מיגוון רחב של מכשירים המאפשר עבודה בטוחה. לדוגמה: אמצעי הרמה לצורך החלפת גלגלי השחזה כבדים או החלפת חלקים כבדים אחרים במכונה, הכלולים בקבוצה זו.

קבוצת אביזרים זו מיועדת למקומות בהם קיים סיכון גבוה - כאשר נדרש, לדוגמה, לבצע עריכה בציר המכונה בזמן תנועתה, במצב שמנגנוני הבטיחות אינם פועלים. לפעולה זו נדרש בקר מיוחד, שיבצע רק את הפעולה המסוימת, במסלול הנדרש ובזמן הנדרש. הבקר הזה מיועד למנוע פעולות שגויות, או פעולות נוספות העלולות להפוך לפעולות מסוכנות או מצבים מסוכנים.

קבוצה שלישית של אביזרים כוללת את כל האביזרים המעלים את רמת האוטומציה של התהליך, כגון: מנגנוני הזנה אוטומטים לכלי העיבוד (ראה תמונה 10) מנגנוני הזנה לחומרי הגלם; סילוק השבבים; מיחזור חומרי סיכה וכו'. אביזרים אלו חייבים לכלול מנגנוני בטיחות מובנים ומיגונים עפ"י הנדרש. מנגנונים אלה, ככלל, יקטינו את רמת התערבותו של המפעיל בתהליכי הייצור, והודות לכך תצטמצם, חשיפתו של המפעיל לסיכוני המכונה.



תמונה 9

מזין חומר גלם למכונת CNC המשמש למספר תפקידים: הזנה רציפה של חומר גלם עפ"י דרישות הייצור; מגן למניעת פגיעה כתוצאה מסיבוב ותנודות (שלעיתים לא ניתן להבחין בהן); משכך רעש ורעידות הנובעות מתנועות וסיבוב חומר הגלם



תמונה 10

מכסה מגן משולב עם חלונות שקופים להגנה על מחסנית כלי העיבוד. מצד שמאל ממוקם מפסק בטיחות. מפסקי הבטיחות נמצאים מסיביב למכונת CNC, זמינים להפעלה באזורים בעלי סיכון