ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การสอบปลายภาค ประจำภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2557

วันที่ 16 ธันวาคม 2557 เวลา 09.00-12.00 น.

วิชา 237-407 Failure Mechanics and Analysis ห้อง S201

<u>คำชี้แจงสำหรับนักศึกษา</u>

1. ข้อสอบมีจำนวน 6 ข้อ จำนวน 3 หน้า รวมใบปะหน้านี้
2. เอกสารประกอบข้อสอบ Case study: Elevator Chain Wheel Shaft Break Analysis และข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง รวม 11 หน้า
3. ตอบคำถามลงในสมุดคำตอบ เขียนหมายเลขข้อให้ชัดเจน
4. สามารถนำเอกสารทุกชนิด และอุปกรณ์ช่วยสอบได้ทุกชนิดเข้าห้องสอบได้
5. คะแนนสอบครั้งนี้คิดเป็น 30 % ของคะแนนรวมทั้งหมด

<u>คำชี้แจงสำหรับกรรมการจัดทำข้อสอบ และผู้คุมสอบ</u>

1. ให้แจกสมุดคำตอบคนละ 1 เล่ม

อ . ณรงค์ฤทธ์ โทธรัตน์

ผู้ออกข้อสอบ

ข้อที่	คะแนนเต็ม	คะแนนของนักศึกษา
1	15	
2	15	
3	20	
4	10	
5	10	
6	30	
คะแนนรวม	100	

แบบทดสอบการวิเคราะห์การชำรุดอย่างเป็นระบบ ปีการศึกษา 2557

I. ข้อกำหนดในการสอบ

1. สามารถนำเอกสารทุกชนิด และอุปกรณ์ช่วยสอบได้ทุกชนิดเข้าห้องสอบได้
2. จากรายงานผลการวิเคราะห์การชำรุด 1 ฉบับ

Case Study : *Elevator Chain Wheel Shaft Break Analysis*

ให้นักศึกษาใช้ความรู้ด้าน Fracture Mechanics, Systematic Failure Analysis, Heat Treatment, Metallurgy, Materials Engineering, Manufacturing Process และความรู้อื่นๆ ด้านวิศวกรรมศาสตร์ อธิบายผลการวิเคราะห์ เพื่อใช้ในการตอบข้อสอบ

3. เวลา 3 ชั่วโมง ข้อสอบมีทั้งหมด 4 กลุ่มเป้าหมาย (Materials Analysis, Process Analysis, Failure Analysis, Management & Prevention)

II. วัตถุประสงค์ในการสอบ

เพื่อให้นักศึกษาสามารถวิเคราะห์ปัญหาทั้งระบบ นำทฤษฎีมาเชื่อมโยงกับการปฏิบัติ และประยุกต์ใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานจริง และมองในเชิงการบริหาร และจัดการทางวิศวกรรมได้

เหตุการณ์สำคัญ

บริษัท Future Engineering ในประเทศ Slovenia ผลิตและขายอุปกรณ์ขนส่งวัสดุแบบ Chain Elevator ซึ่งได้ติดตั้งอุปกรณ์ชุดใหม่ที่เพิ่งพัฒนาล่าสุด 1 ชุด ให้โรงงาน A เมื่อ 14 เดือนที่แล้ว 3 เดือนถัดมา ติดตั้งให้โรงงาน B จำนวน 3 ชุด และอีก 6 เดือนต่อมา ติดตั้งให้โรงงาน C อีก 5 ชุด ปัจจุบันกำลังติดตั้งให้โรงงาน D อีก 5 ชุด ยังมี Order ต้องติดตั้งให้โรงงาน A สำหรับโครงการใหม่ในปีต่อไปอีก 10 ชุด และจากโรงงานอื่น ๆ อีก 40 ชุด

เมื่อโรงงาน A ใช้งานได้ 14 เดือน พบว่า Shaft ขับ Chain Wheel ขาดชำรุด หลังหมดการประกัน (12 เดือน) วิศวกรของโรงงาน A อยากรู้สาเหตุการชำรุด ว่าเป็นเพราะการใช้งาน หรือ ความบกพร่องของผู้ผลิต จึงได้ส่ง Shaft ทั้ง 2 ชิ้น ให้สถาบันแห่งหนึ่งวิเคราะห์การชำรุด ตามเอกสาร

Elevator Chain Wheel Shaft Break Analysis

ผู้ออกข้อสอบ : ณรงค์ฤทธ์ โทธรัตน์

ให้นักศึกษาตอบคำถามดังต่อไปนี้

1. Failure Mode ของ Shaft คือ Mode ใด ลักษณะอะไรที่เป็นตัวบ่งชี้ว่าเป็นการชำรุด Mode นี้ ขนาดของภาระเป็นสาเหตุหลักของการชำรุดหรือไม่เพราะเหตุใด (15 คะแนน)

2. Root cause ของการชำรุด จากการสรุปของรายงาน คือ สาเหตุใด (15 คะแนน)

3. จากเหตุผลในข้อที่ 1 และ ข้อที่ 2 นำมาอธิบายกลไกการชำรุดเป็นขั้นตอนจนกระทั่ง Shaft ขาดออกจากกัน ของเหตุการณ์ครั้งนี้ ด้วยความรู้ด้าน Fracture Mechanics และ Failure Analysis (20 คะแนน)

4. ในการผลิต Shaft ตัวนี้ใช้กระบวนการอบชุบทางความร้อนแบบใด และผลต่อคุณสมบัติทางกลและทางโลหะวิทยาเป็นอย่างไร มีผลต่อโอกาสเกิดการชำรุดอย่างไร (10 คะแนน)

5. หากจะปรับปรุงเกรดของวัสดุที่จะใช้ทำ Shaft ให้คุณสมบัติต่างๆ ดีขึ้น และสามารถใช้งานกับอุปกรณ์ชุดนี้ ที่ทนทานต่อการชำรุดมากกว่าเดิม จะเลือกใช้วัสดุตัวใดจากตารางที่ให้มา และเลือกด้วยเหตุผลใด (10 คะแนน)

6. บริษัท Future Engineering ได้รับการตำหนิจากโรงงาน A ดังนั้น บริษัท Future Engineering มองว่าปัญหานี้จะเป็นปัญหาที่จะทำให้ชื่อเสียงบริษัทเสียหาย และมีโอกาสที่จะถูกยกเลิก Oder จึงมอบหมาย วิศวกร ให้ป้องกันไม่ให้เกิดการชำรุดกับอุปกรณ์ที่ติดตั้งไปแล้ว อุปกรณ์ที่กำลังติดตั้งและที่ได้รับ Order แล้ว หากนักศึกษาเป็นวิศวกรคนดังกล่าว จะมีวิธีการบริหารจัดการอย่างไรบ้าง (30 คะแนน)

ผู้ออกข้อสอบ : ณรงค์ฤทธ์ โทธรัตน์

Case Studies in Engineering Failure Analysis 1 (2013) 115–119

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Case Studies in Engineering Failure Analysis

journal homepage: www.elsevier.com/locate/csefa

Case study

Elevator chain wheel shaft break analysis

Borut Zorc [a,b,*], Aleš Nagode [b], Borut Kosec [b], Ladislav Kosec [b]

[a] Welding Institute Ltd, Ptujska 19, 1000 Ljubljana, Slovenia
[b] University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenia

ARTICLE INFO

Article history:
Received 25 March 2013
Received in revised form 6 May 2013
Accepted 11 May 2013
Available online 20 May 2013

Keywords:
Shaft
Normalized micro-structure
Surface notch
Fatigue break

1. Introduction

Shafts are rotating mechanical elements intended to transfer power of a driving device to a desired place. Most often, they are equipped with gears or pulleys tightly fixed by wedges or fitting keys. During operation, the shaft is subjected to both torsional (due to torque) and bending stresses (due to its own weight and weight of built-in elements) [1,2] causing dynamic, alternating tensile–compressive stresses in surface layer of the shaft [3]. Generally, the shaft is always made of different diameters, and the transitions between them, depending on their rounding-up, represent smaller or greater local stress concentrators [2]. The contact of the hub edge and the shaft surface can represent a stress concentrator as well. This is why the shafts, due to its shape, are quite sensitive to the formation of fatigue cracks while their susceptibility to cracking is additionally increased by inadequate surface treatment of the shaft (rough surface and inappropriate microstructure of the surface part of the shaft).

The elevator buyer delivered into analysis a broken shaft of a $D = 135$ mm diameter whereto a chain wheel was fixed by a wedge. Even though the warranty period has already expired, the buyer wanted to verify the shaft material conformity with technical documentation and identify the cause of the resulting break in order to be able to file a potential claim.

2. Testing

Several tests were performed, such as visual examination of broken surfaces, chemical analysis of the shaft material (quantometer Thermoelectron corporation ARL 3460), tensile test of the material in longitudinal direction under the surface and in the shaft center (Zwick/Roell Z 050), impact toughness test ISO-V in longitudinal direction under the surface of the

* Corresponding author at: University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenia. Tel.: +386 1 280 9402.
E-mail addresses: borut.zorc@var.si (B. Zorc), ales.nagode@omm.ntf.uni-lj.si (A. Nagode).

2213-2902/$ - see front matter © 2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.
http://dx.doi.org/10.1016/j.csefa.2013.05.004

2/11

keyway and in the shaft center at ambient temperature (device Impact Testing Machine AIT-300), hardness measurements (device GNEHM Härteprüfer Swiss Max 300 and Helling-Eqotip for the shaft surface) and microscopic examination of the shaft material (light metallography, grinding by emery papers up to #4000, polishing by diamond paste #2 μm, etching by 2% nital).

3. Findings

An inspection of both pieces of the broken shaft showed a typical fatigue fracture surface with a 20% share of final instantaneous break reflecting a relatively low nominal operating stress (Fig. 1). On a smooth surface of the slow propagating crack, arrest lines are more or less visible. Direction of the crack propagation and of the shaft rotation can be determinated from a shift of the final instantaneous fracture surface with regard to the crack initiation location as well as from the shape of the arrest lines and the direction of fracture lines (these being perpendicular to the arrest lines) [4]. In this particular case, the shaft was rotating in the counter-clockwise direction and therefore, after a certain period of time, the fatigue crack propagation ran from slightly right to the left (Fig. 1, arrow on the fracture surface).

The arrest lines on the fracture surface show that the crack initiated in the area of right edge of the keyway (Fig. 1). In spite of a smooth surface of this area, the shape of the nearest half-rounded arrest lines shows that the crack initiated on the shaft surface by the upper right edge of the keyway as confirmed by the state when the broken shaft was still in the gear-wheel hub (Fig. 2). The shaft fracture plane is accordant with the edge of the gear-wheel hub only at the right tip by the wedge (Fig. 2, detail B-arrow). From there on, the crack first propagated transversely through the shaft (Fig. 2, detail A, side view after removal of the gear-wheel) under the gear-wheel hub and only there re-directed perpendicularly to the shaft surface or perpendicularly to the direction of operating tensile stresses, respectively (on this plane, there is also the left part of the shaft with a tip by the keyway meaning that the right tip exits from the main fracture plane). In a magnified section we can see that the two edges of the keyways in the shaft and in the gear-wheel hub do not overlap and that they are not in the same line (Fig. 2, detail B). With regard to the edge of the keyway in the shaft the edge of the keyway in the gear-wheel hub is located slightly to the right, where there is also the contact with the surface of the shaft (Fig. 2, detail B-arrow). After removal of the gear-wheel, at this location, a 3 mm long line-shaped notch damage, parallel to the edge of the keyway was established on the shaft surface (Fig. 2, detail A-white line, showed by the right-pointing arrow), that resulted from indenting of the edge of the gear-wheel hub keyway into the shaft surface. Also an inaccurate performance of the wedge and shaft keyway can be observed. The shaft keyway has a sharp transition between vertical and horizontal sides (radius approx. 0.1 mm, Fig. 3a); however, it did not affect the initiation of the fatigue crack at this location. The keyway sides are not perpendicular to each other (Fig. 3a). The wedge and the upper part of the shaft keyway actually touch each other, but in the lower part a gap is evident and its longitudinal edges were not beveled.

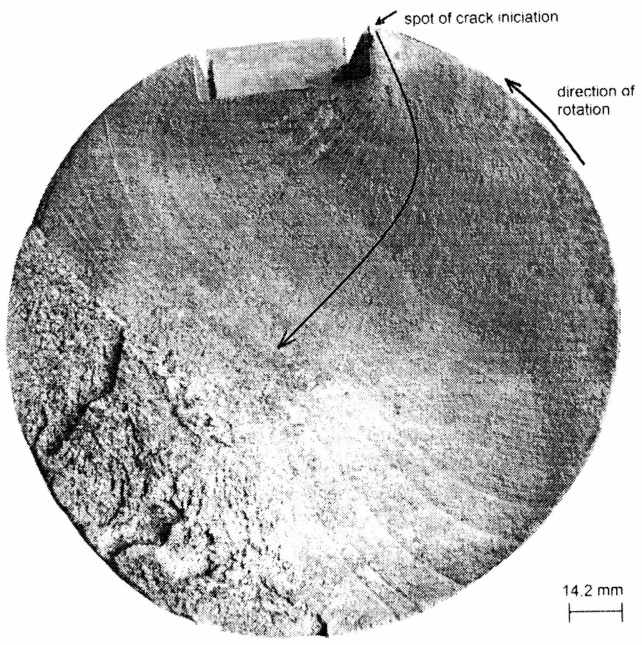


Fig. 1. Macroscopic characteristics of the shaft fracture surface.

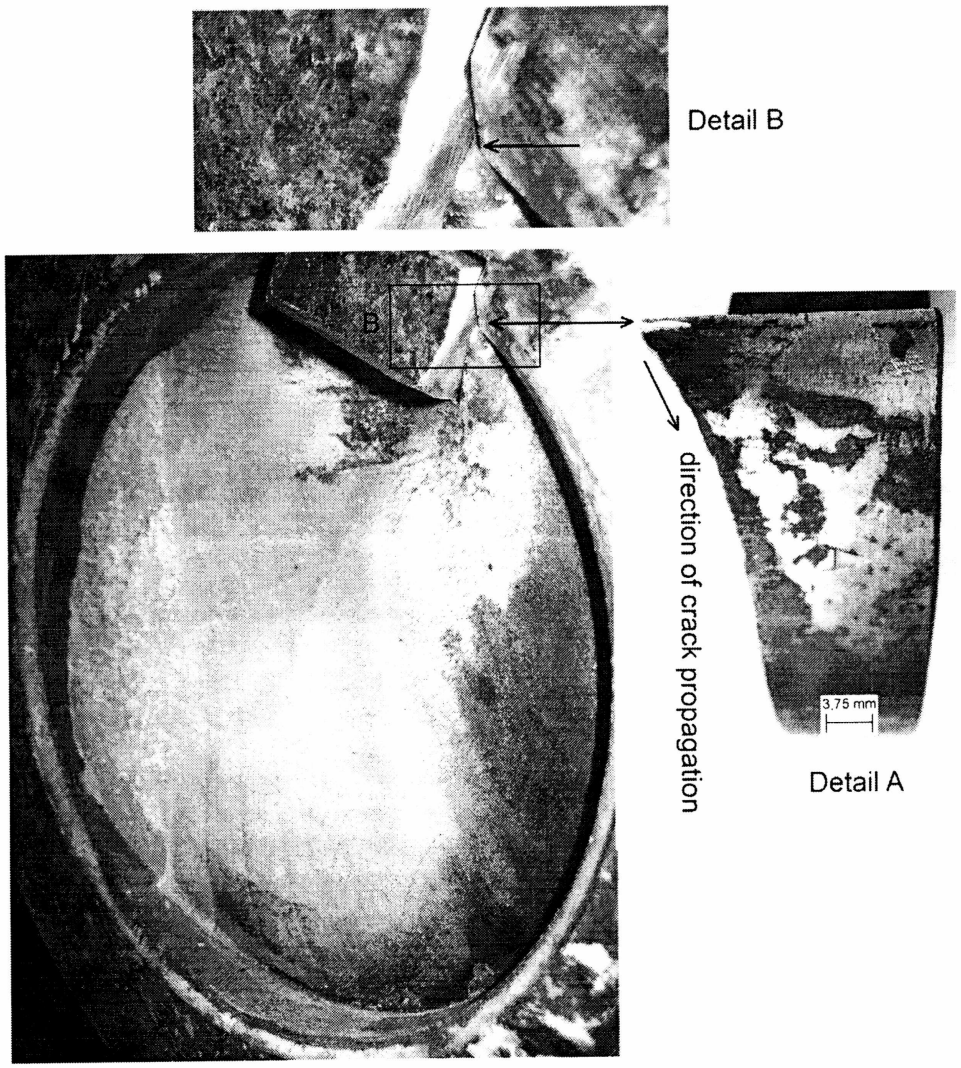


Fig. 2. Geometric relation of the shaft fracture surface and the chain wheel hub.

Over its whole section, the shaft has a polygonal ferrite-pearlite microstructure with banded character in longitudinal direction (Fig. 3). The shaft surface is not decarburized (the uniform ferrite layer does not exist). Under the surface, the crystal grains are smaller while toward the center they are bigger and bigger due to slower cooling after normalization. Toward the center, the banded character of the microstructure is more strongly expressed (this is the so-called secondary banded structure), and the proportion of pearlite is slightly increased as well. Both are characteristic for normalized steel products of greater thicknesses [5], such as bars of larger diameters. Plastic non-metallic inclusions in the longitudinal direction are visible in the ferrite as well. The ferrite-pearlite ratio is conformant with the established chemical composition (m.%: C = 0.45; Si = 0.24; Mn = 0.64; P = 0.027; S = 0.010; Al = 0.025) confirming that the shaft was made of normalized middle-carbon steel C45 (EN 10027-1) for quenching and tempering.

The HV10 hardness of the under-surface area in the vicinity of the keyway (crack initiation area) ranges between 198 and 205 HV and meets the standards of this type of steel in normalized condition. Mechanical properties measured by a tensile test meet the standard [11] for normalized condition of round section bars made of steel C45 and of diameter $D = 100–250$ mm: yield stress $R_e = 289–303$ N/mm^2 (requirement: ≥ 275 N/mm^2), tensile strength $R_m = 603–608$ N/mm^2 (requirement: ≥ 560 N/mm^2), elongation $A_5 = 18.6–20.4\%$ (requirement: $\geq 16\%$), while the impact toughness of the test pieces is weaker than the required one already under their surface (ISO-V at a temperature of $T = 20$ °C: 15–17 J; requirement: ≥ 18 J at $T = -20$ °C [12]). In the shaft center, the toughness values are even worse (9–11 J). The results show that already at the ambient temperature the shaft material does not meet the impact toughness set at significantly lower temperatures. The cause of low toughness was not investigated; however, it is most likely connected with non-metallic inclusions and a too low cooling rate after normalization.

4/11

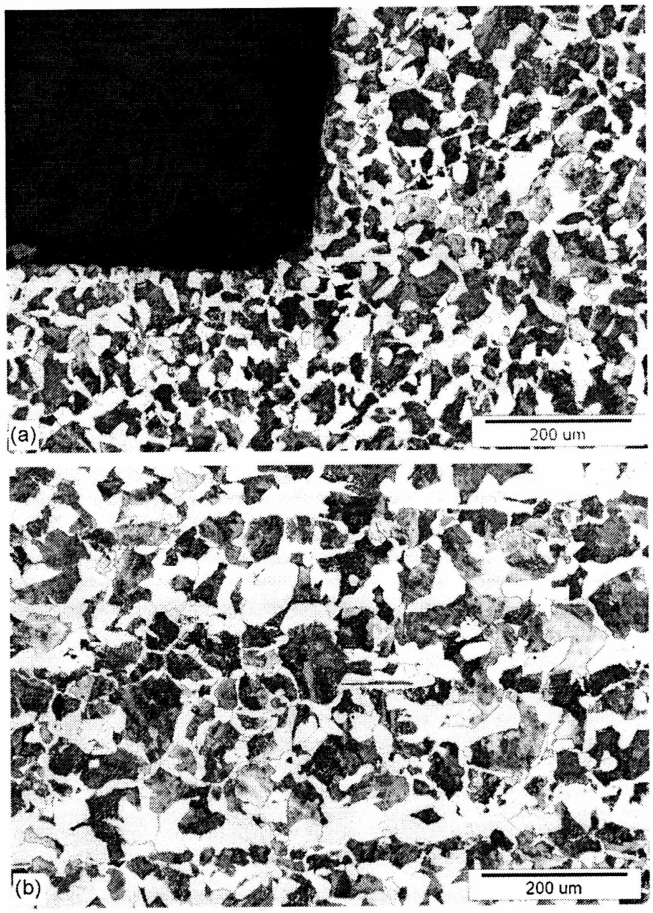


Fig. 3. Normalized micro-structure of the shaft; (a) by the keyway corner (in transverse direction), (b) at one quarter of the shaft diameter (in longitudinal direction).

4. Discussion

The elevator chain wheel shaft is made of normalized middle-carbon steel C45 for quenching and tempering. The steel is the same as the material grade given in the technical documentation where only the material is determined but nothing is said about the state of the material and the state of the shaft surface and its hardness. Mechanical properties of the steel C45 in normalized state are obviously adequate for the expected load of the elevator chain wheel shaft, what is indirectly shown also by the 20% share of final instantaneous break on the fracture surface. However, high enough mechanical properties of the used material are not the only criterion to be met in the shaft manufacture.

As already said in Section 1, due to combined dynamic loads, the shafts are very sensitive to formation and propagation of fatigue cracks initiating usually on the surface. Consequently, the state of the shaft surface is very important (roughness, micro-structure, residual surface stresses). Normalized ferrite-pearlite microstructure of the surface is not the most appropriate one because of overall low hardness (surface damage occurs more easily, e.g. during assembly). Besides, compared to pearlite, the soft ferrite is very sensitive to surface notches and also has significantly lower permanent dynamic strength [5,6,10]. Ferrite is unfavorable also due to the possibility of exceeding the critical shear stress of dislocation slips in some unfavorably oriented surface crystal grains at an external stress lower than the yield stress of the steel. This phenomenon is characteristic for crystal planes (1 1 0) [9]. This means that the crack in the surface ferrite crystal grain can initiate also without surface notch effects! Due to low surface hardness of normalized ferrite-pearlite microstructure (198–205 HV) a small part of the edge of the keyway in the gear-wheel hub was indented into the shaft surface. It resulted in a surface damage where a crack initiated due to concentration of operating tensile stresses. If the event the surface hardness of the shaft was high enough and consequently resistant enough to wear (meaning also highly resistant to the occurrence of surface defects!) the edge of the gear-wheel hub keyway would not indent into the shaft surface. The edge would be subjected to plastic deformation; yet, the shaft surface would remain undamaged. Surface hardening is one of the heat treatment procedure which providing high surface hardness and ductile core of the shaft [1,3,5–9]. Besides high hardness, also a field of surface residual compressive stresses occurs in the process, which results in significantly increased dynamic

strength of the surface [7–9] and in the resultant resistance to occurrence of a fatigue crack. Steel C45 (C = 0.42–0.50 m.%) is ideal for the mentioned heat treatment of the surface. It has weak hardenability and achieves surface hardness of 50–60 HRC[3,5,6,8].

The basic cause of a minor damage occurring on the surface of the shaft is inaccuracy of the keyway and wedge manufacture, and an imperfect matching of diameters shown by a minimal shift between the edges of the keyway on the shaft and on the hub of the gear-wheel (Fig. 2). The indentation and formation of a surface notch in the shaft may have occurred during installation of the gear-wheel to the shaft or at the first start-up of the electro-motor. If the damage occurred at the device start-up, it was a result of the clearance between the wedge and the keyway in the chain wheel hub (during the device start-up, the shaft, compared to the gear-wheel hub, for a moment ran "idle"; since the shaft turned to left, the edge of the keyway on the gear-wheel hub, compared to the edge of the keyway on the shaft, slightly shifted to the right).

5. Conclusion

The elevator chain wheel shaft of a 135 mm diameter is made of normalized steel C45 and is corresponding with the request material by the technical documentation. However, as no surface hardness is given in the technical documentation, the normalized state of the surface with a hardness of 198–205 HV is acceptable as well in order to provide calculated strength of the shaft.

The shaft break occurred due to dynamic, alternating and rather low tensile–compressive stresses at simultaneous torsional load. This is demonstrated by a fracture surface characteristic for a fatigue break and a shift between the initial and the final break phase. A fatigue crack initiated in a small, some mm long notch damage on the shaft surface by the gear-wheel hub. The damage occurred by indentation of the edge of the keyway of the gear-wheel hub into the shaft surface resulting from an inaccurate manufacture of composing elements and consequent failure to achieve the required tolerances for a wedge assembly, and a soft normalized shaft surface. At the crack initiation and propagation, a too low steel toughness did not play a key role. Yet, low toughness results in incompliance of the shaft material mechanical properties required by the standard.

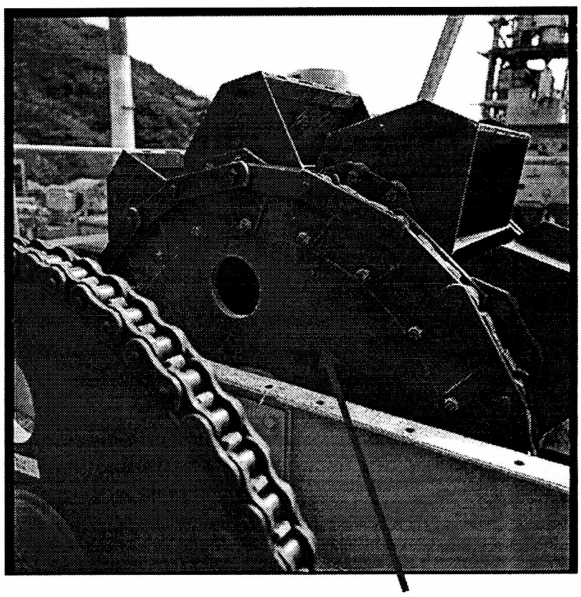
In spite of the inaccurate manufacture of the composing elements the shaft break may have been avoided most likely by surface hardening of the shaft. This would highly increase the surface hardness and the related resistance to occurrence of surface defects (due to high surface hardness of the shaft the keyway edge of the wedge on the gear-wheel hub would not indent into the shaft surface, but would be subjected to plastic deformation and the shaft surface would incur no damage). At the same time, a field of compressive residual stresses would create in the shaft surface layer which would highly improve dynamic strength and resistance to initiation of fatigue crack.

References

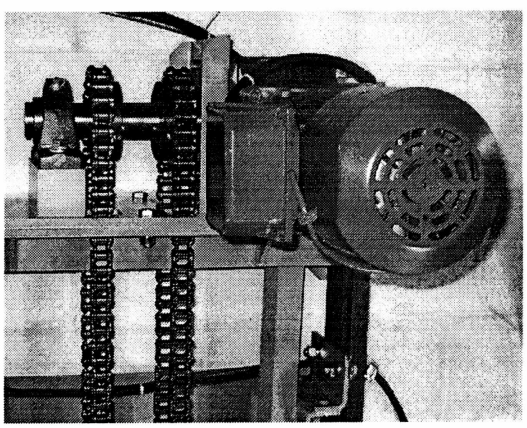
[1] Kraut B. Strojniški priročnik. Handbook of mechanical engineering Ljubljana: Strojniški vestnik; 1981. pp. 537, 139, 343.
[2] Tehnička enciklopedija. Technical encyclopedia, No. 5 Zagreb: Jugoslovenski leksikografski zavod; 1976. p. 228–30.
[3] Strojnotehnološki priročnik. Handbook of mechanical engineering and technology Ljubljana: Tehniška založba Slovenije; 1998. pp. 156, 25, 52.
[4] ASM Handbook, vol.12. Fractography. Materials Park, OH, USA: ASM International"; 2009. 118.
[5] Schumann H. Metallographie, 12. Auflage. Leipzig: DVG; 1987. pp. 377–379, 320, 399, 393.
[6] Metalurški priročnik. Handbook of metallurgy Ljubljana: Tehniška založba Slovenije; 1972. pp. 813, 758, 774, 885, 890–895.
[7] Leslie WC. The physical metallurgy of steels. Auckland: McGraw-Hill; 1982. 304.
[8] Sinha AK. Ferrous physical metallurgy. Boston: Butterworth Publishers; 1989. pp. 671–672, 683.
[9] Vodopivec F. Kovine in zlitine. Metals and alloys Ljubljana: Inštitut za kovinske materiale in tehnologije; 2002. p. 116, 279, 118.
[10] ASM Handbook, vol. 11: Failure analysis and prevention. Materials Park, OH, USA: ASM International"; 2008. p. 215, 719.
[11] EN 10083-1.
[12] Key to steel 2004.

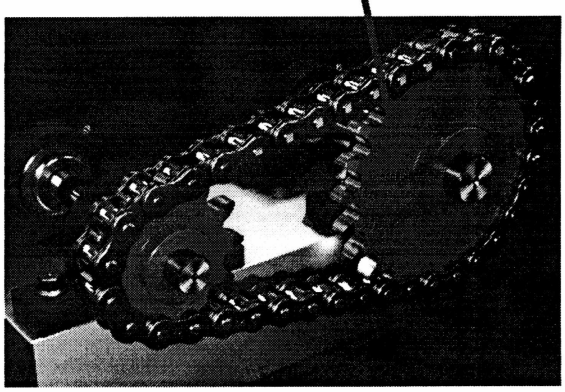
เอกสารประกอบการสอบ 57

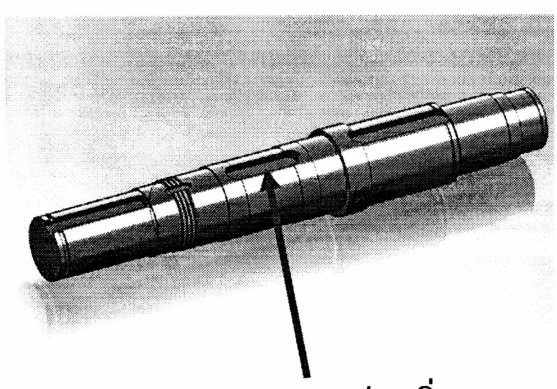
Chain Elevator



Chain Wheel







Keyway(ร่องลิ่ม)

Wedge or Key (ลิ่ม)

CK45

7/11

❑ คุณลักษณะทั่วไป (General Characteristics)

ส่วนผสมทางเคมี (%wt.)	C	Si	Mn	P	S
	0.42-0.50	≤0.40	0.5-0.8	≤0.035	≤0.035
AISI	1045				
JIS	S45C, S48C				
DIN	1.1191 (Ck45/C45E)				
สภาพจำหน่าย	อบปกติ ความแข็งไม่เกิน 229 HB				

CK45 จัดเป็นกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางที่สามารถนำไปใช้ในงานพื้นฐานได้อย่างกว้างขวางหลายชนิด ทั้งงานโครงสร้าง งานการเกษตร งานเครื่องจักรกล งานแม่พิมพ์และส่วนประกอบแม่พิมพ์ รวมทั้งชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากเป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติที่ดีในหลายด้านทั้งด้านความแข็งแรง ความเหนียวแกร่ง และยังสามารถทำการอบชุบเพื่อเพิ่มความแข็งและความแข็งแรงได้สามารถชุบแข็งให้มีความแข็งอย่างน้อย 55 HRC ก่อนอบคืนตัว (as quenched hardness) และยังสามารถชุบอินดักชั่นได้ มีความสามารถในการทุบขึ้นรูปดีมาก นิยมใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับงานทุบขึ้นรูปเป็น อุปกรณ์ เครื่องมือต่าง ๆ มีความสามารถในการตัดกลึงพอใช้

❍ คุณลักษณะเด่น (Significant Characteristics)

- มีราคาถูกกว่าเหล็กอะไหล่ และเหล็กแม่พิมพ์ทั่วไป
- สามารถทุบขึ้นรูปได้ง่ายมาก
- มีความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กโครงสร้างทั่วไป
- มีความเหนียวแกร่ง (Toughness) ดี
- สามารถทำการชุบแข็ง หรือ ชุบอินดักชั่นได้
- มีความสามารถในการชุบแข็งต่ำ โดยให้ชั้นผิวแข็งตื้น
- มีโอกาสเสี่ยงต่อการบิดงอ และแตกร้าว เมื่ออบชุบ
- มีความสามารถในการตัดกลึงพอใช้
- มีความสามารถในการเชื่อมต่ำ

❍ การใช้งาน (Applications)

CK45 สามารถนำไปใช้งานได้หลายชนิดทั้งงานแม่พิมพ์พลาสติก และชิ้นส่วนประกอบของแม่พิมพ์ เช่น กรอบแม่พิมพ์ ชิ้นส่วนอุปกรณ์การเกษตรเกือบทุกชนิด เช่น จอบ เสียม คราด ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆ เช่น ลูกกลิ้ง ลูกรีด ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ เช่น เพลาข้อเหวี่ยง ข้อต่อ เป็นต้น และงานอื่น ๆ ที่ต้องการความประหยัดทางด้านต้นทุนการผลิต

❑ คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties)

❍ สภาพจำหน่าย อบปกติ (N o r m a l i z e d)

Ø (mm)	0.2%Y.S. (N/mm²)	U.T.S. (N/mm²)	E.L. (%)	Hard. (HB)
d ≤ 16	≥ 340	≥ 620	≥ 22	≥ 183
16 < d ≤ 40	≥ 305	≥ 580	≥ 22	≥ 172
40 < d ≤ 100	≥ 275	≥ 560	≥ 22	≥ 166

❍ สภาพชุบแข็งและอบคืนตัว (Hardened and Tempered)

Ø (mm)	0.2%Y.S. (N/mm²)	U.T.S. (N/mm²)	E.L. (%)	KV (J)
d ≤ 16	≥ 490	700-850	≥ 14	≥ 25
16 < d ≤ 40	≥ 430	650-800	≥ 16	≥ 25
40 < d ≤ 100	≥ 370	630-780	≥ 17	≥ 25

❑ คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

คุณสมบัติ	อุณหภูมิทดสอบ			
การนำความร้อน / Thermal Conductivity (W/m·K)	20°C	350°C	700°C	
	42.5	38.5	34.2	
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนระหว่าง 20°C ถึง Coefficient of thermal expansion between 20°C ((µm/m·K)	100°C	200°C	300°C	400°C
	11.5	11.7	12.5	13.3
	500°C	600°C	700°C	-
	13.9	14.3	14.4	-
โมดูลัสของการยืดหยุ่น ที่ 20°C Modulus of elasticity (10^3 N/mm²)	210			
ความจุความร้อนจำเพาะที่ 20°C Specific heat at 20°C (J/g·°C)	0.486			
ความหนาแน่น Density (g/cm³)	7.80			
สภาพทางแม่เหล็ก Magnetizability	ซึมซับ			

❑ การอบชุบความร้อน (Heat Treatments)

ตารางที่ 1 กระบวนการอบชุบทางความร้อน

การอบอ่อน (Annealing)	อุณหภูมิ (°C)	การเย็นตัว	ความแข็ง
	680–710	ในเตา	≤ 207 HB
การอบปกติ (Normalizing)	อุณหภูมิ (°C)	การเย็นตัว	ความแข็งแรง
	840–880	ในอากาศ	≥ 650 MPa
การชุบแข็ง (Hardening)	อุณหภูมิ (°C)	สารชุบ	ความแข็ง
	800–830	น้ำ	57 HRC

การอบคืนตัว (Temp.)	100°C	200°C	300°C
ความแข็ง (HRC)	57	54	49

บริษัท ไทย-เยอรมันสเปเชี่ยลสตีลเซ็นเตอร์ จำกัด
โทร: (02) 817-6025-9 โทรสาร: (02) 817-5445-6 www.thai-germansteel.com

ThyssenKrupp

S50C

8/11

❑ คุณลักษณะทั่วไป (General Characteristics)

ส่วนผสมทางเคมี (%wt.)	C	Mn	Si	P	S
	0.47-0.55	0.60-0.90	≤0.40	≤0.030	≤0.035
AISI	1050				
JIS	S50C				
DIN	1.1206 (Ck 50/C 50 E)				
สภาพจำหน่าย	อบปกติ ความแข็งไม่เกิน 235 HB				
สภาพหลังชุบ	ชุบแข็งด้วยน้ำ ความแข็ง 58-60 HRC				

S50C จัดเป็นกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางที่นิยมใช้ในงานพื้นฐาน ทั้งงานโครงสร้าง งานอุปกรณ์การเกษตร งานเครื่องจักรกล งานแม่พิมพ์และส่วนประกอบแม่พิมพ์ รวมทั้งชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ เป็นต้น เนื่องจากเป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติที่ดีในหลายด้าน ทั้งด้านความแข็งแรง ความเหนียวแกร่ง และมีราคาถูก นอกจากนี้ยังสามารถทำการอบชุบเพื่อเพิ่มความแข็งและความแข็งแรงได้ โดยสามารถชุบแข็งให้มีความแข็งอย่างน้อย 58 HRC ก่อนอบคืนตัว (As quenched hardness) และยังสามารถชุบอินดักชั่นได้ดีอีกด้วย

❍ คุณลักษณะเด่น (Significant Characteristics)

- มีราคาถูกเมื่อเทียบกับเหล็กทำแม่พิมพ์เกรดอื่น
- สามารถทุบขึ้นรูปได้ดีพอสมควร
- มีความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กโครงสร้างทั่วไป
- มีความเหนียวแกร่ง (Toughness) ดี
- สามารถชุบแข็งให้ได้ความแข็งสูงมาก แต่ให้ชั้นผิวแข็งตื้น
- สามารถชุบในเตาบรรยากาศ หรือ ชุบอินดักชั่นได้
- มีความสามารถในการตัดกลึงพอใช้

❍ การใช้งาน (Applications)

S50C จะมีลักษณะการใช้งานส่วนใหญ่จะใกล้เคียงกับเกรด Ck45 เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกันมาก แต่จะมีความแข็ง และความแข็งแรงสูงกว่าเล็กน้อย

S50C สามารถนำไปใช้งานได้หลายชนิดทั้งงานแม่พิมพ์พลาสติก ยาง และชิ้นส่วนประกอบของแม่พิมพ์ เช่น ทำกรอบแม่พิมพ์ ชิ้นส่วนอุปกรณ์การเกษตรเกือบทุกชนิด เช่น จอบ เสียม คราด ชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักรกล และส่วนประกอบในเครื่องยนต์และในรถยนต์ เป็นต้น

❑ คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties)

❍ สภาพจำหน่าย อบปกติ (Normalized)

Ø (mm)	0.2%Y.S. (N/mm^2)	U.T.S. (N/mm^2)	E.L. (%)	Hard. (HB)
d ≤ 16	≥ 355	≥ 650	≥ 20	≥ 192
16 < d ≤ 40	≥ 315	≥ 610	≥ 20	≥ 181
40 < d ≤ 100	≥ 285	≥ 590	≥ 20	≥ 174

❍ สภาพชุบแข็งและอบคืนตัว (Hardened and Tempered)

Ø (mm)	0.2%Y.S. (N/mm^2)	U.T.S. (N/mm^2)	E.L. (%)	R.A. (%)
d ≤ 16	≥ 520	750-900	≥ 13	≥ 30
16 < d ≤ 40	≥ 460	700-850	≥ 15	≥ 35
40 < d ≤ 100	≥ 400	650-800	≥ 16	≥ 40

❑ คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

คุณสมบัติ	อุณหภูมิทดสอบ			
การนำความร้อน / Thermal Conductivity (W/m·K)	20°C	350°C	700°C	
	42.5	38.5	34.2	
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนระหว่าง 20°C ถึง Coefficient of thermal expansion between 20°C (µm/m·K)	100°C	200°C	300°C	400°C
	11.5	11.7	12.5	13.3
	500°C	600°C	700°C	-
	13.9	14.3	14.4	-
โมดูลัสของการยืดหยุ่น ที่ 20°C Modulus of elasticity (10^3 N/mm^2)	210			
ความจุความร้อนจำเพาะที่ 20°C Specific heat at 20°C (J/g·°C)	0.486			
ความหนาแน่น Density (g/cm^3)	7.80			
สภาพทางแม่เหล็ก Magnetizability	ชื่มซับ			

บริษัท ไทย-เยอรมันสเปเชี่ยลสตีลเซ็นเตอร์ จำกัด
โทร: (02) 817-6025-9 โทรสาร: (02) 817-5445-6 www.thai-germansteel.com

ThyssenKrupp

7225

9/11

❑ คุณลักษณะทั่วไป (General Characteristics)

ส่วนผสมทางเคมี (%wt.)	C	Si	Mn
	0.38-0.45	0.10-0.40	0.60-0.90
	Cr	Mo	S
	0.90-1.20	0.15-0.30	0.020-0.040
AISI	4140H		
JIS	SCM 440H		
DIN	1.7225 / 42CrMo4		
สภาพจำหน่าย	ชุบแข็งและอบคืนตัว 28-33 HRC		
ชุบอินดักชั่น	ผิวแข็ง 55-60 HRC		

7225 จัดเป็นกลุ่มเหล็กกล้าผสมต่ำความแข็งแรงสูงที่มีส่วนผสมของโครเมียมและโมลิบดีนัมเป็นส่วนผสมสำคัญ เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรง และความทนต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำ จำหน่ายในสภาพผ่านการชุบแข็งและอบคืนตัว แล้ว จึงมีความสะดวกและเหมาะสมต่อการชุบแข็งผิวเพื่อเพิ่มความแข็งเฉพาะผิวได้เป็นอย่างดี ข้อควรระวังสำคัญของเหล็กเกรดนี้คือไม่ควรใช้งานที่อุณหภูมิสูงเกินกว่า 480°C เนื่องจากความแข็งจะลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้การใช้งานหรือการอบตัวในช่วงอุณหภูมิ 230-270°C ของเหล็กเกรดนี้เหล็กอาจเกิดปัญหาจาก "บลูบริทเทิลเนส" ซึ่งทำให้เหล็กมีความเหนียวแกร่งลดลง

❍ คุณลักษณะเด่น (Significant Characteristics)

- มีความแข็งแรงสูงมาก
- ต้านทานต่อการล้า (fatigue) ได้ดี
- ต้านทานต่อการสึกหรอได้ดี
- ความสามารถในการทุบขึ้นรูป (Forgeability) ดีมาก
- มีความเหนียวแกร่ง (Toughness) ดี
- ความสามารถในการตัดกลึงพอใช้
- ความสามารถในการเชื่อมไม่ดี
- ต้านทานการสูญเสียปริมาณคาร์บอนที่ผิวได้ปานกลาง
- ชุบแข็งง่ายสามารถทำการชุบแข็งซ้ำได้
- สามารถชุบแข็งให้มีความแข็งได้ 55-60 HRC
- สามารถชุบอินดักชั่นได้ดี
- สามารถทำไนไตรดิ้งได้ ให้ผิวแข็งประมาณ 650 HV
- สะดวกต่อการชุบผิวแข็ง เช่น อินดักชั่น หรือไนไตรดิ้ง
- สามารถประยุกต์ใช้ทำแม่พิมพ์ได้ในบางกรณี

❑ คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties)

❍ สภาพชุบแข็งและอบคืนตัว (Hardened and Tempered)

Ø (mm)	0.2%Y.S. (N/mm^2)	U.T.S. (N/mm^2)	Elong. (%)	K.V. (J)	Hard. (HB)
0<D≤16	≥ 900	1100-1300	≥ 10	≥ 30	323-380
16<D≤40	≥ 750	1000-1200	≥ 11	≥ 35	295-352
40<D≤100	≥ 650	900-1100	≥ 10	≥ 35	266-323
100<D≤160	≥ 550	800-950	≥ 13	≥ 35	238-280
160<D≤250	≥ 500	750-900	≥ 14	≥ 35	220-266
250<D≤500	≥ 460	690-840	≥ 15	≥ 38	204-250
500<D≤750	≥ 390	590-740	≥ 16	≥ 38	172-219

❍ การรับรองในสภาพจำหน่าย (G u a r a n t e e d)

0.2%Y.S. (N/mm^2)	U.T.S. (N/mm^2)	E.L. (%)	R.A (%)	KV (J)
≥ 568	720-785	≥ 18	≥ 35	≥ 42

❍ ขนาดเกรน (Grain Size)

ตามมาตรฐาน ASTM E 112 : ≥ 5

สภาพจำหน่าย : รับประกันค่าการทนต่อพลังงานกระแทก (Impact energy) ≥ 27 จูล ที่อุณหภูมิ - 60°C

❑ คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

คุณสมบัติ	อุณหภูมิทดสอบ			
การนำความร้อน Thermal Conductivity (W/m·K)	100°C	200°C	400°C	600°C
	42.7	42.3	37.7	33.1
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนระหว่าง 20°C ถึง/ Coefficient of thermal expansion between 20°C to (µm/m·K)	100°C	200°C		
	12.3	12.7		
	400°C	600°C		
	13.7	14.5		
ความจุความร้อนจำเพาะที่ 20°C Specific heat at 20°C (J/g·°C)	0.473			
ความต้านทานไฟฟ้าที่ 20°C Electric resistance (µΩ·m)	0.222			
ความหนาแน่น Density (g/cm^3)	7.85			
สภาพทางแม่เหล็ก Magnetizability	ซึมซับ			

❍ การใช้งาน (Applications)

7225 สามารถนำไปใช้งานสำหรับชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ต้องการความแข็งแรงสูง เช่น เพลาข้อเหวี่ยง ข้อต่อก้านพวงมาลัย เพลาล้อ ก้านสูบ ดอกสว่านเจาะบ่อน้ำมัน ชิ้นส่วนปั๊มน้ำ ท่อทนแรงดันสูง เฟืองเครื่องจักรขนาดใหญ่ หน้าจาน ประแจ ปากกาจับ

บริษัท ไทย-เยอรมันสเปเชี่ยลสตีลเซ็นเตอร์ จำกัด
โทร: (02) 817-6025-9 โทรสาร: (02) 817-5445-6 www.thai-germansteel.com

ThyssenKrupp

S55C

10/11

❑ คุณลักษณะทั่วไป (General Characteristics)

ส่วนผสมทางเคมี (%wt.)	C	Mn	Si	P	S
	0.52-0.58	0.60-0.90	≤0.40	≤0.030	≤0.035
AISI	1055				
JIS	S55C				
DIN	1.1203 (Ck 55/C 50 E)				
สภาพจำหน่าย	ทุบ และ อบปกติ ความแข็งไม่เกิน 255 HB				
สภาพหลังชุบ	ชุบแข็งด้วยน้ำ ความแข็ง 58-64 HRC				

S55C จัดเป็นกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง โดยอาจจัดอยู่ในกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนสูงได้ในกรณีที่มีปริมาณคาร์บอนเข้าใกล้ขีดจำกัดบนในส่วนผสมทางเคมี มีคุณสมบัติเด่นในด้าน มีความแข็งแรงสูง ความเหนียวแกร่งดี สามารถชุบแข็งให้ความแข็งได้สูงถึง 58-64 HRC (as-quench hardness) ก่อนการอบคืนตัวสามารถชุบผิวแข็งด้วยเปลวไฟ (Flame hardening) ได้ สามารถชุบผิวแข็งด้วยวิธีไนไตรดิ้งหรือคาร์โบไนไตรดิ้งได้ เป็นเหล็กที่มีราคาถูกสามารถทุบขึ้นรูปได้ดี จึงนิยมใช้ในงานโครงสร้างพื้นฐานหลายอย่าง ทั้งทางด้านงานเครื่องจักรกล งานยานพาหนะ ตลอดจนงานแม่พิมพ์และส่วนประกอบแม่พิมพ์ เช่นใช้ทำสปริงทนความเค้นต่ำ ตัวหยุด (stops) ลูกเบี้ยว (cam) ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เช่น คลัชช์ คับปลิ้ง เฟืองสะพาน ตลอดจนชิ้นส่วนที่ต้องการความทนทานต่อการเสียดสีและมีความเหนียวแกร่งในระดับปานกลาง และยังสามารถใช้ทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับจำนวนการผลิตที่ไม่สูงมากนัก หรือทำส่วนประกอบในแม่พิมพ์พลาสติก โมลด์เบส แม่พิมพ์ปั๊มตัด หรือ แม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปโลหะ รวมทั้งฐานรากของเครื่องจักร เป็นต้น

S55C จำหน่ายในสภาพผ่านการทุบ (Forged) และอบปกติ (Normalized) จึงมีโครงสร้างที่ละเอียดและให้คุณสมบัติทางกลที่ดีกว่า เหล็กที่จำหน่ายในสภาพผ่านการอบอ่อนหรือรีดร้อน

❍ คุณลักษณะเด่น (Significant Characteristics)

- มีความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กโครงสร้างทั่วไป
- มีความเหนียวแกร่ง (toughness) ดี
- มีความสามารถในการตัดกลึงดีพอใช้
- สามารถชุบแข็งให้ได้ความแข็งสูงมาก แต่ให้ชั้นผิวแข็งตื้น
- สามารถชุบแข็งในเตาบรรยากาศได้
- สามารถชุบอินดักชั่นหรือใช้เปลวไฟได้
- สามารถชุบฮาร์ดโครมได้
- สามารถชุบไนไตรดิ้งหรือคาร์โบไนไตรดิ้งได้ได้

❍ การใช้งาน (Applications)

S55C จะมีลักษณะการใช้งานส่วนใหญ่จะใกล้เคียงกับเกรด S50C เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกัน แต่จะมีความแข็งและความแข็งแรงสูงกว่าเล็กน้อย สามารถใช้ทำสปริงทนความเค้นต่ำ ตัวหยุด (stops) ลูกเบี้ยว (cam) ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เช่น คลัชช์ คับปลิ้ง เฟืองสะพาน ตลอดจนชิ้นส่วนที่ต้องการความทนทานต่อการเสียดสี และมีความเหนียวแกร่งในระดับปานกลาง และยังสามารถใช้ทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับจำนวนการผลิตที่ไม่สูงมากนัก หรือทำส่วนประกอบในแม่พิมพ์พลาสติก โมลด์เบส แม่พิมพ์ปั๊มตัด หรือ แม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปโลหะ แม่พิมพ์ขึ้นรูปยาง รวมทั้งฐานรากของเครื่องจักร เป็นต้น

❑ คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties)

❍ สภาพจำหน่าย อบปกติ (Normalized)

Ø (mm)	0.2%Y.S. (N/mm^2)	U.T.S. (N/mm^2)	E.L. (%)
d ≤ 16	≥ 370	≥ 680	≥ 11
16 < d ≤ 40	≥ 330	≥ 640	≥ 12
40 < d ≤ 100	≥ 300	≥ 620	≥ 12

❍ สภาพชุบแข็งและอบคืนตัว (Hardened and Tempered)

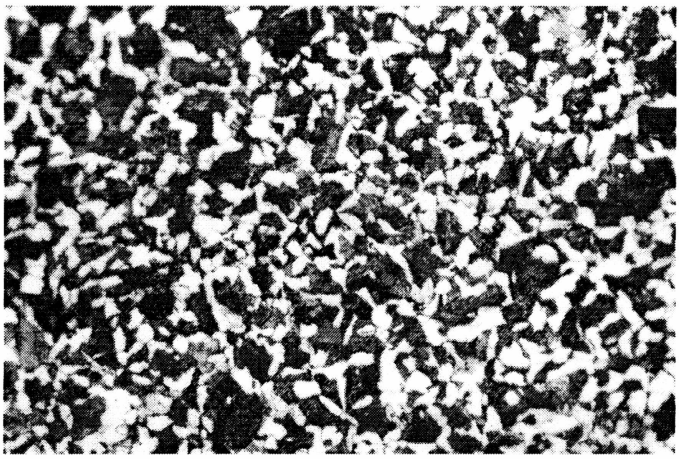
Ø (mm)	0.2%Y.S. (N/mm^2)	U.T.S. (N/mm^2)	E.L. (%)	KV (J)
d ≤ 16	≥ 550	800-950	≥ 12	≥ 30
16 < d ≤ 40	≥ 490	750-900	≥ 14	≥ 35
40 < d ≤ 100	≥ 420	700-850	≥ 15	≥ 40

❑ คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

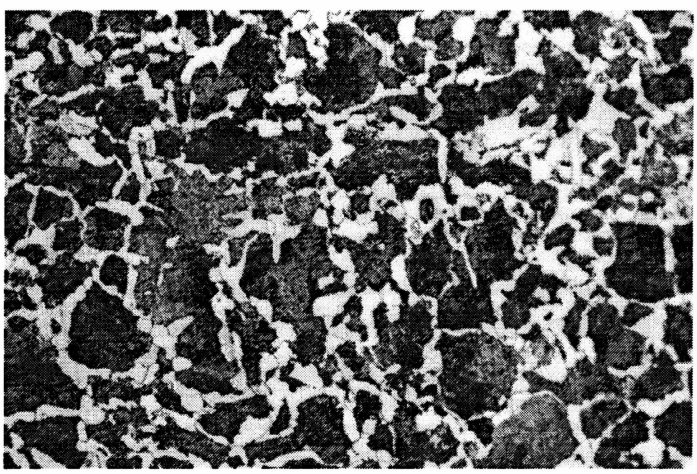
คุณสมบัติ	อุณหภูมิทดสอบ			
การนำความร้อน / Thermal Conductivity (W/m·K)	20°C	350°C	700°C	
	42.5	38.5	34.2	
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนระหว่าง 20°C ถึง Coefficient of thermal expansion between 20°C (µm/m·K)	100°C	200°C	300°C	400°C
	11.5	11.7	12.5	13.3
	500°C	600°C	700°C	-
	13.9	14.3	14.4	-
โมดูลัสของการยืดหยุ่น ที่ 20°C Modulus of elasticity (10^3 N/mm^2)	210			
ความจุความร้อนจำเพาะที่ 20°C Specific heat at 20°C (J/g·°C)	0.486			

บริษัท ไทย-เยอรมันสเปเชี่ยลสตีลเซ็นเตอร์ จำกัด
โทร: (02) 817-6025-9 โทรสาร: (02) 817-5445-6 www.thai-germansteel.com

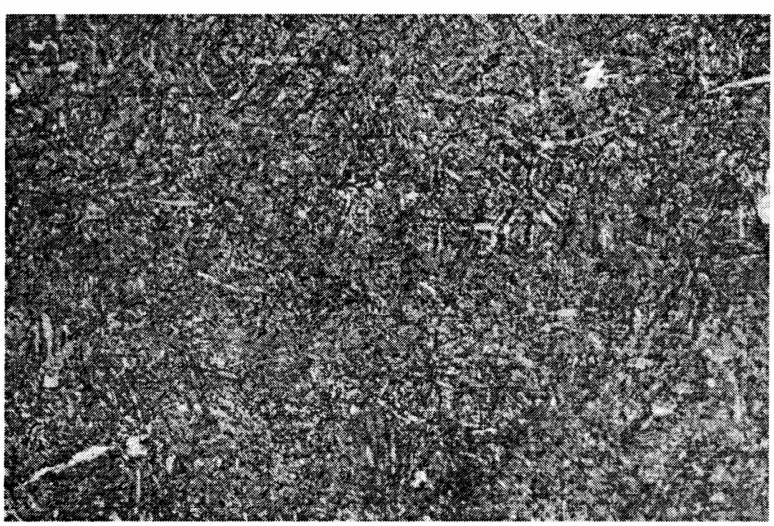
ThyssenKrupp



Micro-structure of S50C Ferrite & Pearlite(200X)



Micro-structure of S55C Ferrite & Pearlite(200X)



Micro-structure of 7225 Tempered Martensite(200X)