専用工作機械の保全性設計技術*

植村 悟**

Maintainability Design of Special Purpose Machine / Satoru UEMURA

Key words: maintainability, reliability, reliability analysis, failure, failure mode and effects analysis, design review, mean time between failures (MTBF), mean time to repair (MTTR)

1. はじめに

当社の専用工作機械（以下、専用機という）は、主に自動車産業の発展と共に歩んできた。自動車産業における高度成長時代の生産量拡大、排気ガス規制対応、車種の多様化、低燃費対応、地球環境対応等の変遷に伴い、これらの市場ニーズを的確に把握し、コスト、品質、性能で個別ニーズに合った信頼される設備を提供してきた。

専用機を一口に定義すれば、「特定の工作物をより経済的に生産するため、顧客のニーズに基づき設計、製作された工作機械」である。顧客の計画に基づき、タイムリーに設備を供給する必要がある、設計期間が短い。その中で、顧客に満足いただける、コスト、性能、信頼性を作り込む必要がある。

特に、最近のニーズとして、低成長時代を反映し、低コストで、生産性の高い設備が要求されている。その対応として、各装置の高速化が急速に進んで来た。その反面、一度故障するとダメージが大きく、長時間停止となり、生産に支障をきたすケースが増えている。長時間停止は、多量生産を目的としている専用機では致命的となる。そのため、信頼性設計、保全性設計が重要な課題となる。

ここでは、当社専用機において、いろいろな活動を通じて長年培ってきた、信頼性設計、保全性設計の取組みを紹介する。

2. 信頼性設計、保全性設計の取組み

2.1 当社の品質向上活動

1981年 TQC 活動より始まり、TPM 活動、ISO 9001 取得活動へと進んで来た。それらを通じ、顧客の信頼にこたえ得る高品質の追求、すなわち、高精度、高能率、高信頼性、高い安全性、保全性にすぐれた製品を追求して来た。

特に最近では、高機能化、高速化が進み、機械が複雑になり、かつ故障時のダメージも大きくなった。顧客の保全性向上に対する要望が一層強くなり、メンテナンスフリーを目指した活動が重要になって来た。

メンテナンスフリーを考えた場合、こわれない設備の追求と、こわれてもすぐ復元できる設備の追求の二つの方向がある。前者のこわれない設備作りは信頼性向上活動、後者のこわれてもすぐ復元できる設備作りは保全性向上活動により行っている。

これらの活動を、当社では、T-MP 設計活動として推進している。

2.2 信頼性向上活動

主な活動として、設備 DR と PAD 活動を行っている。稼働中の類似マシンを顧客と調査し、その稼働状況（設備カルテ、保全データ、切粉除去状況）から現地現物主義の原点に立って、製作する機械に信頼性を盛り込むデザインレビュー（設備 DR）を実施している。

また、従来より信頼性向上活動として、設計基準書の充実、過去の不具合の反映、強度計算方法の充実等、設計資料の充実を図ってきた。

しかし、それだけでは、設計者により、実施事項にばらつきが出たり、ますます短くなる設計期間で十分な設計検討ができない状況となり、信頼性を大幅に向上させること

* 原稿受付 平成 11 年 2 月 1 日
** 豊田工機(株) (刈谷市朝日町 1 丁目 1 番地)
福井大学工学部機械工学科卒

表 1 機構の層別と活動内容

層別	機 構	使用条件	過 去 の クレーム	実 施 活 動			
				FMEA	DR	QA 表	MP 設計書
M 4	新機構	—	—	○	○	○	○
M 3	類似機構	従来と異なる	—	—	○	○	○
M 2	類似機構	従来と同じ	有り	—	—	—	○
M 1	従来機構	従来と同じ	無し	—	—	—	—

軸頭部 MP 設計検討書				
No.	過去の不具合		改 善 内 容	適用 要否
	内 容	要 因		
8-1	切粉飛散カッタカバーがあり、刃具交換の作業性が悪い。	・ ①部にカッタ交換用レンチ穴があるため、カバーとレンチが干渉。 ・ 可動カバーと軸頭のすきまが少ないため作業性が悪い。	刃具交換時カバーをスライドさせ、刃具全体を露出させる。 長穴ボルト止めで固定する。	

図 1 MP 設計検討書

は困難であった。

その解決方策として、機械の難易度に合った取組みを組織的にいき、効率がよく、もれない設計検討ができるシステムを模索してきた。

具体的には、設計の初期の構想設計段階で、各構成要素を難易度により層別（M1～M4）し、難易レベルに合った信頼性手法を用い、故障の予測と予防を行う設計活動を行っている。その活動を当社では、PAD 活動（Planning Assurance of Design）と称している。

表 1 に機構の層別とその活動内容を示す。

2.3 保全性向上活動

顧客からの保守・保全情報、後工程からの改善提案、および、納入設備のクレーム情報（サービス情報）等の MP 情報を収集、解析、整理した MP 設計検討書を活用し、設備故障の低減、保全性の作り込みを行っている。

図 1 に MP 設計検討書を示す。

さらに、顧客満足度を指標にとらえた活動を進めている。買っていただいた設備を納入して 6 か月経過した後、聞き込みにより、顧客の使う人、保全する人の満足度状況を 5 点評価していただくシステムを採用している。

これから得られた情報を整理分類し、MP 設計検討書に随時追加することにより、保全性向上活動の充実を図っている。

2.4 デザインレビュー活動

顧客のニーズはますます高度化、個性化、多様化し、これまでとは比較にならない程、機能向上が求められ、かつ、生産リードタイム短縮も求められる状況の中、これまでのように限られた設計者だけの力では、十分な活動は大変困難な状況である。

そういった状況の中、信頼性向上、保全性向上活動を効率よく、確実に行う方策として、デザインレビュー（以下 DR という）を行っている。

具体的には、設計を進めるステップの重要なポイントで営業、設計、機械、組立の責任者を含め DR を行っている。図 2 に T-MP 設計活動の仕組み図を示す。

3. 故障について

生産ラインの日常の生産活動を阻害する機械停止ロスを大きく分類すると、故障ロスと、チョコ停ロスに分けられる。

簡単な調整（5 分以内）で復帰できる機械停止ロスを当社はチョコ停ロスと呼んでいる。

故障ロスとは、破損などの復帰に長時間（10 分以上）かかる機械停止ロスを言う。

チョコ停ロスは一般的に慢性的なものが多く、発生原因は単純であるが、抜本対策に苦慮するものが多い。

図2 T-MP 設計活動

故障ロスは機械の長時間停止につながる最大のロスであり、故障ロスの原因の90%は、設計工程でミスを作り込んでいる。

故障の発生率について一般的にバスタブ曲線が知られている。図3のバスタブ曲線で表されるように故障は、初期故障、偶発故障、摩耗故障に分類される。故障率は、初期故障が最も多く、これをできるかぎり少なくすることが、信頼性の高い設備となる条件である。

偶発故障は環境条件により発生する故障で、予測が困難である。しかし一度発生すると、長期間故障になる場合が多い。特に最近の高速化により致命故障になりかねない。

摩耗故障は、部品寿命により発生する故障で設備の目標寿命と合わせる必要がある。

各々の故障に対して、故障の形態を明確にして、対策を打たなければ、適切な再発防止とならない。

初期故障の原因は前述したように、90%は設計にある。当社では、前述したように、T-MP活動により、設計の

図3 バスタブ曲線

各ステップで信頼性手法を活用し対策している。機構の層別を行い、難易度に応じ、FMEA、DRを実施している。顧客の保全情報、納入設備のクレーム情報、後工程の改善提案等を常に反映し、再発防止の徹底を図っている。

故障原因の10%を占める製造上の原因は「QA表」という形で、作業ポイントを明確にして徹底を図っている。

図4にQA表を示し、表2に故障の形態とその対策を示す。

4. チョコ停対策

機械を使用している現場作業者の意見は、機械稼働に対して、故障ロスよりもチョコ停ロスに対する不満が多い。その理由は、前述したように、チョコ停は、慢性的なものが多く、解決が難しいことにある。

チョコ停を分類整理すると、主なものは、次のものである。

- ① ジグの動作不良
- ② 着座異常（ワーク基準当金との密着不良）
- ③ リミットスイッチ（LS）動作不良
- ④ 油漏れ
- ⑤ 搬送不良

QA 表 名称 軸頭			機種		号機		T-*****	
			納入先		納期			
部位 No.	部位名称	品質特性	設 定 値 (許容値)	目 標 値 (最適値)	S 重 区分	設計値の達成 が必要な理由	事故来歴	
⑥	エマフレックス カップリング	ボルト締付 トルク	軸径φ40 31.6±1N・m (322±10kgf・m)	31.6N・m (322kgf・m)	重	伝達トルクの確保	事故層あり	
			軸径φ38 27.0±1N・m (275±10kgf・m)	27.0N・m (275kgf・m)				
⑦	連結シャフト	振れ	0.005 以下	0	重	カップリングの割れ 防止。

図4 QA 表

表2 故障の形態とその対策

	初期故障	偶発故障	摩耗故障
主な原因	・設計ミス 90% ・製作ミス 10%	・環境条件による ・運転操作上のミス	・部品の寿命
対策	・信頼性手法の活用 FMEA, DR ・QA表の活用	・フィールドレベル でのテスト評価 ・取扱説明書の整備	・耐久テスト評価 ・設計寿命の統一

⑥ その他、加工不良、精度不良、刃具折損

前述の①,②,③はジグまわりの切粉飛散、堆積が主な原因であり、チョコ停対策は「切りくず処理対策」と言える。

5. 切りくず処理対策

切りくずは、材質、刃具、加工条件の組合せにより千差万別であり、それを一定の方法で処理することは不可能である。この切りくずを、細かく分類し、特徴をつかまえて、それに見合った処理方法をとることが重要である。

被加工物材質が鋳鉄の場合には、切りくずは切断され、比較的処理は容易である。しかし、自重による落下は難しく、いったん堆積すると固着し、その処理は困難である。一般的には、クーラントにより切りくず処理を行っている。

鉄系の場合は、刃具の改良により、比較的切断されやすくなったが、切断条件によっては、切りくずがカールし、その処理は非常に困難となる。

アルミニウムの場合には、切りくずが軽いため四方へ飛散し、どんな場所にも付着する。切りくずが飛散しないようにジグ回りをカバーで囲い、発生源で止めることが重要である。いずれの場合も、多量のクーラントにより押し流し、処理をしているのが現状である。

より効率よく、完全に処理するためには、切粉の特徴をつかみ、切りくずの飛散を極力押さえ、切りくずの堆積する平面部をなくし、クーラントの通路を確保することが重要である。

当社においては、被加工物材質、加工工程、切削条件の組合せで変わる各種切りくずの形状を徹底的に調査し、その処理方法の基準を明確にして、各設計に反映している。

その一例として、表3にアルミニウム合金の切りくず処理対策の例を示す。

6. ジグの安全性向上

ジグには、本来の被加工物を固定する機能のほかに切りくずの流れの良さと、安全性の良さが要求される。複雑でしかもカバーに囲まれたジグでこの難問を解決する必要がある。

これらの問題を解決する手段として、当社では、ジグ構

表3 アルミニウム合金の切りくず処理対策例

工 程	アルミニウム合金穴あけ加工	
	ドリルφ15未満	ドリルφ15以上
切りくず形状
堆積と飛散	・平坦部でもクーラントが流れていれば堆積しない ・切りくずの飛散はほとんどない	・クーラントが流れていれば堆積しないが、切粉が大きくクーラントの量が必要
処理方法	・クーラントの流れる道を作れば流れる 目安1ジグ 50 l/min	・同左 目安1ジグ 100 l/min
ジグの基本的な考え方

成要素のカセット化を行っている。

従来、専用機のジグは、工作物に合わせてその都度設計が行われていた。工作物を位置決めする機構、クランプする機構、それらの動作を確認する機構等、特殊に設計されていた。そのため複雑となり、切りくずの流れの悪いジグとなる場合が多かった。

その解決手段として、ジグの構成要素を、動作確認機構を内蔵した形で標準化（カセット化）した。

設計者は、工作物に合わせてカセットを配置設計すればよいことになる。別の動作確認機構等は不要となり、ジグが簡素化し、余分な出張りもないスッキリとしたジグになる。また、設計者のレベルに左右されない切りくず流れと、安全性のよいジグとなる。図5にそのイメージ図を示す。

7. 信頼性評価テスト

従来より、新規開発装置については試作機を製作し、評価テストを実施していた。しかし、評価内容は、性能評価が主体であり、耐久評価としては実験室レベルの評価で終わっていた。実際の使用条件での耐久評価は、顧客へ納入後実機でやるのが実態であった。そのため使用環境から発生する偶発故障を未然に防ぐことは困難であった。

また、最近の高速化により、いったん故障が発生すると長時間故障はまぬがれない。その偶発故障をなくするため、より顧客の使用環境に近い形で耐久評価をする必要が

図5 カセット形ジグ

ある。

その方策として、切粉，クーラントをかけながら，耐久テストができるテストベンチを考案し実施している。図6にその耐久テスト状況を示す。

また，高速化により，故障時の破損レベルが従来の数倍と大きくなる。故障時の復帰時間（MTTR）を短くするためには，破損レベルを把握する必要がある。最近では，破損テストも実施している。しかしながら，まだまだ十分な信頼性評価テストが実施できていないのが実状である。

今後さらに，短期間で，より正確な耐久テストができるようにテスト環境，加速テスト，過負荷を与えた状態での試験，いわゆるいじわるテスト等の評価方法を改良する必要がある。

8. 信頼性設計，保全性設計の評価

信頼性設計を評価する指標としてMTBF（平均故障間隔），また保全性設計を評価する指標としてMTTR（平

図6 耐久テスト状況

均修理時間）により行っている。

顧客の保守，保全データをいただき，MTBF，MTTRを解析し，問題点を対策している。その内容は，FMEAシート，MP設計検討書へ反映して次期設備へ展開している。

9. む す び

以上，当社における信頼性設計，保全性設計の取組みについて紹介した。

今後ますます市場ニーズの多様化が進むなかでより高速化，高機能化，高級化し，設備が複雑になる。T-MP設計活動を一層強化充実し，人に優しく，より使いやすく，保守，保全が容易な設備を作っていきたい。