مدل PFMA در مهندسی ساخت

تحلیل دقیق فرآیند و مثال واقعی از ساخت یک پروانه پمپ

مقدمه

در صنایع مهندسی ساخت، اطمینان از کیفیت و قابلیت اطمینان قطعات تولیدی اهمیت بسیار زیادی دارد. مدل PFMA (Process Failure Mode and Effects Analysis) ابزاری قدرتمند برای شناسایی، تجزیه‌وتحلیل و کاهش خرابی‌های بالقوه در فرآیندهای تولید است. در این مقاله، فرآیند PFMA را با جزئیات کامل بررسی کرده و از یک مثال واقعی در ساخت یک پروانه پمپ برای صنعت فولاد استفاده می‌کنیم تا کاربرد عملی این روش را نشان دهیم.

---

۱ .مفهوم مدل PFMA و اهمیت آن در مهندسی ساخت

مدل PFMA یک ابزار تحلیلی است که در آن حالت‌های بالقوه خرابی (Failure Modes) در فرآیند تولید شناسایی شده و تأثیرات آن‌ها بر کیفیت محصول بررسی می‌شود. این مدل به کاهش ریسک، افزایش قابلیت اطمینان و بهبود مستمر فرآیند تولید کمک می‌کند.

مزایای استفاده از:PFMA

شناسایی و حذف نقص‌های احتمالی پیش از وقوع
کاهش هزینه‌های ناشی از خرابی و دوباره‌کاری
افزایش بهره‌وری و بهبود کیفیت محصول
افزایش رضایت مشتریان از طریق تولید قطعات باکیفیت

مستندسازی فرآیند

۲ .مراحل اجرای PFMA در فرآیند مهندسی ساخت

اجرای مدل PFMA در فرآیند تولید شامل مراحل زیر است:

۱ .تعیین دامنه و هدف

در این مرحله، تیم مهندسی دامنه تجزیه‌وتحلیل را مشخص می‌کند. در مثال ما، هدف تعیین فرآیند ساخت یک پروانه پمپ برای شرکت فولادی که بتواند کاربرد ،کیفیت و عمر مناسب را در محل کاربردش داشته باشد

۲ .شناسایی فرآیندها و زیرفرآیندها

در این مرحله، فرآیند تولید به چند مرحله اصلی تقسیم می‌شود:

۱- بررسی نیازهای مشتری و طراحی مهندسی
۲-ساخت طراحی مهندسی وتدوین تکنولوژی ساخت شامل

۲-۱) تعیین متریال با توجه به شرایط کاری پروانه
۲-۲) انتخاب روش ریخته‌گری پروانه پمپ
۳-انتخاب روش عملیات حرارتی و بهبود خواص متالورژیکی

۴-ماشین‌کاری دقیق قطعه

۵-مونتاژ و تست عملکرد نهایی
۶- مستندسازی و تحویل به مشتری

۳ .شناسایی حالات خرابی بالقوه(Failure Modes)

در هر مرحله، احتمال وقوع خطاهای مختلف بررسی شده و تأثیر آن‌ها بر کیفیت محصول ارزیابی می‌شود. سپس طرح کیفیت QCP و ITP تدوین میگردد تا در مراحل ساخت بازرسی ها صورت پذیرد

۴ .تعیین شدت، احتمال وقوع و قابلیت کشف خرابی‌ها

برای هر خرابی، سه معیار ارزیابی می‌شود:
شدت :(S) میزان اثرگذاری خرابی بر عملکرد قطعه
احتمال وقوع :(O) احتمال رخ دادن خرابی در فرآیند تولید
قابلیت کشف :(D) احتمال کشف خرابی قبل از تحویل محصول

شاخص RPNبا فرمول زیر محاسبه می‌شود:

RPN=S×O×DRPN = S \times O \times D

۵ .تعیین اقدامات اصلاحی و بهبود فرآیند

بر اساس نتایج، راهکارهای اصلاحی برای کاهش ریسک‌های شناسایی‌شده اجرا می‌شود.

۳ .مثال واقعی: ساخت پروانه پمپ برای یک شرکت فولادی

مرحله اول: بررسی نیازهای مشتری و طراحی مهندسی مهندسی
تدوین تکنولوژِی ساخت بر اساس دریافت مشخصات فنی از مشتری

بررسی علت خرابی پروانه قبلی
تعیین جنس مناسب (آلیاژ فولاد زنگ‌نزن مقاوم به سایش)
طراحی مدل سه‌بعدی در نرم‌افزارهایCAD

مشکل احتمالی :عدم تطابق طراحی جدید با الزامات عملیاتی
اقدام اصلاحی :بازبینی مدل با تیم فنی و تحلیل تنش

مرحله دوم: ریخته‌گری پروانه پمپ

برای این مورد برای صافی سطح بهتر پره های پروانه روش ریخته گری دقیق انتخاب گردید .با استفاده از تست کوانتومتری در هنگام ذوب سازی از آنالیز دقیق مطابق متریال انتخابی اطمینان حاصل میگردد

مشکل احتمالی:

- ایجاد تخلخل و ترک در قطعه
- تغییر در ترکیب شیمیایی آلیاژ

اقدامات اصلاحی:

بعد از تمیزکاری قطعه با روشهای تست های غیر مخرب مانند UT ,MT,PTقطعه مورد بازرسی کیفی قرار میگیرد

مرحله سوم: عملیات حرارتی و بهبود خواص متالورژیکی

برای این پروانه با توجه به متریال انتخابی و افزایش مقاومت به سایش عملیات حرارتی تعریف گردیده و سپس سیکل عملیات حرارتی مطابق تکنولوژی اجرا میگردد

مشکل احتمالی:

نرسیدن به سختی مورد نظر و ترک خوردن

اقدامات اصلاحی:

انجام سختی سنجی و تستهای غیر مخرب MT, PT ترک یابی

مرحله چهارم : ماشین‌کاری دقیق قطعه

ماشین‌کاری با دستگاه CNCپنج‌محوره
کنترل ابعادی با (CMMدستگاه اندازه‌گیری مختصات(
پرداخت‌کاری برای کاهش زبری سطح

مشکل احتمالی:

- عدم تطابق ابعاد قطعه با استاندارد
- افزایش زبری سطح که باعث افت راندمان پمپ می‌شود

اقدامات اصلاحی:

استفاده از ابزارهای برشی دقیق با روانکاری مناسب
اندازه‌گیری تلرانس‌های ابعادی در هر مرحله از ماشین‌کاری

مرحله پنجم: مونتاژ و تست عملکرد نهایی

تست دینامیکی بالانس قطعه
آزمایش عملکرد پروانه در سرعت بالا

مشکل احتمالی:

- لرزش و عدم تعادل قطعه در حین کار

اقدامات اصلاحی:

بالانس دینامیکی با دستگاه‌های پیشرفته

کنترل وزن و هم‌محوری قطعه

مرحله ششم: مستندسازی و تحویل به مشتری

ارائه کتابچه فنی شامل:

نقشه‌های نهایی و اصلاح‌شده

گزارش تست‌های کنترل کیفیت

دستورالعمل نصب و نگهداری قطعه

نتیجه نهایی :پروانه پمپ با ۳۰٪ کاهش نرخ خرابی و ۲۰٪ افزایش طول عمر تحویل شد.

۴ .جدول تحلیل PFMA برای فرآیند تولید پروانه پمپ

اقدام اصلاحی	RPN	قابلیت کشف (D)	احتمال وقوع (O)	شدت (S)	خرابی محتمل	مرحله
بهینه‌سازی ترکیب مذاب و تست X-ray	۱۶۰	۴	۵	۸	تخلخل در قطعه	ریخته‌گری
استفاده از CMM و کنترل مداوم ابعادی	۱۸۰	۵	۴	۹	تلرانس نامناسب	ماشین‌کاری
کنترل دما و تست سختی‌سنجی	۱۲۶	۳	۶	۷	ترک‌های حرارتی	عملیات حرارتی
تست بالانس دینامیکی	۱۸۰	۴	۵	۹	لرزش بیش از حد	تست نهایی

۵ .نتیجه‌گیری

مدل PFMAبه کاهش ریسک‌های تولید و بهبود کیفیت در فرآیند ساخت کمک می‌کند. در مثال پروانه پمپ، این مدل باعث شد تا نقص‌های احتمالی پیش از تولید شناسایی شده و اقدامات اصلاحی انجام شود. نتیجه این رویکرد، کاهش هزینه‌های دوباره‌کاری و افزایش عمر مفید قطعه بود.

تهیه و تدوین : واحد مهندسی شرکت فربد صنعت ایرانیان ۱۴۰۳