

コークドラム・スカート接続部の熱疲労についての検討

Study on Thermal Fatigue of Shell-to-Skirt Junction of a Coke Drum

○学 富澤 清貴 (室蘭工大院) 正 臺丸谷 政志 (室蘭工大)
 ヒムサール アムバリタ 正 藤木 裕行 岡 正明 (住重試験検査)

Kiyotaka TOMIZAWA, Muroran Institute of Technology, Mizumoto-cho 27-1, Muroran-shi, Hokkaido
 Masashi DAIMARUYA, Muroran Institute of Technology
 Himsar AMBARITA, Muroran Institute of Technology
 Hiroyuki FUJIKI, Muroran Institute of Technology
 Masaaki OKA, S.H.I.Examination and Inspection

Key Words: *Thermal stresses, Equivalent strains, Cyclic heating and cooling, Coke drum, Shell-to-skirt junction*

1. 緒言

石油精製プラントでは、様々な装置を使用して精製を行っている。そのプラント内にあるコークドラムと呼ばれる装置は、分留塔で原油を精製した際に生成される残さ油を送入し、熱分解を行うものである。熱分解によって残さ油は軽質油とコークスに分解され、軽質油は再び分留塔でガソリンなどの液体燃料として、コークスは炭素材料として回収される⁽¹⁾。

コークドラムは熱分解時には高温高压に、また熱分解が終わり内部からコークスを取り出す際には常温常圧に下げるという温度および圧力変化が繰り返され、このような過酷な状況で運転しているため寿命が短くなっている。また、寿命が短くなる要因の一つとして問題になっているのが、コークドラムのシェルとスカートの接続部に発生するき裂である。

本研究ではスカート接続部の典型的な形状3種類について、解析コード ANSYS を用い、き裂が発生しにくい形状、すなわち応力集中が起こりにくい接続形状はどのようなものかを導くことを目的として数値シミュレーションを実施した。そして、算出された相当ひずみから、疲労線図を用いスカート部の使用可能年数を求めた。

2. 解析条件

2-1 解析モデル

Fig.1 に解析で使用したコークドラムモデルの外形と寸法を、Fig.2 にスカート接続部3種類の形状と寸法を示す。解析モデルは軸対称二次元モデルとし、材料の機械的特性⁽²⁾については温度依存性を考慮する。

本研究ではスカート接続部の形状が異なることによる挙動の違いのみを見るため、スカート接続部以外の形状は同じとした。また、溶接部の材質はコークドラムの材質と同様のものとし、材質の違いによる影響を無いものとして解析を実行した。

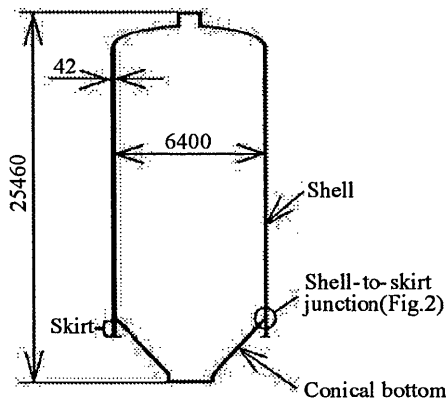


Fig.1 Coke drum unit:mm

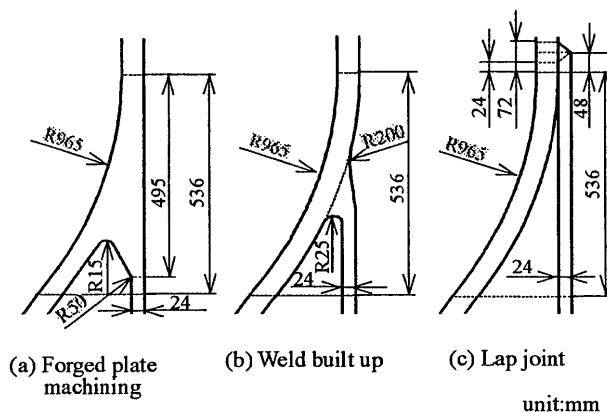
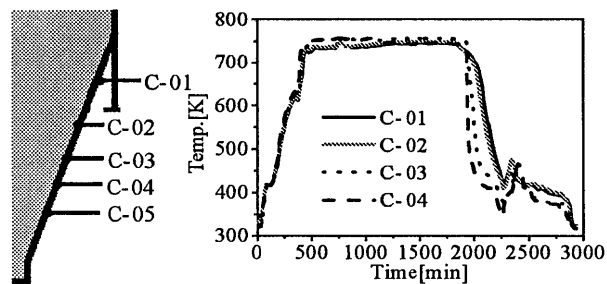
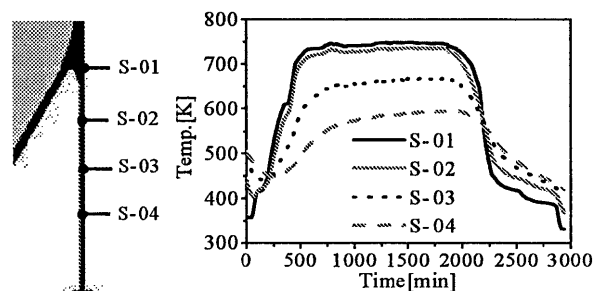


Fig.2 Types of shell-to-skirt junction

2-2 境界条件



(a) Temperature conditions of conical bottom



(b) Temperature conditions of skirt

Fig.3 Temperature conditions for analysis

生成されるコークスは多孔率が33.8%でコークドラムの容量80%を占め、また、冷却の際に使用される水は130m³とする。コークドラム内にはコークスと水が混合した状態で存在しているので、この混合物を仮想的な物体とし密度を求めることにより静水圧を考慮した⁽⁹⁾。また、コークドラムの稼動時における内圧の最高値を350kPaとし、コークドラムの自重はコークドラムに使用されている材料の比重量から算出した。さらに、稼動時におけるコークドラム壁面ならびにスカート部の温度測定データを各測定位置に与え、各測定間の温度は線形に分布させ、板厚方向の温度勾配は無しとした。Fig.3に本解析で使用した温度データを抜粋して示す。

3. 解析結果および考察

Fig.4に、各解析モデルにおいて加熱過程(250min-700min)と冷却過程(2000min-2400min)で、相当ひずみが最大値をとる点をそれぞれ点A、Bとし、相当ひずみ-時間線図を示す。Forged plate machiningとLap jointでは両過程において最大値を示した点は同一であり、またWeld built upについても2点は接近しており相当ひずみ値の挙動はほとんど一致したため、Weld built upについては加熱過程で最大値をとる点Aにおける線図を示す。

加熱時である400min付近での相当ひずみ値はForged plate machiningとWeld built upでは約1500×10⁻⁶であるが、Lap jointでは951×10⁻⁶までしか達していない。一方、冷却時である2200min付近での相当ひずみ値は、すべてのスカート接続部形状で上昇が見られる。Forged plate machiningとWeld built upでは約1200×10⁻⁶まで達しており、またLap jointでは1659×10⁻⁶という全スカート接続部形状における相当ひずみ値の中で最高値を示した。

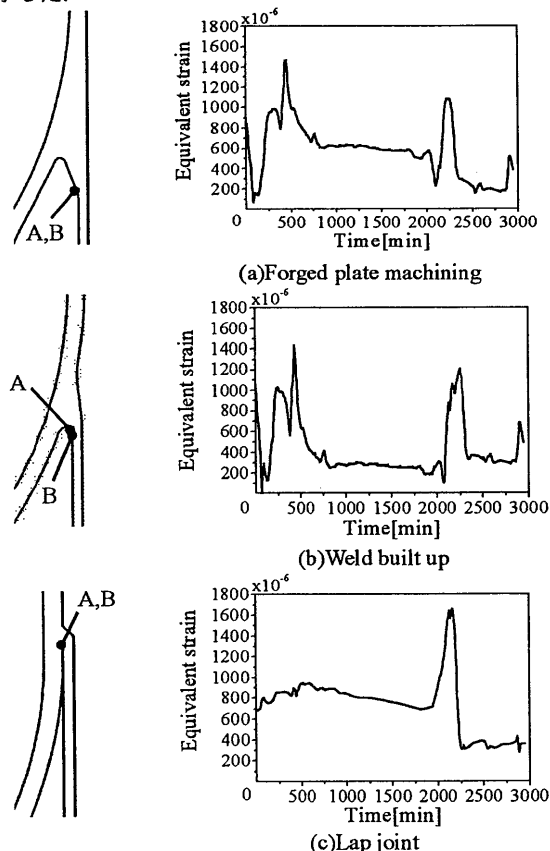


Fig.4 Equivalent strain versus time curves in three types of shell-to-skirt junction

次に、Fig.5にコークドラムの使用可能年数を求めるために用いた、全ひずみ振幅-破損繰返し数線図⁽⁴⁾を示す。疲労評価を行う上で、コークドラム稼動時の最高温度が約500℃であることを考慮し、温度条件が500℃の線図を使用した。また、ひずみ速度が減少するにつれ、同じ全ひずみ振幅でも破損繰返し数が減少することから、線図の中で最も小さいひずみ速度である10⁻⁵s⁻¹を使用することにより厳しい条件での評価を行った。また、ひずみ速度10⁻⁵s⁻¹の実験データ数が少ないため、線Aとしてひずみ速度10⁻⁴s⁻¹、10⁻⁵s⁻¹における各データを、最小二乗法を適用し回帰直線を求めた。

全ひずみ振幅は解析によって求められた相当ひずみの最高値の2倍とした。また、コークドラムは1サイクル48時間とし、1年間では定期修繕期間1ヶ月を除いた11ヶ月稼動するとした。また、Fig.5は両振りのひずみを与える実験条件下で測定したデータである。そのため、冷却時のみでしか相当ひずみの上昇がみられていないLap Jointの結果にFig.5を適用するのは不適であると考えられるため、今回はForged plate machining, Weld built upにのみ適用した結果をTable 1に示す。この結果より使用可能年数はForged plate machining, Weld built upとも、約18年になった。

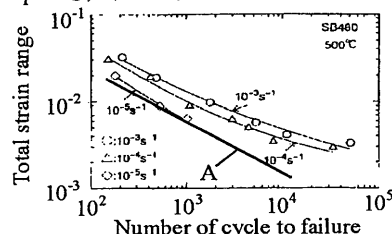


Fig.5 Number of cycle versus total strain range curves

Table 1 Result of analysis and usable years

	Forged plate machining	Weld built up
Maximum value of equivalent strain	1470 × 10 ⁻⁶	1430 × 10 ⁻⁶
Total strain range	2940 × 10 ⁻⁶	2870 × 10 ⁻⁶
Number of cycle to failure	about 3000 cycles	
Usable years	about 18 years	

4. 結言

コークドラムのスカート接続部形状3種類について、繰返し熱負荷を考慮した数値解析を行い、以下の結論を得た。

- (1) 加熱時である400min付近において、Forged plate machiningとWeld built upでは相当ひずみの上昇が見られるが、Lap jointについてはほとんど変化が見られない。
- (2) 冷却時である2200min付近では、いずれのスカート接続部形状において相当ひずみの上昇が見られ、他のスカート接続部形状に比べLap jointでの相当ひずみの最高値が大きくなった。
- (3) Forged plate machiningとWeld built upについては、疲労線図を用いてコークドラムの使用可能年数を導き出したが、Lap jointについては今後導出方法の検討が必要である。

参考文献

- (1) 石油学会編 石油精製プロセス, (1972), p.65, 幸書房
- (2) ASME, ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section II, (2001), Part D, ASME Press
- (3) Silva, A.C., McGreavy, C., and Sugaya, M.F., Coke bed structure in a delayed coker, *Carbon*, Vol.38, No.15(2000), pp. 2061-2068
- (4) 山口 弘二, 他 高温機器用材料の低サイクル疲労特性 金属材料技術研究所疲労データシート資料(独立行政法人 物質・材料研究機構(NIMS)データベースステーション), No.11(1996), pp. 1-70